

# THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE DE NANTES

COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 601

*Mathématiques et Sciences et Technologies*

*de l'Information et de la Communication*

Spécialité : Histoire des mathématiques

Par

**Marie-Cécile KASPRZYK-ISTIN**

**De la navigation maritime à la navigation aérienne : transferts de méthodes mathématiques et de connaissances en France dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle**

**Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 29 octobre 2018**

**Unité de recherche : Laboratoire de mathématiques Jean Leray**

## **Rapporteurs avant soutenance :**

Jean-Marc GINOUX    maître de conférences, Université de Toulon  
David AUBIN        professeur, Sorbonne Université

## **Composition du Jury :**

|                    |                      |                                                |
|--------------------|----------------------|------------------------------------------------|
| Président :        | Christoph SORGER     | professeur, Université de Nantes               |
| Rapporteur :       | David AUBIN          | professeur, Sorbonne Université                |
| Examineurs :       | Konstantinos CHATZIS | chargé de recherche, École des Ponts ParisTech |
|                    | Martina SCHIAVON     | maître de conférences, Université de Lorraine  |
| Dir. de thèse :    | Évelyne BARBIN       | professeur, Université de Nantes               |
| Co-dir. de thèse : | Dominique TOURNÈS    | professeur, Université de la Réunion           |



## Remerciements

Je tiens avant tout à remercier vivement Évelyne Barbin et Dominique Tournès qui m'ont dirigé durant ces années de recherches. Cette thèse ne serait pas ce qu'elle est sans leurs conseils avisés, tant sur les méthodes de travail que sur la mise en forme de mes idées, ni par leur disponibilité et leur soutien. Je remercie les membres du Laboratoire de mathématique Jean Leray (LMJL) de l'université de Nantes au sein duquel j'ai pu préparer cette thèse.

Je remercie également Jean-Marc Ginoux et David Aubin qui m'ont fait l'honneur d'être les rapporteurs de cette thèse, ainsi que Konstantinos Chatzis, Martina Schiavon et Christoph Sorger qui ont bien voulu faire partie de mon jury.

Je souhaite également adresser ma reconnaissance à Michèle Pellizzaro chargée du centre de documentation de l'École nationale supérieure maritime (ENSM) de Saint Malo pour son aide précieuse et sa disponibilité ainsi qu'à Paul Bedel, ancien professeur d'hydrographie, que j'ai rencontré en ces murs, et avec qui j'ai eu plaisir à échanger sur les méthodes de calculs nautiques dans la marine. Je remercie Jean-Louis Guibert de l'Institut français de navigation (IFN) grâce à qui j'ai pu accéder aux archives de la revue *Navigation*.

Je tiens également à remercier Bertrand Duvé qui m'a permis d'accéder à ses archives familiales, éclairant les cours de navigation aérienne proposés par Max Duvé à la fin des années 1920.

J'adresse ma reconnaissance aux capitaines au long cours, avec en premier lieu mon père Jean Istin et ses amis Jean Quemener et Yves Gourlaouen, qui ont mis à ma disposition leurs cours des années 1950-1960 et m'ont fait part de leurs témoignages de marins sur toutes les mers du globe. Je remercie également mon mari Éric Kasprzyk, pilote privé d'avion, et ses amis militaires avec en premier lieu Christian Pauly pour leurs conseils en matière d'aéronautique.

Je tiens à remercier les personnels des différentes bibliothèques et archives auxquelles j'ai pu accéder : celles du Service historique de la Défense à Vincennes, Brest, Lorient, Cherbourg, celle de la Bibliothèque nationale de France, de la bibliothèque Sainte Geneviève, de la bibliothèque du CNAM, de la bibliothèque du Musée de l'air et de l'espace du Bourget, des bibliothèques de Saint-Malo, Rennes et Quimper, de la bibliothèque de l'IGN et des archives de l'École des Ponts ParisTech.

Mes remerciements vont également à mes collègues de l'Éducation nationale ainsi qu'aux proviseurs des lycées Jacques Cartier de Saint-Malo et Yvon Bourges de Dinard, qui m'ont encouragé à poursuivre mes recherches.

Je tiens également à exprimer ma gratitude aux membres de ma famille avec en particulier mes parents, mon mari, mes enfants Maïwenn et Erwann qu'un exemple de travail sur le long terme a encouragé dans leurs études. Je remercie également mes amis pour leur soutien, leur relecture et leur traduction, notamment Lydia Le Fur et Nathalie Le Roy, ainsi que mes camarades de doctorat dont particulièrement Hervé Renaud.



## Liste des abréviations

AéCF : Aéro-Club de France

AOF : Afrique-Occidentale française

*BNAé : Bulletin de la Navigation aérienne*

CAM : Centre d'aviation maritime

CGEA : Compagnie des grands express aériens

CIDNA : Compagnie internationale de la navigation aérienne

CINA : Commission internationale de la navigation aérienne

cl. : classe

CLC : capitaine au long cours

CPIA : Commission permanente internationale d'aéronautique

CTA : Compagnie transafricaine d'aviation

EMNAé : Établissement métropolitain de la navigation aérienne

ENSM : École nationale supérieure maritime

EV : enseigne de vaisseau

GB : groupe de bombardement

GMT: temps moyen de Greenwich

IH : ingénieur hydrographe

LV : lieutenant de vaisseau

OCGAé : Organisme de coordination générale de l'aéronautique

RAF : Royal Air Force

SCLEA : Société centrale pour l'exploitation des lignes aériennes

SFNA : Société française de navigation aérienne

SGA : Service géographique des Armées

SGTA : Société générale de transport aérien - Farman

SNAé : Service de la navigation aérienne

STAé : Service technique de l'aéronautique

TSF : transmission sans fil

VB : *Voisin* de bombardement

*Abréviations utilisées pour les calculs nautiques*

$A, Z$  : azimut

$AHag, AH, AHap, H$  : angle horaire

$\mathcal{D}, D$  : déclinaison

EW : Est-Ouest

$G$  : longitude

$h, Hv, Ho$  : hauteur (vraie, observée)

NS : Nord-Sud

$\delta$  : angle polaire ou déclinaison de l'astre

$\zeta$  : distance zénithale

$\varphi$  ou  $L$  : latitude

# Sommaire

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Remerciements .....                                                                                                                                         | 3  |
| Liste des abréviations .....                                                                                                                                | 5  |
| Introduction générale.....                                                                                                                                  | 13 |
| Définition du sujet d'étude .....                                                                                                                           | 13 |
| Périodisation et limites géographiques .....                                                                                                                | 14 |
| Méthodologie et sources .....                                                                                                                               | 16 |
| Plan de la thèse .....                                                                                                                                      | 20 |
| Partie 1 : Les méthodes, connaissances et pratiques en navigation maritime du début du XX <sup>e</sup> siècle au début de la Première guerre mondiale ..... | 23 |
| Préambule .....                                                                                                                                             | 24 |
| Chapitre 1 : Une formation bicéphale du monde maritime en matière de navigation.....                                                                        | 29 |
| Introduction .....                                                                                                                                          | 29 |
| A) Des officiers de la Marine formés à Brest à bord du <i>Borda</i> .....                                                                                   | 30 |
| 1) Des conditions d'admission qui évoluent au tournant du XX <sup>e</sup> siècle.....                                                                       | 30 |
| 2) Que se passe-t-il à bord du <i>Borda</i> ?.....                                                                                                          | 36 |
| 3) Quelques enseignants « remarquables » .....                                                                                                              | 40 |
| B) Les officiers de marine marchande formés dans les écoles d'hydrographie .....                                                                            | 44 |
| 1) Des écoles dont le fonctionnement nécessite une modernisation.....                                                                                       | 44 |
| 2) Les réformes mises en application à partir de 1906 .....                                                                                                 | 51 |
| Conclusion .....                                                                                                                                            | 57 |
| Chapitre 2 : Bases théoriques de navigation maritime enseignées dans les cours .....                                                                        | 59 |
| Introduction .....                                                                                                                                          | 59 |
| A) Présentation des ouvrages de cours et de leurs auteurs. ....                                                                                             | 60 |
| B) Coordonnées célestes et terrestres .....                                                                                                                 | 72 |
| 1) Les coordonnées horizontales.....                                                                                                                        | 72 |
| 2) Les coordonnées horaires .....                                                                                                                           | 73 |
| 3) Les coordonnées équatoriales .....                                                                                                                       | 76 |
| 4) Les coordonnées géographiques .....                                                                                                                      | 77 |
| C) Résolution du triangle de position .....                                                                                                                 | 80 |
| D) La navigation par lieux géométriques .....                                                                                                               | 84 |
| Conclusion .....                                                                                                                                            | 93 |

|                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Chapitre 3 : Les instruments de la navigation maritime : enseignement et pratique.....                                                                                     | 95  |
| Introduction .....                                                                                                                                                         | 95  |
| A) Les instruments de mesure .....                                                                                                                                         | 96  |
| 1) Le compas.....                                                                                                                                                          | 97  |
| 2) Le sextant.....                                                                                                                                                         | 110 |
| 3) Le chronomètre.....                                                                                                                                                     | 125 |
| B) Les tables et nomogrammes de navigation.....                                                                                                                            | 129 |
| 1) Tables de navigation.....                                                                                                                                               | 129 |
| 2) Nomogrammes ou abaques de navigation .....                                                                                                                              | 145 |
| C) Les cartes .....                                                                                                                                                        | 161 |
| 1) Les cartes marines .....                                                                                                                                                | 161 |
| 2) Les cartes pour la navigation orthodromique .....                                                                                                                       | 166 |
| Conclusion .....                                                                                                                                                           | 170 |
| Partie 2 : La naissance de la navigation aérienne et ses emprunts à la navigation maritime du début du XX <sup>e</sup> siècle à la fin de la Première guerre mondiale..... | 173 |
| Préambule .....                                                                                                                                                            | 174 |
| Chapitre 4 : La naissance d'une navigation aérienne .....                                                                                                                  | 185 |
| Introduction .....                                                                                                                                                         | 185 |
| A) La formation à la navigation aérienne .....                                                                                                                             | 186 |
| 1) La navigation aérienne dans la presse du début du XX <sup>e</sup> siècle .....                                                                                          | 186 |
| 2) La navigation aérienne présentée lors de conférences et étudiée dans les écoles ...                                                                                     | 192 |
| 3) Un rapprochement entre la navigation aérienne et la navigation maritime au niveau de la formation .....                                                                 | 197 |
| B) La navigation à l'estime .....                                                                                                                                          | 202 |
| 1) Le compas aéronautique à la fin du XIX <sup>e</sup> siècle.....                                                                                                         | 202 |
| 2) Les premiers « marins du ciel ».....                                                                                                                                    | 208 |
| 3) Les compas de 1909 à 1912.....                                                                                                                                          | 209 |
| 4) La direction en aéroplane en 1911.....                                                                                                                                  | 220 |
| 5) Les cartes utilisées en navigation aérienne.....                                                                                                                        | 227 |
| 6) La navigation aérienne pratiquée lors du « Grand Prix Michelin » le 7 mars 1911                                                                                         | 232 |
| C) La navigation aérienne astronomique.....                                                                                                                                | 235 |
| 1) L'utilité du « point en ballon » et les méthodes envisagées pour le déterminer.....                                                                                     | 237 |
| 2) La pratique du « point en ballon » entre 1904 et 1908 .....                                                                                                             | 241 |
| 3) La synthèse des procédés du « point en ballon » libre et dirigeable (1913-1914) ..                                                                                      | 254 |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4) Le point en aéroplane .....                                                                                           | 259 |
| Conclusion .....                                                                                                         | 260 |
| Chapitre 5 : Se diriger en mer et dans les airs. L'impact de la Première guerre mondiale ....                            | 263 |
| Introduction .....                                                                                                       | 263 |
| A) La « navigation électrique » inventée avant la Première guerre mondiale et développée durant le conflit .....         | 264 |
| 1) Le compas gyroscopique .....                                                                                          | 264 |
| 2) Le radiogoniomètre.....                                                                                               | 270 |
| B) Les apports du Service géographique des Armées à la navigation durant le conflit                                      | 276 |
| 1) L'activité des ingénieurs hydrographes du SGA .....                                                                   | 278 |
| 2) La cartographie aérienne .....                                                                                        | 282 |
| C) Impact de la Première guerre mondiale sur la navigation aérienne (le bombardement aérien) .....                       | 289 |
| 1) La navigation aérienne en vue de missions de bombardement au sein de l'Armée                                          | 292 |
| 2) La navigation aérienne et l'aéronautique maritime .....                                                               | 303 |
| Conclusion .....                                                                                                         | 313 |
| Partie 3 : L'essor d'une navigation aérienne (1919-1940) .....                                                           | 315 |
| Préambule .....                                                                                                          | 316 |
| Chapitre 6 : Une formation qui s'adapte à de nouveaux besoins et à de nouvelles attentes (1919-1940) .....               | 325 |
| Introduction .....                                                                                                       | 325 |
| A) La navigation aérienne à l'époque où l'aéronautique est « au service de la paix » (1919-1928) .....                   | 329 |
| 1) La mise en place progressive de brevets dans l'aviation marchande .....                                               | 329 |
| 2) Des écrits pour les marins à la disposition du navigateur aérien .....                                                | 337 |
| 3) Les formations initiées par le SNAé.....                                                                              | 348 |
| 4) Le premier manuel de navigation aérienne : le <i>Traité pratique de navigation aérienne</i> de Hébrard et Duval ..... | 362 |
| 5) Les formations pour les militaires .....                                                                              | 379 |
| 6) Les formations maritimes de pilotes.....                                                                              | 383 |
| B) La navigation aérienne à l'époque des deux premiers ministères de l'Air (1928-1940) .....                             | 389 |
| 1) Les brevets de navigateurs aériens rendus obligatoires.....                                                           | 389 |
| 2) Les formations en navigation aérienne proposées au sein de l'armée de l'Air .....                                     | 391 |
| 3) Le cours de navigation aérienne proposé à Air France .....                                                            | 395 |

|                                                                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4) D'autres formations en navigation aérienne disponibles dans les années 1930 .....                                                                                                                        | 403 |
| Conclusion .....                                                                                                                                                                                            | 413 |
| Chapitre 7 : Perfectionnement des méthodes et des pratiques appliquées en navigation aérienne (novembre 1918-1928) .....                                                                                    |     |
| Introduction .....                                                                                                                                                                                          | 417 |
| A) Les méthodes et pratiques de la navigation maritime appliquées aux dirigeables ..                                                                                                                        | 418 |
| 1) Les dirigeables de la Marine .....                                                                                                                                                                       | 418 |
| 2) Le compas des dirigeables .....                                                                                                                                                                          | 424 |
| 3) Le navigraphe Le Prieur .....                                                                                                                                                                            | 426 |
| 4) La navigation astronomique pratiquée à bord des dirigeables .....                                                                                                                                        | 430 |
| B) Méthodes et pratiques des aviateurs de l'aviation militaire et de l'aviation maritimes prépondérantes aux débuts de l'aviation commerciale .....                                                         | 438 |
| 1) Les procédés de navigation des militaires en 1919-1920 .....                                                                                                                                             | 439 |
| 2) La navigation aérienne des premières lignes commerciales .....                                                                                                                                           | 449 |
| Conclusion .....                                                                                                                                                                                            | 459 |
| Chapitre 8 : Les nouvelles méthodes et les nouveaux instruments propres à la navigation aérienne (1927-1940) .....                                                                                          |     |
| Introduction .....                                                                                                                                                                                          | 461 |
| A) Les méthodes de navigation aérienne pratiquées par les « chasseurs de records » ..                                                                                                                       | 462 |
| 1) Utilisation conjointe de la navigation à l'estime et de la navigation astronomique, grâce aux tables abrégatives Bertin, par Costes et Le Brix pour leur raid de 1927 .....                              | 463 |
| 2) Utilisation conjointe de la navigation à l'estime et de la navigation astronomique, grâce aux itinéraires Kahn, lors de la traversée de l'Atlantique Nord par Costes et Bellonte en septembre 1930 ..... | 484 |
| 3) La navigation aérienne sur les avions de tourisme : le cas de la liaison Paris-Nouméa par Verneilh, Dévé et Munch en 1932 .....                                                                          | 500 |
| 4) Les méthodes de navigation aérienne pratiquées par les navigatrices françaises (1928-1939) .....                                                                                                         | 503 |
| B) L'aviation militaire des années 1930, une utilisation prépondérante de la navigation à l'estime soutenue par la TSF .....                                                                                | 510 |
| 1) Les instruments de navigation dans les plans d'équipement et d'armement de l'armée de l'Air .....                                                                                                        | 510 |
| 2) Les instruments de navigation à l'estime et astronomique à bord des avions militaires .....                                                                                                              | 514 |
| 3) Les équipements radio et la radiogoniométrie .....                                                                                                                                                       | 519 |
| 4) La navigation astronomique .....                                                                                                                                                                         | 524 |

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5) Les spécificités de la navigation aérienne dans l'aviation coloniale .....                               | 527 |
| C) Les méthodes de radionavigation dans l'aéronautique commerciale .....                                    | 535 |
| 1) La radioélectricité gage de sécurité aérienne : les Établissements régionaux autonomes (1930-1934) ..... | 537 |
| 2) La radiogoniométrie avec les pilotes de « l'Aéropostale » (1927-1934) .....                              | 540 |
| 3) Vers une rationalisation des procédés de navigation aérienne avec Air France.....                        | 548 |
| Conclusion .....                                                                                            | 570 |
| Conclusion générale .....                                                                                   | 573 |
| Bibliographie .....                                                                                         | 581 |
| A) Sources primaires .....                                                                                  | 581 |
| 1) Archives.....                                                                                            | 581 |
| 2) Ouvrages et articles .....                                                                               | 581 |
| 3) Revues et journaux .....                                                                                 | 606 |
| B) Sources secondaires .....                                                                                | 610 |
| 1) Ouvrages et articles (y compris en ligne) .....                                                          | 610 |
| 2) Revues et journaux .....                                                                                 | 627 |
| 3) Sites .....                                                                                              | 629 |
| Index des personnes citées .....                                                                            | 633 |
| Rerum .....                                                                                                 | 645 |





## Introduction générale

Cette thèse est le prolongement du mémoire de master, en histoire des sciences et des techniques, que j'ai entrepris en 2010 à l'université de Nantes. Ce mémoire, sous la direction de Dominique Bénard, s'intitulait « Charles Bertin, professeur d'hydrographie et auteur d'une méthode de calculs nautiques au début du XX<sup>e</sup> siècle ». Je feuilletais alors des tables abrégatives, ce qui était une découverte pour une enseignante de mathématiques n'ayant connu que l'usage de la calculatrice pour les calculs logarithmiques. Il existe de nombreuses tables de calculs nautiques, mais celles de Bertin ont la particularité d'être spécifiquement destinées à la fois à la navigation maritime et à la navigation aérienne<sup>1</sup>. Nous avons cherché à répondre à la question : qu'est ce qui peut pousser un professeur d'hydrographie à proposer des tables abrégatives et comment s'y prend-t-il ?

### Définition du sujet d'étude

De nouvelles perspectives de recherches sont nées de ce mémoire. Tout d'abord, les tables de Bertin, et la méthode qui leur est associée, sont-elles l'unique instrument initialement imaginé pour les marins qui ait été par la suite développé pour les aviateurs ? Et plus généralement, quels sont les transferts mathématiques de la marine vers l'aéronautique ? Un inventaire rapide permet de repérer ces transferts au niveau de la forme de la carène d'un navire et du fuselage d'un avion ou d'un dirigeable (hydrodynamique versus aérodynamique), ou encore des points communs entre les sous-marins et les aéronefs. Nous ne traiterons pas de ces sujets, mais de la navigation dont relèvent d'ailleurs les tables Bertin.

Nous entendons le terme de « navigation » au sens employé par Olivier Chapuis dans sa thèse *À la mer comme au ciel*, c'est-à-dire comme « science de la route et du point »<sup>2</sup>. De ce fait, la navigation maritime et la navigation aérienne seront prises comme un ensemble de méthodes scientifiques et de procédés techniques, en excluant l'acception de réglementation de la circulation maritime ou aérienne.

Notre sujet – de la navigation maritime à la navigation aérienne : transferts de méthodes mathématiques et de connaissances en France dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle – se trouve ainsi à la croisée de plusieurs domaines (la marine et l'aéronautique, le militaire et le civil,

---

<sup>1</sup> BERTIN Ch., *Carnet azimutal pour le réglage rapide et précis de la montre et du compas*. Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1919. BERTIN Ch., *Tablette de Point Sphérique*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1919. BERTIN Ch., *Carnet Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1928. BERTIN Ch., *Mignonette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1928. BERTIN Ch., *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars, 1929. BERTIN Ch., *Tablette Bertin pour faire le point*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1939.

<sup>2</sup> CHAPUIS O., *À la mer comme au ciel. Beutemps-Beaupré & la naissance de l'hydrographie moderne (1700-1850)*, Paris, PUPS, 1999, p. 40.

l'enseignement et la pratique) et emprunte à plusieurs sciences (les mathématiques appliquées, la cartographie et la géodésie, l'astronomie, le magnétisme), ce qui constitue à la fois la richesse et la complexité du projet.

Or, il ne peut y avoir de transferts sans média entre les hommes – praticiens ou enseignants – et les écoles, manuels et journaux en sont les principaux vecteurs. De ce fait, la problématique se décline dans un premier temps en : quels sont les liens entre le professeur d'hydrographie et le navigateur, et entre le navigateur maritime et le navigateur aérien ?

Le professeur d'hydrographie désigne, depuis le XVII<sup>e</sup> siècle, le maître qui enseigne au marin l'hydrographie, c'est-à-dire l'ensemble des sciences et techniques de la mer<sup>3</sup>. Depuis le décret du 13 janvier 1877, seuls les techniciens maritimes (officiers de Marine et capitaines au long cours) peuvent se présenter au concours de professeur d'hydrographie alors que les professeurs d'université et les polytechniciens en sont désormais exclus. La navigation est donc une matière technique enseignée par ceux qui la pratiquent ou l'ont pratiquée. Par ailleurs, le mot « navigateur » se développe avec le sens particulier de « marin apte à conduire un navire » au début du XVIII<sup>e</sup> siècle. Il est transposé dans le contexte de la navigation aérienne avec le sens de « personne qui fait suivre à un appareil un itinéraire précis » avant la Première guerre mondiale<sup>4</sup>.

De plus, les transferts entre la marine et l'aéronautique nécessitent des supports. Ils sont de deux ordres. Il y a d'une part, les manuels scolaires et assimilés, comme les articles de presse à but pédagogique, et d'autre part, les instruments de navigation<sup>5</sup> (instruments de mesure, tables et nomogrammes, cartes). Il en découle une nouvelle orientation à la problématique : les supports adaptés à la marine sont-ils adaptés à l'aéronautique ?

## Périodisation et limites géographiques

Définir les limites temporelles et géographiques du sujet a constitué une première difficulté au regard des problématiques posées.

La date butoir de notre étude a été la plus simple à choisir, à savoir le début de la Seconde guerre mondiale, suivant en cela Thierry Le Roy dans sa thèse *Les bretons et l'aéronautique*<sup>6</sup>. En effet, le conflit modifie considérablement les techniques de navigation avec la multiplication

---

<sup>3</sup> Voir RUSSO F., « l'hydrographie en France au XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècle : écoles et ouvrages d'enseignement », in TATON R. (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII<sup>e</sup> siècle*, Paris, Hermann, 1964, p. 419-440.

<sup>4</sup> Voir Alain Rey. REY A. (dir.), *Dictionnaire Historique de la langue française*, Paris, Le Robert-Sejer, édition enrichie 2006, p. 2352. Ce dictionnaire situe l'apparition du mot « navigateur » dans le contexte de la navigation aérienne au milieu du XX<sup>e</sup> siècle or nous l'avons trouvé utilisé en 1910.

<sup>5</sup> Voir RANDIER J., *L'instrument de marine*, Paris, MDV éditions, 1999.

<sup>6</sup> LE ROY Th., *Les Bretons et l'aéronautique : des origines à 1939*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2002.

de nouveaux systèmes de radionavigation basés sur l'emploi des ondes électro-magnétiques<sup>7</sup>. Mais nous repoussons la borne supérieure jusqu'à l'hiver 1940-1941 durant lequel est dispensé un cours supérieur de navigation aérienne à Air France<sup>8</sup>, qui propose une synthèse des connaissances et des méthodes en usage avant-guerre. En revanche, définir la borne inférieure de notre cadre chronologique – notre choix s'étant arrêté en 1900 – a présenté plus de difficultés. Cette date est plus attachée à la navigation aérienne qu'à la navigation maritime. En effet, le premier vœu émis par la Commission permanente internationale d'aéronautique lors du Congrès international d'aéronautique de 1900 est de prendre des mesures afin de « permettre aux aéronautes d'apprendre à faire le point en ballon, au moyen d'observations astronomiques »<sup>9</sup>. De plus, les exploits du comte de la Vaux, qui effectue un trajet de 1 237 km entre la France et la Russie le 30 septembre 1900 en ballon libre, nous semblent suffisants pour que les conditions rendant la navigation aérienne scientifique intéressante dans les prises de décision par l'aéronaute<sup>10</sup> soient remplies.

Nous ne remontons pas aux débuts de la conquête du ciel par les « plus légers que l'air », en 1784, car notre propos n'est pas de faire l'histoire de l'aéronautique ; de nombreux ouvrages s'en sont chargés depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. En revanche, nous ne nous interdisons pas de présenter les quelques recherches sur des boussoles aériennes qui ont été effectuées à la suite du siège de Paris (1870-1871). Nous nous attachons à étudier également l'état des connaissances en navigation maritime à partir de 1900. Mais celles-ci seront éclairées par la découverte du « point Marcq » par Adolphe Marcq Saint-Hilaire en 1873 pour la navigation astronomique, ainsi que par les travaux de William Thomson, à la même époque, en vue de mettre au point un compas résistant aux actions des structures métalliques des navires et utilisable pour la navigation à l'estime. Là encore, les publications sur l'histoire de la marine sont nombreuses, mais rarement focalisées sur la navigation scientifique.

La seconde limite à notre étude est géographique. La marine française privilégie certaines méthodes, comme le « point Marcq », qui lui sont spécifiques. L'étude des sources, tant sur la marine que sur l'aéronautique, nous incite à restreindre notre étude au cas français. Cette restriction ne nous empêche pas de tenir compte des contributions étrangères – britanniques, allemandes, autrichiennes, américaines, italiennes, brésiliennes ou portugaises –

---

<sup>7</sup> Voir COUTAUD G. et ANDLAUER L., *La navigation aérienne*, Paris, Presses Universitaires de France, 1953.

<sup>8</sup> COMET P. et SALDO E., *Air France. Cours de navigation aérienne*, Chambéry, Air France, 1943.

<sup>9</sup> PESCE G.-L., « Congrès et commission permanente internationale d'aéronautique », *L'Aérophile*, juillet 1901, p. 156.

<sup>10</sup> L'aéronaute utilise une boussole pour relever la direction prise par le ballon et choisir de faire monter ou descendre l'appareil.

mais toujours par le prisme de leur interprétation française. Quelques pratiques belges bénéficient d'un traitement particulier. Ainsi, nous considérons que les rapports scientifiques du Belge Georges Lecoïnte lors de l'expédition arctique *Belgica*<sup>11</sup> éclairent les pratiques françaises dans la mesure où cet officier des montres a été formé en France à l'École navale et utilise les mêmes instruments que ses homologues de l'hexagone. Les ascensions du début du XX<sup>e</sup> siècle à bord de ballons belges sont également riches d'informations pour la pratique française de la navigation aérienne. Par ailleurs, nous dépassons les limites métropolitaines en nous focalisant sur les pratiques françaises de la navigation aérienne en Afrique dans l'entre-deux guerres, cette zone se révélant particulièrement propice à la pratique d'une navigation scientifique<sup>12</sup>.

## Méthodologie et sources

Pour Linda Argote et Paul Ingram, le « transfert de connaissances » se définit comme un processus à travers lequel un groupe est affecté par l'expérience d'un autre<sup>13</sup>. Nous recherchons ici à mettre en évidence les changements qui affectent les praticiens de la navigation aérienne et selon quels processus.

Ces changements s'opèrent principalement au travers de la formation. Or selon le physicien Claude Garcin, la transmission des connaissances est insuffisante pour rendre compte du processus d'acquisition des connaissances par les individus<sup>14</sup>. Il convient en effet de garder à l'esprit que si des méthodes sont transmises aux aéronautes et aux aviateurs par des marins, il n'est pas certain que celles-ci soient intégrées dans leur pratique. De plus, il faut déterminer quelles connaissances et méthodes sont susceptibles d'être transmises.

Cette étude doit donc s'intéresser aux lieux d'enseignement de la navigation. Comme le remarque Philippe Marchand, « l'histoire de l'enseignement technique et professionnel est longtemps restée un « chantier déserté » en histoire de l'éducation »<sup>15</sup>. L'enseignement sous la III<sup>e</sup> République à l'École navale et dans les écoles d'hydrographie n'avait pas échappé à cette

---

<sup>11</sup> LECOINTE G., « Travaux hydrographique et instructions nautiques », *Expédition antarctique Belge-Résultats du voyage du S. Y. Belgica en 1897-1898-1899-Rapports scientifiques*, Anvers, J.-E. Buschmann, 1903-1905.

<sup>12</sup> Vital Ferry traite également conjointement les pionniers belges et français d'Afrique entre 1911 et 1940 dans FERRY V., *Ciels impériaux africains 1911-1940*, Paris, éditions du Gerfaut, 2005.

<sup>13</sup> ARGOTE L. et INGRAM P., « Knowledge transfer: A Basis for Competitive Advantage in Firms » in *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, volume 82, issue 1, may 2000, pp. 150-169.

<sup>14</sup> GARCIN C., « Réflexions d'un physicien sur les problèmes de formation », *Techniques & Culture*, 45 | 2005, p. 3.

<sup>15</sup> MARCHAND Ph., « L'enseignement technique et professionnel en France 1800-1919 », *Techniques & Culture*, 45 | 2005, p. 1. Voir également CASPARD P., « Un chantier déserté. L'histoire de l'enseignement technique », pp. 193-197, in *Formation Emploi* Numéro spécial. L'enseignement technique et professionnel, repères dans l'histoire (1830-1960), n° 27-28, 1989.

tendance alors qu'ils avaient été largement étudiés au XVII<sup>e</sup> et au XVIII<sup>e</sup> siècles, comme le souligne Olivier Chapuis<sup>16</sup>. L'historiographie s'est depuis penchée sur l'enseignement technique et professionnel de niveau supérieur<sup>17</sup> dont relèvent l'École navale et, dans une moindre mesure, les écoles d'hydrographie. Bruno Belhoste présente les modalités d'entrée à l'École navale au XIX<sup>e</sup> siècle<sup>18</sup> et Patrick Geistdoerfer dresse en quelques pages le portrait de cet établissement sur plus de 350 ans<sup>19</sup>, alors que Guy Boistel s'est intéressé au fonctionnement des écoles d'hydrographie<sup>20</sup>. Il semblerait en revanche que les écoles destinées à former les pilotes et navigateurs aéronautiques n'aient pas encore été étudiées. Les travaux sur les écoles pour marins ont orienté mes recherches, mais ils restent éloignés de mes problématiques.

J'ai choisi d'interroger principalement deux types de sources primaires : les manuels scolaires et la presse de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Mais il est nécessaire d'être vigilant quant à l'utilisation de telles sources, notamment pour les articles de presse parus durant la Première guerre mondiale<sup>21</sup>.

Définir ce qu'est le manuel scolaire pour la marine militaire et marchande se révèle aisé, tant les institutions scolaires, École navale et écoles d'hydrographie, sont organisées dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Les livres de cours sont publiés par de grandes maisons d'édition maritimes ou scientifiques et le public auquel sont destinés ces ouvrages est le plus souvent clairement indiqué dès la page de garde ou dans l'introduction (l'analyse porte sur sept manuels publiés entre 1903 et 1906 et douze manuels publiés entre 1920 et 1936)<sup>22</sup>. Suivant en cela les recommandations d'Alain Chopin, nous n'excluons pas que ces livres, prévus pour l'instruction, « puisse[nt] aussi satisfaire aux besoins de professionnels et donc se révéler utiles

---

<sup>16</sup> CHAPUIS O., *Op. Cit.*, p. 135.

<sup>17</sup> LOCHER F., « Les sciences et les techniques dans l'enseignement supérieur français (XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles) », *Histoire de l'éducation*, 122 | 2009.

<sup>18</sup> BELHOSTE B., « La préparation aux grandes écoles scientifiques au XIX<sup>e</sup> siècle : établissements publics et institutions privées », *Histoire de l'éducation*, vol. 90, n° 2, 2001, pp. 101-130.

<sup>19</sup> GEISTDOERFER P., « La formation des officiers de marine : de Richelieu au XXI<sup>e</sup> siècle, des gardes aux « bordaches » », *Techniques & Culture*, 45 | 2005.

<sup>20</sup> BOISTEL G., « De la suppression des écoles d'hydrographie aux écoles nationales de navigation maritime 1870-1920. Cinquante années de flou pour l'enseignement maritime », *La Revue Maritime*, mai 2012, pp.14-17.  
BOISTEL G., « De la suppression des écoles d'hydrographie à la création des écoles nationales de navigation maritime, 1886-1920 : trente-quatre années de flou pour l'enseignement maritime. Le cas des écoles de l'estuaire de la Loire : Paimboeuf, Saint-Nazaire, Le Croisic, Nantes », *Cahiers François Viète*, Centre François Viète, Université de Nantes, 2016, *Entre Ciel et Mer. Des observatoires pour l'enseignement de l'astronomie, des sciences maritimes et le service de l'heure, en France et en Europe, de la fin du XVIII<sup>e</sup> au début du XX<sup>e</sup> siècle : institutions, pratiques et cultures*, Série II (8-9), pp.61-102. KASPRZYK-ISTIN M.-C., « Regards sur l'enseignement dans les écoles d'hydrographie au début du XX<sup>e</sup> siècle », *La Revue Maritime*, mai 2012, pp.18-21.

<sup>21</sup> Voir FORCADE O., « Voir et dire la guerre à l'heure de la censure (France, 1914-1918) », *Le Temps des médias*, 2005/1 (n° 4), pp. 50-62. BEURIER J., « La Grande Guerre, matrice des médias modernes », *Le Temps des médias*, 2005/1 (n° 4), pp. 162-175.

<sup>22</sup> Voir bibliographie.

dans l'exercice quotidien de leur métier »<sup>23</sup>. Cet aspect du manuel scolaire se révèle essentiel lorsque les aéronautes et les aviateurs sont à la recherche d'informations sur la navigation et qu'ils n'en trouvent pas rédigées à leur usage. En effet, les ouvrages de cours à destination des aviateurs et des aéronautes sont plus difficiles à cerner, car les écoles sont nouvelles et tout est à construire. Pour David Hamilton, « un manuel n'est pas simplement un livre utilisé dans les écoles. C'est plutôt un livre qui a été consciemment conçu et organisé pour servir les objectifs de l'instruction »<sup>24</sup>. Nous avons alors repéré un ensemble d'écrits, constitué de quelques ouvrages publiés dans les mêmes maisons d'édition que pour ceux de la marine, de quelques fascicules, et d'articles présents dans les revues aéronautiques (nous avons consulté quinze écrits, dont certains ont été réédités plusieurs fois, publiés entre 1920 et 1943)<sup>25</sup>.

Utiliser la presse permet aussi d'accéder à l'un des vecteurs de formation des navigateurs aériens, mais celle-ci véhicule également le témoignage d'acteurs de la navigation maritime et aérienne de 1900 à 1940. Les campagnes de numérisation des collections de presse de la Bibliothèque nationale de France, et l'interrogation de bases de données numériques des bibliothèques par mot-clé, facilitent l'accès à la presse généraliste et quotidienne régionale ainsi qu'à la presse spécialisée<sup>26</sup>.

Les affinités de l'*Ouest-Éclair* avec le monde maritime en font un témoin essentiel de son temps, notamment au travers de la rubrique « Les nouvelles maritimes »<sup>27</sup>. Les informations extraites de la dernière page du quotidien, qui contiennent à la fois l'actualité sportive, la rubrique « Armée et Administration » et les mouvements des navires, éclairent la pratique de la navigation<sup>28</sup>. Plusieurs articles en lien avec nos problématiques font la première ou la deuxième page de l'*Ouest-Éclair*. Ils relatent principalement un évènement aéronautique (s'appuyant sur « la nouveauté et le caractère stupéfiant de l'aviation pour augmenter leurs tirages »<sup>29</sup>) ou maritime, mais ils donnent aussi des informations plus techniques telles que « la

<sup>23</sup> CHOPPIN A., « Le manuel scolaire, une fausse évidence historique », *Histoire de l'éducation*, 117 | 2008, p. 24.

<sup>24</sup> HAMILTON D., « What is a textbook? », *Paradigm*, 3, July 1990, p. 5-8, cité par Alain Choppin, *Op. Cit.*, p. 50.

<sup>25</sup> Voir bibliographie.

<sup>26</sup> Actuellement les historiens des sciences exploitent de plus en plus la presse généraliste (voir GINOUX J.-M. et GERINI Ch., *Henri Poincaré : une bibliographie au(x) quotidien(s)*, Paris, Ellipses, 2012) et la presse technique spécialisée (voir CHATZIS K., BRET P. et HILAIRE-PEREZ L., *La presse et les périodiques techniques en Europe, 1750-1950*, Paris, L'Harmattan, 2008).

<sup>27</sup> HARISMENDY P., « L'évolution de la maquette de l'*Ouest-Éclair* » in LAGRÉE M. (dir.), HARISMENDY P. (dir.) et DENIS M. (dir.), *L'Ouest-Éclair. Naissance et essor d'un grand quotidien régional*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2000, p. 135.

<sup>28</sup> Nous y avons notamment relevé les navires (cités par le quotidien) régulant leur compas de 1900 à 1914.

<sup>29</sup> ROBÈNE L. et BODIN D., « Le feuilleton aéronautique à la Belle Époque », *Le Temps des médias*, vol. 9, n° 2, 2007, p. 47.

navigation avec la méthode Bertin » en 1927<sup>30</sup>, ce qui renseigne sur la variété du lectorat du quotidien.

En plus de la recherche par mots-clés dans les bases de données numériques, le recours aux tables de revues, quand elles existent, permet « d'alléger notablement les longs et pénibles efforts de dépouillement des journaux, et par là, au-delà de son éphémérité naturelle, de restituer sa valeur documentaire à l'écriture journalistique »<sup>31</sup>. Nous avons ainsi pu consulter la *Table méthodique de la Revue Maritime 1862-1957*<sup>32</sup>, pour repérer les articles de la *Revue Maritime* en lien avec nos problématiques, de même que la table des matières du *Bulletin de la Navigation aérienne (BNAé)*<sup>33</sup>. Cet inventaire du contenu des numéros d'une revue n'existe pas toujours, et les moteurs de recherche peuvent ne pas être encore assez performants, heureusement « l'ordonnancement familial des rubriques et la titraille suffisent à guider »<sup>34</sup> le chercheur.

L'étude des sources, tant des manuels scolaires que de la presse, nous a révélé l'importance des instruments de navigation dans les transferts de méthodes mathématiques et de connaissances. La théorie, et l'usage, des cartes et des instruments de mesure, avec en premier lieu le compas, sont abondamment décrits dans les ouvrages de cours et les articles de presse destinés à la marine ou à l'aéronautique, mais les tables et les abaques ne sont qu'abordés. Plusieurs études universitaires ont été menées sur les instruments de navigation au XVIII<sup>e</sup> et au XIX<sup>e</sup> siècles<sup>35</sup>. Celles-ci nous permettent d'introduire les instruments, mais ne rendent pas compte de leur adaptation aux performances des navires à coques métalliques du XX<sup>e</sup> siècle ni de leur interprétation par l'aéronautique. La consultation de sources primaires supplémentaires – ouvrages spécifiquement dédiés à un instrument, tables de calculs (abréviatives ou non), *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, correspondance entre Maurice d'Ocagne et Eugène Perret, notices d'instruments, publicités dans la presse

---

<sup>30</sup> SINBAD, « La navigation aérienne et la méthode Bertin », *Ouest-Éclair*, 12 octobre 1927, p. 2. SINBAD, « La navigation aérienne et la méthode Bertin (suite de notre article d'hier) », *Ouest-Éclair*, 13 octobre 1927, p. 2.

<sup>31</sup> ALBERT P., « Les tables de journaux : des guides de recherche trop mal connus », *Le Temps des médias* 2007/1 (n° 8), p. 264.

<sup>32</sup> Anonyme, *Table méthodique de la Revue Maritime 1862-1957*, Musée national de la Marine, 1957.

<sup>33</sup> Accessible sur la page de <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/laviation-civile-en-france-et-memoire#e10>, consulté le 13 août 2018.

<sup>34</sup> ALBERT P., *Op. Cit.*, p. 254.

<sup>35</sup> BOISTEL G., *L'Astronomie nautique au XVIII<sup>e</sup> siècle en France : Tables de la Lune et longitudes en mer*, thèse de doctorat de l'université de Nantes, Centre François Viète, 2001. BOISTEL G., « De quelle précision a-t-on réellement besoin en mer ? Quelques aspects de la diffusion des méthodes de détermination astronomique et chronométrique des longitudes en mer en France, de Lacaille à Mouchez (1750-1880) », *Histoire & mesure*, volume XXI, n° 2, 2006, pp. 121-156. FAUQUE D., « Un nouvel instrument pour observer les hauteurs, inventé par M. Grandjean de Fouchy », *Revue d'histoire des sciences*, janvier 2008, Tome 61, pp. 63-88. FAUQUE D., « Revue critique. De l'art de naviguer à la science nautique au Siècle des lumières », *Revue d'histoire des sciences*, janvier 2010, Tome 63, pp. 189-219. MÖRZER BRUYN W.F.J. et DUNN R., *Sextants at Greenwich: A Catalogue of the Mariner's Quadrants, Mariner's Astrolabes, Cross-staffs, Backstaffs, Octants, Sextants, Quintants, Reflecting Circles and Artificial Horizons in the National Maritime Museum, Greenwich, Oxford, OUP*, 2009.

aéronautique<sup>36</sup>, etc. – apportent des réponses à nos problématiques qui ne se trouvaient, ni dans les manuels de cours, ni dans les articles de presse.

Enfin, rappelons que notre sujet d'étude emprunte à la fois au civil et au militaire. Nous avons de ce fait tiré profit de documents consultés à l'École nationale supérieure maritime de Saint-Malo et à la bibliothèque du Musée de l'air et de l'espace du Bourget ou sur différents sites (Vincennes, Brest, Lorient, Cherbourg) du Service historique de la Défense, tout comme de la lecture de la revue *Navigation* (Paris)<sup>37</sup>, depuis son premier numéro en janvier 1953, ou de la *Revue historique des Armées* dont quelques articles sont en lien avec nos problématiques.

## Plan de la thèse

Notre recherche, qui étudie la navigation de 1900 à 1940 dans sa dimension de transfert de la marine à l'aéronautique, comporte trois parties.

La première partie concerne exclusivement la navigation maritime entre 1900 et 1914. En effet, cette navigation répond à des règles précises apprises sur les bancs de l'école puis mises en pratique lors des embarquements. Il nous a paru indispensable de présenter, dans un premier chapitre, les lieux d'enseignement de cette navigation, tant à l'École navale que dans les écoles d'hydrographie, en mettant en lumière les acteurs principaux de la transmission de méthodes et de connaissances, et en extrayant des informations sur les compétences en mathématiques des élèves. Nous étudions ainsi successivement l'École navale et les écoles d'hydrographie qui sont confrontées à une série de réformes aux répercussions multiples sur l'enseignement. Dans un deuxième chapitre, nous mettons en avant, au travers de quatre manuels scolaires – ceux de Marguet, Constan, Guilhaumon et Cousin – publiés entre 1900 et

---

<sup>36</sup> Voir sur les relations entre média et publicité : EVENO P., « Médias et publicité : une association équivoque mais indispensable », *Le Temps des médias*, 2004/1 (n° 2), p. 17-27.

<sup>37</sup> Anonyme, « Les fonctions des tables de navigation », *Navigation* (Paris), n° 3 juillet 1953, pp.78-85. BAYLE M., « Quelques désirs du navigateur aérien en ce qui concerne la navigation astronomique », *Navigation* (Paris), n° 18, avril 1957, pp. 153-163. BODENEZ G., « Le problème de « Douwes » », *Navigation* (Paris), n° 153, janvier 1991, pp. 110-115. COMET P., « Evolution et aspect actuel de la navigation aérienne », *Navigation* (Paris), n° 1, janvier 1953, pp. 23-32. FANNING A.E., « La navigation astronomique depuis 1884 », *Navigation* (Paris), n° 133, janvier 1986, pp. 102-110. GIBOUIN E., « Une rétrospective sur les systèmes de navigation basés à terre », *Navigation* (Paris), n° 163, juillet 1993, pp. 406-411. HUGON P., « Comment navigue-t-on actuellement sur les navires français ? », *Navigation* (Paris), n° 1, janvier 1953, pp. 7-22. HUGON P., « Etude sur une conception nouvelle d'une table de point astronomique », *Navigation* (Paris), n° 60, octobre 1967, pp. 430-456. HUGON P., « Le point astronomique à la mer par deux observations simultanées – Le problème de Douwes », *Navigation* (Paris), n° 89, janvier 1975, pp. 47-60. LHEUREUX P., « Au sujet des tables de navigation destinées au calcul de l'angle horaire », *Navigation* (Paris), n° 12, octobre 1955, pp. 374-380. MACAIGNE J., « 11-15 mai 1930 La première liaison aéro-postale Toulouse-Santiago », *Navigation* (Paris), n° 152, octobre 1990, pp. 507-523. MANNEVY P., « Cinquante ans de navigation », *Navigation* (Paris), n° 202, avril 2003, pp. 83-105. MARCHAND P., « Points d'étoiles », *Navigation* (Paris), n° 8, octobre 1954, pp. 317-330. MAY K. et HOFGREN G., « Radionavigation aérienne et aides à l'atterrissage – Résultats d'une coopération internationale », *Navigation* (Paris), n° 100, octobre 1977, pp. 439-454.



1916, les notions de navigation et d'astronomie enseignées dans ces écoles et susceptibles d'être transférées à l'aéronautique.

L'aéronautique est présente dans la deuxième partie, qui s'étend de 1900 à la fin de la Première guerre mondiale. Elle traite de la naissance de la navigation aérienne et de ses emprunts à la marine, en mettant en exergue les innovations en termes de navigation. Dans un premier temps (chapitre 4), l'accent est mis sur la navigation aérienne avant le conflit en reprenant les thèmes développés pour la navigation maritime à savoir : la formation, la navigation à l'estime, la navigation astronomique. Nous comparons alors les pratiques nouvelles identifiées chez les aéronautes et les aviateurs à celles déjà éprouvées chez les marins. Dans un second temps (chapitre 5), nous analysons l'impact de la Première guerre mondiale sur les navigations maritime et aérienne.

La troisième partie, qui se situe dans l'entre-deux-guerres, se penche sur l'essor de la navigation aérienne. Un premier chapitre (chapitre 6), traite de la formation des navigateurs aériens de 1919 à 1940, le premier paragraphe analysant la situation dans les années 1920 et le second dans les années 1930. En effet, des formations adaptées à l'aéronautique se mettent progressivement en place pour préparer les candidats aux brevets de navigateur aérien (initiés dès 1919 et rendus obligatoires à bord des avions de transport public en 1930). Le deuxième chapitre (chapitre 7) de cette partie précise dans quelle mesure les méthodes et pratiques, issues de la Première guerre mondiale et de la période qui l'a précédée, sont perfectionnées par l'aéronautique entre novembre 1918 et 1928. Pour cela nous nous attachons à présenter dans un premier temps la navigation aérienne à bord des dirigeables de la marine française avant que ces « plus légers que l'air » ne soient supplantés par les avions et les hydravions. Nous examinons, dans un second temps, dans quelle mesure les connaissances en navigation aérienne des militaires et des marins ont eu un impact sur l'aviation commerciale naissante. Le troisième et dernier chapitre de cette partie (chapitre 8) traite de l'intégration de nouvelles pratiques et de nouvelles méthodes de navigation au sein de l'aviation entre 1928 et 1940. Nous étudions cette intégration selon trois angles. Dans un premier temps, nous mettons en avant les attentes des « chasseurs de records », la part des aviatrices dans la navigation aérienne scientifique, ainsi que celle des aviateurs de tourisme. Ensuite nous étudions les choix en matière de navigation de l'aviation militaire des années 1930 ainsi que l'importance de l'aviation coloniale dans l'utilisation de la navigation scientifique. Enfin, nous traitons de la navigation dans l'aviation marchande en présentant les méthodes appliquées chez Air France sur la ligne vers l'Amérique du Sud et sur les essais en vue de mettre en place la traversée commerciale de l'Atlantique Nord.



## Partie 1

Les méthodes, connaissances et pratiques en navigation maritime  
du début du XX<sup>e</sup> siècle au début de la Première guerre mondiale

## Préambule

Les méthodes, connaissances et pratiques de navigation maritime concernent à la fois la marine militaire et la marine marchande. La fin du XIX<sup>e</sup> siècle et le début du XX<sup>e</sup> siècle se caractérisent par l'abandon progressif des navires en bois au profit des navires à coque métallique (fer puis acier) propulsés par des moteurs. Les incidences de ces changements sur la navigation sont multiples. Nous en avons repéré trois.

Premièrement, la vitesse des navires de commerce et des bâtiments de guerre augmente. Les torpilleurs français mis en service dans les années 1890 dépassent déjà les 20 nœuds<sup>38</sup>. Cette vitesse est atteinte par les paquebots *La Lorraine* et *La Savoie* entrés en service à la Compagnie générale transatlantique en 1900 et 1901<sup>39</sup>. Même si tous les navires n'atteignent pas cette vitesse, elle est améliorée par les progrès techniques notamment en termes de matériaux (utilisation de l'acier doux pour les coques et réduction du poids des machines<sup>40</sup>). Les techniques de navigation doivent s'adapter à l'augmentation de la vitesse et la détermination de la position du navire doit elle-même gagner en rapidité. La « navigation par lieux géométriques », dans son interprétation par l'amiral Adolphe Marcq Saint-Hilaire<sup>41</sup>, permet d'apporter une réponse plus rapide au problème du point (voir chapitre 2). Paul Constan<sup>42</sup>, professeur d'hydrographie et auteur de tables graphiques, explique pourquoi des méthodes ayant été couramment employées au XIX<sup>e</sup> siècle sont abandonnées au début du XX<sup>e</sup> siècle au profit de méthodes plus performantes :

*Cette méthode [des distances lunaires] uniquement employée autrefois, a l'inconvénient d'être très longue et de ne pas permettre d'obtenir le point à un instant quelconque, ce qui est pourtant nécessaire avec les vitesses actuelles des navires : c'est pourquoi on lui substitue maintenant la méthode des droites de hauteur.*<sup>43</sup>

Ferdinand Souillagouët<sup>44</sup>, professeur d'hydrographie et auteur de tables abrégatives de calculs nautiques, justifie l'intérêt du recours à des méthodes de calcul plus rapides que l'utilisation des tables de logarithmes par la vitesse accrue des bâtiments. Il écrit en 1893 :

---

<sup>38</sup> Le torpilleur *Lancier* file à 25,794 nœuds lors d'essais en 1894, mais est moins rapide que des torpilleurs allemands, russes ou britanniques. CRONEAU A., « Les progrès récents de la marine », *Revue maritime et coloniale*, 1894, p. 450.

<sup>39</sup> Les Clippers, qui sont des bateaux de commerce à voile très rapides encore actifs au début du XX<sup>e</sup> siècle filent à environ 9 nœuds.

<sup>40</sup> CRONEAU A., *Op. Cit.*, p. 456.

<sup>41</sup> Adolphe Marcq de Blond de Saint-Hilaire (1832-1889).

<sup>42</sup> Paul Constan (1869 – ?).

<sup>43</sup> CONSTAN P., *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 2<sup>e</sup> partie, 1904, p. 216.

<sup>44</sup> Ferdinand Souillagouët (1851-1915).

« Actuellement, sur les navires à vapeur à grande vitesse il faut calculer fréquemment, de jour comme de nuit, pour contrôler sa route »<sup>45</sup>.



**Figure 1 : Paquebot La Lorraine de la Compagnie générale transatlantique.**<sup>46</sup>

Deuxièmement, la composition métallique des navires est elle-même source de transformations dans les méthodes de navigation. Diriger le navire selon un cap, ou déterminer la route qu'il suit, est basé sur l'utilisation du compas. Or le compas subit les actions magnétiques des masses métalliques. Le navigateur doit apprendre à gérer la déviation du compas en le compensant et en le réglant (voir chapitre 3).

Troisièmement, la dimension des navires s'accroît également. Certes la Marine française a longtemps hésité à s'engager dans la voie des gros tonnages. Elle préfère, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, privilégier le recours aux petites unités (torpilleurs et croiseurs), qui permettent de défendre les côtes françaises à faible coût, plutôt que les navires de lignes cuirassés. Cette doctrine dite de la « Jeune École » montre rapidement ses limites. En effet, la Marine française

---

<sup>45</sup> SOUILLAGOUËT F., *Tables du point auxiliaire*, Toulouse, Douladoure-Privat, 1894, p. XVI.

<sup>46</sup> DUMAS A., « Constructions navales. Les paquebots « Lorraine » et « Savoie » de la Compagnie générale Transatlantique », *Le Génie civil*, 16 novembre 1901, p. 33.

est incapable de faire face à la Royal Navy lors de la crise de Fachoda en 1899. Elle lance donc un programme de construction de cuirassés en 1900<sup>47</sup>.

La marine de commerce n'a pas la même prévention que les militaires à l'égard des navires de grandes dimensions, mais peut se trouver contrainte par les capacités des chantiers maritimes français<sup>48</sup>. De grand navires, rapides, effectuant de longs déplacements permettent d'espérer des gains compensant les frais plus importants à la construction et à la maintenance. C'est notamment le cas avec les paquebots transatlantiques de la Compagnie générale transatlantique<sup>49</sup> ou pour la Compagnie des messageries maritimes.

Selon leurs destinations et leurs tonnages couplés au souci de sécurité et aux exigences des assureurs maritimes<sup>50</sup>, les différentes catégories de navires justifient l'existence de plusieurs brevets de navigation (voir chapitre 1). Le décret du 9 août 1913 donne la liste des applications de ces brevets (voir tableau 1) :

|                         |                                                                                       | Brevet requis                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Commandements           | Navire de commerce armé au long cours.                                                | Brevet de capitaine au long cours.                                                                                                                                                                                                          |
|                         | Navire armé au cabotage (de plus de 5 000 tonneaux).                                  | Brevet de capitaine au long cours.                                                                                                                                                                                                          |
|                         | Navire armé au cabotage (de moins de 5 000 tonneaux).                                 | Brevet de capitaine au cabotage.<br>Brevet de lieutenant au long cours (réunissant les conditions d'âge et de navigation exigées des capitaines au cabotage).<br>Brevet de maître au cabotage (si le tonnage est inférieur à 700 tonneaux). |
|                         | Bâtiment à vapeur ou à propulsion mécanique armé au bornage (de plus de 10 tonneaux). | Brevet de patron au bornage.                                                                                                                                                                                                                |
| Officiers au long cours | Second (sur bâtiment de plus de 5 000 tonneaux).                                      | Brevet de capitaine au long cours.                                                                                                                                                                                                          |
|                         | Lieutenant (sur bâtiment de plus de 5 000 tonneaux).                                  | Brevet de lieutenant au long cours.<br>Brevet de capitaine au cabotage.                                                                                                                                                                     |
|                         | Second ou officier (sur bâtiment à vapeur de moins de 5 000 tonneaux).                | Brevet de lieutenant au long cours.<br>Brevet de capitaine au cabotage.                                                                                                                                                                     |

<sup>47</sup> Voir COUTAU-BEGARIE H., *Réflexion sur l'école française de stratégie navale*, [http://www.institut-strategie.fr/PN1\\_HCBREFLFRA.html#Note45](http://www.institut-strategie.fr/PN1_HCBREFLFRA.html#Note45), consulté le 13 août 2018.

<sup>48</sup> MARMOT B., « Le paradoxe de la construction navale dans la marine marchande en France de 1815 à 1914 », *Revue d'histoire maritime*, Presses de l'Université Paris-Sorbonne, n° 7, 2007, p. 183.

<sup>49</sup> CRONEAU A., *Op. Cit.*, p. 464.

<sup>50</sup> Le Bureau Véritas, société de classification des navires, installe son siège social à Paris en 1833.

|  |                                                             |                                                                                                                                                                                   |
|--|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Second (sur bâtiment à voile de moins de 5 000 tonneaux).   | Brevet de lieutenant au long cours.<br>Brevet de capitaine au cabotage.                                                                                                           |
|  | Officier (sur bâtiment à voile de moins de 5 000 tonneaux). | Brevet de lieutenant au long cours.<br>Brevet de capitaine au cabotage.<br>Brevet de maître au cabotage.<br>Diplôme d'élève de la marine marchande (ayant 18 mois de navigation). |

**Tableau 1 : conditions d'application des brevets et diplômes en 1913.**<sup>51</sup>

Ce tableau (voir tableau 1) illustre l'incidence de la jauge des navires sur le brevet requis par les officiers et par là même sur ses connaissances en navigation. En effet, le programme en navigation de l'examen de capitaine au long cours est plus poussé que celui des brevets inférieurs (voir chapitre 1).

---

<sup>51</sup> Tableau établi d'après le titre I du décret du 9 août 1913. *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 9 août 1913, p. 7182.





# Chapitre 1

## Une formation bicéphale du monde maritime en matière de navigation

### Introduction

Les officiers de marine militaire et marchande sont respectivement formés à l'École navale et dans les écoles d'hydrographie. Ces deux lieux vivent des réformes profondes au début du XX<sup>e</sup> siècle.

La Marine cherche à élargir l'assiette de recrutement des futurs officiers en simplifiant notamment le programme de mathématiques au concours d'entrée à l'École navale. D'autre part, la localisation de l'École navale au large de Brest à bord d'un navire nommé le *Borda*<sup>52</sup> est remise en cause. En effet, le système de l'école embarquée, s'il peut être avantageux pour les cours pratiques, ne semble plus adapté à l'enseignement théorique prodigué à l'École navale. Cependant, malgré les réformes, l'astronomie et la navigation, avec les cours pratiques de calculs nautiques en complément, y restent « le fondement même de l'instruction professionnelle »<sup>53</sup>.

Les écoles d'hydrographie bénéficient également de nombreuses réformes. À partir de 1906, leur fonctionnement est durablement transformé. En 1908, plusieurs professeurs sont ainsi officialisés dans un même établissement. Le professeur d'hydrographie, le plus souvent ancien élève de l'École navale, n'est plus seul pour enseigner aux futurs cadres de la marine marchande, dont les niveaux initiaux de formation sont hétérogènes.

C'est également à ce moment que beaucoup d'acteurs de notre récit, issus du monde maritime, sont formés. Des enseignants de l'École navale ou des professeurs dans les écoles d'hydrographie publient des ouvrages de cours de navigation et d'astronomie ou mettent au point des instruments de navigation.

Quelques questions se dégagent alors : la formation en navigation à l'École navale et dans les écoles d'hydrographie est-elle de même nature ? Quelles différences et points communs existe-t-il entre les élèves de ces écoles ? Enseigne-t-on de la même manière à l'École navale et dans les écoles d'hydrographie ? Pourquoi et en quoi les enseignants de l'École navale et les écoles d'hydrographie sont-ils essentiels dans la circulation des méthodes et des connaissances en navigation ?

---

<sup>52</sup> En hommage au navigateur et mathématicien français Jean-Charles de Borda (1733-1799).

<sup>53</sup> GOURGUECHON A., « L'École Navale française », *Armée et Marine*, 6 avril 1902, p. 261.

Nous apporterons des réponses à ces questions en étudiant successivement l'École navale et les écoles d'hydrographie tant d'un point de vue humain qu'institutionnel au travers notamment de deux articles rédigés par deux professeurs à l'École navale (Auguste Gourguechon et Camille Vallaux) ainsi que d'articles de l'*Ouest-Éclair* de cette époque et des textes parus au *Journal Officiel de la République Française*.

### A) Des officiers de la Marine formés à Brest à bord du *Borda*

L'École navale est le haut lieu de la transmission des savoirs aux marins se destinant aux carrières militaires de commandement. Il s'agit de préparer les élèves à « manœuvrer un navire ou à conduire un équipage au feu »<sup>54</sup> comme l'indique Ferdinand Auguste Gourguechon, professeur d'histoire à l'École navale, dans un article de 1902 de la revue hebdomadaire *Armée et Marine*.

#### 1) Des conditions d'admission qui évoluent au tournant du XX<sup>e</sup> siècle

L'enseignement naval à Brest va connaître, comme d'autres enseignements, une période de réformes au tournant du XX<sup>e</sup> siècle. Les luttes entre républicains et cléricaux sous la III<sup>e</sup> République s'y expriment. Pour les commentateurs, il s'agit de couper l'herbe sous les pieds des congrégations religieuses. Ils citent notamment l'École de la Marine (ancienne école préparatoire à l'École navale de Sainte-Geneviève) ouverte à Jersey en octobre 1881 par les jésuites en exil et dont les excellents résultats ne pouvaient qu'alarmer les députés républicains : « au total, de 1882 à 1900, sur 1586 admis à Navale, 337 (21,2%) proviennent de Jersey, dont une quinzaine d'amiraux »<sup>55</sup>.

*La réforme qui abaisse les exigences en mathématiques au concours d'entrée à l'École navale en juin 1900 a aussi une portée politique. Cette mesure s'inscrit à la fois dans la logique de laïcisation et de démocratisation du recrutement. Laïcisation, car les mathématiques sont le domaine d'excellence des Jésuites, celui grâce auquel leurs élèves font la différence. Démocratisation, car en recrutant sur la base de mathématiques élémentaires, on peut ainsi élargir l'assiette des candidats et donc recruter au-delà des seules « flottes » – ou classes préparatoires à l'École navale – concentrées dans les ports ou à Paris.*<sup>56</sup>

---

<sup>54</sup> GOURGECHON A., *Op. Cit.*, p. 263.

<sup>55</sup> CABANEL P., « La république contre les catholiques ? », *Serviteurs de l'État. Une histoire politique de l'administration française, 1875-1945*, 2000, p. 174.

<sup>56</sup> MARTINANT DE PRÉNEUF J., « La politique de républicanisation de la Marine à la belle Époque », *Revue d'histoire maritime* n°14, 2011, p. 47.

Une commission, constituée le 5 mai 1900 par le ministre de la Marine, est chargée de réfléchir à la révision des programmes d'admission à l'École navale et des programmes d'étude des écoles de la Marine. Les officiers généraux et supérieurs et les professeurs de l'Université qui la composent, se réunissent le 11 mai, fournissent leurs conclusions le 2 juin et approuvent le rapport en séance plénière le 23 juin de manière à ce que « le nouveau programme de concours d'entrée à l'école navale soit appliqué dès 1901 »<sup>57</sup>. La commission ne justifie pas, bien entendu, la réforme par des objectifs de laïcisation du recrutement, mais met l'accent sur un système archaïque qui restreint « le nombre des vocations dont la marine aurait pu profiter »<sup>58</sup>. Pour améliorer le recrutement, elle propose d'aligner les connaissances mathématiques demandées au concours d'entrée à l'École navale sur celles de la classe de mathématiques élémentaires.

Établissons donc un état des lieux des conditions d'admission à l'École navale avant 1900 à des fins de comparaison.

Le ministère de la Marine propose chaque année un certain nombre d'admissions à l'École navale (entre une cinquantaine et une centaine de places). Les jeunes Français âgés de seize à dix-huit ans<sup>59</sup>, qui se présentent au concours, passent une série d'épreuves écrites et éventuellement des épreuves orales. Le *Journal Officiel*<sup>60</sup> donne la répartition des séances de compositions écrites qui se déroulent sur trois jours. La matinée du premier jour est consacrée à une composition d'arithmétique et d'algèbre de trois heures et demie. L'après-midi de ce premier jour sert pour un thème d'anglais d'une heure et demie et peut être prolongée par une version allemande facultative d'une heure. Le lendemain matin est réservé aux trois heures de composition française. Puis le candidat retrouve les mathématiques l'après-midi avec une épreuve de « géométrie cotée » de deux heures et demie suivie, après une pause d'une demi-heure, d'une heure de « calcul trigonométrique » (pour lequel le candidat pourra faire usage d'une table de logarithmes). Les mathématiques reviennent dans la matinée du troisième jour avec une « composition de géométrie et de géométrie analytique » de trois heures et demie. Enfin, l'après-midi du troisième jour est réservée à une composition de deux heures de dessin. La note écrite finale est obtenue en appliquant les coefficients suivants qui mettent en évidence l'importance des mathématiques : français (coefficient 6), anglais (coefficient 4), dessin (coefficient 2), arithmétique et algèbre et trigonométrie rectiligne (coefficient 9), géométries

---

<sup>57</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 28 juin 1900, p. 4152.

<sup>58</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets, Op. Cit.* p. 4150.

<sup>59</sup> Les conditions d'âge évoluent légèrement avec la réforme. Le décret du 27 novembre 1895 les fixe à 15 ans au moins et ne pas avoir atteint 18 ans le 1<sup>er</sup> janvier du concours.

<sup>60</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 11 novembre 1897, p. 6294-6304.

(coefficient 9). Ces épreuves écrites seront suivies d'épreuves orales pour les meilleurs candidats. Les matières au programme des examens oraux sont réparties entre les deux examinateurs de lettres et les deux examinateurs de sciences nommés par le ministre de la Marine<sup>61</sup>. Le premier examinateur de lettres interroge en anglais (coefficient 5), en histoire (coefficient 6) et en géographie (coefficient 4). Le deuxième examinateur de lettres interroge en français (coefficient 6) et en latin (coefficient 7). Le premier examinateur de sciences interroge en géométrie et en géométrie cotée (coefficient 8), en géométrie analytique (coefficient 7) puis en physique et chimie (coefficient 6). Le dernier examinateur interroge en arithmétique (coefficient 6), en algèbre (coefficient 10) et en trigonométrie (coefficient 5). Là encore, la part des sciences est prépondérante sur celle des lettres (42 points de coefficient contre 28). Finalement, les sciences (dont principalement les mathématiques) représentent 60% des épreuves d'admission à l'École navale. Il est donc compréhensible qu'une préparation renforcée en mathématiques, comme le proposent les jésuites de Jersey, est un atout. D'autant que le programme de mathématiques est conséquent<sup>62</sup>, à l'image des autres concours d'entrée dans d'autres « grandes écoles (scientifiques) »<sup>63</sup>.

## GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE

### *Géométrie plane*

*Coordonnées rectilignes. Représentation de lignes planes par des équations. – Transformation des coordonnées. – Coordonnées du point qui divise un segment de droite, dans un rapport donné. – Distance de deux points ; équation du cercle.*

*Théorie analytique de la ligne droite.*

*Discussion de l'équation générale du second degré. – Classification des courbes du second ordre. – Réduction de l'équation générale du second degré par la transformation des coordonnées.*

*Etude sommaire des courbes du second ordre sur les équations réduites. – Cercles. – Ellipse : diamètres et centre ; diamètres conjugués, tangente et normale ; foyers et directrices. – Hyperbole : diamètres et centre ; diamètres conjugués, tangente et normale ; asymptotes ; foyer et directrice. – Parabole rapportée à un diamètre et la tangente menée à l'extrémité de ce diamètre.*

<sup>61</sup> En 1900, la commission d'examen est constituée pour les sciences de M. Guyou, membre de l'institut et de M. Simart, docteur ès sciences.

<sup>62</sup> Le *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets* du 11 novembre 1897 consacre quatre colonnes aux connaissances exigées pour les examens oraux.

<sup>63</sup> « grandes écoles (scientifique) » est reprise dans l'acception proposée par Bruno Belhoste dans son article « La préparation aux grandes écoles scientifiques au XIX<sup>e</sup> siècle : établissements publics et institutions privées », *Histoire de l'éducation*, 90/2001, p. 101.

*Coordonnées polaires. – Leur transformation en coordonnées rectilignes. – Equation de la ligne droite. – Equation du cercle. – Equation des coniques lorsqu'on prend pour axe polaire l'axe focal et pour pôle un foyer ou le centre.*

*Applications simples des théories précédentes à la recherche des lieux géométriques.*

#### *Géométrie dans l'espace*

*Coordonnées rectilignes. – Formules de transformation. – Cas où les deux systèmes d'axes sont rectangulaires ; formule d'Euler.*

*Exprimer les coordonnées  $x$   $y$   $z$  d'un point d'une figure plane en fonction des coordonnées  $x'$   $y'$   $z'$  de ce point, relatives à deux axes rectangulaires situés dans le plan de la figure. – Distance de deux points. – Equation de la sphère.*

*Equation du plan ; équation de la ligne droite ; angle de deux droites ; droite et plan perpendiculaires ; angle de deux plans ; angle d'une droite et d'un plan, en supposant les coordonnées rectangulaires pour toutes les questions relatives aux angles et aux distances.*

**Extrait 1 : Extrait du programme des connaissances exigées pour les examens oraux d'entrée à l'École navale en 1898 (géométrie analytique) correspondant approximativement au sixième des connaissances en mathématiques exigées.<sup>64</sup>**

Il ressort, de ces épreuves et du programme assorti, que le niveau en mathématiques des candidats à l'entrée de l'École navale doit être élevé. Toutefois, Gourguechon écrit dans son article de 1902 : « ce qui attire la jeunesse vers la marine, qui oserait soutenir que ce soit le goût des sciences ? »<sup>65</sup>. Les élèves ont acquis des connaissances en mathématiques mais n'ont pas obligatoirement un « esprit scientifique ».

La commission de révision des programmes pouvait donc, légitimement, vouloir modifier le programme d'admission notamment en sciences. Le contre-amiral Ignouf et le professeur Émile Bourgeois, en tant que rapporteurs de la commission, écrivent à ce propos : « La commission est d'avis que le programme du concours pour l'admission à l'école navale doit être établi de manière à permettre aux candidats de se présenter au dit concours sans préparation spéciale »<sup>66</sup> c'est-à-dire sans passer par une classe préparatoire essentiellement privée. Et « par cette décision elle [la commission] a entendu poser un principe nouveau, celui d'une concordance la plus étroite possible, entre les programmes d'admission et les études

---

<sup>64</sup> Les candidats sont interrogés sur ce qui est appelé « géométrie », sur la « géométrie cotée » et sur la « géométrie analytique » (dont j'ai reproduit le programme), mais pas sur la « géométrie projective » qui ne sera au programme qu'à partir des admissions de 1900 (comme le précise le *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets* du 10 décembre 1898 p. 7443).

<sup>65</sup> GOURGUECHON A., *Op. Cit.*, p. 250.

<sup>66</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 28 juin 1900, p. 4151.

d'une classe comprise dans la série régulière des lycées »<sup>67</sup>. Ils espèrent ainsi « retarder la spécialisation des jeunes gens qui se destinent à l'école navale, de manière qu'ils aient plus de temps pour acquérir dans les établissements d'instruction une bonne éducation générale d'abord »<sup>68</sup>. Les rapporteurs concluent leur paragraphe en écrivant que « le programme d'admission à l'école navale, en principe et en fait, sera constituée par les connaissances qu'un jeune homme de dix-sept ans en moyenne est supposé avoir acquises après un cours régulier d'études classiques ou modernes, et une année de mathématiques élémentaires »<sup>69</sup>. De ce fait, les candidats ne seront plus interrogés sur la géométrie analytique (voir tableau 2) ni sur « certains compléments d'algèbre qui figurent au programme actuel »<sup>70</sup>. Mais, comme la cosmographie fait partie intégrante des cours dispensés à l'École navale, il n'a pas semblé utile de l'inclure dans le programme d'admission alors qu'elle est enseignée en classe de mathématiques élémentaires.

### *Écrit*

|                              | <i>Coefficients en 1900</i> | <i>Coefficients proposés par la commission de révision et appliqués en 1901</i> |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Français</i>              | 6                           | 6                                                                               |
| <i>Anglais</i>               | 4                           | 4                                                                               |
| <i>Dessin</i>                | 2                           | 3                                                                               |
| <i>Arithmétique</i>          | 8                           | 8                                                                               |
| <i>Algèbre</i>               |                             |                                                                                 |
| <i>Trigonométrie</i>         |                             |                                                                                 |
| <i>Géométrie</i>             | 8                           | 8                                                                               |
| <i>Géométrie descriptive</i> |                             | Supprimé                                                                        |
| <i>Géométrie analytique</i>  |                             |                                                                                 |
| <i>Physique</i>              | 3                           | 4                                                                               |

### *Oral*

|                          | <i>Coefficients en 1900</i> | <i>Coefficients proposés par la commission de révision et appliqués en 1901</i> |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Français</i>          | 6                           | 5                                                                               |
| <i>Anglais</i>           | 5                           | 4                                                                               |
| <i>Latin ou allemand</i> | 5                           | 4                                                                               |
| <i>Histoire</i>          | 6                           | 6                                                                               |
| <i>Géographie</i>        | 6                           | 6                                                                               |
| <i>Arithmétique</i>      | 6                           | 4                                                                               |
| <i>Algèbre</i>           | 9                           | 8                                                                               |

<sup>67</sup> *Ibid.*

<sup>68</sup> *Ibid.*

<sup>69</sup> *Ibid.*

<sup>70</sup> *Ibid.*

|                       |   |          |
|-----------------------|---|----------|
| Trigonométrie         | 5 | 4        |
| Géométrie             | 7 | 10       |
| Géométrie descriptive | 4 | 4        |
| Géométrie analytique  | 4 | Supprimé |
| Mécanique et statique |   | 3        |
| Physique              | 6 | 5        |
| Chimie                |   | 4        |
| Histoire naturelle    |   | 2        |

Tableau 2 : Comparaison entre les coefficients des matières pour l'examen d'entrée à l'École navale avant et après la réforme selon le rapport de la commission de révision des programmes en 1900.<sup>71</sup>

Il est à noter, en comparant les différents coefficients (voir tableau 2) que la part des mathématiques diminue après la réforme. Mais les rapporteurs de la commission préviennent :

*L'intention de la commission n'était pas d'affaiblir chez les futurs officiers de marine l'instruction mathématique, la pratique de la géométrie surtout et des sciences de calcul qui toute leur vie leur seront d'un usage constant. Mais elle a pu (...) établir ainsi l'utilité d'une éducation scientifique complète et comprenant l'étude des sciences expérimentales, telle qu'on l'acquiert dans une bonne classe de mathématiques élémentaires.*<sup>72</sup>

Les réformes prévues ne manquent cependant pas d'inquiéter le milieu maritime. La presse régionale s'en fait l'écho dès le 16 juin 1900 (soit avant la parution du rapport de la commission au *Journal Officiel* le 28 juin 1900). Il y est écrit, à propos des programmes d'admission : « [il] nous semble difficile de les approuver sans réserve »<sup>73</sup>. Les correspondants reconnaissent qu'il y a une crise du recrutement mais émettent des doutes quant aux résultats obtenus par une « simplification du programme d'entrée ». Ils mettent en avant la baisse d'attractivité de la carrière maritime militaire « si les familles montrent moins d'empressement à diriger les jeunes gens vers le *Borda*, ce n'est pas uniquement, ni même principalement, par peur du programme d'entrée. C'est plutôt parce que la carrière d'officier de marine leur paraît moins enviable qu'autrefois »<sup>74</sup>. En outre, les correspondants s'inquiètent de la baisse du niveau des candidats en mathématiques :

*Il est permis de se demander si les élèves entrés à l'Ecole navale sans préparation spéciale seront en état de suivre profitablement tous les cours. Il est vrai qu'on pourra ajouter aux cours actuels des cours complémentaires destinés à combler*

<sup>71</sup> Tableau établi à partir des informations du *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 28 juin 1900, p. 4151.

<sup>72</sup> *Ibid.*

<sup>73</sup> *Ouest-Éclair*, 16 juin 1900.

<sup>74</sup> *Ibid.*

*les lacunes de la préparation ; mais alors la somme de travail que les élèves de l'Ecole navale auront à fournir en deux ans deviendra tellement excessive qu'on se trouvera amené à prolonger leur séjour.*<sup>75</sup>

Mais tout ceci apparaît plutôt comme une peur du changement, présente à chaque réforme (bonne ou mauvaise), que d'un véritable problème. D'ailleurs les acteurs de la commission de révision des programmes n'avaient pas d'intérêt à affaiblir le niveau mathématique des officiers de marine comme ils l'ont souligné.

## 2) Que se passe-t-il à bord du *Borda* ?

Quittons maintenant cette polémique sur la réforme de l'admission à l'École navale au début du XX<sup>e</sup> siècle pour décrire ce qui se passe pour le jeune homme qui a su se faire ouvrir les portes de l'école pour devenir « bordache ». L'élève qui a été reconnu apte physiquement et qui s'est acquitté des frais (en 1898 : 700 F de frais de pension par an et 1 000 F environ de frais de trousseau pour les deux années) est prêt à suivre deux années d'enseignements théoriques et pratiques à bord du vaisseau-école *Le Borda*<sup>76</sup>. De 1890 à 1913, il s'agit de l'ex *Intrépide*, un navire à propulsion mixte à voile et à vapeur qui, comme le précise Gourguechon, est « un des derniers spécimens de la vieille marine »<sup>77</sup>. Il a été réaménagé en école et reste ancré dans la rade de Brest, où il « est mouillé par 20 mètres de fond, à 1 mille environ de l'entrée du port de guerre, à un demi-mille de l'endroit de la côte le plus rapproché, à l'extrémité de la rade-abri »<sup>78</sup>. Cette école embarquée, qui existe depuis 1830, vit ses dernières heures à la veille de la Première guerre mondiale. Les rapporteurs de la commission de révision des programmes écrivent dès 1900 :

*Si (...) pour l'enseignement pratique, une école navale à terre et à proximité de la mer, comme les écoles de l'Angleterre et des Etats-Unis, peut très bien suffire, la commission a pensé que l'enseignement théorique de l'école y gagnerait de ne plus subir la gêne matérielle des conditions défectueuses de l'installation actuelle. Elle a émis en conséquence, le vœu unanime que notre école navale fût installée prochainement à terre et sur le rivage de la mer.*<sup>79</sup>

Quelques années seront nécessaires pour établir les modalités du déménagement, mais l'installation définitive à terre sera effective, à Laninon dans l'arsenal de Brest, à partir de la fin

---

<sup>75</sup> *Ibid.*

<sup>76</sup> 4<sup>ème</sup> navire à porter le nom de l'officier de marine et mathématicien Jean-Charles de Borda.

<sup>77</sup> GOURGUECHON A., *Op. Cit.*, p. 251.

<sup>78</sup> *Ibid.*

<sup>79</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 28 juin 1900, p. 4152.



de l'année 1915. Et, bien que les conditions d'enseignement à bord ne semblent pas optimales pour tous, nous allons les découvrir en suivant les pas de Gourguechon, qui paraît un fervent adepte de l'école embarquée malgré ses précautions de langage (« la suppression du Borda et l'installation de l'Ecole à terre semble décidées en principe. Il ne nous appartient ni de défendre ni de critiquer cette mesure. Nous avons seulement exposé les raisons de ce qui existe actuellement »<sup>80</sup>).

Gourguechon, qui propose une visite détaillée du *Borda* au lecteur d'*Armée et Marine*, précise que les élèves de première année (les « fistôts » ou « seconde division ») disposent d'une salle à la « batterie supérieure » qui sert à la fois de salle d'étude (munie de tableaux noirs) et de dortoir (pouvant accueillir les hamacs pour la nuit). Les élèves de seconde année bénéficient également des mêmes installations, dans la batterie située en-dessous de la batterie des élèves de première année. À ces salles d'étude s'ajoutent deux salles permettant aux élèves d'assister à des conférences et servant de bibliothèque. Gourguechon présente les « amphithéâtres », qui sont situés au même niveau que la « batterie des fistôts », par ces mots :

*Les amphithéâtres, au nombre de deux, sont contigus, séparés seulement par des panneaux mobiles, ce qui permet de réunir au besoin les deux promotions pour certaines conférences communes. Ils occupent la hauteur de deux batteries. En face des gradins, au-dessus du tableau noir, des écussons portent les noms des élèves sortis premiers de l'Ecole et de ceux qui ont été tués à l'ennemi. (...) L'aménagement de la bibliothèque offre un nouvel exemple d'ingéniosité suggéré par le manque de place. Elle est établie en partie sous les gradins des amphithéâtres.*<sup>81</sup>

L'exiguïté des lieux, qui justifie en partie les remarques sur la « gêne matérielle » faites par la commission de révision, n'empêchent pas plus de cinq cent personnes de cohabiter à bord du *Borda*. Gourguechon détaille la qualité de ces personnes :

*Le personnel de l'Ecole navale ne compte pas moins de trois cent trente-quatre personnes, c'est-à-dire qu'il est plus nombreux que les élèves eux-mêmes, qui sont actuellement cent deux dans la première division, quatre-vingt-deux dans la seconde.*

*Il se décompose comme suit :*

*Un capitaine de vaisseau, commandant ; un capitaine de frégate, second ; un commissaire de 1<sup>re</sup> classe, trésorier ; un médecin principal et deux médecins de seconde classe ; un aumônier ; un agent comptable, économe ; vingt-quatre professeurs, militaires ou civils.*

---

<sup>80</sup> GOURGUECHON A., *Op. Cit.*, p. 250.

<sup>81</sup> GOURGUECHON A., *Op. Cit.*, p. 252.

Viennent ensuite :

*Vingt-huit maitres ou assimilés ; vingt et un second maitres ; deux cent quarante et un quartier-maitres et marins, mécaniciens, hommes d'équipage ou servant d'élèves ; plus douze employés civils, cuisiniers, maitres d'hôtel et domestiques d'officiers.*<sup>82</sup>

Ces quelques lignes montrent bien l'importance de l'effectif du personnel à bord du *Borda* en 1902. Il sera d'ailleurs intéressant de le comparer avec celui très restreint des écoles d'hydrographie à la même époque. Il n'est cependant pas certain que la densité de population à bord du navire ait toujours été aussi élevée. Le tableau suivant (voir tableau 3) donne une bonne idée du nombre d'élèves de première année et de l'encadrement :

| <i>Année</i> | <i>Nombre d'élèves à admettre à l'École navale (sources : Journal officiel et presse)</i> | <i>Encadrement identifié (source : espace tradition de l'École navale)</i> |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1897         | 76                                                                                        | 29                                                                         |
| 1898         | Probablement 65                                                                           |                                                                            |
| 1899         |                                                                                           | 30                                                                         |
| 1900         | 101                                                                                       | 30                                                                         |
| 1901         | 80                                                                                        | 32                                                                         |
| 1902         | 70                                                                                        | 33                                                                         |
| 1903         | 60                                                                                        | 33                                                                         |
| 1904         | 52                                                                                        | 32                                                                         |
| 1905         | 50                                                                                        |                                                                            |
| 1906         |                                                                                           | 32                                                                         |
| 1907         | 50                                                                                        |                                                                            |
| 1908         |                                                                                           | 28                                                                         |
| 1909         |                                                                                           | 28                                                                         |
| 1911         |                                                                                           | 29                                                                         |
| 1912         |                                                                                           | 31                                                                         |
| 1913         | 65 réévalué à 80                                                                          | 32                                                                         |

**Tableau 3 : Nombre de places d'élèves de première année ouvertes à l'École navale de 1897 à 1913 et personnel d'encadrement correspondant.**

Revenons maintenant sur l'une des catégories de personnel qui nous intéresse particulièrement : le corps enseignant :

*Le corps enseignant comprend deux catégories : les officiers, les professeurs. Chacune de ces catégories peut se diviser elle-même en deux groupes : les officiers chargés des cours pratiques et les officiers-professeurs ; les professeurs de la marine et les professeurs de l'Université. Tous les officiers sont au choix du commandant, les professeurs au choix du Ministre.*

<sup>82</sup> GOURGUECHON A., *Op. Cit.*, pp. 257-258.

*Les officiers des cours pratiques sont des lieutenants de vaisseau ou des mécaniciens, nommés pour une période de deux ans renouvelable une fois.*

*Les officiers-professeurs sont des lieutenants de vaisseau, ou exceptionnellement des enseignes, chargés des grands cours techniques ou scientifiques ; ils peuvent rester en fonction pendant un assez grand nombre d'années, jusqu'au jour de leur promotion au grade de capitaine de frégate. Un ingénieur des constructions navales, professeur de machines à vapeur, se rattache à ce groupe. Les professeurs de la marine forment un corps spécial qui jouit de l'état d'officier dans les conditions de la loi de 1834 ; supprimé en principe depuis 1887, il doit disparaître par voie d'extinction.*

*Les professeurs de l'Université sont empruntés pour un temps indéterminé au personnel de l'enseignement secondaire (...).*<sup>83</sup>

Un corps aussi conséquent se justifie par une formation multiforme des élèves comme l'expose Gourguechon :

*Que ne demande-t-on pas, de nos jours, à un officier de vaisseau ? Sans quitter son bord, il est tour à tour, sinon en même temps, manœuvrier, officier des montres, canonnier, fusilier, torpilleur, électricien (...)*

*Il n'est pas surprenant, dans ces conditions, que le programme des études à l'Ecole navale soit très varié, très chargé. Rien d'inutile pourtant : les cours même qui portent sur les connaissances générales, sont faits, autant que possible, en vue d'application des sciences à la marine.*<sup>84</sup>

Et un peu plus loin, il précise les cours qui vont retenir notre attention :

*Les grands cours scientifiques sont : l'analyse et la mécanique, la physique et la chimie, l'astronomie et la navigation, l'architecture navale, les machines à vapeur. (...) L'astronomie et la navigation sont – est-il besoin de le dire ? – le fondement même de l'instruction professionnelle. Ces deux cours ont comme complément un cours pratique dit de calculs nautiques.*<sup>85</sup>

Cette instruction professionnelle, d'astronomie, de navigation et de pratique des calculs nautiques est essentielle. Elle doit permettre aux officiers de marine d'être des praticiens efficaces de la navigation maritime mais également des vecteurs de transmission de ces connaissances.

---

<sup>83</sup> GOURGUECHON A., *Op. Cit.*, p. 259.

<sup>84</sup> GOURGUECHON A., *Op. Cit.*, p. 261.

<sup>85</sup> *Ibid.*

Toutefois, il leur faut d'abord suivre les cours pendant deux ans. L'article de Gourguechon en présente là encore le fonctionnement :

*Les divers cours comportent (...) un nombre déterminé de conférences, en général trois par quinzaine, variant, comme durée, d'une heure à une heure et demie, et dans la mesure du possible, des travaux écrits et des exercices pratiques. Les professeurs rédigent, en outre, des feuilles qui sont le résumé de leur enseignement.*

*Les élèves sont interrogés sur chaque cours trois fois par semestre, à des dates fixées d'avance. Tous les exercices, devoirs écrits ou colles, donnent lieu à autant de notes, dont les moyennes, multipliées par le coefficient du cours servent à établir les classements semestriels.*<sup>86</sup>

Plusieurs conférences sont consacrées aux notions nécessaires à la navigation. L'enseignement de l'astronomie donne lieu à 42 conférences uniquement en première année. La navigation, à proprement parler, est enseignée lors de 14 conférences en première année et 34 en deuxième année auxquelles s'ajoutent un enseignement pratique en première et deuxième année. Enfin, l'étude du compas est intégrée à un ensemble de 25 conférences en deuxième année<sup>87</sup>. Il convient d'ajouter les « examens de fin d'année » à ce contrôle continu. Ceux-ci se déroulent de la fin juin à la fin septembre. Les élèves de première année partent ensuite pour la campagne d'été à l'issue de ces examens et les élèves de deuxième année (devenus « midships ») prennent un congé de deux mois puis embarquent sur le *Duguay-Trouin*, le vaisseau-école d'application.

### 3) Quelques enseignants « remarquables »

Parmi les enseignants du début du XX<sup>e</sup> siècle (et à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle), quelques noms méritent notre attention.

Tout d'abord deux d'entre eux sont clairement identifiés comme professeurs d'hydrographie et sont en charge des cours d'astronomie et de navigation. Si Jean Réveille<sup>88</sup> (professeur d'hydrographie de 1906 à 1909) n'a pas laissé de traces marquantes, ce n'est pas le cas de René Mesny<sup>89</sup>. Ce professeur d'architecture navale de 1901 à 1904, puis professeur

---

<sup>86</sup> GOURGUECHON A., *Op. Cit.*, p. 262.

<sup>87</sup> MINISTÈRE DE LA MARINE ET DES COLONIES, *Bulletin officiel de la Marine*, Paris, Imprimerie nationale, 1912, N25 T125, pp. 313-321.

<sup>88</sup> Les informations sur cet enseignant de l'École navale ainsi que sur les autres personnes ayant été enseignants ou élèves de l'École navale ont comme source principale l'espace tradition de l'École navale : <http://ecole.nav.traditions.free.fr>, pages consultées le 13 août 2018.

<sup>89</sup> René Mesny (1874-1949).

d'hydrographie de 1905 à 1914, s'intéresse au le développement de la radiogoniométrie auprès de Gustave Ferrié<sup>90</sup> (voir chapitre 5).

Il est difficile de repérer la spécialité de chaque lieutenant de vaisseau à bord du *Borda*, toutefois plusieurs d'entre eux sont des acteurs de la diffusion de méthodes et instruments de navigation. Émile Guyou<sup>91</sup> enseigne l'astronomie, les calculs nautiques et la théorie du navire de 1880 à 1886 après avoir fait partie de la promotion de 1860. Sa contribution aux sciences nautiques s'étale sur de nombreuses années. Le vice-amiral Fournier indique dans sa *Notice sur le Commandant Émile Guyou* que Guyou, alors jeune officier, profite de ses moments de loisirs depuis la sortie de l'École navale pour compléter ses connaissances, puis sollicite une place de professeur à bord du *Borda* afin de pouvoir se consacrer davantage à l'étude :

*Dès lors, il suivit passionnément cette branche sédentaire, mais laborieuse et féconde, de sa carrière maritime, dans laquelle il illustra son nom, en digne continuateur de Borda, par ses remarquables cours sur l'Astronomie, les Calculs nautiques et la Théorie du Navire, dont il posait alors les bases pour en développer ensuite, magistralement, les principes, dans de nombreuses publications.*<sup>92</sup>

Il continue à publier alors qu'il est chargé des instruments nautiques à la direction du Service hydrographique de Paris à partir de 1886 et membre de l'Académie des sciences à partir de 1894. Ses ouvrages concernent différents domaines. Remarquons ceux de la catégorie « astronomie et calculs nautiques » avec notamment ses tables de poche (voir chapitre 3). Guyou s'est également beaucoup intéressé aux instruments auxquels il a consacré notamment le *Manuel des instruments nautiques* plusieurs fois réédité depuis 1899. Fournier met en avant cet intérêt puisqu'il écrit en 1921 à propos de l'horizon gyroscopique de l'amiral Georges Fleuriais (voir chapitre 3) :

*Guyou avait vu, de bonne heure, l'intérêt de l'instrument de Fleuriais, qui est employé aujourd'hui de plus en plus dans la marine et qui paraît destiné à jouer un rôle dans la navigation aérienne.*<sup>93</sup>

La carrière scientifique du professeur suivant est moins impressionnante, mais Georges Friocourt<sup>94</sup> a marqué des générations de marins et d'aviateurs. En effet, s'il enseigne en tant que professeur de calculs nautiques de 1894 à 1897, il est avant tout connu comme l'auteur des fameuses tables de calculs nautiques dites « de Friocourt » (voir chapitre 3). Il est possible que

---

<sup>90</sup> Gustave Ferrié (1868-1932).

<sup>91</sup> Émile Guyou (1843-1915).

<sup>92</sup> FOURNIER F.-E., *Notice sur le Commandant Émile Guyou*, Publications de l'Institut n°8, 1921, p. 2.

<sup>93</sup> FOURNIER F.-E., *Op. Cit.*, p. 8.

<sup>94</sup> Georges Friocourt (1865-1929).

ses recherches aient été inspirées par les tables de Guyou dont il a suivi les cours à partir de 1881. Il est de même tout à fait imaginable que Friocourt ait fait tester ses calculs par les « bordaches » avant de publier son propre ouvrage chez Augustin Challamel en 1899. Gourguechon, présentant le contenu des cours de calculs nautiques, ne cite toutefois pas encore cette table en 1902 :

*Les calculs nautiques ne sont que le complément et l'application du cours d'astronomie et navigation. Deux fois par semaine, les élèves ont à résoudre un problème de point. Ils apprennent aussi à manier les instruments nautiques, le sextant entre autres, à lire les cartes, à y tracer des routes à la mer, etc.*<sup>95</sup>

Un autre lieutenant de vaisseau se révèle prolifique quelques années plus tard. Frédéric Marguet<sup>96</sup> est sorti major de la promotion de 1891 de l'École navale. Il y devient rapidement enseignant et y restera même quelques années à titre civil lorsqu'il sera parvenu à la limite d'âge en 1933. Il est probable qu'il y donne des cours d'astronomie et de navigation dès 1906, bien que les sources, que nous avons consultées, ne l'indiquent pas, soit quelques années avant de publier ses *Cours* plusieurs fois réédités<sup>97</sup>. Les élèves de Marguet ont la particularité d'avoir un livre de cours émaillé de courtes notes historiques. Ce goût pour l'histoire maritime s'est concrétisé en 1917 par la publication d'une *Histoire de la longitude à la mer au XVIII<sup>e</sup> siècle en France*<sup>98</sup>, ouvrage qui sera complété par une *Histoire générale de la navigation du XV<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle* en 1931<sup>99</sup>. La marine lui doit également en 1918 la traduction des *Éléments de Navigation* de Robertson (1780) qui sera publiée sous le titre *Une Histoire de la Navigation (1550-1750)*<sup>100</sup>.

Les travaux en matière de nomographie du lieutenant de vaisseau Eugène Perret (promotion 1884) ont probablement contribué à sa nomination comme professeur à bord du *Borda* de 1906 à 1912. Ce finistérien, né à Quimperlé en 1869<sup>101</sup>, est principalement connu pour un nomogramme de points alignés dit « nomogramme de l'azimut » (voir chapitre 3)

---

<sup>95</sup> GOURGUECHON.A., *Op. Cit.*, p. 261.

<sup>96</sup> Frédéric Marguet (1874-1951).

<sup>97</sup> MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École navale*, Paris, Augustin Challamel, 1<sup>re</sup> éd., 1913 ; 2<sup>e</sup> éd. revue et corrigée, 1921. MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École navale*, Paris, Société d'édition géographique, maritime et coloniale, 3<sup>e</sup> éd. revue et corrigée, 1932. MARGUET F., *Cours d'astronomie de l'École navale*, Paris, Augustin Challamel, 1916. MARGUET F., *Cours d'astronomie de l'École navale*, Paris, Société d'édition géographique, maritime et coloniale, 2<sup>e</sup> éd., 1926.

<sup>98</sup> MARGUET F., *Histoire de la longitude à la mer au XVIII<sup>e</sup> siècle en France*, Paris, Augustin Challamel, 1916.

<sup>99</sup> MARGUET F., *Histoire générale de la navigation du XV<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle*, Paris, Société d'édition géographique, maritime et coloniale, 1931.

<sup>100</sup> MARGUET F., *Une Histoire de la Navigation (1550-1750)*, Paris, Augustin Challamel, 1918.

<sup>101</sup> Eugène Marie Adrien Perret (1869-1943).

présent dans les ouvrages de nomographie comme ceux de Maurice d'Ocagne avec qui il a entretenu une correspondance fournie de 1904 à 1908<sup>102</sup>.

Un autre ancien élève de l'école (promotion 1896) fait un court passage comme enseignant sur le *Borda*. Jean Cras<sup>103</sup> y enseigne l'architecture navale en 1908 et 1909. Il met au point une règle qui porte son nom, « la règle Cras », à la fin de la Première guerre mondiale (voir figure 2). Ce double rapporteur, dont l'usage s'étend progressivement au sein de la Marine, se révèle une aide précieuse pour tracer les routes tant dans la marine que dans l'aéronautique (voir chapitre 6).

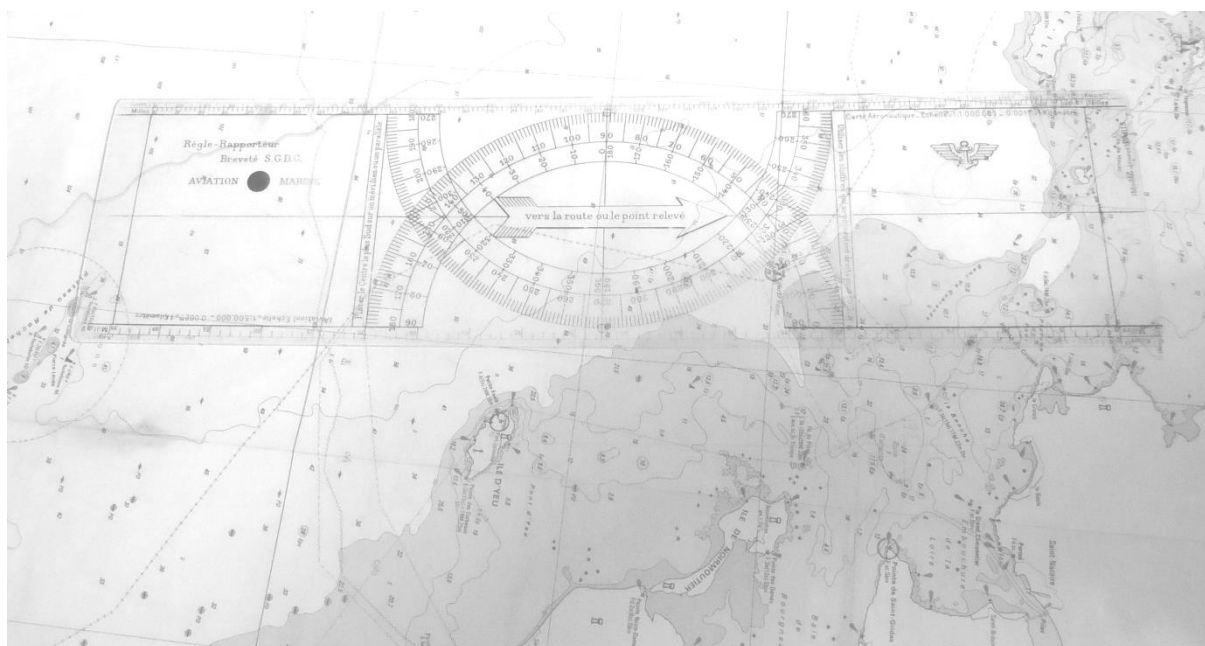


**Figure 2 : Règle Cras traditionnelle (superposée à une carte marine) qui permet de tracer une route en mesurant un angle d'un parallèle ou d'un méridien.<sup>104</sup>**

Gustave Hilleret<sup>105</sup>, quant à lui, enseigne l'analyse et la mécanique à bord du navire-école durant vingt-trois ans (de 1881 à 1904) et marque la navigation par quelques publications. Ce sont peut-être ses travaux de 1875, sur les « circumméridiennes » ou les « droites de hauteur »<sup>106</sup>, qui ont incité le ministre de la Marine à le nommer professeur à l'École navale. Hilleret donne, lui aussi, son nom à un outil de navigation : les « cartes de Hilleret ». Il s'agit de cartes spécialement prévues pour la navigation orthodromique (la route la plus courte sur le

<sup>102</sup> Le fond Maurice d'Ocagne, de l'École des Ponts, comprend 24 lettres adressées à d'Ocagne par Perret. Voir Lettres de Perret, fond d'archives nomographiques de Maurice d'Ocagne, École des Ponts ParisTech, Marne-la-Vallée

<sup>103</sup> Jean Cras (1879-1932).

<sup>104</sup> Photographie prise par mes soins.

<sup>105</sup> Paul Gustave Eugène Hilleret (1844-1922).

<sup>106</sup> HILLERET G., « Théorie générale des circumméridiennes », *Revue Maritime et Coloniale*, 1875. HILLERET G., *Étude sur les courbes de hauteur et sur le procédé pratique consistant à les remplacer par des droites dites de hauteur*, Paris, Dupont, 1875.

globe terrestre) au sujet desquelles il publie en 1878 un fascicule de 16 pages s'intitulant *Instruction sur les cartes pour la navigation par arc de grand cercle*<sup>107</sup>. Ce type de carte, qui est une projection gnomonique avec point de tangence à l'équateur, est un classique de la navigation orthodromique présent dans les cours de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle et utilisé par les navigateurs au long cours (voir chapitres 3, 6 et 8).

Reste enfin à citer deux professeurs qui n'enseignent pas de sciences mais qui, par leurs articles, nous ont permis de nous renseigner sur la vie à l'École navale et dans les écoles d'hydrographie. Tout d'abord Ferdinand Gourguechon que nous suivons déjà depuis quelques pages. Il y a peu d'informations sur ce professeur de littérature à l'École navale né en 1861. Il y enseigne comme professeur de première classe au moins de 1892 à 1906. Il est par conséquent en activité lorsqu'il publie son article dans la revue *Armée et Marine* en 1902. Il sera ensuite fait Chevalier de la Légion d'Honneur en 1907. Citons enfin le professeur d'histoire et géographie Camille Vallaux qui enseigne à l'École navale de 1901 à 1913 et qui reste examinateur dans cette école de 1914 à 1931 alors qu'il poursuit une carrière universitaire à Paris. Il publie de nombreux articles de géographie et intervient dans cette thèse pour un article paru dans la *Revue générale des sciences pures et appliquées* en 1906 intitulé « L'enseignement dans les écoles d'hydrographie »<sup>108</sup> dans lequel cet enseignant à l'École navale porte un regard peu amène sur les écoles d'hydrographie.

## B) Les officiers de marine marchande formés dans les écoles d'hydrographie

### 1) Des écoles dont le fonctionnement nécessite une modernisation

Si les cadres de la Marine sont principalement formés à l'École navale, les cadres de la marine marchande le sont dans des écoles d'hydrographie dont les enseignants sont le plus souvent issus de l'École navale. Vallaux indique :

*La préparation aux brevets et aux diplômes se fait dans les Écoles d'Hydrographie, qui dépendent du Ministère de la Marine. Disons tout de suite que ces Écoles ne jouissent pas d'un privilège exclusif. On peut se préparer ailleurs. Ainsi, les Chambres de commerce subventionnent des écoles libres à Dieppe, à Fécamp, à Saint-Nazaire, à Marseille, à Alger, Philippeville. De même, personne n'ignore qu'une Section de navigation maritime, créée en vue des mêmes examens, a été annexée, le 21*

---

<sup>107</sup> HILLERET G., *Instruction sur les cartes pour la navigation par arc de grand cercle*, Paris, Imprimerie nationale, 1878.

<sup>108</sup> VALLAUX C., « L'enseignement dans les écoles d'hydrographie », *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 1906, pp. 1021-1027.



*septembre 1905 à l'École supérieure de Commerce de Paris. Mais dans la pratique, l'immense majorité des élèves se forment toujours dans les vieilles Écoles d'Hydrographie. Ce sont elles qui nous préparent, pour demain, nos capitaines et nos seconds des navires de commerce.*<sup>109</sup>

Le fonctionnement des écoles d'hydrographie a connu, lui aussi, de grandes périodes de réformes au début du XX<sup>e</sup> siècle dont l'impact sera encore plus important qu'à l'École navale. Georges Massenet<sup>110</sup> alors inspecteur général d'hydrographie écrit à ce propos dans un article de 1921 : « les ministres compétents ont récemment promulgué deux décrets et de nombreux arrêtés réorganisant pour la huitième fois depuis 1893 l'enseignement maritime »<sup>111</sup>. Cette situation chaotique pourrait à la fois s'expliquer par les mutations techniques importantes de cette période ainsi que par l'évolution de la politique navale française. Massenet fait probablement référence, dans la citation précédente, au décret du 18 septembre 1893 « relatif aux conditions d'admission au Commandement des navires de commerce et à la création d'un diplôme d'Elève de la marine marchande ».

En 1893, il était le professeur d'hydrographie de l'école de Lorient et à ce titre, particulièrement concerné par le contenu du décret. La marine de commerce vit alors une chute du recrutement. La carrière maritime est moins attractive notamment parce que les équipages et les états-majors ne reçoivent plus qu'un salaire fixe sans participation aux bénéfices<sup>112</sup>. Le décret de 1893 contient quelques nouveautés dont la création d'un diplôme d'officier, d'un diplôme d'élève de la marine marchande ainsi que d'un brevet supérieur de capitaine au long cours<sup>113</sup>. Le texte décrit précisément la composition de l'examen théorique, les conditions que doivent remplir les candidats ainsi que les modalités de passage de l'épreuve.

Pour préparer cet examen, les élèves peuvent fréquenter l'une des écoles d'hydrographie (accessible sans concours d'entrée) sous la tutelle du ministère de la Marine (voir carte 1) ou des écoles libres de navigation, comme l'a indiqué Vallaux. Les écoles d'hydrographie n'échappaient d'ailleurs pas non plus, à l'image de l'École navale, aux luttes en faveur de la laïcité qui étaient très développées à cette époque. Un article, publié en 1902 dans l'*Ouest Éclair*, présente les objectifs de l'école d'hydrographie de Vannes dirigée par les Frères de la Mennais : « le principal but du fondateur et des maitres est de former des capitaines

---

<sup>109</sup> VALLAUX C., *Op. Cit.*, p. 1021.

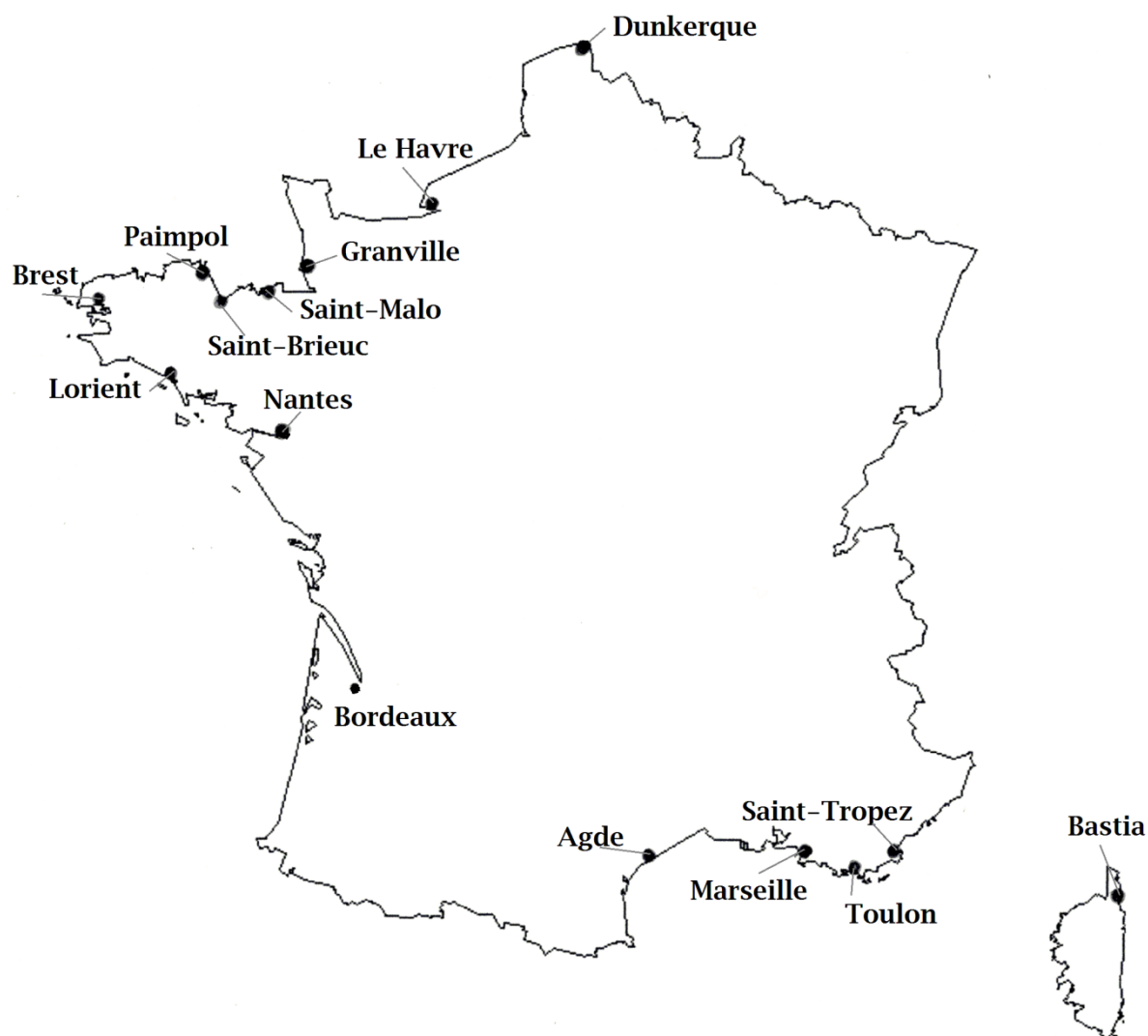
<sup>110</sup> Georges Massenet (1855-1936). École navale (promotion 1872).

<sup>111</sup> MASSENET G., « La récente réforme de l'enseignement » *Le journal de la Marine Marchande*, n° 94 janvier 1921, p. 53.

<sup>112</sup> « L'enseignement Maritime en France de 1681 à 1893 », *Revue de la marine marchande*, novembre 1915, p. 175.

<sup>113</sup> *Op. Cit.*, p. 176.

chrétiens »<sup>114</sup>. Ils espèrent notamment attirer les « candidats aux divers examens de la marine marchande [qui] ne possèdent pas une instruction suffisante pour suivre avec profit les écoles d'hydrographie ordinaires »<sup>115</sup>.



Carte 1 : Répartition des quinze écoles d'hydrographie dépendant du ministère de la marine en 1900.<sup>116</sup>

Vallaux, qui, rappelons-le, est professeur à l'École navale, a une piètre opinion de l'enseignement dans les écoles d'hydrographie. Il en dresse un état des lieux inquiétant en partant du constat récurrent de « la décadence de notre marine de commerce »<sup>117</sup>. Selon lui, les états-majors de la marine marchande ne sont pas assez préparés au rôle commercial qu'ils doivent jouer. Vallaux distingue trois raisons qui justifieraient une réforme de l'enseignement maritime commercial.

<sup>114</sup> *Ouest-Éclair*, 23 août 1902, p. 2.

<sup>115</sup> *Ibid.*

<sup>116</sup> Carte établie par mes soins à partir de la liste des quinze écoles d'hydrographie en 1900.

<sup>117</sup> VALLAUX C., *Op. Cit.*, p. 1021.

La première raison est assez surprenante. Elle concerne l'inadéquation des programmes d'enseignement avec les connaissances théoriques exigées pour l'acquisition des diplômes et brevets. Il écrit à ce propos « Une bonne moitié des programmes d'examens ne figurent pas dans le programme des Écoles d'Hydrographie »<sup>118</sup>. En effet, l'enseignement « officiel et obligatoire » consiste toujours en des cours de mathématiques (arithmétique, géométrie, trigonométrie) et de théorie de la navigation. Il comporte également l'usage des instruments nautiques et le calcul des observations. Mais, depuis 1893, un candidat au brevet de capitaine de la marine marchande doit, par exemple, ajouter aux matières traditionnelles de nouvelles matières. Il aura, entre autres, à produire une composition en anglais ou en espagnol. Il sera interrogé par oral sur les machines à vapeur, la physique, la chimie, l'histoire et la géographie. Et il devra également répondre à des questions sur la législation maritime et le droit maritime. Vallaux s'insurge, probablement à juste titre, contre le fait « qu'elles figurent aux programmes d'examens, qu'elles sont exigées et que les Écoles d'Hydrographie ne les enseignent pas »<sup>119</sup>. Il considère que les écoles ne préparent correctement les candidats qu'aux brevets et diplômes inférieurs.

Vallaux développe ensuite une deuxième raison au malaise de l'enseignement maritime commercial (d'ailleurs lié au premier). Après avoir critiqué les programmes pléthoriques et peu adaptés, il examine le corps des professeurs d'hydrographie. Il y aurait, selon lui, deux problèmes chez ces enseignants : leurs conditions de travail et leur formation. Le professeur est, en effet, seul dans son école et, avec la multiplication des matières, « pour une pareille tâche, il faudrait, non un homme ordinaire, mais une encyclopédie vivante »<sup>120</sup>. Or les professeurs sont recrutés sur concours, essentiellement parmi les officiers de la marine militaire au grade d'enseigne ou de lieutenant de vaisseau. Si ces personnes sont cultivées, elles n'ont cependant aucune formation pédagogique. Mais cette critique des écoles d'hydrographie, et pas de l'École Navale, est contestable car beaucoup des enseignants du *Borda* ont suivi le même cursus. Par ailleurs, le concours est également ouvert aux capitaines au long cours, mais peu le réussissent car selon Vallaux « la culture intellectuelle des capitaines au long cours laisse en général à désirer »<sup>121</sup>. Il est vrai toutefois que les enseignants des écoles d'hydrographie sortant des bancs de l'École navale n'ont aucune connaissance en commerce, autres que celles du bon

---

<sup>118</sup> VALLAUX C., *Op. Cit.*, p. 1022.

<sup>119</sup> *Ibid.*

<sup>120</sup> *Ibid.*

<sup>121</sup> VALLAUX C., *Op. Cit.*, p. 1023.

sens, alors qu'ils doivent répondre à des questions de législation et de droit maritime. La charge de ces personnels non formés au métier d'enseignant est donc colossale.

La troisième raison indiquée par Vallaux pour expliquer le mauvais fonctionnement des écoles d'hydrographie concerne les élèves eux-mêmes. Ceux-ci se répartissent en deux catégories :

*(...) soit de tous jeunes garçons qui sortent de l'école primaire et qui veulent conquérir le brevet théorique de capitaine au long cours, soit des jeunes gens d'un âge un peu plus avancé, qui ont déjà navigué et qui conditionnent pour les brevets et pour les diplômes où un temps de navigation est exigé.*<sup>122</sup>

Mais en tout cas, quelle que soit la catégorie, ce sont des élèves probablement peu instruits. Vallaux va même plus loin en écrivant : « ce sont de mauvais élèves d'école primaire que reçoivent les Écoles d'Hydrographie ». Ces élèves ne pourraient donc pas tirer parti d'un enseignement intensif qui est à ingurgiter en dix mois de scolarité.

Finalement, c'est le manque de temps qui semble le plus préjudiciable pour un enseignement de qualité ; manque de temps pour l'enseignant qui doit à lui seul assurer des cours variés devant des classes parfois très chargées (par exemple : 73 élèves à Marseille en 1905-1906). Vallaux indique d'ailleurs que : « Les cours (...) durent normalement 6 et même 8 heures par jour, au moins dans les derniers mois de scolarité. Il tombe sous le sens que le professeur ne peut, ni faire ses cours, ni corriger les devoirs comme il conviendrait »<sup>123</sup>. Manque de temps également pour les élèves. Ceux-ci ne pourraient pas acquérir les qualités développées par un enseignement scientifique (rigueur du raisonnement, réflexion, esprit d'observation... selon Vallaux). Il cite le témoignage d'un professeur d'hydrographie qui indique, à propos de la géométrie, « qu'ils disposent d'environ *un mois et demi* pour cet enseignement ! (...), à peu près telle qu'on la fait en *quatre années* dans les classes de lettres des lycées »<sup>124</sup>. Vallaux explique que l'enseignant n'a pas d'autres solutions que de faire du « bachotage » avec des notions qui ne sont que survolées. Et de ce fait, les élèves « apprennent par cœur, en toute hâte ; ils entassent notions sur notions, en comprenant à moitié, ou même, parfois en ne comprenant pas du tout. Qu'importe, pourvu qu'ils soient capables, au jour de l'examen, de répéter à la lettre ce qu'ils ont appris ! »<sup>125</sup>. De plus, il semblerait ne pas y avoir eu de vraie réflexion sur le contenu des programmes. Les concepteurs de ces programmes se seraient contentés

---

<sup>122</sup> *Ibid.*

<sup>123</sup> VALLAUX C., *Op. Cit.*, p. 1024.

<sup>124</sup> VALLAUX C., *Op. Cit.*, p. 1025.

<sup>125</sup> *Ibid.*

d'accumuler les couches de connaissances au gré de l'évolution des techniques et de la société sans élaguer.

*Les principaux défauts de l'enseignement actuel au point de vue purement théorique peuvent se résumer en quelques mots : trop de Mathématiques ; pas assez de sciences d'observation et d'expérience. Et au point de vue pratique : aucune des notions nécessaires qui font du marin l'utile auxiliaire du commerce.*<sup>126</sup>

Plusieurs de ces critiques sont monnaie courante dans l'enseignement quelles que soient l'époque et l'école. Il n'en reste pas moins que les écoles d'hydrographie étaient confrontées à des difficultés handicapant sérieusement leur bon fonctionnement.

Face à un tableau aussi noir, nous pouvons nous étonner de la réussite aux examens de nombreux candidats. L'une des raisons est l'investissement personnel du professeur. Certains professeurs d'hydrographie, soucieux de la réussite de leurs élèves, font en sorte qu'ils puissent acquérir le maximum de connaissances. Ainsi M. Delannoy, qui dirige l'école de Saint-Malo à partir de 1896, sollicite (semble-t-il à ses frais !) le concours d'un instituteur démissionnaire et d'un ancien mécanicien principal. Le premier est chargé des cours d'arithmétique et d'orthographe destinés aux futurs « maîtres de cabotage » et le second doit enseigner les éléments de machine et de mécanique aux long-courriers<sup>127</sup>. Beaucoup d'enseignants donnent des leçons supplémentaires. Mais, comme ces cours particuliers sont probablement payants, Vallaux écrit : « un enseignement *public*, un enseignement d'*Etat* qui impose le cachet à ses élèves se condamne lui-même »<sup>128</sup>. Pourtant la presse régionale relate la satisfaction de candidats qui, reçus après avoir suivi les cours à Lorient, remercient leur professeur M. Bord<sup>129</sup>. Ou encore, l'attachement d'élèves à leur professeur est tel que certains n'hésitent pas à le suivre lors de mutations, comme l'indique un autre article de presse :

*La semaine dernière avait lieu à Agde (Hérault), les examens pour l'obtention du brevet de capitaine au long cours. Sur 24 candidats, 16 ont été reçus, et dans le nombre (...) nous sommes heureux de compter sept de nos compatriotes. (...) Ils avaient débuté à Saint-Brieuc sous la direction de M. Cousin, professeur d'hydrographie. Habitué à son enseignement dont ils appréciaient déjà toute la valeur, ils n'avaient pas*

---

<sup>126</sup> VALLAUX C., *Op. Cit.*, p. 1027.

<sup>127</sup> GAINARD H.-G., « Essai sur l'enseignement maritime à Saint-Malo », *Annales de la société d'histoire et d'archéologie de l'arrondissement de Saint-Malo*, 1969, p. 183.

<sup>128</sup> VALLAUX C., *Op. Cit.*, p. 1024.

<sup>129</sup> *Ouest-Éclair*, 27 mars 1903, p. 2.

*hésité à le suivre à son nouveau poste, malgré la distance qui les séparait de leur famille.*<sup>130</sup>

Article auquel répond très vite « un père de famille ». Après avoir donné le nombre d'élèves présentés et le nombre de reçus, il précise que les écoles bretonnes soutiennent la comparaison avec les écoles du midi, puis conclut :

*Si on ajoute, ce qui a été fort remarqué ici, que tous les candidats reçus sont arrivés après le changement de professeur, on voit que les résultats obtenus à Saint-Brieuc sont tout à l'honneur de notre jeune nouveau professeur, M. Constan, qui a su obtenir de tels résultats en six mois de cours seulement, et dont les anciens élèves se plaisent à vanter la très grande clarté d'enseignement et le dévouement à toute épreuve*<sup>131</sup>.

Nous pouvons remarquer qu'il y avait probablement un certain esprit de compétition entre les différents centres. Mais c'est surtout la personnalité de ces rares professeurs d'hydrographie qui était importante. Il n'est pas étonnant que les familles expriment leur satisfaction vis-à-vis du travail d'Albert Cousin<sup>132</sup> et de Paul Constan. S'il est difficile d'évaluer les qualités pédagogiques de ces enseignants, leurs publications indiquent toutefois leur importance au sein de la communauté des professeurs d'hydrographie<sup>133</sup> (voir chapitre 2).

Vallaux, nous l'avons signalé plusieurs fois, critique à la fois l'organisation et la formation proposées dans les écoles d'hydrographie. En dehors d'une modernisation des programmes de cours et d'examens, il présente quelques pistes de réforme. Il propose par exemple l'ouverture en France d'écoles flottantes sur le modèle de l'École brêmoise du *Norddeutscher Lloyd* de manière à « naviguer réellement au commerce ». Il souhaiterait également que les écoles d'hydrographie cessent de dépendre du ministère de la Marine et soient mises sous l'autorité du ministre du Commerce car « le ministère de la Marine n'est et ne doit être qu'un ministère militaire »<sup>134</sup>. Était-il au courant d'informations en ce sens ou bien le transfert d'un ministère à l'autre était-il inévitable ? Toujours est-il qu'un décret du 31 octobre 1906, postérieur à la publication de l'article de Vallaux, a attribué au ministère du

---

<sup>130</sup> *Ouest-Éclair*, 3 juin 1902, p. 2.

<sup>131</sup> *Ouest-Éclair*, 6 juin 1902, p. 2.

<sup>132</sup> Albert Cousin (1865-1928).

<sup>133</sup> COUSIN A., *Notions d'arithmétique et de géométrie exigées des candidats au brevet de maître de cabotage et au diplôme d'officier de la marine marchande*, Paris, Augustin Challamel, 1904. COUSIN A., *Résumé pratique de navigation*, Paris, Augustin Challamel, 1905. CONSTAN P., *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 1<sup>re</sup> partie 1903 ; 2<sup>e</sup> partie, 1904. CONSTAN P., *Cours de trigonométrie sphérique à l'usage des marins et des personnes qui ont en vue l'étude de l'astronomie ou de la géodésie*, Paris, Augustin Challamel, 1906.

<sup>134</sup> VALLAUX C., *Op. Cit.*, p. 1027.

Commerce « les écoles d'hydrographie ou de navigation commerciale, le matériel et le personnel d'enseignement »<sup>135</sup>. Dès lors, la situation dans ces écoles s'améliore.

## 2) Les réformes mises en application à partir de 1906

Les réformes débutent par l'organisation d'une école d'application à bord d'un navire-école à partir de 1906<sup>136</sup>. Le ministère lance l'expérience en affrétant l'*Himalaya* pour servir d'école d'application en octobre 1907. Ce navire voyage de Marseille à Bordeaux entre le 10 août et le 1<sup>er</sup> octobre 1907. Il passe successivement par Constantinople, Odessa, Las Palmas et Hambourg avec à son bord soixante-dix élèves des écoles d'hydrographie qui sont sous la direction de Massenet devenu examinateur d'hydrographie. Quatre enseignants y sont chargés de conférences portant sur les matières au programme, dont un professeur d'hydrographie pour des conférences de navigation, des observations et des calculs nautiques<sup>137</sup>. L'expérience, bien qu'ayant donné d'excellents résultats, notamment en termes de navigation proprement dite, doit malheureusement s'interrompre en raison de son coût trop élevé. En effet, de vives protestations s'élevèrent à la Chambre lors de l'examen du budget pour l'année 1909. Le journal *Le Temps* du 11 novembre 1908 cite le rapport d'Étienne Clémentel, député du Puy-de-Dôme, et la réaction de la commission :

*(...) Le coût de ce voyage s'éleva à 256,462 fr. 35 » La commission du budget a été d'avis que « cette expérience n'a été qu'une promenade d'agrément ». Elle n'a pas été recommencée en 1908. Un crédit était néanmoins demandé pour le budget de 1909. La commission a jugé qu'elle ne sacrifierait aucun intérêt en le supprimant. Si des projets sérieux sont présentés, on les examinera.*<sup>138</sup>

Il faut probablement attendre quelques années pour que ce « projet sérieux » se présente, mais la relève est assurée par le *Pourquoi-pas ?IV*. Ce navire construit à l'initiative de Jean-Baptiste Charcot en 1907, sera l'un des navires-écoles de la marine marchande à partir de 1912<sup>139</sup>. Les modalités d'organisation sont les suivantes : le *Pourquoi pas ?IV* poursuit ses campagnes scientifiques tout en accueillant à son bord des lieutenants au long cours qui préparent l'examen de capitaine au long cours. Les conditions sont attractives car le temps passé à bord de ce navire « comptera comme navigation au long cours, et pour le double de sa durée,

---

<sup>135</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 1<sup>er</sup> Novembre 1906, p. 7358.

<sup>136</sup> Le chapitre 53bis du budget du ministère de la marine extrait du budget général des dépenses de l'exercice 1906 prévoit d'allouer 43 500 fr. pour un « bâtiment-école d'application de la marine marchande (personnel et matériel ; aménagement et entretien) ». *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 18 avril 1906, p. 2508.

<sup>137</sup> *Collection complète des lois, décrets, ordonnances, règlements, et avis du Conseil d'État*, 6 août 1907, p. 440.

<sup>138</sup> *Le Temps*, 11 novembre 1908, p. 7.

<sup>139</sup> Y en a-t-il eu d'autres entre 1907 et 1912 ? Nous ne le savons pas pour l'instant, mais il est certain qu'il y en a eu d'autres après-guerre.

dans la supputation du temps de navigation exigé pour les différents brevets ou diplômes »<sup>140</sup> selon le décret du 2 août 1907.

Massenet aurait expliqué l'intérêt de « l'établissement Charcot » dans la préface d'un de ses ouvrages de navigation en indiquant qu'il voulait « permettre aux futurs capitaines de préparer leur examen d'application en naviguant, (de) leur épargner un long séjour à terre toujours coûteux et leur faciliter l'obtention du brevet complet »<sup>141</sup>. Mais ce système qui est présenté comme un progrès, ne satisfait pas tout le monde. La presse rapporte ainsi les propos d'un élève se plaignant des pressions qu'ils ont subies, lui et ses camarades, afin d'embarquer à bord du navire-école. Il indique que dans un premier temps très peu de capitaines ont été reçus à la session de février-mars 1912 (« pas dix de Dunkerque à Brest »<sup>142</sup>). Mais qu'ensuite ils se seraient « précipités » à bord du *Pourquoi-pas ?IV* et que 46 candidats sur 47 auraient été reçus à l'issue de la croisière de deux mois. L'élève mécontent sous-entend que les élèves du navire-école auraient bénéficié de l'indulgence du jury faisant ainsi la publicité du *Pourquoi-pas ?IV*.

Le journaliste ne remet pas en cause l'intérêt du système mais précise qu'il est peut-être nécessaire d'introduire encore certaines réformes. Ces réformes appelées par le journaliste ont-elles eu lieu ? Nous n'en avons pas encore trouvé trace. En revanche l'*Ouest-Éclair* et la *Navigazette* donnent des informations sur les préparatifs d'une campagne de ce navire en 1914. La campagne étant sous la direction de Charles Bertin<sup>143</sup> alors professeur d'hydrographie à Saint-Malo.

Cet ancien élève de l'École navale, sera le seul professeur d'hydrographie breveté pilote de la jeune aéronautique maritime en 1916 (voir chapitre 5). Son intérêt pour l'aviation est certainement à l'origine de la double destination (mer et air) des tables de calculs nautiques sur lesquelles il travaille depuis au moins 1904 (voir chapitre 3 et chapitre 8). Mais il est, avant tout, professeur d'hydrographie dans plusieurs écoles d'hydrographie de l'ouest de la France de 1911 à 1923 et participe à ce titre à la campagne du *Pourquoi-pas ?IV* :

*A bord de ce navire embarquent également un certain nombre de lieutenants au long-cours qui, sous la direction de M. Le professeur d'hydrographie Ch. Bertin, préparent leur examen pratique de capitaine au long-cours dans des conditions*

---

<sup>140</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 6 août 1907, p. 5656.

<sup>141</sup> *Ouest-Éclair*, 26 mars 1913, p. 4. Nous n'avons pas pour l'instant retrouvé trace de la préface citée dans l'article de l'*Ouest-Éclair*.

<sup>142</sup> *Ibid.*

<sup>143</sup> Charles Bertin (1874-1943). École navale (promotion 1891).



*particulièrement favorables. Deux séries de quinze officiers de la marine marchande prendront ainsi successivement passage à bord du Pourquoi-Pas ?*<sup>144</sup>

Les navires-écoles ont eu certes un grand intérêt pour la formation pratique des officiers, mais la deuxième réforme a eu plus de répercussions sur l'enseignement maritime commercial. Le décret du 30 août 1908 officialise enfin la présence de plusieurs professeurs dans une école :

*Les écoles d'hydrographie sont dirigées par un professeur d'hydrographie, qui a le titre de directeur, relève directement du ministre du Commerce et a sous ses ordres les professeurs chargés des cours complémentaires. Dans les écoles de 1<sup>ère</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> classe, ces cours comprennent : la manœuvre pratique et les transports commerciaux maritimes ; le français et la géographie commerciale ; le droit maritime et la police de navigation ; l'hygiène navale et la pratique des pansements ; la langue anglaise ; les arts maritimes et la pratique de la compensation des compas. (...) Des cours complémentaires préparant aux brevets de mécanicien de 2<sup>e</sup> classe et de 1<sup>e</sup> classe, peuvent être annexés aux écoles d'hydrographie.*<sup>145</sup>

De plus, les « professeurs-directeurs » des écoles (à l'exclusion de ceux de 1<sup>re</sup> classe qui doivent seulement 10 heures par semaine) sont chargés de 15 heures de cours hebdomadaires, ce qui allège considérablement leur emploi du temps. Temps qui sera peut-être mis à profit pour rédiger des ouvrages de cours (voir chapitres 2 et 6).

Gaignard relate les changements que ce décret apporte à l'école de Saint-Malo :

*Monsieur Paouillac [directeur de l'école à partir de 1908] put s'adjoindre, sans être contraint de les rémunérer sur sa bourse, plusieurs professeurs auxiliaires dont les noms ont été heureusement conservés. Citons notamment ceux de Messieurs Martin, avocat au barreau de Saint-Malo, qui enseignait le droit maritime ; Canac, professeur au collège de Saint-Servan, chargé des cours d'anglais maritime ; le docteur Perrigault qui entrouvrait aux élèves les arcanes de l'art médical.*<sup>146</sup>

Comme nous l'avons vu, les cours donnés par le professeur d'hydrographie, même après la réforme de 1908, restent très variés. L'État veille toutefois à ce qu'ils soient les mêmes dans toutes les écoles :

*L'enseignement maritime est donné d'une façon uniforme dans les écoles d'hydrographie. Les professeurs d'hydrographie, directeurs et autres, doivent se*

---

<sup>144</sup> Navigazette Maritime, n° 1314, juillet 1914, p. 6.

<sup>145</sup> « Décret relatif à l'organisation de l'enseignement et du personnel des écoles d'hydrographie », Collection complète des lois, décrets, ordonnances, règlements, et avis du Conseil d'État, 30 août 1908 Titre I, Art. 4, p. 369.

<sup>146</sup> GAIGNARD H.-G., Op. Cit., p. 183.

*conformer scrupuleusement aux programmes, méthodes et procédés d'enseignement réglementaires.*<sup>147</sup>

Le tableau suivant (voir tableau 4) récapitule les informations relatives aux brevets et diplômes de pont préparés, en donnant également les 16 écoles concernées par la réforme en 1908. Les différentes catégories de brevets correspondent à des capacités de commandement différentes selon la jauge des navires de commerce. Ainsi, les bâtiments de plus de 5 000 tonneaux ou armés au long cours nécessitent un brevet de capitaine au long cours, mais celui de maître au cabotage ne donne pas droit au commandement des navires de cabotage de plus de 700 tonneaux. Il est à noter que les différentes dénominations ont beaucoup bougé durant la période, il faut donc être capable d'interpréter à quel public s'adresse tel ou tel ouvrage de cours, car il est évident qu'un livre peut rester en usage malgré une réforme.

| Écoles                 | Lieux                                                     | Brevet supérieur de CLC <sup>148</sup> | Brevet ordinaire de CLC | Diplôme d'élève | Brevet de maître au cabotage | Brevet de patron au bornage |
|------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------|
| Supérieure             | Paris                                                     | Théorie                                |                         |                 |                              |                             |
| De 1 <sup>re</sup> cl. | Bordeaux<br>Marseille<br>Le Havre                         | Application                            | Théorie et application  | X               | Théorie et pratique          |                             |
| De 2 <sup>e</sup> cl.  | Nantes<br>Saint-Malo<br>Paimpol<br>Dunkerque              |                                        | Théorie et application  | X               | Théorie et pratique          |                             |
| De 3 <sup>e</sup> cl.  | Brest<br>Lorient<br>Agde<br>Toulon<br>St-Tropez<br>Bastia |                                        | Théorie                 | X               | Théorie et pratique          |                             |
| De 4 <sup>e</sup> cl.  | Granville<br>Boulogne                                     |                                        | Théorie                 |                 | Théorie et pratique          | Théorie et pratique         |

**Tableau 4 : Synthèse des brevets et diplômes préparés dans les écoles d'hydrographie en 1908.**<sup>149</sup>

Les réformes reprennent en 1913 lorsque les écoles d'hydrographie, qui étaient sous la tutelle du ministre du commerce depuis le décret du 31 octobre 1906, sont de nouveau administrées par le ministère de la Marine. Clémentel écrira, en 1919, alors qu'il est ministre

<sup>147</sup> « Décret relatif à l'organisation de l'enseignement et du personnel des écoles d'hydrographie », *Op. Cit.*, titre III, pp. 370-371.

<sup>148</sup> Capitaine au long cours.

<sup>149</sup> « Décret relatif à l'organisation de l'enseignement et du personnel des écoles d'hydrographie », *Op. Cit.*, titre I, Art. 2 et 3, p. 369. Ce tableau ne prend pas en compte les écoles libres dont le professeur n'a pas été affecté par le ministère, mais sont rémunéré par les municipalités et les chambres de commerce.

du Commerce, des Postes et des Télégraphes, des Transports maritimes et de la Marine marchande :

*Le décret du 30 août 1908 a fait une classification générale des écoles d'hydrographie et amélioré le statut du personnel enseignant ; mais il ne contient aucune prescription relative au régime des études et aux méthodes d'enseignement. C'est seulement l'un des deux décrets du 8 août 1913 qui a réglé les cours dans ces écoles selon le principe de l'année scolaire régulière, a imposé un enseignement conforme à des programmes officiels, et créé le livret d'études maritimes.*<sup>150</sup>

L'arrêté du 22 septembre 1913 présente deux types de programmes : le programme d'admission dans les écoles d'hydrographie (cours de maître au cabotage, cours de capitaine au cabotage, cours préparant à l'examen de théorie d'élève de la marine marchande) et les programmes des examens (brevet de patron au bornage, brevet de maître au cabotage, brevet de capitaine au cabotage, brevet de capitaine au long cours). Les directeurs des écoles d'hydrographie doivent de plus adresser, début septembre, un plan d'études (pour des cours s'étalant du 1<sup>er</sup> octobre au 1<sup>er</sup> juillet) correspondant aux sections qu'ils se proposent d'ouvrir en vue de la préparation aux examens.

*Le plan d'études donne les renseignements suivants :*

*1° Par section, l'emploi du temps proposé par semaine en distinguant les cours spéciaux à chaque section et les cours communs à plusieurs.*

*2° Le nombre d'élèves ayant suivi dans les trois années précédentes les cours de chaque section et, si possible, le nombre d'élèves escomptés pour l'année scolaire au 1<sup>er</sup> octobre suivant.*

*3° Les considérations de nature à justifier le maintien des sections peu fréquentées au cours des années précédentes ou la création de nouvelles sections.*<sup>151</sup>

Si les professeurs d'hydrographie ont gagné du temps grâce à la présence de plusieurs d'entre eux dans une même école, ils subissent encore des pressions, le ministère de la Marine cherchant à réduire le nombre d'écoles pour minimiser les coûts.

Examinons maintenant les différents programmes. Notre objectif étant de mettre en lumière les connaissances de ceux qui seront à même de les transmettre aux aéronautes et aux aviateurs. Nous pouvons négliger ceux qui se destinent au brevet de patron au bornage. De plus,

---

<sup>150</sup> « Organisation générale de l'enseignement maritime », Décret du 19 mars 1919, *Actes officiels*, mai 1919, p. 226.

<sup>151</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 9 septembre 1913, p. 8063. Arrêté du 8 septembre 1913.

si le programme de l'examen au brevet de maître de cabotage, et plus encore pour celui de capitaine au cabotage, contiennent les notions de navigation qui en tant que cours suffiront pour bon nombre de navigateurs aériens, la précision ajoutée à la fin du programme de l'épreuve orale de cosmographie et de navigation de celui de capitaine de cabotage, permet de douter que les diplômés seront de bons vecteurs de transmission des connaissances théoriques. Le *Journal Officiel* de septembre 1913 stipule :

*Le cours de navigation, comme celui de cosmographie ne comporte naturellement aucune démonstration. Les formules sont admises. Il n'en résulte pas néanmoins que le cours doive se borner à une énonciation de résultats. Les candidats devront raisonner toutes les questions qui ne font pas appel à des connaissances mathématiques.*<sup>152</sup>

En conséquence, nous allons insister sur les connaissances de l'« élève de la marine marchande » même si nous ne nous interdirons pas d'étudier les ouvrages de cours des candidats aux diplômes et brevets « inférieurs »

Les jeunes gens désirant suivre le cours d'élève de la marine marchande à partir de 1913 vont avoir à subir quatre épreuves orales où la place des mathématiques est prépondérante. Ils doivent effectuer une dictée au tableau (coefficient 3), puis répondre à des questions d'arithmétique pratique (coefficient 2), d'algèbre (coefficient 3) et enfin de géométrie (coefficient 2). Il est possible d'évaluer le niveau attendu en se penchant sur les exemptions d'examen d'entrée dans les écoles d'hydrographie qui sont indiquées dans l'arrêté du 22 septembre 1913 :

*Pour le cours préparatoire au diplôme d'élève (certificat théorie) :*

*Le certificat d'étude primaire supérieur ;*

*Le certificat d'études pratiques industrielles ;*

*Le diplôme supérieur et le certificat délivré par les écoles supérieures de commerce.*

*Le baccalauréat de l'enseignement secondaire.*

*Les admissibles aux écoles du Gouvernement (polytechnique, Saint-Cyr, école navale, etc.).*<sup>153</sup>

Le niveau des candidats à l'entrée au cours d'élèves de la marine marchande semble donc peu élevé, comme le déplorait Vallaux en 1906, mais il est difficile d'évaluer la part des élèves qui ont suivi le cours sans passer d'examen d'entrée. En effet, la marche est haute entre

---

<sup>152</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 30 septembre 1913, p. 8641.

<sup>153</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 30 septembre 1913, p. 8638.

les connaissances demandées à l'entrée, et celles demandées pour l'examen de théorie pour le diplôme d'élève, et plus encore pour l'examen d'application pour le brevet de capitaine au long cours et l'examen spécial pour l'obtention du brevet supérieur de capitaine au long cours. Prenons par exemple l'algèbre et la trigonométrie. Le candidat à l'entrée à l'école d'hydrographie doit connaître les règles de calcul algébrique, savoir résoudre des équations du premier et du second degré et n'a pas besoin de connaître la trigonométrie. Un an plus tard, il devra connaître les progressions arithmétiques et géométriques et l'essentiel de ce qui concerne les logarithmes notamment pour les calculs, idem pour les notions de trigonométrie plane et de trigonométrie sphérique.

## Conclusion

Les connaissances en navigation maritime peuvent s'acquérir essentiellement dans deux lieux : à l'École navale située près de Brest (dans la rade sur le *Borda* puis à Laninon à partir de 1915) pour la formation militaire, et dans plusieurs écoles d'hydrographie disséminées sur les côtes françaises et à Paris pour la marine marchande. L'École navale et les écoles d'hydrographie sont en pleine mutation au début du XX<sup>e</sup> siècle afin de s'adapter à l'évolution des techniques. L'École navale abandonne son école embarquée au début de la Première guerre mondiale alors que les écoles d'hydrographie subissent de profondes réformes à partir de 1906, dont l'officialisation de la présence de plusieurs professeurs dans une école en 1908.

Les cours à l'École navale sont rigoureusement organisés dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Ceux dans les écoles d'hydrographie tendent vers ce même fonctionnement (mais avec des moyens plus modestes). Les vagues de réformes de l'enseignement maritime militaire et marchand ont tendance à diminuer l'écart existant entre les deux écoles. Avoir été eux-mêmes élèves à bord du *Borda* renforce les points communs entre les professeurs d'hydrographie dans les écoles d'hydrographie et leurs homologues de l'École navale.

L'une des principales différences entre l'École navale et les écoles d'hydrographie, en ce qui concerne la navigation, tient au niveau du recrutement des élèves. L'École navale est accessible sur concours comme d'autres « grandes écoles scientifiques ». Et si le niveau en mathématiques exigé pour y entrer n'est pas aussi élevé qu'à l'École polytechnique, il reste tout de même conséquent. À l'inverse, les écoles d'hydrographie recrutent des élèves qui peuvent avoir des connaissances en mathématiques très modestes. Mais ceux qui ambitionnent d'obtenir un brevet élevé vont devoir « ingurgiter » de nombreuses notions, certes moins approfondies qu'à l'École navale, mais tout de même variées (voir chapitre 2).



## Chapitre 2

### Bases théoriques de navigation maritime enseignées dans les cours

#### Introduction

Après avoir présenté les lieux et les conditions dans lesquels les jeunes gens pouvaient acquérir des connaissances en navigation au début du XX<sup>e</sup> siècle, penchons-nous plus précisément sur la teneur de ces connaissances. Plusieurs professeurs ont publié une version rédigée de leurs cours mais il est difficile de savoir si le texte correspond réellement au cours qu'ils ont donné. L'ouvrage permet tout de même de saisir les objectifs que ces enseignants voulaient atteindre.

Les cours de navigation sont basés sur des ouvrages de deux types. Il y a naturellement des ouvrages dits de navigation, mais également des ouvrages d'astronomie. L'essentiel des ouvrages traitant de la partie navigation provient de la petite communauté des enseignants d'hydrographie, ceux-ci se citant souvent mutuellement, ce qui met en lumière les liens qui les unissent. La partie astronomie est quant à elle basée sur des ouvrages rédigés par ces mêmes professeurs, mais peut également faire appel à des ouvrages extérieurs au monde maritime tels que ceux de l'École polytechnique.

Nous chercherons à répondre à quelques questions qui se posent. Existe-t-il une ou plusieurs navigations ? Quelles mathématiques sont utilisées dans la navigation ? En quoi peut-on considérer que la navigation est une science de procédures très codifiée et pourquoi est-ce nécessaire ?

L'étude du contenu des cours de navigation sera basée sur quatre ouvrages publiés entre 1900 et 1916. Il s'agit premièrement du *Cours de navigation et de compas de l'École Navale* de 1913<sup>154</sup> avec son complément, le *Cours d'astronomie de l'École Navale* publié en 1916<sup>155</sup>, tous deux rédigés par Frédéric Marguet (voir chapitre 1). Ces ouvrages, comme leurs noms l'indiquent, sont destinés aux élèves de l'École navale mais seront également présent dans les bibliothèques de professeurs des écoles d'hydrographie. Viennent ensuite deux livres destinés aux élèves des écoles d'hydrographie. Il s'agit, d'une part des *Eléments de cosmographie et de navigation* de Joseph-Barthélémy Guilhaumon<sup>156</sup> édités pour la quatrième fois en 1906<sup>157</sup> et

---

<sup>154</sup> MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École navale*, Paris, Augustin Challamel, 1913.

<sup>155</sup> MARGUET F., *Cours d'astronomie de l'École navale*, Paris, Augustin Challamel, 1916.

<sup>156</sup> Joseph-Barthélémy Guilhaumon (1854- ?).

<sup>157</sup> GUILHAUMON J-B., *Eléments de cosmographie précédés de notions de trigonométrie sphérique*, Paris, Berger-Levrault, 4<sup>e</sup> éd., 1906.

d'autre part du *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation* en deux tomes de Paul Constan dans l'édition de 1903-1904<sup>158</sup>. Le quatrième ouvrage est le *Résumé pratique de navigation* d'Albert Cousin dans l'édition de 1905<sup>159</sup>. Ce dernier diffère des trois précédents car il n'est pas destiné uniquement aux élèves, comme le laisse d'ailleurs envisager son titre. Nous présenterons, dans un premier temps, ces différents ouvrages ainsi que leurs auteurs en recherchant les points communs et les différences qui les caractérisent.

Il est inutile d'exposer en détail, dans notre recherche, toutes les notions développées dans les manuels de cours, mais il est intéressant de mettre en avant celles qui se retrouveront couramment en navigation aérienne. C'est-à-dire, d'une part celles de navigation à l'estime qui serviront pour tous et d'autre part, celles de navigation astronomique qui seront nécessaires à tout navigateur s'intéressant à la navigation au long cours. Nous nous baserons sur les cours de Marguet, complétés si nécessaire par ceux des professeurs d'hydrographie, pour définir les différents systèmes de coordonnées célestes et géographiques.

Ces connaissances de base définies, nous expliciterons la notion de « triangle de position » ainsi que sa résolution à l'aide de formules de trigonométrie sphérique.

La connaissance du principe du « triangle de position » nous permettra d'aborder la « navigation par lieux géométrique » qui est l'une des grandes avancées en matière de navigation astronomique de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Nous montrerons alors pourquoi la méthode de l'amiral Adolphe Marcq Saint-Hilaire de la « droite de hauteur », développée à partir de 1873, supprime en France les autres procédés de détermination du point en mer au début du XX<sup>e</sup> siècle.

### A) Présentation des ouvrages de cours et de leurs auteurs.

La sélection des quatre ouvrages de Marguet, Guilhaumon, Constan et Cousin présente un double intérêt. D'une part, ils sont un indice de sources effectives dont pouvaient disposer les professeurs de l'époque pour élaborer leurs cours puisqu'ils sont simultanément présents dans la bibliothèque de l'École nationale supérieure maritime de Saint-Malo<sup>160</sup> (qui s'appelait l'école d'hydrographie de Saint-Malo au début du XX<sup>e</sup> siècle) et faciles à trouver<sup>161</sup>. D'autre part, ces quatre manuels présentent des caractéristiques différentes. L'un est un cours de l'École navale (celui de Marguet) tandis que les trois autres sont principalement prévus pour les élèves des

---

<sup>158</sup> CONSTAN P., *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 1<sup>re</sup> partie, 1903 ; 2<sup>e</sup> partie, 1904.

<sup>159</sup> COUSIN A., *Résumé pratique de navigation*, Paris, Augustin Challamel, 1905.

<sup>160</sup> Le cours de Marguet est présent à l'École dans sa deuxième édition de 1921 et pas dans celle de 1913.

<sup>161</sup> Ces ouvrages sont les plus faciles à trouver sur Internet et dans les bibliothèques ce qui m'incite à penser qu'ils étaient très souvent utilisés.



écoles d'hydrographie. Marguet propose le cours qui approfondit le plus les notions, en les accompagnant le plus souvent d'informations historiques, mais en négligeant couramment de rappeler les notions de base. Le cours est de ce fait assez difficile d'accès ou tout au moins plus difficile d'accès que ceux de ces confrères. L'ouvrage de Constan est également assez étoffé puisqu'il est explicitement dédié à la préparation aux examens de capitaine au long cours. L'auteur écrit dans l'introduction :

*Cet Ouvrage, publié à la demande de mes anciens élèves, comprend tout ce qui est exigé des candidats au brevet simple et supérieur de Capitaine au long cours ; mais il contient un peu plus : j'ai tenu en effet à ce que ce Cours soit complet, c'est-à-dire renferme tous les renseignements théoriques et pratiques qu'un Capitaine de navire moderne peut avoir besoin de connaître.*<sup>162</sup>.

Les qualités pédagogiques de Constan, que nous avons déjà relevées dans un article publié en 1902 dans la presse (voir chapitre 1), transparaissent dans la clarté des définitions et des explications données dans son ouvrage de cours. Celui-ci est de ce fait d'un abord plus aisé que celui de Marguet. Nous pouvons imaginer que le cours de Guilhaumon s'adresse au même public que celui de Constan au vu de la richesse de son contenu conforme aux exigences des examens de capitaine au long cours. L'auteur n'a cependant pas précisé le public visé ni sur la couverture ni dans une introduction (puisque'il n'y en pas). Enfin, l'ouvrage de Cousin ne s'adresse pas aux candidats au brevet de capitaine au long cours puisque l'auteur écrit que « Le titre de cet ouvrage indique clairement son but. Il n'est nullement destiné à la préparation aux examens de capitaine au long-cours »<sup>163</sup>. Il s'adresse d'une part, à des élèves en cours de formation ou préparant, dans les écoles d'hydrographie, des brevets inférieurs à ceux de capitaine au long cours (brevet de maître au cabotage ou officier de la marine marchande) et d'autre part, à des capitaines en activité souhaitant accéder rapidement à des notions qu'ils ont déjà étudiés sur les bancs de l'école ou même éventuellement à des « yachtmen » puisque Cousin écrit :

*Cet ouvrage nous paraît aussi devoir être particulièrement utile à toutes les personnes qui naviguent pour leur plaisir, et désirent se rendre compte de la pratique de la navigation, sans avoir besoin de se livrer pour cela à des études trop longues, et par cela même difficiles ou arides.*<sup>164</sup>

---

<sup>162</sup> CONSTAN P., *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, 1<sup>re</sup> partie, 1903, p. V.

<sup>163</sup> COUSIN A., *Op. Cit.*, p. 5.

<sup>164</sup> COUSIN A., *Op. Cit.*, pp. 5-6.

Cet ouvrage est de ce fait le plus facile d'accès mais les explications sont parfois un peu succinctes et surtout, la partie traitant de navigation astronomique est beaucoup moins développée que celle de ses confrères (voir tableau 5) ce qui paraît normal vu le public et les objectifs visés par l'auteur.

Revenons en quelques lignes sur les auteurs avant de comparer spécifiquement le contenu des quatre ouvrages de notre corpus. Marguet reste, rappelons-le, à l'École navale en tant qu'élève (promotion 1891) puis comme professeur d'astronomie et de navigation (voir chapitre 1) lorsqu'il publie le *Cours de navigation et de compas de l'École Navale* en 1913 et le *Cours d'astronomie de l'École Navale* en 1916. Constan suit également les cours de l'École navale (promotion 1887). Il est professeur d'hydrographie à Saint-Brieuc lorsqu'il publie son cours en deux volumes susnommé. Il y publie également un *Cours de trigonométrie sphérique, à l'usage des marins et des personnes qui ont en vue l'étude de l'astronomie ou de la géodésie* édité une première fois en 1906 ainsi qu'un recueil de tables de calculs nautiques publié la même année (voir chapitre 3). Guilhaumon, qui est professeur d'hydrographie de 1880<sup>165</sup> à 1899, est lui aussi issu de l'École navale (promotion 1871). Il publie, chez Berger-Levrault, une première version de ses cours en 1891 dans un livre de petit format plutôt épais (in-8° de trois-cent soixante-dix pages) qui porte le titre : *Eléments de navigation et de calcul nautique précédés de notions d'astronomie*<sup>166</sup>. Les trois éditions suivantes (1897, 1902, 1906) s'intituleront *Eléments de cosmographie et de navigation précédés de notions de trigonométrie sphérique*<sup>167</sup>. Ce changement de titre ne bouleverse pas le contenu du cours mais illustre une manière différente de le présenter. Ces ouvrages de cours sont complétés par un livre d'exercices publié en 1902 : *Exercices de trigonométrie sphérique, de cosmographie, de navigation et de calculs nautiques*<sup>168</sup> qui est cette fois explicitement destiné à la préparation aux examens d'élève de la marine marchande et de capitaine au long cours. Cousin a eu une formation un peu différente de ses autres collègues. Il est, en effet, élève de l'École polytechnique en 1885 lorsqu'il opte pour la Marine et devient par conséquent « bordache » (voir chapitre 1). Cet officier opte pour le corps des professeurs d'hydrographie en 1897 et enseigne d'abord quelques années à Saint-Brieuc, comme son collègue Constan qui le remplace en 1902, avant de retrouver le sud de la France (voir chapitre 1). Ses ouvrages de cours sont

---

<sup>165</sup> Il est en poste à Bastia en 1881 comme professeur de 3<sup>e</sup> classe.

<sup>166</sup> GUILHAUMON J-B., *Eléments de navigation et de calcul nautique*, Nancy, Berger-Levrault, 1891.

<sup>167</sup> GUILHAUMON J-B., *Eléments de cosmographie précédés de notions de trigonométrie sphérique*, Paris, Berger-Levrault, 2<sup>e</sup> éd., 1897 ; 3<sup>e</sup> éd., 1902 ; 4<sup>e</sup> éd., 1906.

<sup>168</sup> GUILHAUMON J-B., *Exercices de trigonométrie sphérique, de cosmographie, de navigation et de calculs nautiques*, Paris, Berger-Levrault, 1902.

plus basiques comme nous l'avons vu avec le *Résumé pratique de navigation* (édité en 1905 et réédité et complété 1917)<sup>169</sup> mais aussi avec celui intitulé *Notions d'arithmétique et de géométrie exigées des candidats au brevet de maître de cabotage et au diplôme d'officier de la marine marchande* publié en 1904<sup>170</sup>. Les trois professeurs d'hydrographie ont ainsi su digérer les cours qu'ils ont suivis à l'École navale afin d'en proposer une version allégée conforme aux exigences des programmes des écoles d'hydrographie.

L'ensemble des tableaux suivant (voir tableau 5) ainsi que le sommaire détaillé du *Cours de navigation et de compas de l'École Navale* de Marguet (voir extrait 3) et du *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation (deuxième partie : navigation)* de Constan (voir extrait 4) permettent de comparer les quatre ouvrages du corpus.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Auteur : Marguet                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Titre :<br><i>Cours de navigation et de compas de l'École Navale</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Titre :<br><i>Cours d'astronomie de l'École Navale</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Édition : 1913 (1 <sup>re</sup> édition)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Édition : 1916 (1 <sup>re</sup> édition)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Éditeur : A. Challamel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Nombre de pages : 370 pages                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Nombre de pages : 312 pages                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Format : In - 8°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Résumé de la table des matières<br><b>Cours de navigation</b><br>PREMIÈRE PARTIE : Navigation par l'estime. _ Carte marine. _ Orthodromie<br>I) Navigation par l'estime. _ Route (p. 1)<br>II) La carte marine (p. 17)<br>III) Navigation orthodromique (p. 29)<br>IV) Point en vue de terre (p. 35)<br>DEUXIÈME PARTIE : Navigation astronomique<br>I) Notions préliminaires (p. 45)<br>II) Sextant et horizons artificiels (p. 60)<br>III) Correction des hauteurs (p. 89)<br>IV) Détermination des coordonnées horizontales (p. 96)<br>V) Détermination des coordonnées horaires (p. 105)<br>VI) Chronomètres (p. 126)<br>VII) Problème du point (p. 164) | Résumé de la table des matières<br>PREMIÈRE PARTIE : Coordonnées sphériques (p. 1)<br>DEUXIÈME PARTIE : Mouvement diurne. _ Coordonnées (p. 22)<br>TROISIÈME PARTIE : Instruments de mesure (p. 55)<br>QUATRIÈME PARTIE : Théorie des erreurs (p. 95)<br>CINQUIÈME PARTIE : La Terre (p. 102)<br>SIXIÈME PARTIE : Réfraction. _ Parallaxe. _ Demi-diamètres (p. 120)<br>SEPTIÈME PARTIE : Le soleil (p. 142)<br>HUITIÈME PARTIE : La lune (p. 194)<br>NEUVIÈME PARTIE : Les planètes (p. 216)<br>DIXIÈME PARTIE : Coordonnées des astres (p. 247)<br>ONZIÈME PARTIE : Astronomie physique. _ Astronomie stellaire (p. 260) |

<sup>169</sup> COUSIN A., *Résumé pratique de navigation*, Paris, Augustin Challamel, 1<sup>re</sup> éd., 1905 ; 2<sup>e</sup> éd., 1917.

<sup>170</sup> COUSIN A., *Notions d'arithmétique et de géométrie exigées des candidats au brevet de maître de cabotage et au diplôme d'officier de la marine marchande*, Paris, Augustin Challamel, 1904.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <p>VIII) Navigation avec un chronomètre non réglé sur le temps de Paris. _ Navigation avec la montre d'habitable (p. 221)</p> <p><b>Régulation et compensation des compas magnétiques</b></p> <p>PREMIÈRE PARTIE : Théorie (p. 249)</p> <p>DEUXIÈME PARTIE : Pratique (p. 291)</p> <p>TROISIÈME PARTIE (p. 331)</p> <p>NOTE SUR LE COMPAS GYROSCOPIQUE (p. 357)</p> |  |
| <p>Public visé :<br/>Les élèves de l'École navale.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Auteur : Guilhaumon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Auteur : Constan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>Titre :<br/><i>Eléments de cosmographie et de navigation</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>Titre :<br/><i>Cours élémentaire d'astronomie et de navigation</i><br/><i>Première partie : astronomie</i></p> <p><i>Cours élémentaire d'astronomie et de navigation</i><br/><i>Deuxième partie : navigation</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Édition : 1906 (4 <sup>e</sup> édition)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>Éditions :<br/>1903 (1<sup>re</sup> édition) pour la première partie<br/>1904 (1<sup>re</sup> édition) pour la deuxième partie</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Éditeur : Berger-Levrault                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Éditeur : Gauthier-Villars                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p>Nombre de pages :<br/>487 pages</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>Nombre de pages :<br/>264 pages pour la première partie<br/>307 pages pour la deuxième partie</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Format : In - 8°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Format : In - 8°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>Résumé de la table des matières</p> <p><b>Notions de trigonométrie sphérique</b> (p. 1)</p> <p><b>Notions élémentaires d'optique</b> (p. 25)</p> <p><b>Cosmographie</b></p> <p>I) Description succincte du système du monde (p. 53)</p> <p>II) La Terre (p. 57)</p> <p>III) Sphère céleste (p. 64)</p> <p>IV) Du mouvement diurne (p. 70)</p> <p>V) Instruments propres à déterminer les coordonnées des astres et à vérifier les lois du mouvement diurne (p. 80)</p> <p>VI) Généralités sur les étoiles (p. 91)</p> <p>VII) : Le Soleil (p. 95)</p> <p>VIII) La lune (p. 138)</p> <p>IX) Les planètes et les comètes (p. 155)</p> <p><b>Navigation</b></p> <p>I) Des cartes marines (p.159)</p> <p>II) Navigation par l'estime (p. 170)</p> | <p>Résumé de la table des matières</p> <p><b>(Première partie)</b></p> <p>Avant-propos (p. V)</p> <p>Introduction (p. 1)</p> <p>I) Instruments d'observation (p. 5)</p> <p>II) Mouvement diurne. La Terre. L'atmosphère (p. 59)</p> <p>III) Sphère céleste rationnelle (p. 93)</p> <p>IV) Le Soleil (p. 130)</p> <p>V) La Lune (p. 182)</p> <p>VI) Les étoiles, les planètes, les comètes (p. 214)</p> <p>VII) Prévisions des mouvements célestes. Application à la détermination des coordonnées géographiques (p. 231)</p> <p><b>(Deuxième partie)</b></p> <p>Introduction (p. 1)</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>III) Usage des cartes marines (p. 192)</p> <p>IV) Des marées (p. 204)</p> <p><b>Navigation astronomique</b></p> <p>V) Connaissance des temps (p. 213)</p> <p>VI) Conversion des temps simultanés d'un même lieu (p. 227)</p> <p>VII) Sextant, horizons artificiels (p. 233)</p> <p>VIII) Correction des hauteurs (p. 273)</p> <p>IX) Chronomètres, montres de comparaison (p. 287)</p> <p>X) Triangle de position, calcul de ses éléments (p. 306)</p> <p>XI) Navigation sans chronomètres, avec le sextant et la montre d'habitacle (p. 365)</p> <p>XII) Navigation avec les chronomètres (p. 368)</p> <p>XIII) Navigation orthodromique (p. 396)</p> <p>XIV) Régulation des compas (p. 403)</p> <p>Appendice</p> | <p>I) Mesure des hauteurs et du temps à la mer (p. 2)</p> <p>II) Premier problème de navigation : moyens de s'orienter et de se diriger en mer (p. 70)</p> <p>III) Deuxième problème de navigation : déterminer la route à suivre et la distance à parcourir pour se rendre d'un lieu donné dans un autre lieu donné (p. 303)</p> <p>IV) Troisième problème de navigation : faire le point (p. 179)</p> <p>V) Application du cours de navigation aux diverses circonstances dans lesquelles peut se trouver le navigateur. _ Problèmes de pratique courante. _ Questions théoriques complémentaires (p. 257)</p> <p>Tableau de correspondance des tables de Friocourt, Caillet et Souillagouët (p. 297)</p> |
| <p>Public visé :</p> <p>Les élèves des écoles d'hydrographie préparant le brevet de capitaine au long cours.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Auteur : Cousin                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Titre : <i>Résumé pratique de navigation</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Édition : 1905 (1 <sup>re</sup> édition)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Éditeur : A. Challamel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Nombre de pages : 256 pages                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Format : In - 8°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>Résumé de la table de matières :</p> <p>Préface (p. 5)</p> <p>Notion de cosmographie (p. 7)</p> <p><b>Navigation</b></p> <p>Navigation par l'estime (p. 47)</p> <p>Navigation astronomique</p> <p>I) Ouvrages et instruments employés (p. 91)</p> <p>II) Navigation avec le sextant et la montre d'habitacle (p. 123)</p> <p>III) Navigation avec les chronomètres (p. 145)</p> <p>IV) Étude pratique du compas (p. 163)</p> <p>V) Compléments à l'usage de la navigation au long cours (p. 185)</p> |
| <p>Public visé :</p> <p>Varié à l'exception des élèves des écoles d'hydrographie préparant le brevet de capitaine au long cours.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

**Tableau 5 : Tableaux comparatifs des ouvrages étudiés.**

## **COURS DE NAVIGATION**

### *PREMIÈRE PARTIE : Navigation par l'estime. \_ Carte marine. \_ Orthodromie*

- *Chapitre I : Navigation par l'estime. \_ Route* p. 1
  - *Relèvements* p. 5
  - *Vitesse-loch* p. 6
  - *Loxodromie* p. 8
- *Chapitre II : La carte marine* p. 17
- *Chapitre III : Navigation orthodromique* p. 29
- *Chapitre IV : Point en vue de terre* p. 35

### *DEUXIÈME PARTIE : Navigation astronomique*

- *Chapitre I : Notions préliminaires*
  - *Triangle de position* p. 45
  - *Précision de l'élément cherché* p. 48
  - *Connaissance des temps* p. 50
  - *Interpolation* p. 51
  - *Conversion des temps simultanés* p. 55
- *Chapitre II : Sextant et horizons artificiels*
  - *Sextant* p. 60
  - *Rectification du sextant* p. 68
  - *Erreurs du sextant* p. 78
  - *Usages du sextant* p. 83
  - *Horizons artificiels* p. 86
- *Chapitre III : Correction des hauteurs* p. 89
- *Chapitre IV : Détermination des coordonnées horizontales* p. 96
  - *Azimut par la hauteur* p. 97
  - *Azimut par l'heure* p. 101
- *Chapitre V : Détermination des coordonnées horaires*
  - *Heure par la hauteur* p. 105
  - *Heure par des hauteurs correspondantes* p. 117
  - *Méthode des hauteurs égales d'étoiles pour déterminer la latitude et le temps total* p. 122
- *Chapitre VI : Chronomètres*
  - *Description du chronomètre* p. 126
  - *Réglage et compensation* p. 133
  - *Perturbations et inégalités* p. 138
  - *Etat absolu* p. 141
  - *Marche diurne* p. 148
  - *Etude de la marche* p. 151
  - *Conduite des chronomètres à bord* p. 158
  - *Contrôle réciproque des chronomètres. \_ Marches relatives* p. 160
- *Chapitre VII : Problème du point*
  - *Solution sur la sphère* p. 164
  - *Solution sur un canevas Mercator de sphère. \_ Courbes de hauteur* p. 170
  - *Distance d'un point à une courbe de hauteur* p. 184
  - *Solution pratique par la droite de hauteur. \_ Lieux géométriques rectilignes* p. 188
  - *Cas particuliers* p. 196

- *Point déterminatif et droite du commandant Guyou* p. 201
- *Influence des erreurs des données* p. 206
- *Point par plusieurs droites* p. 211
- *Chapitre VIII : Navigation avec un chronomètre non réglé sur le temps de Paris. \_ Navigation avec la montre d'habitacle*
  - *Azimut* p. 221
  - *Calcul de l'heure du lieu* p. 222
  - *Calcul de la latitude* p. 222
  - *Culminations* p. 229
  - *Navigation avec la montre d'habitacle seulement* p. 232
  - *Longitude* p. 233
  - *Distances lunaires* p. 236
  - *Occultations* p. 240

## **RÉGULATION ET COMPENSATION DES COMPAS MAGNÉTIQUES**

### **PREMIÈRE PARTIE : Théorie**

- *Chapitre I : Action des aimants. \_ Fers induits. \_ Champ du navire* p. 249
  - *Analyse du champ du navire* p. 252
  - *Intensité et direction du champ résultant. \_ Étude générale de la déviation* p. 264
- *Chapitre II : Compensation*
  - *Compensation de la partie semi-circulaire* p. 269
  - *Compensation de la partie quadrantale* p. 271
  - *Compensation de la quadrantale par des barres de fer doux* p. 284
- *Chapitre III : Effet de la bande* p. 286

### **DEUXIÈME PARTIE : Pratique**

- *Chapitre I : Régulation* p. 291
  - *Détermination des déviations* p. 291
  - *Détermination des tableaux de déviation en évoluant au point fixe* p. 293
  - *Évolution en route libre* p. 298
  - *Calcul des coefficients. \_ Détermination de  $\lambda$*  p. 300
- *Chapitre II : Compensation* p. 304
  - *Compensation pour la bande* p. 311
- *Chapitre III : Dygogrammes et déflecteurs*
  - *Dygogrammes* p. 315
  - *Déflecteurs* p. 321

### **TROISIÈME PARTIE**

- *Chapitre I : Qualité des roses* p. 331
- *Chapitre II : Tables et modèles*
  - *Compas liquide* p. 336

**NOTE SUR LE COMPAS GYROSCOPIQUE** p. 357

**Extrait 3 : Sommaire du Cours de navigation et de compas de l'École Navale de Marguet édité en 1913.**

## **COURS DE NAVIGATION**

Introduction p. 1

### **CHAPITRE I : Mesure des hauteurs et du temps à la mer**

- I. Le sextant p. 2
  - Rectification du sextant p. 9
  - Usage du sextant p. 15
  - Horizons artificiels p. 20
- II Correction des hauteurs p.26
  - Calcul des éléments qui figurent dans les formules de correction des hauteurs p. 30
- III Chronomètres et montres marines p.34
  - Notions sur le mécanisme des chronomètres p. 38
  - Usage des chronomètres p. 43
- IV Réglage de la montre d'habitacle et des chronomètres
  - Réglage de la montre d'habitacle p.45
  - Régler un chronomètre p. 57

### **CHAPITRE II : Premier problème de navigation : moyens de s'orienter et de se diriger en mer**

- I Propriétés de l'aiguille aimantée p.70
- II Compas. Correction des routes p.78
  - Correction des routes p. 84
- III Détermination de la variation du compas
  - Détermination de l'azimut d'un astre ou d'un objet terrestre p. 92
  - Détermination de la variation du compas p. 109
- IV Compensation des compas p. 115
  - Pratique de la compensation p. 123

### **CHAPITRE III : Deuxième problème de navigation : déterminer la route à suivre et la distance à parcourir pour se rendre d'un lieu donné dans un autre lieu donné**

- I Loxodromie. Etude de ses propriétés p. 135
- II Cartes marines p. 146
  - Usage des cartes marines p. 150
- III Marées p. 157
  - Problème sur les marées p. 165
- IV Navigation orthodromique p. 171

### **CHAPITRE IV : Troisième problème de navigation : faire le point**

- I Point estimé p. 179
- II Point par relèvement p. 188
- III Point observé par rectifications successives
  - Détermination de la latitude p. 195
  - Détermination de la longitude p. 212
- IV Point observé. Méthode des droites de hauteur
  - Cercle, courbes et droites de hauteur p. 216
  - Légitimité de la substitution de la droite de hauteur à la courbe de hauteur p. 233
  - Application de la méthode des droites de hauteur à la détermination de la position du navire sur le Globe p. 239



|                                         |        |
|-----------------------------------------|--------|
| ○ Détermination rapide du point observé | p. 250 |
|-----------------------------------------|--------|

CHAPITRE V : Application du cours de navigation aux diverses circonstances dans lesquelles peut se trouver le navigateur. \_ Problèmes de pratique courante. \_ Questions théoriques complémentaires.

|                                                                                                                 |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| • I Application du Cours de navigation aux diverses circonstances dans lesquelles peut se trouver le navigateur | p. 257 |
| • II Problèmes de pratique courante                                                                             | p. 266 |
| • III Questions théoriques complémentaires                                                                      |        |
| ○ Notions succinctes sur les erreurs du sextant                                                                 | p. 281 |
| ○ Séries de hauteurs                                                                                            | p. 286 |
| ○ Influence des erreurs des données sur le calcul du point observé                                              | p.289  |

|                                                                            |        |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tableau de correspondance des tables de Friocourt, Caillet et Souillagouët | p. 297 |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|

**Extrait 4 : Sommaire du Cours élémentaire d'astronomie et de navigation (deuxième partie : navigation) de Constan édité en 1904.**

Remarquons tout d'abord que les notions de navigation présentées dans les manuels sont de plusieurs ordres. Nous y trouvons des définitions et des procédés de calcul exacts ou simplifiés qui sont présentés sous leur forme théorique ou appliquée. Les ouvrages contiennent également la description ainsi que les techniques d'utilisation d'outils comme les cartes et les tables de calculs mais aussi les sextants, chronomètres et compas. Les auteurs sont amenés à faire des choix pour ordonner tous ces éléments, ce qui donne finalement des ouvrages dont nous allons chercher les points communs et les différences.

Trouver un point commun aux quatre ouvrages s'avère difficile alors qu'il est possible de le faire sur trois ouvrages. Les quatre ouvrages ont comme point commun le format (in – 8°), mais les trois cours sont plus volumineux que le *résumé* de Cousin. En effet, celui de Marguet, en deux tomes, compte près de 700 pages et ceux de Guilhaumon et Constan près de 500 pages (réparties en deux tomes pour celui de Constan). Le *résumé* de Cousin a, quant à lui, près de 250 pages. Mais il est plus aisé de retrouver une notion dans les ouvrages de cours car ceux-ci comportent une table des matières détaillée. Ces notions sont même développées dans de petits paragraphes numérotés chez Guilhaumon et Constan (438 pour le cours du premier et 394 puis 419 pour le second), ce qui permet probablement de s'y référer rapidement durant les leçons. Il est surprenant que Cousin n'ait pas joint de table des matières à son *résumé* car son usage en devient de ce fait beaucoup plus complexe. Les livres ont été publiés par trois éditeurs différents. Augustin Challamel, Librairie Maritime et Coloniale, a édité sur Paris les ouvrages de Marguet et Cousin. Cet éditeur que nous retrouverons sous le nom de Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales publie, entre autres, comme son nom le laisse présager, de nombreux ouvrages dans le domaine maritime. Le cours de Guilhaumon a été publié par

Berger-Levrault, une maison d'édition à Nancy et à Paris, alors que celui de Constan a été édité par Gauthier-Villars, qui est une maison d'édition plus spécialisée reconnue dans le domaine des sciences.

Revenons au contenu même des quatre ouvrages. Marguet a choisi de diviser son *Cours de navigation et de compas de l'École navale* en deux parties correspondant aux deux types de navigation : la navigation par l'estime puis la navigation astronomique, suivi par un livre indépendant traitant du compas mais accolé aux navigations. Marguet insiste sur la différence entre ces deux navigations dès l'introduction de son cours puisqu'il y écrit :

*Le navigateur doit connaître la direction de sa route et la vitesse avec laquelle il la parcourt. (...) La direction de la route est donnée par le compas ; la vitesse par le loch. Connaissant le point de départ, la direction de la route et la distance parcourue, on peut en déduire le point où l'on se trouve. Tel est le principe de la navigation à l'estime. Mais le compas et le loch sont des instruments grossiers. (...) Il est donc nécessaire de pouvoir obtenir une position plus précise que celle qu'ils permettent de déterminer. Or le navigateur peut y parvenir en ayant recours à l'observation des aspects du ciel ; (...) On appelle navigation astronomique les procédés qui servent à déterminer la position du navire par les observations astronomiques. Les instruments utilisés sont alors le sextant et le chronomètre. D'ailleurs, au lieu de déterminer une position par coordonnées, on détermine en général, des lieux géométriques du navire. L'estime sert à relier les uns aux autres ces lieux géométriques. Enfin, dans la navigation astronomique, la position estimée est encore employée comme première approximation, pour permettre l'application de méthodes simplifiées, rapides et commodes. Si on peut en effet trouver le point sans connaître la position approchée du navire, cette détermination directe est laborieuse.<sup>171</sup>*

Ce choix, où les notions sont traitées dans l'ordre des programmes, est suivi par Guilhaumon et par Cousin alors que le public auquel s'adressent les trois auteurs est différent (élèves de l'École navale pour Marguet, élèves préparant le brevet de capitaine au long cours pour Guilhaumon, élèves préparant des brevets inférieurs, marins en activité ou « yachtmen » pour Cousin). Nous aurions pu nous attendre à ce que Constan suive un plan comparable à celui de Guilhaumon puisqu'ils visent le même public. Il n'en est rien. Constan a choisi de construire son cours de navigation en répondant à quatre problèmes, quitte à bousculer les habitudes comme indiqué dans l'avant-propos du premier tome traitant d'astronomie :

---

<sup>171</sup> MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École Navale*, 1913, pp. 7-8 de l'introduction.

*Dans le but de donner à mon travail le maximum de clarté et de cohésion, je ne me suis pas astreint à suivre l'ordre indiqué par le programme ; j'ai même placé dans le Cours d'Astronomie certaines questions de navigation théorique qui y sont mieux à leur place, indiquant simplement par un astérisque, dans la Table des matières du premier Volume, celles de ces questions qui font officiellement partie du second.*

*Il me semble qu'ainsi dégagé de tous les impedimenta qui l'encombrent habituellement, le cours de navigation gagne beaucoup en netteté et devient, par suite, plus facile à comprendre et à retenir.<sup>172</sup>*

Ce choix montre la liberté pédagogique dont bénéficiaient les professeurs d'hydrographie ou tout au moins celle de Constan. Nous trouvons notamment un paragraphe sur la « détermination des coordonnées géographiques » comportant une partie sur le « triangle de position » (voir plus loin dans ce chapitre) dans le *Cours d'astronomie* alors que Marguet et ses autres confrères le situe dans la « navigation astronomique ». De même Marguet, Guilhaumon et Cousin traitent des cartes marines dès le début de leur partie sur la navigation mais n'étudient le sextant, le chronomètre et le compas que bien plus loin dans leur ouvrage alors que Constan procède de manière inverse. Il présente les trois instruments dans les deux premiers chapitres et attend le troisième chapitre pour développer un paragraphe sur la carte marine toujours dans avec le souci de faciliter l'apprentissage de ses élèves. Il est toutefois difficile de savoir si ses méthodes sont plus efficaces que celles de ses collègues car nous n'avons pas de commentaires en ce sens en dehors d'un article de presse indiquant la satisfaction d'un parent d'élève (voir chapitre 1). La place de la « navigation par lieux géométriques » (voir plus loin dans ce chapitre) fait consensus parmi les quatre auteurs. Cette partie de la navigation astronomique est développée vers la fin des ouvrages après avoir installé les connaissances de base dans un ordre ou un autre. Les auteurs choisissent également, selon leurs besoins, d'y adjoindre des notions qui diffèrent de la navigation proprement dite. Marguet et Constan consacrent un tome complet à l'astronomie. Ce tome, qui a presque autant de pages que celui sur la navigation, comprend ce que Guilhaumon appelle la « cosmographie » ainsi que des notions d'optique. Guilhaumon et Cousin ont moins développé cette partie puisqu'ils ne lui ont consacré qu'environ 20% de son cours pour le premier et 15% chez le second (sans mention d'optique). Mais, contrairement aux autres, Guilhaumon fait précéder la cosmographie par des notions de trigonométrie sphérique. Remarquons enfin que Marguet émaille son cours d'informations historiques qui sont très peu présentes chez les trois autres auteurs. Analysons

---

<sup>172</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. V.

dans un premier temps un élément important de l'astronomie. Il s'agit des différents systèmes de coordonnées.

## B) Coordonnées célestes et terrestres

Avant d'assimiler des informations plus importantes, le futur navigateur se doit de maîtriser les divers systèmes de coordonnées. Il s'agit d'une part de déterminer la position des astres dans le ciel par ses coordonnées horizontales, ses coordonnées horaires et ses coordonnées équatoriales. D'autre part, les coordonnées terrestres ou géographiques permettront de repérer la position du navire ou de l'observateur. Ces notions font partie du bagage d'un élève ayant suivi les cours de mathématiques élémentaires au lycée dans la partie cosmographie et le professeur d'hydrographie se contente probablement de les rappeler. Marguet traite d'abord des coordonnées d'un astre avec en premier les coordonnées horizontales, puis les coordonnées horaires. Il reprend quelques pages plus loin avec les coordonnées équatoriales, puis conclut avec les coordonnées géographiques. Il suit ainsi l'ordre des notions indiquées dans le programme du cours d'astronomie<sup>173</sup>. À l'inverse, les trois auteurs des ouvrages destinés aux écoles d'hydrographie s'intéressent en premier lieu aux coordonnées géographiques avant de se pencher sur les trois autres systèmes de coordonnées<sup>174</sup>.

### 1) Les coordonnées horizontales

Marguet définit de manière détaillée les coordonnées horizontales en leur associant un schéma où Z désigne le zénith du lieu de l'observateur c'est-à-dire sa verticale à partir du centre de la terre et A est l'astre observé :

**Coordonnées horizontales.** \_ Ce sont : l'Azimut (A) ou arc SB. Il se compte du point S (...), de 0 à  $2\pi$ , dans le sens des aiguilles d'une montre, dit sens rétrograde, pour un observateur vertical ayant les pieds en C, la tête en Z et regardant l'horizon. (...)

Soit WE perpendiculaire à NS, on appelle amplitude l'écart entre le point B et celui des deux points W et E qui est le plus rapproché. (...)

On appelle distance zénithale ( $\zeta$ ), l'arc Za, compté du point Z, de 0 à  $\pi$ . On lui substitue fréquemment la distance Ba, dite hauteur (h). Celle-ci est positive, selon que a est dans l'hémisphère du zénith ou dans celui du nadir. (...) <sup>175</sup>

---

<sup>173</sup> Ces notions d'astronomie sont enseignées lors des conférences de première année à l'École navale. MINISTÈRE DE LA MARINE ET DES COLONIES, *Bulletin officiel de la Marine*, Paris, Imprimerie nationale, 1912, N25 T125, p. 313.

<sup>174</sup> Ce qui correspond probablement à l'ordre des programmes des cours. Nous n'avons pas pu consulter ceux des écoles d'hydrographie de cette période mais celui de 1920 place les coordonnées géographiques en premier.

<sup>175</sup> MARGUET F., *Cours d'Astronomie de l'École Navale*, 1916, pp. 23-24.

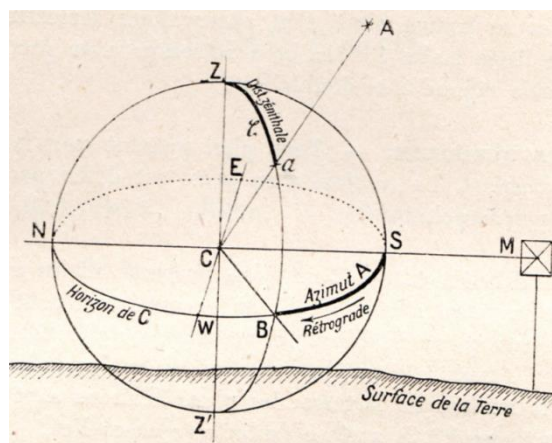


Figure 3 : Illustration des coordonnées horizontales jointe par Marguet à sa définition.<sup>176</sup>

La connaissance du couple hauteur-azimut est indispensable pour obtenir la position du navire par la méthode du point Marcq (voir paragraphe D et chapitre 3), ces coordonnées s'obtenant en partie à partir des coordonnées horaires.

## 2) Les coordonnées horaires

Marguet débute son paragraphe en justifiant l'utilisation de ce nouveau système de coordonnées. Il écrit :

*Nous pouvons maintenant définir un second système de coordonnées particulièrement propres à représenter les phénomènes diurnes<sup>177</sup>, dans lequel le fait important est la distance d'un astre au méridien [de l'observateur].<sup>178</sup>*

L'auteur définit l'angle horaire noté  $AHag$  (qui peut être simplifié en  $AH$  dans des équations) et la distance polaire notée  $\delta$  ainsi que la déclinaison notée  $\mathcal{D}$  en les illustrant d'une figure explicative indispensable à la compréhension (voir figure 4). Il utilise la lettre « e » pour désigner l'astre observé. Q et Q' sont les deux points de l'équateur coupant le méridien, QQ' étant perpendiculaire à l'« axe de du monde » PO. Z est le zénith du lieu de l'observateur.

*La coordonnée QD se nomme l'angle horaire (...). QD se compte de 0 à  $2\pi$  dans le sens du mouvement diurne. On le représente par  $AHag$ .*

*La coordonnée Pe s'appelle distance polaire. Elle est comptée du pôle nord de 0 à  $\pi$ . On la désigne par  $\delta$ .*

*On lui substitue en général la déclinaison  $\mathcal{D}$  comptée de 0 à  $\frac{\pi}{2}$  ; positive si e est*

<sup>176</sup> MARGUET F., *Op. Cit.* p. 24.

<sup>177</sup> Il s'agit essentiellement du « mouvement diurne » à savoir, « le mouvement des astres sur l'horizon d'un lieu » comme le définit Marguet (MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 22). Les astres ayant un mouvement circulaire apparent autour de l'« axe du monde ».

<sup>178</sup> MARGUET F., *Op. Cit.* p. 28.

dans l'« émisphère » nord, négative dans le cas contraire. On a, si  $\mathcal{D}$  est la déclinaison :

$$\delta + \overline{\mathcal{D}} = \frac{\pi}{2}.^{179}$$

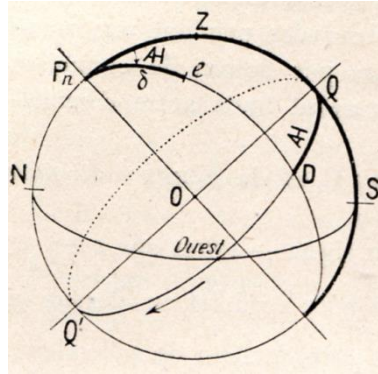


Figure 4 : Illustration des coordonnées horaires jointe par Marguet à sa définition.<sup>180</sup>

Marguet poursuit son paragraphe en donnant les formules permettant de passer d'un système de coordonnées à l'autre qu'il illustre là encore d'une figure (voir figure 5). Ces formules, indispensables pour résoudre le problème du point en mer, sont obtenues à partir du triangle sphérique  $PZE$  (voir paragraphe suivant).

Pour passer des coordonnées horizontales  $A$  (azimut),  $\zeta$  (distance zénithale) ou plutôt  $h$  (hauteur) aux coordonnées horaires  $AH$  (angle horaire),  $\delta$  (angle polaire) ou plutôt  $\mathcal{D}$  (déclinaison), il suffit de résoudre le système,  $\varphi$  étant la latitude connue (ou estimée) :

$$\begin{aligned} \cos \mathcal{D} \cos AH &= \sinh \cos \varphi + \cosh \sin \varphi \cos A, \\ \sin \mathcal{D} &= \sinh \sin \varphi - \cosh \cos \varphi \cos A, \\ \cos \mathcal{D} \sin AH &= \cosh \sin A. \end{aligned}$$

Et pour passer des coordonnées horaires aux coordonnées horizontales, il suffit de résoudre :

$$\begin{aligned} \cosh \cos A &= -\sin \mathcal{D} \cos \varphi + \cos \mathcal{D} \sin \varphi \cos AH, \\ \sinh &= \sin \mathcal{D} \sin \varphi + \cos \mathcal{D} \cos \varphi \cos AH, \\ \cosh \sin A &= \cos \mathcal{D} \sin AH.^{181} \end{aligned}$$

<sup>179</sup> MARGUET F., *Op. Cit.* p. 30. La définition donnée par Marguet comprend la coquille « émisphère » que nous n'avons pas corrigé.

<sup>180</sup> *Ibid.*

<sup>181</sup> MARGUET F., *Op. Cit.* p. 31.

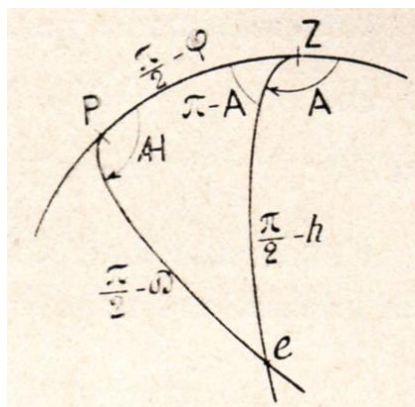
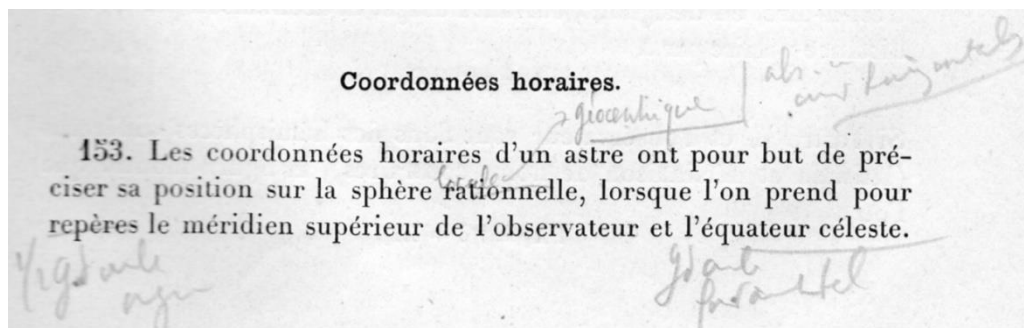


Figure 5 : Illustration jointe par Marguet aux formules liant les coordonnées horizontales aux coordonnées horaires.<sup>182</sup>

Les différents systèmes de coordonnées n'utilisent pas la même sphère de référence. Les coordonnées horizontales et horaires sont toutes deux basées sur la « sphère locale », que Constan nomme la « sphère rationnelle », alors que les coordonnées équatoriales sont basées sur la « sphère céleste » que Constan nomme la « sphère étoilée ». Mais les noms choisis par Constan ne conviennent visiblement pas à tous les professeurs d'hydrographie. En effet, nous notons que les termes sont raturés dans l'un des exemplaires présents dans la bibliothèque de l'ENSM de Saint-Malo. D'ailleurs une grande partie de l'ouvrage est fortement annotée et raturée.



Extrait 5 : Exemplaire annoté du cours de Constan.<sup>183</sup>

Dans cet extrait, le correcteur a remplacé « sphère rationnelle » par « sphère locale géocentrique »<sup>184</sup>. Nous pouvons envisager plusieurs explications possibles à la réécriture de ce cours qui a fait partie du fond de l'école d'hydrographie de Saint-Brieuc<sup>185</sup>. Il est tout d'abord envisageable que ce soit l'auteur lui-même qui ait repris son travail en vue d'une réédition. Mais je pense plutôt qu'il s'agit du travail d'appropriation d'un autre enseignant en vue de la

<sup>182</sup> *Ibid.*

<sup>183</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 99.

<sup>184</sup> Constan fait également référence aux coordonnées horizontales mais le reste est peu lisible.

<sup>185</sup> La deuxième de couverture présente cette référence.

préparation du cours qu'il compte présenter à ses élèves de Saint-Brieuc (ou de Saint-Malo). Cette réécriture peut être datée après 1911 car certaines références au méridien de Paris sont remplacées par une référence au méridien de Greenwich<sup>186</sup>. Et les nombreuses parties « supprimées » mettent alors en évidence la différence entre les objectifs du programme et la réalité des cours. Enfin, une dernière explication possible serait qu'il s'agisse du livre de cours d'un élève qui en aurait fait don à l'école, mais ceci est peu crédible.

### 3) Les coordonnées équatoriales

Marguet abandonne donc la sphère locale comme repère de référence pour définir les coordonnées équatoriales. Il considère la sphère céleste dont le centre est le centre de la Terre pour définir la position  $A$  d'un astre.

*Les coordonnées [équatoriales] sont : 1° l'ascension droite  $\gamma$  ( $\overline{AR}$ ), arc compris entre le point vernal  $[\gamma]$  et le pied  $a$  du cercle de déclinaison  $PA$  de l'astre. Elle se compte de 0 à 24h dans le sens direct (...) 2° La distance  $PA$ , qui n'est autre que la distance polaire  $\delta$  déjà définie aux coordonnées horaires.<sup>187</sup>*

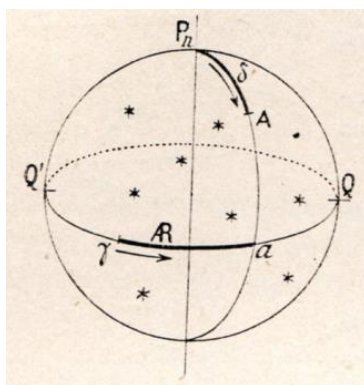


Figure 6 : Illustration des coordonnées équatoriales jointe par Marguet à sa définition.<sup>188</sup>

L'« avantage des coordonnées équatoriales » est précisément exposé chez les auteurs d'ouvrages pour les écoles d'hydrographie mais ne l'est pas chez Marguet. Guilhaumon écrit dans le dernier paragraphe du chapitre sur la sphère céleste :

<sup>186</sup> Par exemple, à la page 36 du second volume. Le méridien de Paris a été abandonné au profit du méridien de Greenwich lors de la Conférence Internationale de Washington de 1884, mais il faut attendre le 9 mars 1911 pour qu'une loi adoptant officiellement le méridien international de Greenwich soit promulguée.

<sup>187</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, pp. 47-48. Le « point vernal » est l'un des points d'intersection entre l'écliptique (itinéraire sur lequel semble se déplacer le Soleil dans un repère géocentrique) et l'équateur céleste. Il est défini par la position du soleil à l'équinoxe de printemps dans l'hémisphère nord.

<sup>188</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 47.



*Les coordonnées équatoriales sont sensiblement constantes pour les étoiles et varient toujours lentement pour la plupart des astres mobiles. Elles sont indépendantes de la position de l'observateur et du mouvement diurne de la sphère céleste.<sup>189</sup>*

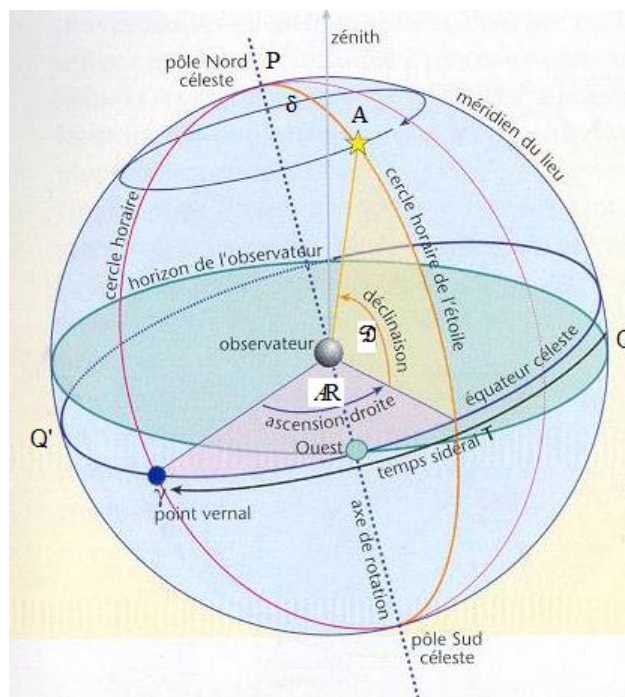


Figure 7 : Ascension droite, distance polaire et déclinaison sur la sphère céleste combinée à la sphère locale.<sup>190</sup>

#### 4) Les coordonnées géographiques

Marguet traite ensuite du dernier couple de coordonnées : les coordonnées géographiques. Ses explications sont moins claires que celles des trois autres auteurs, probablement car son objectif est différent. Marguet insiste sur les différences et les points communs entre la latitude et la longitude géographique d'une part et la latitude et la longitude astronomique d'autre part. Il s'agit en quelque sorte d'une conclusion, que l'auteur avait préparée depuis plusieurs pages, dans laquelle il présentera les « relations entre les coordonnées des différents systèmes ayant pour axe l'axe du monde »<sup>191</sup>. À l'inverse, les coordonnées géographiques sont traitées avant les autres coordonnées chez Guilhaumon, Constan et Cousin car la terre s'y étudie avant les astres. Cousin donne la définition la plus compréhensible pour le néophyte. Nous pouvions nous y attendre car l'ouvrage de Cousin ne s'adresse pas spécifiquement aux candidats aux brevets supérieurs, il n'est pas certain que le lecteur ait des connaissances mathématiques de lycée. De

<sup>189</sup> GUILHAUMON J-B., *Eléments de Cosmographie et de navigation*, 1906, p. 69.

<sup>190</sup> Figure complétée par mes soins pour correspondre aux notations utilisées dans les cours de Marguet.

<sup>191</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 51.

ce fait, cette définition suffisamment explicative peut être utile à un vaste public. Il écrit dans le petit paragraphe s'intitulant « Coordonnées d'un lieu, ou coordonnées géographiques » qu'il illustre par deux schémas :

*Ce sont deux quantités appelées latitude et longitude qui servent à déterminer la position d'un lieu sur la terre.*

*1° Latitude. \_ C'est l'arc de méridien compris entre l'équateur et le lieu et évalué en degré, minutes et secondes de 0° à 90° ; la latitude est nord ou sud suivant que le lieu est par rapport à l'équateur qq' du côté du pôle Nord ou du pôle Sud.*

*Exemple : latitude de A = CA nord  
latitude de B = BD sud. (...)*

*Remarque. \_ On emploie quelquefois la colatitude, qui est le complément de la latitude L, c'est-à-dire que la colatitude = 90° - L.*

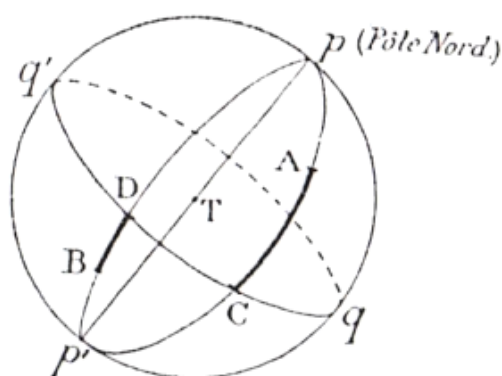


**Figure 8 : Schéma explicatif de la latitude joint à sa définition par Cousin.<sup>192</sup>**

*2° Longitude. \_ C'est l'arc d'équateur compris entre un méridien arbitraire, mais choisi une fois pour toutes, et le méridien du lieu ; la longitude se compte de 0° à 180° à partir du méridien origine jusqu'au méridien du lieu ; elle est Est ou Ouest, suivant que le lieu est à droite ou à gauche du méridien origine.*

*Exemple : longitude de A = GI Est  
longitude de B = Gq'K Ouest.*

<sup>192</sup> COUSIN A., *Op. Cit.*, p. 8.

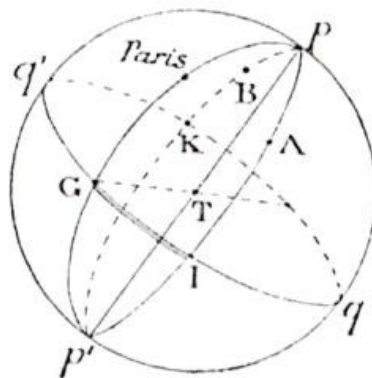


Figure 9 : Schéma explicatif de la longitude joint à sa définition par Cousin.<sup>193</sup>

**Conclusion.** \_ Un lieu est complètement défini si on connaît sa latitude et sa longitude ( $L$  et  $G$ ), car il se trouve à l'intersection du parallèle  $L$  et du méridien  $G$ , qui ne se coupent jamais qu'en un point.<sup>194</sup>

Remarquons l'utilisation de la lettre «  $L$  » par Cousin, tout comme Guilhaumon et Constan, pour désigner la latitude, ce qui est une spécificité maritime. Marguet quant à lui, préfère employer la lettre  $\phi$ . Il justifie son choix dans l'« avertissement » au début de son cours :

*L'auteur a adopté les notations généralement employées dans les traités d'astronomie sphérique. La lecture de ces ouvrages, où sont traités beaucoup de problèmes utilisés en navigation, sera ainsi facilitée aux marins. Par exemple, la latitude est universellement désignée par la lettre  $\phi$  et non la lettre  $L$  usitée jusqu'ici dans la marine.*<sup>195</sup>

Marguet propose ainsi un cours plus universel que ceux des auteurs d'ouvrages pour les écoles d'hydrographie qui s'adressent, en théorie, uniquement aux marins. Tous les navigateurs n'ont toutefois pas besoin d'avoir des connaissances approfondies sur les coordonnées célestes, car celles-ci ne sont pas indispensables à la navigation à l'estime. Cousin écrit que « la navigation par l'estime est l'ensemble des procédés qui permettent de déterminer la position du navire en latitude et longitude sans faire aucune observation d'astre »<sup>196</sup>. Encore faut-il que le navigateur maîtrise l'utilisation des *cartes marines* et du *compas* (voir chapitre 3). Constan rappelle tout de même, à la fin du premier tome de son cours, que « l'application la plus importante de l'Astronomie est l'utilisation des astres pour la détermination des coordonnées géographiques »<sup>197</sup>. Il précise quelques lignes plus loin que « cette observation est basée sur la

<sup>193</sup> COUSIN A., *Op. Cit.*, p. 9.

<sup>194</sup> COUSIN A., *Op. Cit.*, pp. 8-9.

<sup>195</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 5 de l'introduction.

<sup>196</sup> COUSIN A., *Op. Cit.*, p. 47.

<sup>197</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 242.

résolution du *triangle de position* »<sup>198</sup>. Analysons maintenant comment les quatre auteurs traitent cette question de « triangle de position » en remarquant tout d'abord que la place qui lui est réservée varie d'un ouvrage à l'autre.

### C) Résolution du triangle de position

Marguet lui consacre 6 pages dans les « notions préliminaires » relatives à la navigation astronomique dès la page 45 du *Cours de navigation et de compas de l'École Navale*<sup>199</sup>. La présentation de la notion est beaucoup plus succincte chez les trois autres auteurs, mais sa position dans l'ouvrage est révélatrice de l'importance qu'elle doit avoir pour le lecteur selon ses objectifs (préparation d'un examen, utilisation comme aide-mémoire...). Guilhaumon consacre une page à la définition de la notion, puis l'ensemble du chapitre X est consacré au « triangle de position » et au « calcul de ses éléments », soit une soixantaine de pages. La présentation du « triangle de position » dans la partie du cours concernant la navigation astronomique est présente dès première édition de 1891 de son ouvrage, mais il a semblé nécessaire à l'auteur de faire précéder la cosmographie et la navigation de « notions de trigonométrie sphérique » dans les éditions suivantes (alors que ce n'était pas le cas en 1891). Nous pouvons nous interroger sur ce choix, à savoir de reprendre des notions mathématiques et non d'astronomie ou de navigation théorique, d'autant que l'auteur n'a pas été suivi par ses collègues. Nous pouvons avancer qu'il a souhaité écrire l'ouvrage le plus complet possible afin que les élèves n'aient pas à se référer à leurs cours de lycée ou à des ouvrages de mathématiques complémentaires. Constan, quant à lui, a préféré inclure 19 lignes introduisant « le triangle de position » dès le premier volume du cours qui traite pourtant d'astronomie. La présentation de Cousin est enfin très rapide car, rappelons-le, le *Résumé* ne prépare pas aux examens de capitaine au long cours. Il ne lui consacre que 14 lignes page 208, presque à la fin de son ouvrage, dans le chapitre V de la partie « Compléments à l'usage de la navigation au long-cours ».

Il ressort de l'analyse de ces ouvrages que le « triangle de position » est généralement défini comme un triangle sphérique inscrit sur une sphère géocentrique. Marguet indique qu'« on appelle *triangle de position* le triangle *PZE* de la *sphère géocentrique* »<sup>200</sup> en prenant *M* un observateur, *Z* l'image du zénith sur la sphère géocentrique, *P* le pôle nord, *A* un astre observé et *E* le point où *OA* coupe la sphère (voir figure 10).

---

<sup>198</sup> *Ibid.*

<sup>199</sup> Le « triangle de position » est au programme du cours de navigation de la deuxième année à l'École navale. MINISTÈRE DE LA MARINE ET DES COLONIES, *Bulletin officiel de la Marine, Op. Cit.*, p. 316.

<sup>200</sup> MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École Navale*, 1913, p. 46.

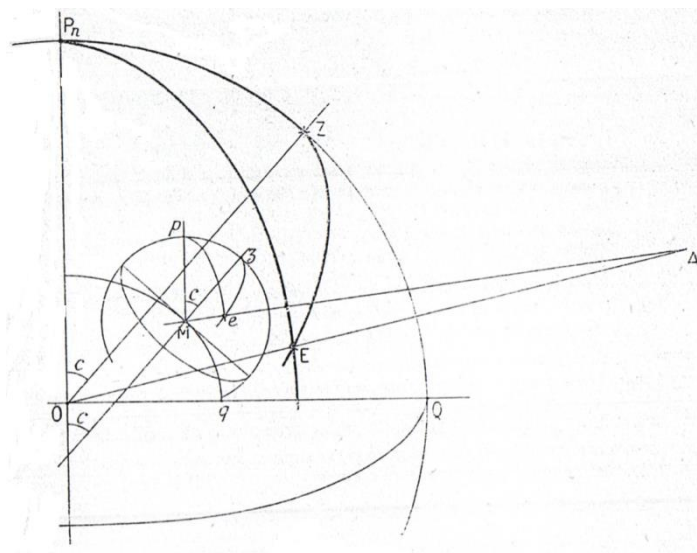


Figure 10 : Figure accompagnant la définition du triangle de position chez Marguet.<sup>201</sup>

Marguet précise les éléments de ce triangle de position. Il y a d'une part les trois côtés et d'autre part les angles :

**Côtés.** \_ Les côtés du triangle sont :

*PZ égal à la colatitude du lieu M ou  $\frac{\pi}{2} - \varphi$  ;*

*PE égal à la distance polaire  $\delta$  de A ou à  $\frac{\pi}{2} - \mathcal{D}$  ;*

*ZE égal à l'angle AOZ. (...)*

**Angles.** \_ Ce sont : 1° l'angle en P qui est égal à AH où à  $2\pi - AH$  selon que E est dans l'Ouest ou dans l'Est du méridien PZ. (...)

2° L'angle au zénith, égal à  $\pi - A$  ou  $A - \pi$  dans les mêmes conditions.

(...) Enfin l'angle PEZ ou angle à l'astre. (...)<sup>202</sup>

Le « triangle de position », comme tout triangle sphérique, sera résolu lorsque seront connus trois de ses éléments parmi les angles ou les côtés de ce même triangle. Cette résolution se fait au moyen de formules de trigonométrie sphérique. Marguet a démontré ces formules dans son cours d'astronomie. Différentes méthodes peuvent être utilisées pour obtenir les « relations fondamentales » de la trigonométrie sphérique. Marguet procède en trois étapes<sup>203</sup>.

<sup>201</sup> *Ibid.*

<sup>202</sup> *Ibid.*

<sup>203</sup> MARGUET F., *Cours d'astronomie de l'École Navale*, 1916, pp. 6-19.

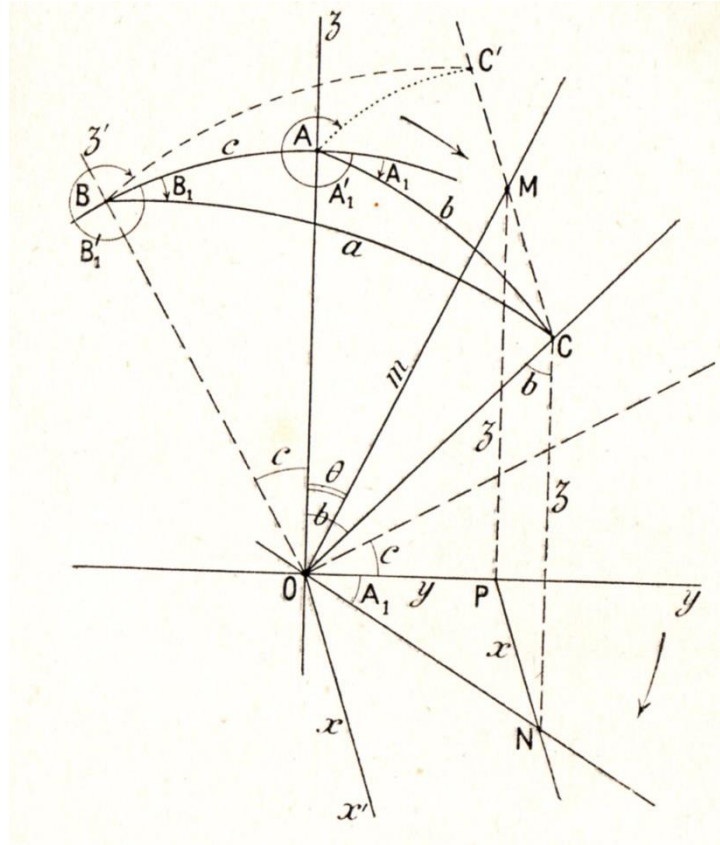


Figure 11 : Extrait du cours d'astronomie de Marguet.<sup>204</sup>

Premièrement, il établit les formules reliant les coordonnées rectilignes du point C à ses coordonnées polaires (voir figure 11) :

Soient les trois axes rectangulaires  $Oxyz$  et un point  $C$  avec  $OC$  égal 1. On choisit de placer le point  $A$  sur l'axe  $Oz$ . Le point  $N$  est la projection de  $C$  sur le plan  $xOy$ , on appelle  $A_1$  l'angle que forme la demi-droite  $ON$  avec la direction  $Oy$  (compté positivement de 0 à  $2\pi$ ) et  $b$  l'angle qu'elle forme avec la direction  $Oz$  (compté positivement de 0 à  $\pi$ ) ce qui correspond également à la mesure de l'arc  $AC$ . Le point  $M$  est la projection de  $C$  sur le plan  $zOy$  avec  $OM$  égal  $m$  et  $\theta$  égal à l'angle  $AOM$ ,  $P$  est le quatrième sommet du rectangle  $CNPM$ . On a alors :

$$\begin{aligned} x &= PN = ON \sin A_1 = \sin b \cdot \sin A_1 \\ y &= OP = ON \cos A_1 = \sin b \cdot \cos A_1 &= m \sin \theta & (1) \\ z &= CN = MP = \cos b &= m \cos \theta \end{aligned}$$

Ensuite, il procède à un changement d'axes. Le point  $B$  étant alors choisi sur l'axe  $Oz'$ . Le nouveau système d'axes rectangulaire  $Ox'y'z'$  est obtenu de la manière suivante : « l'axe  $Ox'$  se confondant avec  $Ox$  ; les axes  $Oy'$ ,  $Oz'$  provenant d'une rotation de  $Oy$ ,  $Oz$  autour de  $Ox$ . Soit  $c$  l'angle des directions positives de  $Oy'$  et  $Oy$ . » (compté de 0 à  $2\pi$ ). Dans ce nouveau

<sup>204</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 7.

repère  $C$  a pour coordonnées cartésiennes  $x'$ ,  $y'$  et  $z'$  et pour coordonnées polaires  $a$  (qui correspond à la mesure de l'arc  $BC$ ) et  $B_1$  qui correspond à l'angle  $B$  dans le triangle sphérique  $ABC$ . On a alors :

$$\begin{aligned}x' &= \sin a \cdot \sin B_1 \\y' &= \sin a \cdot \cos B_1 = m \sin(\theta + c) = m \sin\theta \cos c + m \cos\theta \sin c \\z' &= \cos a = m \cos(\theta + c) = m \cos\theta \cos c - m \sin\theta \sin c\end{aligned}$$

En remplaçant  $m \sin\theta$  et  $m \cos\theta$  par leurs valeurs obtenues en (1) et en remarquant que  $x' = x$ , on obtient :

$$\sin b \cdot \sin A_1 = \sin a \cdot \sin B_1 \quad (2)$$

$$\sin a \cdot \cos B_1 = \cos b \cdot \sin c + \sin b \cdot \cos c \cdot \cos A_1 \quad (3)$$

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c - \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A_1 \quad (4)$$

Enfin, en considérant que  $c$  est plus petit que  $\pi$ , la dernière étape consiste à considérer le triangle sphérique dont les côtés sont constitués par les arcs de grand cercle  $CA$ ,  $CB$ ,  $BA$ , c'est-à-dire  $a$ ,  $b$  et  $c$ . Soient  $A$  et  $B$  les angles de ce triangle. Deux positions du point  $C$  sont alors possibles :

$C$  est en avant du plan  $zOy$ ,  $A_1 = \pi - A$ ,  $B_1 = B$ ,

$C$  est en arrière du plan  $zOy$ ,  $A'_1 = \pi + A$ ,  $B'_1 = 2\pi - B$ .

Dans les deux cas les formules (3), (4), (2) donnent respectivement :

$$\sin a \cdot \cos B = \cos b \cdot \sin c - \sin b \cdot \cos c \cdot \cos A \quad (5)$$

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A \quad (6)$$

$$\sin a \cdot \sin B = \sin b \cdot \sin A \quad (7)$$

ou encore

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} \quad (8)$$

Marguet a ainsi établi les principales relations fondamentales. L'équation (6) porte le nom de « formule fondamentale », l'équation (8) celui d'« analogie des sinus » et l'équation (5) celui de « formule des 5 éléments ».

Il convient d'ajouter à ces formules la « formule des cotangentes » (ou « formule des quatre éléments consécutifs ») qui s'obtient en divisant membre à membre les équations (5) et (7) :

$$\cotg b \sin c - \cotg B \sin A = \cos c \cos A.$$

La « formule des trois angles et un côté » est obtenue quant à elle en appliquant la « formule fondamentale » au triangle polaire de  $ABC$ . C'est-à-dire en appliquant au triangle supplémentaire  $A'B'C'$  dont les éléments sont :

$$a' = \pi - A, b' = \pi - B, c' = \pi - C, A' = \pi - a, B' = \pi - b, C' = \pi - c,$$

la formule  $\cos a' = \cos b' \cdot \cos c' + \sin b' \cdot \sin c' \cdot \cos A'$ . Ce qui donne :

$$-\cos A = \cos B \cdot \cos C - \sin B \cdot \sin C \cdot \cos a.$$

Cet ensemble de formules était d'un usage quotidien chez les élèves et étaient démontrées dans les cours de cosmographie de l'École navale et dans le cours correspondant à l'examen de maître au cabotage et capitaine au cabotage. Nous pouvons remarquer que Marguet fait ici encore preuve d'originalité et de modernité (comme pour l'introduction de la lettre  $\varphi$  au lieu de la lettre  $L$  pour désigner la latitude). Il utilise des angles en radians alors que ses collègues des écoles d'hydrographie utilisent le degré comme Guilhaumon lorsqu'il démontre les formules de trigonométrie sphérique au début de son cours dans l'édition de 1906.

Il est également pratique pour le navigateur de connaître les formules de trigonométrie sphérique appliquées aux triangles sphériques rectangles car plusieurs méthodes simplifiant les calculs transforment le triangle de position en deux triangles rectangles.

Soit un triangle sphérique  $ABC$  rectangle en  $A$ , comme

$$\sin A = 1, \cos A = 0 \text{ et } \cotg A = 0,$$

les formules deviennent :

$$\text{« formule fondamentale » : } \cos a = \cos b \cdot \cos c$$

$$\text{« analogie des sinus » : } \sin a = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$$

$$\begin{aligned} \text{« formule des cinq éléments » : } & \quad tg b = tg a \cdot \cos C \\ & \quad \text{ou } tg c = tg a \cdot \cos B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{« formule des cotangentes » : } & \quad \cotg B = \cotg b \cdot \sin c \\ & \quad \text{ou } \cotg C = \cotg c \cdot \sin b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{« formule de trois angles et un côté » : } & \quad \cos a = \cotg B \cotg C \\ & \quad \text{ou } \cos B = \cos b \cdot \sin C \end{aligned}$$

Muni de ces formules, le navigateur est prêt à résoudre plusieurs « problèmes » de navigation. Il sera notamment à même d'apporter des solutions à ce que Constan nomme le « troisième problème de navigation : faire le point »<sup>205</sup>.

#### D) La navigation par lieux géométriques

Il existe plusieurs procédés employés pour déterminer « le point à la mer » dont certains sont en voie de disparition avant 1914. Avant de revenir aux textes de Marguet<sup>206</sup>, citons Constan qui écrit à propos de ces méthodes dépassées mais après avoir tout de même exposé sur 21 pages le principe du « point observé par rectifications successives »<sup>207</sup>.

<sup>205</sup> CONSTAN P., *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 2<sup>e</sup> partie, 1904, p. 179.

<sup>206</sup> Le « problème du point » est au programme du cours de navigation de la deuxième année à l'École navale. MINISTÈRE DE LA MARINE ET DES COLONIES, *Bulletin officiel de la Marine*, Op. Cit., p. 317.

<sup>207</sup> CONSTAN P., Op. Cit., pp. 195-216.



*Cette méthode uniquement employée autrefois, a l'inconvénient d'être très longue et de ne pas permettre d'obtenir le point à un instant quelconque, ce qui est pourtant nécessaire avec les vitesses actuelles des navires : c'est pourquoi on lui substitue maintenant la méthode des droites de hauteur.*<sup>208</sup>

Revenons donc sur la genèse de la « navigation par lieux géométriques », utilisant les « droites de hauteur », parfois appelée « nouvelle navigation », et qui va s'imposer progressivement dans la marine française.

La longitude ne pouvait pas être déterminée par les observations célestes tant que les chronomètres n'étaient pas fiables. Les corps célestes étaient certes utilisés pour la détermination de la latitude mais ils donnaient une indication peu précise de la direction Est-Ouest. Le développement du chronomètre de marine ouvre de nouvelles perspectives aux navigateurs, et de nouvelles méthodes commencent immédiatement à apparaître. Cet instrument est inventé en Angleterre par John Harrison au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle<sup>209</sup>, mais il faut attendre les années 1840-1850 pour que les navires de la Marine française en soient systématiquement dotés et une trentaine d'années de plus pour que ce soit le cas des navires de commerce. Les progrès dans l'étude, la construction et l'utilisation des chronomètres durant la plus grande partie du XIX<sup>e</sup> siècle ont simplifié la tâche des marins. Marguet écrit à ce propos que :

*L'utilisation du chronomètre, qui a demandé beaucoup de soin pendant un temps, est devenue enfin toute simple grâce à une construction de plus en plus soignée, résultat des efforts d'artistes qualifiés, éclairés et soutenus par les savants et les marins.*<sup>210</sup>

Le développement des chronomètres entraîne la création d'un réseau d'observatoires de la Marine dans de nombreux ports français, dont le principal objectif était « d'offrir un service de contrôle des montres de marine »<sup>211</sup>. En réalité, la fonction de ces observatoires est double :

*Un contrôle rigoureux de ces montres par des observations astronomiques, doit tout d'abord être réalisé avant chaque embarquement. De plus, les officiers chargés de ces instruments doivent être formés, tant à la pratique des observations astronomiques qu'à l'utilisation d'un matériel nouveau aux techniques encore émergentes.*<sup>212</sup>

---

<sup>208</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 216.

<sup>209</sup> Voir SOBEL D., *Longitude*, Paris, J.-C. Lattès, 1996. SCHIAVON M. et ROLLET L., *Pour une histoire du Bureau des longitudes, 1795-1932*, Nancy Presses Universitaires de Nancy - éditions universitaires de Lorraine, 2017.

<sup>210</sup> MARGUET F., *Histoire générale de la navigation du XVe au XXe siècle*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1931, p. 281.

<sup>211</sup> Comme le note Olivier Sozereau. SOZEREAU O., « Les observatoires de la Marine au XIX<sup>e</sup> siècle, lieux de formation pour les marins », *La Revue Maritime*, Septembre 2012, p. 24.

<sup>212</sup> *Ibid.*

Les « bordaches » finissent par bénéficier d'un tel lieu d'enseignement qui est construit à Brest en 1887, ce projet ayant été réalisé à la demande du commandant de l'École navale afin que ses élèves se rendent « compte des différents mouvements célestes autrement que par des figures sur un tableau »<sup>213</sup>. Ils peuvent ainsi mettre en application les cours sur le chronomètre donnés par Marguet.

L'un des éléments de la « nouvelle navigation » était donc en place avec les progrès du chronomètre, restait à découvrir le second. Marguet cite la *Nouvelle Navigation astronomique*<sup>214</sup> publiée en 1877 par Yvon Villarceau<sup>215</sup> et De Magnac<sup>216</sup>. Ces scientifiques distinguent trois phases dans la navigation : premièrement l'estime, deuxièmement l'ancienne navigation où l'on déterminait la latitude à midi et la longitude par des distances lunaires, troisièmement la nouvelle navigation où on pouvait se fier au chronomètre<sup>217</sup>. Marguet propose une date initiale pour cette « nouvelle navigation ». Il écrit qu'« on a navigué, surtout à partir de 1875-1880 environ, par lieux géométriques exacts et uniquement avec le chronomètre, méthode qui est celle de la « nouvelle navigation » »<sup>218</sup>. Mais ce découpage en trois phases et ce terme de « nouvelle navigation » ne conviennent pas à tous. Ainsi Ernest Mouchez<sup>219</sup> récusé l'appellation de « nouvelle navigation » dans son intervention du 28 mai 1877 à l'Académie des Sciences<sup>220</sup>. Cette polémique s'inscrit dans un contexte de tension apparu « dans la littérature nautique et qui oppose, depuis le milieu du XVII<sup>e</sup> siècle, les tenants d'une navigation scientifique de haut niveau aux partisans d'une démocratisation des procédés »<sup>221</sup>. Villarceau et Mouchez sont tous les deux membres de l'Institut et membres actifs du Bureau des longitudes. Mais le premier, en tant que pur produit de l'astronomie française et ancien mécanicien, a une approche plus théorique de la navigation alors que le second, en tant qu'officier de Marine, est plus proche des marins et de leurs préoccupations pratiques. D'ailleurs, Marguet oppose les deux protagonistes en ces termes :

---

<sup>213</sup> SAUZEREAU O., *Op. Cit.*, p. 28.

<sup>214</sup> VILLARCEAU Y. et MAGNAC (AVED DE) H., *Nouvelle Navigation Astronomique*, Paris, Gauthier-Villars, 1877.

<sup>215</sup> Antoine Yvon Villarceau (1813-1883).

<sup>216</sup> Henri Julien Aved de Magnac (1836-1892).

<sup>217</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 292.

<sup>218</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 289.

<sup>219</sup> Ernest Mouchez (1821-1892).

<sup>220</sup> BOISTEL G., « De quelle précision a-t-on réellement besoin en mer ? Quelques aspects de la diffusion des méthodes de détermination astronomique et chronométrique des longitudes en mer en France, de Lacaille à Mouchez (1750-1880) », *Histoire & mesure*, volume XXI, n°2, 2006, p 144.

<sup>221</sup> BOISTEL G., *Op. Cit.*, p 151.

*L'un parlait en pur mathématicien qui avait cherché des méthodes générales et souvent élégantes, ne sacrifiant rien au désir d'une extrême précision théorique ; l'autre en praticien pressé, comme l'est tout marin à la mer.*<sup>222</sup>

Cette opposition, qui existe également dans d'autres domaines où les utilisateurs s'intéressent aux mathématiques principalement pour leur aspect pratique, aura des conséquences sur la diffusion de méthodes de calcul simplifiées, comme nous le préciserons plus loin dans cette thèse (voir chapitre 8).

Les officiers de marine se désintéressent progressivement de la méthode des distances lunaires, alors que le recours à la navigation par lieux géométriques exacts devient la méthode prépondérante. Marguet a tout de même consacré un paragraphe de son cours de navigation de 1913 aux distances lunaires alors qu'elles sont supprimées des tables de la *Connaissance des Temps*<sup>223</sup> en 1905, mais l'a fortement remanié dans l'édition de 1921. Il écrit d'ailleurs dans la deuxième édition : « mais l'emploi des distances lunaires étant désormais du domaine de l'histoire, je renvoie à la première édition de ce cours le lecteur désireux de poursuivre la question »<sup>224</sup>.

E. Remy, alors professeur principal à l'École de Navigation d'Ostende, présente le principe fondamental de la nouvelle navigation astronomique dans un article de 1909 de *Ciel et Terre*. Il écrit que « toute observation de hauteur d'un astre, faite à une heure connue du premier méridien, donne un lieu géométrique du navire et rien de plus »<sup>225</sup>. Ce lieu géométrique est appelé « cercle de hauteur ». Marguet néglige ce cercle pour s'attarder sur son image sur la carte marine appelée « courbe de hauteur ». Les cours des écoles d'hydrographie prennent le temps d'expliciter la notion de cercle de hauteur. Guilhaumon en donne une définition qu'il illustre d'un schéma (voir figure 12) :

*Soient A un astre sur la sphère céleste, a la projection de cet astre sur la terre. (...) Si du point a comme pôle, avec un rayon égal à la distance zénithale vraie, on décrit un petit cercle, tous les observateurs situés sur ce petit cercle prendront à cet instant, la même hauteur de l'astre A. (...) on pourra obtenir un lieu géométrique de la position*

---

<sup>222</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 294.

<sup>223</sup> « La *Connaissance des Temps* est un recueil publié par le Bureau des Longitudes et donnant à l'avance, pour chaque année, les coordonnées variables des principaux astres ». CONSTAN P., *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 1<sup>re</sup> partie, 1903, p. 230. Voir Guy Boistel : BOISTEL G., « Profession calculateur du Bureau des longitudes et de la Connaissance des temps. Du (presque) bénévolat à la professionnalisation, 1795-1905 », in SCHIAVON M. et ROLLET L., *Pour une histoire du Bureau des longitudes, 1795-1932*, Nancy, Presses Universitaires de Nancy - éditions universitaires de Lorraine, 2017, pp.43-89.

<sup>224</sup> MARGUET, F. *Cours de navigation et de compas de l'École Navale*, 1921, p. 237.

<sup>225</sup> REMY E., « La détermination de la position géographique dans la navigation ancienne et la navigation moderne », *Ciel et Terre*, 1909, p. 10.

du navire, en décrivant un petit cercle, du point *a* comme pôle, avec la distance zénithale vraie comme rayon. Ce lieu géométrique a reçu le nom de *CERCLE DE HAUTEUR*. Le rôle du sextant est donc de déterminer la distance de l'observateur à la projection de l'astre sur la terre, c'est-à-dire le rayon du cercle de hauteur dont le chronomètre a fixé le pôle.<sup>226</sup>

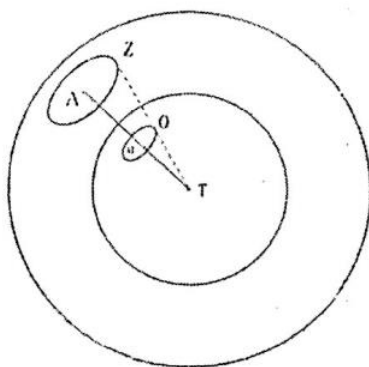


Figure 12 : Schéma explicatif du cercle de hauteur joint à sa définition par Guilhaumon.<sup>227</sup>

La première idée qui vient à l'esprit pour trouver le lieu géométrique du navire est de tracer un cercle sur le globe terrestre ayant pour pôle le point *a* et comme rayon sphérique la valeur déterminée au sextant (ou mieux à l'intersection de deux de ces cercles). « Mais comme il faudrait, pour que le mille soit représenté par une longueur appréciable, posséder un globe d'au moins quatre mètres de diamètre »<sup>228</sup>, cette utilisation directe est impossible. Il est donc nécessaire de tracer ce cercle sur la carte marine, ce qui donne la « courbe de hauteur », telle que chaque point de la courbe de hauteur vérifie l'équation :

$$\sin H_v = \sin \varphi \cdot \sin \mathcal{D} + \cos \varphi \cdot \cos \mathcal{D} \cdot \cos(AH_{ap} - G),$$

où  $H_v$  est la hauteur vraie déduite de la hauteur observée  $H_o$  et  $\mathcal{D}$  et  $AH_{ap}$  sont les coordonnées horaires de l'astre au moment de l'observation (elles sont fournies par les *Éphémérides Nautiques*). Marguet expose longuement la théorie des tracés des courbes de hauteur sur la carte marine, mais il indique dans le paragraphe suivant :

*La conclusion qui ressort de ce qui précède, c'est que la solution qui consiste à déterminer la position du navire sur la carte par le tracé des courbes de hauteurs n'est pas pratique. Le tracé, trop compliqué, rend cette seconde méthode aussi incommode que la résolution directe des équations générales du point. (...) Mais la solution pratique est renfermée dans ce qui précède. (...) S'il peut, au moyen du point estimé,*

<sup>226</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 369.

<sup>227</sup> *Ibid.*

<sup>228</sup> CONSTAN P., *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 2<sup>e</sup> partie, 1904, p. 218.

déterminer sur la courbe de hauteur un point voisin de sa position vraie sur cette courbe (...), il pourra aussi, connaissant ce point et la direction de la courbe de hauteur en ce point, tracer une droite qui représentera une portion de la courbe, peu étendue il est vrai, mais suffisante pratiquement, puisque cette portion le contiendra et qu'il n'aura pas besoin du reste de la courbe. Une pareille droite, tangente à la courbe de hauteur en un point voisin du lieu vrai de l'observateur, porte le nom de droite de hauteur.<sup>229</sup>

Mais Marguet ne se contente pas d'exposer la théorie de la droite de hauteur. Fidèle à son habitude d'étayer son cours d'informations historiques, il relate la navigation du capitaine américain Thomas Hubbard Sumner en 1837 à l'origine de la « découverte » de la droite de hauteur :

*L'estime plaçait Sumner à 400 milles du phare de Tuscar, à l'entrée du canal Saint-Georges. Il n'avait pu faire d'observations depuis longtemps et voulait entrer dans la mer d'Irlande. Brise ESE, la terre sous le vent ; route dans l'ENE. Le 18 décembre, vers 10<sup>h</sup>30, il peut prendre une hauteur de soleil ; mais ayant fait près de 700 milles sans une seule observation, il ne pouvait compter sur sa latitude ni par suite sur l'angle horaire conclu. Il calcula alors trois angles horaires en partant de latitudes distantes de 10 minutes.*

*Son chronomètre était sûr, il déduisit trois longitudes des trois angles horaires, et porta les trois points obtenus sur la carte. Or ces trois points se trouvèrent sur une ligne droite aboutissant au bateau-phare de Smalls. Il continua sa route sur cette droite elle-même et il arriva bientôt en vue du phare.*

*Il venait de tracer, par points, une droite de hauteur suffisante à elle seule pour la sécurité et la précision de sa navigation.<sup>230</sup>*

---

<sup>229</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 188.

<sup>230</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 189.

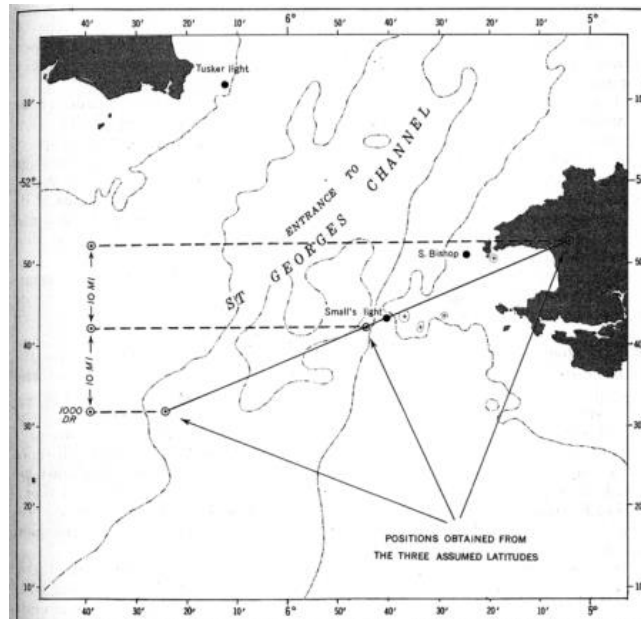


Figure 13 : La première droite de hauteur obtenue par le capitaine T. Sumner en 1837.<sup>231</sup>

La « légende » de la découverte de Sumner a connu quelques versions différentes, il est cependant important de noter la conclusion qu'a su tirer le capitaine de son expérience. Sumner avait en effet compris que la droite joignant les trois points calculés était un lieu géométrique du navire. Son intuition est rapidement confirmée par l'expérience puisque la droite qu'il a tracée sur la carte aboutit au phare de Smalls qu'il rencontre bientôt en continuant sa route sur cette même droite. Sumner publie sa méthode pour se positionner en mer en 1843 dans un ouvrage intitulé *Finding a ship's position at sea*. Il y donne la définition de ce qu'il nomme « parallèle d'égale hauteur »<sup>232</sup>, qui prendra le nom de « cercle de hauteur » en France, dans la partie expliquant les principes de sa méthode :

*Il est clair que les hauteurs intermédiaires de soleil peuvent être repérées sur de petits cercles, parallèles au cercle d'illumination ; ces cercles sont la trace sur la terre de tous les lieux d'où l'on voit, au même instant, le soleil à la même hauteur. (...) Ainsi, depuis tous ces lieux disposés sur un petit cercle donné, appelé parallèle d'égale hauteur, on voit le soleil à la même hauteur, en degrés et minutes, ce qui identifie ce parallèle.*<sup>233</sup>

<sup>231</sup> BOWDICH N., *American Practical Navigator*, USA, US Navy Hydrographic Office, 1958, p. 55.

<sup>232</sup> Traduction littérale de « parallels of equal altitude ».

<sup>233</sup> Traduction de J-José Ségéric de « The intermediate altitudes of the sun may likewise reckoned on small circles, parallel to the circle of illumination; and which may be called parallels of equal altitude, since they serve the purpose of showing all places on the earth surface, which have an equal altitude of the sun, at the same time. (...) So, all those places, on a given small circle, called parallel of equal altitude, have the same altitude of the sun, and the same degree and minute which is the name of this parallel ». SÉGÉRIC J-J., *Histoire du point astronomique en mer*, Rennes, Marines éditions, 2006, p. 298.

La « découverte » du cercle de hauteur fut à l'origine d'un nouveau champ de recherche. Un pas décisif fut franchi lorsque le capitaine de frégate français Adolphe Marcq Saint-Hilaire publie, en 1873 et 1875, deux mémoires : « Note sur la détermination du point » et « Calcul du point observé – Méthode des hauteurs estimées »<sup>234</sup>. Sa méthode dite « du vertical estimé » est jugée très intéressante par le milieu maritime. Ferdinand Souillagouët<sup>235</sup>, alors professeur d'hydrographie de première classe à Bordeaux, écrit dans l'introduction de ses *Tables du point auxiliaire* :

*De toutes les méthodes de navigation basées sur l'emploi des droites de hauteur, la méthode de l'amiral Marcq-Saint-Hilaire est la plus générale, la plus exacte, et celle qui laisse aux observations le champ le plus étendu. Le choix très judicieux du point rapproché pour mener la tangente, atténue l'écart entre la courbe et la droite de hauteur et permet de se servir, aussi près qu'on voudra du méridien, de hauteurs dont l'emploi peut devenir très défectueux avec d'autres procédés de calculs.*<sup>236</sup>

En effet, Marcq Saint-Hilaire prend pour point déterminatif l'intersection du vertical estimé et du cercle de hauteur, ce qui présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes concurrentes. Il existait à cette époque au moins trois variantes à la détermination du point par lieu géométrique (voir figure 14). Nous avons déjà évoqué celle de Sumner où le cercle de hauteur est remplacé par une corde. Dans la méthode du parallèle estimé dite de « Lalande » ou la méthode du méridien estimé dite de « Borda », le point déterminatif (respectivement choisi à l'intersection du parallèle estimé et du cercle de hauteur ou à l'intersection du méridien estimé et du cercle de hauteur) conduit à une tangente au cercle de hauteur. Malheureusement, le « point déterminatif Lalande » ou le « point déterminatif Borda » n'existe pas nécessairement, car le parallèle ou le méridien estimé peuvent ne pas couper le cercle de hauteur. Il existe donc de nombreuses exclusions à l'utilisation de ces deux méthodes. Le « point Marcq Saint-Hilaire » conduit également à une tangente mais d'une part, son existence est toujours acquise (le vertical estimé coupant toujours le cercle de hauteur) et, d'autre part, c'est le point le plus proche du point estimé parmi tous les points déterminatifs du cercle de hauteur (ce qui limite les erreurs dues à l'éloignement).

---

<sup>234</sup> MARCQ DE BLOND DE SAINT-HILAIRE A., « Note sur la détermination du point », *Revue maritime et coloniale*, octobre 1873, pp. 41-57. MARCQ DE BLOND DE SAINT-HILAIRE A., « Calcul du point observé – Méthode des hauteurs estimées », *Revue maritime et coloniale*, septembre 1875, pp. 314-376 et 714-742.

<sup>235</sup> Ferdinand Souillagouët ((1851-1915).

<sup>236</sup> SOUILLAGOUËT F., *Tables de point auxiliaire pour trouver rapidement la hauteur et l'azimut estimés*, Toulouse, Douladoure-Privat, 1894, p. III.





## Conclusion

De cette analyse comparative, il ressort que tout navigateur dispose d'un bagage de base théorique en matière de navigation, notions pouvant être d'ailleurs déjà en partie travaillées sur les bancs du lycée. Marguet insiste pour différencier la navigation à l'estime de la navigation astronomique dès l'introduction de ses cours de l'École navale.

La navigation à l'estime, bien que moins poussée que la navigation astronomique, nécessite tout de même des connaissances en cosmographie avec en particulier les différents systèmes de coordonnées. Si les élèves de l'École navale ont un niveau d'étude initial plutôt élevé, ce n'est pas obligatoirement le cas pour tous les élèves des écoles d'hydrographie. En conséquence, les livres de navigation de cette époque sont adaptés à des publics variés. Les deux cours de Marguet destinés aux élèves de l'École navale approfondissent davantage les notions d'astronomie et de navigation, mais ne sont, de ce fait, pas toujours les plus faciles à comprendre. Guilhaumon, Constan et Cousin eux même formés à l'École navale proposent des ouvrages dans lesquels les efforts pédagogiques transparaissent.

Les élèves sont familiarisés avec un ensemble de formules de trigonométrie sphérique qui permettent de résoudre le « triangle de position ». Ils sont ainsi à même de traiter plusieurs problèmes de navigation dont celui de la détermination du point.

Il est certain que les techniques de navigation astronomique sont parvenues à un niveau d'efficacité jamais encore atteint grâce au « point Marcq » et à la « navigation par lieux géométriques » qui s'impose progressivement dans la marine française à partir de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Le navigateur maritime peut déterminer sa position sans aide extérieure, mais au prix d'un entraînement intensif durant lesquels les étapes des calculs sont rigoureusement organisées. Des recherches se poursuivent durant des décennies pour faciliter la tâche de celui qui souhaite éviter un recours systématique aux tables de logarithmes. Ce travail est le plus souvent mené par d'anciens élèves de l'École navale en tant qu'enseignants pour la marine militaire ou marchande ou comme officiers de marine.

Le bagage de base théorique est loin de constituer l'essentiel des cours de navigation. Une lecture même rapide du sommaire des ouvrages de cours de notre corpus (voir tableau 5, extrait 3, extrait 4) y met en évidence la place des instruments de navigation.



## Chapitre 3

### Les instruments de la navigation maritime : enseignement et pratique

#### Introduction

L'essentiel des connaissances de base en matière de navigation à l'estime et astronomique, dont celles auxquelles nous nous sommes attachées, étaient présentées lors de « conférences » à bord du *Borda* ou sur les bancs des écoles d'hydrographie. Or ces bases ne représentent qu'une partie d'un cours de navigation. Les élèves découvrent des instruments de mesure et de calcul lors de cours magistraux, se familiarisent avec eux lors de séances d'application et finalement se perfectionnent à leur usage à bord des navires.

Nous nous baserons ici également sur les quatre ouvrages analysés dans le chapitre 2 à savoir les cours de l'École navale de Marguet<sup>239</sup> (*Cours de navigation et de compas de l'École Navale* de 1913, *Cours d'astronomie de l'École Navale* de 1916), les *Eléments de cosmographie et de navigation* (1906) de Guilhaumon<sup>240</sup>, le *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation* (1903 – 1904) de Constan<sup>241</sup> et le *Résumé pratique de navigation* (1905) de Cousin<sup>242</sup>. Mais il n'est pas toujours aisé de faire la part entre ce qu'un navigateur est censé connaître et ce qu'il utilise vraiment parmi ses connaissances. Pour répondre à cette difficulté nous utiliserons la correspondance que le lieutenant de vaisseau Eugène Perret a entretenue avec le mathématicien Maurice d'Ocagne, des articles publiés dans l'*Ouest-Éclair* au début du XX<sup>e</sup> siècle, l'*Almanach du marin Breton* de cette époque. Des témoignages publiés dans la revue *Navigation* dans les années 1960, ainsi que les rapports scientifiques de l'expédition arctique *Belgica* de Georges Lecoinge<sup>243</sup>, publiés en 1905, serviront également à illustrer l'utilisation effective des connaissances enseignées<sup>244</sup>.

Un navigateur se doit de maîtriser à la fois les instruments de mesure et de calcul pour pouvoir se diriger et se repérer en mer. Plusieurs questions vont être soulevées auxquelles nous tenterons d'apporter une réponse. Quels sont les instruments de mesure (compas, sextant,

---

<sup>239</sup> MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École navale*, Paris, Augustin Challamel, 1913. MARGUET F., *Cours d'astronomie de l'École navale*, Paris, Augustin Challamel, 1916.

<sup>240</sup> GUILHAUMON J-B., *Eléments de cosmographie précédés de notions de trigonométrie sphérique*, Paris, Berger-Levrault, 4<sup>e</sup> éd., 1906.

<sup>241</sup> CONSTAN P., *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 1<sup>re</sup> partie, 1903 ; 2<sup>e</sup> partie, 1904.

<sup>242</sup> COUSIN A., *Résumé pratique de navigation*, Paris, Augustin Challamel, 1905.

<sup>243</sup> GEORGES LECOINGE (1869-1929).

<sup>244</sup> LECOINGE G., « Travaux hydrographique et instructions nautiques », *Expédition antarctique Belge-Résultats du voyage du S. Y. Belgica en 1897-1898-1899-Rapports scientifiques*, Anvers, J.-E. Buschmann, 1903-1905.

chronomètre), les instruments de calcul (tables et abaquas ou nomogrammes<sup>245</sup>) et les cartes dont l'utilisation est enseignée à l'école et quels sont ceux que les marins vont s'approprier à bord des navires ?

Les instruments interviennent à différentes étapes de la navigation tant à l'estime qu'à astronomique. Nous les présenterons ici dans l'ordre d'utilisation pour déterminer la position du navire à l'aide d'un point d'étoile.

Nous traiterons dans un premier temps des instruments de mesure. Le compas, qui est l'instrument de base de la navigation à l'estime, demande un apprentissage approfondi d'autant que la généralisation du métal à bord des navires au début du XX<sup>e</sup> siècle en complique le fonctionnement. La navigation astronomique, même par « lieux géométriques » ne peut se faire sans un sextant (ou un octant), pour mesurer les hauteurs d'astres, et un chronomètre bien réglé.

Après avoir obtenu les mesures, le navigateur doit effectuer un certain nombre de calculs à l'aide de tables. La « table de Friocourt » est la table de logarithmes le plus souvent utilisée dans la méthode classique, mais plusieurs autres tables (de logarithmes ou abrégées) peuvent avoir la préférence de l'officier de marine. Des abaquas ou nomogrammes sont également proposés au navigateur pour lui faciliter le travail, mais ces procédés peinent à trouver leur place sur la passerelle du navire.

La dernière étape de la détermination de la position du navire par un point d'étoile passe par l'utilisation de la carte marine. Cette carte, dite également « de Mercator », n'est plus la seule dont dispose le marin au début du XX<sup>e</sup> siècle. La navigation orthodromique (par la route la plus courte) devient intéressante en raison de la vitesse accrue des navires et nécessite de nouvelles cartes adaptées à cette navigation au long cours.

## A) Les instruments de mesure

Trois instruments sont emblématiques de la navigation. Si tout marin, et bientôt tout aviateur et astronaute, doit savoir utiliser un compas, l'usage du sextant associé à celui du chronomètre est, quant à lui, réservé à celui qui pratique la navigation astronomique. Notons une nouvelle fois ce que Marguet écrit dans l'introduction de son cours de l'École navale à ce propos (voir chapitre 2) :

*Le navigateur doit connaître la direction de sa route et la vitesse avec laquelle il la parcourt. Il doit aussi être capable de déterminer la position qu'il occupe à la*

---

<sup>245</sup> Perret définit les abaquas ou nomogrammes comme « des tableaux représentatifs des lois mathématiques sous la forme graphique ». PERRET E., « Note sur quelques applications de la nomographie à l'astronomie nautique », *Annales hydrographiques*, Paris, Imprimerie nationale, 1904, p. 5.

*surface des mers. (...)*

*La direction de la route est donnée par le compas ; la vitesse par le loch. (...)*

*Mais le compas et le loch sont des instruments grossiers. De plus, ils ne donnent aucun moyen de tenir compte de l'entraînement du navire par les courants et les vents. Il est donc nécessaire de pouvoir obtenir une position plus précise que celle qu'ils permettent de déterminer. Or le navigateur peut y parvenir en ayant recours à l'observation des aspects du ciel. (...)*

*On appelle navigation astronomique les procédés qui servent à déterminer la position du navire par les observations astronomiques. Les instruments utilisés sont alors le sextant et le chronomètre.*<sup>246</sup>

Les rapports scientifiques de l'expédition arctique *Belgica* et plus particulièrement ceux de Lecoinge donnent une idée des instruments de navigation en usage sur un navire scientifique de 1897 à 1899, ce qui correspond au début de notre période d'étude. Georges Lecoinge est un officier belge, en partie formé en France dans la Marine. Il prend le commandement en second de l'expédition arctique belge en 1899 en étant officier des montres et des compas. Son rapport « Travaux hydrographiques et instructions nautiques » paru en 1905 est particulièrement riche en informations pratiques sur la navigation du *Belgica*. Il dresse la liste des instruments et documents nautiques présents à bord dans le premier chapitre de la partie relative à la traversée de l'Atlantique. Nous trouvons notamment dans la liste des instruments du *Belgica*, quatre chronomètres de marine et une montre de torpilleur, un sextant avec pied, un sextant avec niveau à bulle d'air, un compas étalon du système Thomson, un compas liquide et quelques compas d'embarcation<sup>247</sup>.

Étudions, tout d'abord, les différents types de compas et plus particulièrement le compas Thomson qui est devenu indispensable sur les navires métalliques.

### 1) Le compas

La présence en Europe de la boussole, comme aide à la navigation, remonte à la fin du XII<sup>e</sup> siècle et la rose des vents moderne, comportant 32 secteurs angulaires appelés « rumbz », est inventée trois siècles plus tard par le vendéen Pierre Garcie, dit Ferrande<sup>248</sup>. Elle a donc déjà une longue histoire à l'époque qui nous intéresse.

---

<sup>246</sup> MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École Navale*, 1913, pp. 7-8 de l'introduction.

<sup>247</sup> LECOINGE G., *Op. Cit.*, p. 7.

<sup>248</sup> La notion de « rose des vents » est ancienne (déjà évoquée dans l'*Odyssée* d'Homère vers -294). Voir Pierre Juhel pour plus d'informations. JUHEL P., *Histoire de la boussole*, France, éditions Quaé, pp. 16-17.

Guilhaumon fournit, au début du XX<sup>e</sup> siècle, une définition détaillée du compas, contrairement à Marguet qui la considère visiblement comme un pré requis pour un marin.

*Le compas (ou boussole) se compose, essentiellement, d'une aiguille aimantée placée sur un pivot et sur laquelle est fixée une feuille de papier circulaire appelée Rose des vents. Sur la rose sont marqués les quatre points cardinaux ; la ligne Nord et Sud est dirigée suivant l'axe de l'aiguille. La Rose est graduée en degrés, de 0° à 90° en partant du Nord et du Sud, vers l'Est et vers l'Ouest (...). Le compas est placé dans une boîte à couvercle de verre, à l'intérieur de laquelle sont tracés quatre traits verticaux pour indiquer les directions de l'axe longitudinal et de l'axe transversal du navire. Les deux traits déterminant l'axe longitudinal constituent la ligne de foi. En lisant la graduation de la Rose placée en face du trait de l'avant, on a la route au compas, ou l'angle que fait l'axe du navire avec l'aiguille aimantée.*<sup>249</sup>

La « route au compas » se lit ainsi directement sur le compas, mais cette route ne détermine pas la direction suivie par le navire sur le globe. Il reste encore à déterminer la « route vraie » qui est obtenue en la combinant à la « route compas », à la « déviation »  $\delta$  de l'aiguille (due aux caractéristiques du navire) et à sa « déclinaison »  $D_m$  (due aux caractéristiques magnétiques du lieu) plus la « dérive » du navire (voir figure 15).

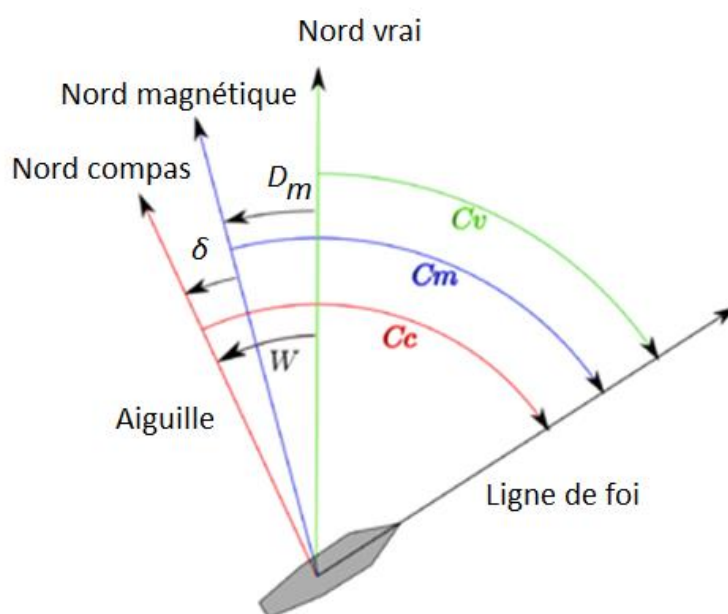


Figure 15 : Schéma illustrant les différentes composantes du cap vrai.<sup>250</sup>

<sup>249</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, pp. 172-173.

<sup>250</sup> Schéma complété par mes soins pour correspondre aux notations utilisées par Marguet.

Ce qui donne alors les formules algébriques :

*Cap vrai = Cap compas + déclinaison + déviation*

*Route vraie = Route au compas + déclinaison + déviation + dérive.*

Marguet précise que l'ensemble « déclinaison plus déviation » qu'il note  $W_a$  se détermine directement par l'observation et les calculs. La déclinaison  $D_m$  s'obtient par la lecture des cartes et des *instructions nautiques* et la déviation «  $\delta$  » est donnée par un tableau établi à l'avance au moyen de mesures de  $W_a$  combinées avec  $D_m$  »<sup>251</sup>.

### *La compensation*

Il est à noter que le problème de la déviation ne se posait pas lorsque les navires étaient uniquement en bois, mais le métal est devenu omniprésent au début du XX<sup>e</sup> siècle sur les navires. Des recherches sont entreprises au XIX<sup>e</sup> siècle afin de déterminer une méthode fiable pour régler les compas. Ce réglage se fait en deux temps. Le compas doit être compensé, ce qui revient à minimiser l'action des masses magnétiques et du chargement à bord du navire. Et il doit également être régulé, la régulation étant l'opération mesurant ces actions sous forme d'un tableau de déviation ou d'une courbe. Marguet divise l'enseignement de la compensation en deux parties. Il y a d'une part la compensation théorique à laquelle il consacre 17 pages et la compensation pratique à laquelle il consacre 11 pages. Mais l'explication de l'objectif et du principe de la compensation est plus explicite dans le *Résumé* de Cousin. L'auteur écrit que

*Le but de la compensation est d'empêcher le compas de dormir, quel que soit le cap en rendant à l'action terrestre toute son efficacité à tous les caps. (...)*

*Le principe fondamental de la compensation sera le suivant : on détruira les actions des fers du bord sur l'aiguille du compas par des actions égales, opposées et de même nature que chacune d'elles.*

*Les actions provenant de fers durs (aimantation permanente) seront donc détruites au moyen d'aimants convenablement disposés (aimantation permanente).*

*Les actions provenant de fers doux (aimantation variable) seront détruites au moyen de fers doux convenablement disposés (aimantation variable).<sup>252</sup>*

La compensation est une technique que doit maîtriser l'officier de Marine, mais également le marin de marine marchande dès qu'il souhaite commander un navire de commerce armé au cabotage (à voile ou non). En effet, le décret du 30 septembre 1913 indique que les

---

<sup>251</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 3. Les généralités sur le compas sont au programme du cours de navigation de première année à l'École navale et son étude approfondie se fait en deuxième année. MINISTÈRE DE LA MARINE ET DES COLONIES, *Bulletin officiel de la Marine*, *Op. Cit.*, p. 316 et p. 319.

<sup>252</sup> COUSIN A., *Résumé pratique de navigation*, 1905, p. 168-169.

candidats au brevet de capitaine au cabotage sont interrogés lors des épreuves orales de l'examen de pratique sur l'usage du compas y compris la pratique de la compensation<sup>253</sup>.

La compensation du compas n'est toutefois pas renouvelée très souvent. Marguet ne donne aucune précision en ce sens même dans la partie pratique mais Cousin note que :

*Si le navire est neuf, il est important de refaire la compensation environ six mois après son entrée en service, car pendant les six premiers mois après la construction l'aimantation des fers du bord peut subir quelques modifications. La compensation reste ensuite bonne tant qu'on n'a pas fait à bord des modifications ou des travaux métalliques.*<sup>254</sup>

### *Les compas Thomson*

Marguet contrairement à son habitude ne donne pas d'indications historiques sur la compensation dans son cours alors que Guihaumon écrit dans son ouvrage de 1906 que le « problème de la compensation n'a été résolu qu'en 1878 par lord Kelvin (William Thomson<sup>255</sup>) »<sup>256</sup> alors que cela faisait une cinquantaine d'année qu'on cherchait à compenser grossièrement les compas. Nous pouvons notamment citer les travaux du mathématicien français Siméon Denis Poisson<sup>257</sup> qui établit les bases théoriques de la déviation de l'aiguille aimantée en fonction de l'état magnétique du navire, mais il aboutit à un système d'équations dont la résolution se révèle trop complexe. Trois années de recherches, et de tests à bord de son yacht, sont nécessaires à Thomson pour mettre au point un compas luttant contre le magnétisme parasite des navires en fer<sup>258</sup>.

Ce savant anglais va construire des compas, « établis d'après une théorie mathématique rigoureuse de la compensation »<sup>259</sup>, qui vont être adoptés « aussi bien par la marine militaire que par les grandes compagnies de navigation »<sup>260</sup>. En 1909, le ministre de la marine décide que les contre-torpilleurs de plus de 400 tonnes doivent recevoir trois compas. Il s'agit tout d'abord de deux compas Thomson de 250 millimètres dont l'un jouera le rôle de compas étalon et le second servira de compas de route ou de relèvement. Les contre-torpilleurs reçoivent également « un compas liquide de modèle 1905 à flotteur disposé pour être substitué, si les

---

<sup>253</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 30 septembre 1913, p. 8641.

<sup>254</sup> COUSIN A., *Op. Cit.*, p. 173.

<sup>255</sup> Thomson William (1824-1907).

<sup>256</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 423.

<sup>257</sup> Siméon Denis Poisson (1781-1840).

<sup>258</sup> Voir Pierre Juhel. JUHEL P., *Op. Cit.*, p. 123.

<sup>259</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 423.

<sup>260</sup> *Ibid.*



conditions de mer l'exigeaient à la cuvette du compas de la passerelle de navigation »<sup>261</sup>. Ces bonnes intentions ne sont pas suivies de tous les effets escomptés et la rénovation du parc des compas n'a visiblement pas concerné toute la flotte. Un état des lieux est d'ailleurs fait en 1914 et il en ressort que « sur beaucoup de navires, relativement neufs, il existe des compas anciens et démodés et de plus encombrants. En particulier des compas modèle 89 pour lesquels le service des instruments nautiques ne possède plus de rechange »<sup>262</sup>.

A. Sauvaire-Jourdan dans *La Marine de Guerre*, s'adressant à des jeunes pouvant s'intéresser à la carrière maritime fait une description claire et accessible du compas Thomson :

*Au lieu d'une seule aiguille aimantée, qui ne possède pas toujours une force d'orientation suffisante vers le Nord et donne ce qu'on appelle un compas paresseux, la rose en porte un certain nombre placées parallèlement en faisceau ; les forces attractives de ces aiguilles s'ajoutent et donnent au compas une stabilité supérieure. La rose est portée sur un pivot à pointe d'osmiure d'iridium par l'intermédiaire d'un godet ou chape dont le fond est muni d'un saphir en ogive. Elle est centrée très soigneusement de façon à rester parfaitement horizontale.*<sup>263</sup>

Émile Guyou (voir chapitre 1) donne une description détaillée des compas en usage en 1907 qu'il accompagne de planches d'illustrations (voir figure 16 et figure 17). Il fait remarquer que « la partie essentiellement originale de cet instrument [compas de relèvement modèle Thomson] est sa rose »<sup>264</sup>.

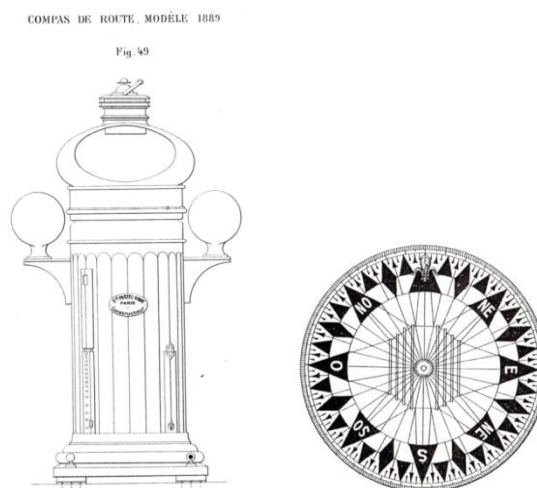


Figure 16 : Compas Thomson modèle 1889 (à gauche) et rose Thomson à 8 aiguilles (à droite).<sup>265</sup>

<sup>261</sup> *Ouest-Éclair*, 1<sup>er</sup> mars 1909, p. 4.

<sup>262</sup> *Ouest-Éclair*, 1<sup>er</sup> mars 1914, p. 9.

<sup>263</sup> SAUVAIRE-JOURDAN A., *La Marine de Guerre*, Paris, Vuibert, 1910, p. 223.

<sup>264</sup> GUYOU É., *Manuel des instruments nautiques*, Paris, Imprimerie nationale, 1907, p. 43.

<sup>265</sup> GUYOU É., *Op. Cit.*, p. 41.

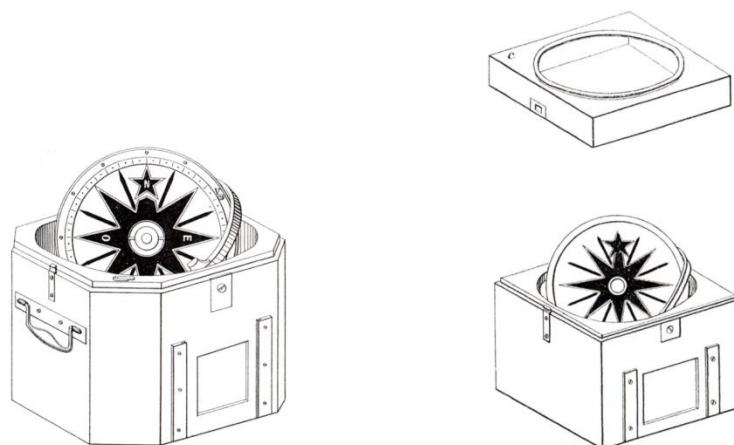


Figure 17 : Compas liquide de relèvement de 0,20 (à gauche) et compas d'embarcation de 0,14 liquide (à droite).<sup>266</sup>

Les compas Thomson sont considérés au début du XX<sup>e</sup> siècle comme étant les mieux compensables, mais les réglages n'annulent pas totalement la déviation du compas. Il est donc nécessaire d'établir cette déviation qui sera donnée sous forme de table ou sous forme de courbe à partir de la formule dite d'Archibald Smith<sup>267</sup> tout en sachant que ces données ne sont plus valables dès que le compas s'éloigne du lieu où la déviation a été mesurée.

#### *La formule d'Archibald Smith*

La formule d'Archibald Smith, établie dès 1843, est donnée par un développement en série trigonométrique et comme le précise Guyou : « dans les applications du service courant, on ne fait usage que des cinq premiers termes de la série trigonométrique »<sup>268</sup>, c'est-à-dire que l'on admet que la déviation est donnée avec une exactitude suffisante par la formule :

$$\delta = A + B \sin Z + C \cos Z + D \sin 2Z + E \cos 2Z$$

Où  $Z$  est le cap compas du navire correspondant à  $\delta$  et compté de 0° à 360° du Nord vers l'Est. Dans cette formule, les coefficients  $A$ ,  $D$  et  $E$  sont indépendants du lieu, mais  $B$  et  $C$  varient avec le lieu (particulièrement quand le déplacement en latitude est important). Pour obtenir les cinq coefficients, « il suffit en général de prendre les huit déviations correspondant aux caps cardinaux et intercardinaux. »<sup>269</sup>. Les valeurs des coefficients obtenues en procédant ainsi ne sont pas exactes, mais les erreurs sont généralement négligeables dans la pratique. Avec ces huit mesures de la déviation, on a le système suivant :

<sup>266</sup> GUYOU É., *Op. Cit.*, p. 46 et p.48.

<sup>267</sup> Archibald Smith (1813-1872)

<sup>268</sup> GUYOU É., *Op. Cit.*, p. 58.

<sup>269</sup> GUYOU É., *Op. Cit.*, p. 66.

$$\begin{cases}
\delta_n = A + C + E & \text{pour un cap compas de } 0^\circ & (1) \\
\delta_{ne} = A + \frac{\sqrt{2}}{2}B + \frac{\sqrt{2}}{2}C + D & \text{pour un cap compas de } 45^\circ & (2) \\
\delta_e = A + B - E & \text{pour un cap compas de } 90^\circ & (3) \\
\delta_{se} = A + \frac{\sqrt{2}}{2}B - \frac{\sqrt{2}}{2}C - D & \text{pour un cap compas de } 135^\circ & (4) \\
\delta_s = A - C + E & \text{pour un cap compas de } 180^\circ & (5) \\
\delta_{so} = A - \frac{\sqrt{2}}{2}B - \frac{\sqrt{2}}{2}C + D & \text{pour un cap compas de } 225^\circ & (6) \\
\delta_o = A - B - E & \text{pour un cap compas de } 270^\circ & (7) \\
\delta_{no} = A - \frac{\sqrt{2}}{2}B + \frac{\sqrt{2}}{2}C - D & \text{pour un cap compas de } 315^\circ & (8)
\end{cases}$$

La valeur des coefficients  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  et  $E$  s'obtient alors par combinaison linéaire des différentes expressions et en prenant 0,71 comme valeur approchée de  $\frac{\sqrt{2}}{2}$ . Ce qui donne :

$$\begin{cases}
A = \frac{\delta n + \delta ne + \delta e + \delta se + \delta s + \delta so + \delta o + \delta no}{8} \\
B = \frac{0,71(\delta ne + \delta se - \delta so - \delta no) + \delta e - \delta o}{4} \\
C = \frac{0,71(\delta ne - \delta se - \delta so + \delta no) + \delta n - \delta s}{4} \\
D = \frac{\delta ne - \delta se + \delta so - \delta no}{4} \\
E = \frac{\delta n - \delta e + \delta s - \delta o}{4}
\end{cases}$$

Guyou propose un modèle de tableau particulièrement pratique pour pouvoir effectuer ces calculs rapidement (voir tableau 6). Son tableau est constitué de dix colonnes. La première colonne correspond au cap compas, la deuxième à la déviation  $\delta$  correspondante, la troisième au sinus de l'angle du cap compas (en notant  $S_4$  la valeur  $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ), la quatrième le produit de la colonne 2 par la colonne 3, la cinquième au cosinus de l'angle du cap compas (en notant encore  $S_4$  la valeur  $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ), la sixième le produit de la colonne 2 par la colonne 5, la septième au sinus du double de l'angle du cap compas, la huitième le produit de la colonne 2 par la colonne 7, la neuvième au cosinus du double de l'angle du cap compas et la dixième le produit de la colonne 2 par la colonne 9. Il suffit ensuite de faire les sommes dans les colonnes 2, 4, 6, 8 et 10 pour obtenir respectivement  $8A$ ,  $4B$ ,  $4C$ ,  $4D$  et  $4E$ . Guyou donne l'exemple du contre-torpilleur « Fleurus » pour lequel les calculs donnent finalement comme valeur approchée de la déviation (voir tableau 6) :

$$\delta = 1,2 + 14,3\sin Z + 6,3\cos Z + 12,5\sin 2Z - 0,1\cos 2Z.$$

| CAPS<br>DU COMPAS. | DÉVIA-<br>TIONS. | FACTEURS.        | PRO-<br>DUITS. | FACTEURS.        | PRO-<br>DUITS. | FACTEURS. | PRO-<br>DUITS. | FACTEURS. | PRO-<br>DUITS. |
|--------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
|                    | degrés.          |                  | degrés.        |                  | degrés.        |           | degrés.        |           | degrés.        |
| N. ....            | 8,5              | 0                | 0,0            | 1                | + 8,5          | 0         | 0,0            | 1         | + 8,5          |
| N.E. ....          | 28,5             | S <sub>4</sub>   | + 20,2         | S <sub>4</sub>   | + 20,2         | 1         | + 28,5         | 0         | 0              |
| E. ....            | 14,5             | 1                | + 14,5         | 0                | 0              | 0         | 0              | - 1       | - 14,5         |
| S.E. ....          | - 4,5            | S <sub>4</sub>   | - 3,2          | - S <sub>4</sub> | + 3,2          | - 1       | + 4,5          | 0         | 0              |
| S. ....            | - 5,5            | 0                | 0,0            | - 1              | + 5,5          | 0         | 0              | 1         | - 5,5          |
| S.O. ....          | - 2,0            | - S <sub>4</sub> | + 1,4          | - S <sub>4</sub> | + 1,4          | 1         | - 2,0          | 0         | 0              |
| O. ....            | - 11,0           | - 1              | + 11,0         | 0                | 0              | 0         | 0              | - 1       | + 11,0         |
| N.O. ....          | - 19,0           | - S <sub>4</sub> | + 13,4         | S <sub>4</sub>   | - 13,4         | - 1       | + 19,0         | 0         | 0              |
| Sommes des         | + 51,5           |                  | + 60,5         |                  | + 38,8         |           | + 52,0         |           | + 19,5         |
| Sommes des         | - 42,0           |                  | - 3,2          |                  | - 13,4         |           | - 2,0          |           | - 20,0         |
| 8A = +             | 9,5              | 4B = +           | 57,3           | 4C = +           | 25,4           | 4D = +    | 50,0           | 4E = -    | 0,5            |
| A = +              | 1,2              | B = +            | 14,3           | C = +            | 6,3            | D = +     | 12,5           | E = -     | 0,1            |

Tableau 6 : Tableau permettant le calcul rapide de la déviation. Exemple du « Fleurus ». <sup>270</sup>

### Les procédés graphiques

Marguet ajoute une précaution à prendre durant les mesures établies pour obtenir le tableau de déviation. Il écrit :

*Il est bon, pendant l'opération elle-même, de tracer une courbe provisoire des déviations ; ce tracé fera ressortir, en effet, les erreurs importantes que l'on pourrait commettre et qu'il serait plus tard impossible de rectifier sans recommencer la manœuvre laborieuse de l'évolution. Ce tracé provisoire peut être fait sur une feuille de papier quadrillé d'environ 40 centimètres de longueur sur 20 centimètres de hauteur. On trace sur cette feuille une ligne droite sur laquelle sont marqués les différents caps à raison de 1 millimètre par degré ; les déviations sont portées sur les ordonnées correspondant aux différents caps à une échelle de trois millimètres par degré, les déviations positives au-dessus de l'axe des caps, les déviations négatives au-dessous.*

*On peut prendre aussi, pour ce tracé, le diagramme de Napier modifié.* <sup>271</sup>

Marguet propose ainsi deux procédés graphiques pour lire une déviation. Il explicite clairement le premier procédé qui est construit dans un repère orthogonal alors qu'aucune précision n'est apportée sur la construction du diagramme de Napier qui est basé sur des triangles équilatéraux.

<sup>270</sup> GUYOU É., *Op. Cit.*, p. 121.

<sup>271</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, pp. 293-294.

Guilhaumon ne présente que la courbe obtenue point par point (voir figure 18) citée en premier par Marguet.

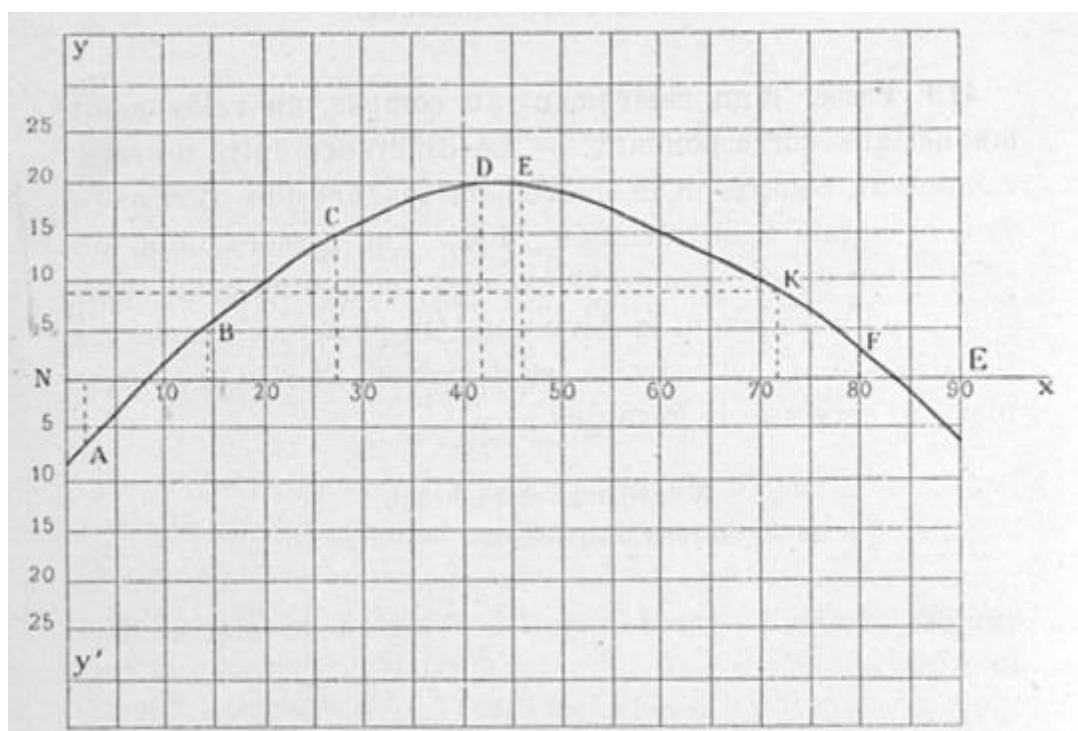


Figure 18: Exemple de courbe de déviation proposée par Guilhaumon.<sup>272</sup>

Cette méthode n'est pas aussi astucieuse que la courbe inventée en 1851 par l'ingénieur écossais James Robert Napier<sup>273</sup> qui permet d'obtenir directement la valeur du cap compas ou le cap magnétique, mais c'est celle qui sera adoptée d'ici quelques années<sup>274</sup> dans l'aéronautique y compris dans l'aéronautique navale.

Constan privilégie quant à lui le diagramme de Napier dans ses cours. Il écrit que le tableau de déviation est souvent remplacé par une courbe :

*Très souvent, au lieu de se servir du tableau de déviation, on construit un diagramme de Napier, c'est-à-dire une courbe de déviation qui permet d'obtenir, par simple construction graphique, sans aucun calcul, la déviation et le cap au compas qui correspondent à un cap magnétique donné.*<sup>275</sup>

<sup>272</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 410.

<sup>273</sup> James Robert Napier (1821–1879).

<sup>274</sup> Nous avons trouvé une première courbe de déviation tracée durant la Première guerre mondiale (voir chapitre 5). Il est possible qu'il y en ait eu vers 1910 lorsque les marins volent en compagnie des militaires (voir chapitre 4).

<sup>275</sup> CONSTAN P., *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 2<sup>e</sup> partie, 1904, p. 110.



Il explique ensuite comment construire la courbe à partir d'un tableau de déviation. Pour ce faire, il utilise un tableau de vingt mesures (voir tableau 7) ce qui diffère de celui des huit déviations qui a servi pour le calcul des coefficients  $A, B, C, D, E$ .

| $V_m.$ | $\delta.$ | $V_c.$ | $V_m.$ | $\delta.$ | $V_c.$ |
|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|
| N 0    | 6 NO      | N 6 E  | S 12 O | 14 NE     | S 2 E  |
| N 16 E | 8 »       | N 24 E | S 29 O | 24 »      | S 5 O  |
| N 23 E | 11 »      | N 34 E | S 53 O | 38 »      | S 15 O |
| N 52 E | 15 »      | N 67 E | S 64 O | 25 »      | S 39 O |
| N 87 E | 21 »      | S 72 E | O      | 17 »      | S 73 O |
| S 60 E | 26 »      | S 34 E | N 70 O | 11 »      | N 81 O |
| S 47 E | 24 »      | S 23 E | N 57 O | 7 »       | N 64 O |
| S 33 E | 18 »      | S 15 E | N 45 O | 2 »       | N 47 O |
| S 18 E | 8 »       | S 10 E | N 30 O | 2 NO      | N 28 O |
| S      | 6 NE      | S 6 E  | N      | 6 »       | N 6 E  |

Tableau 7 : Exemple de mesure de déviation.<sup>276</sup>

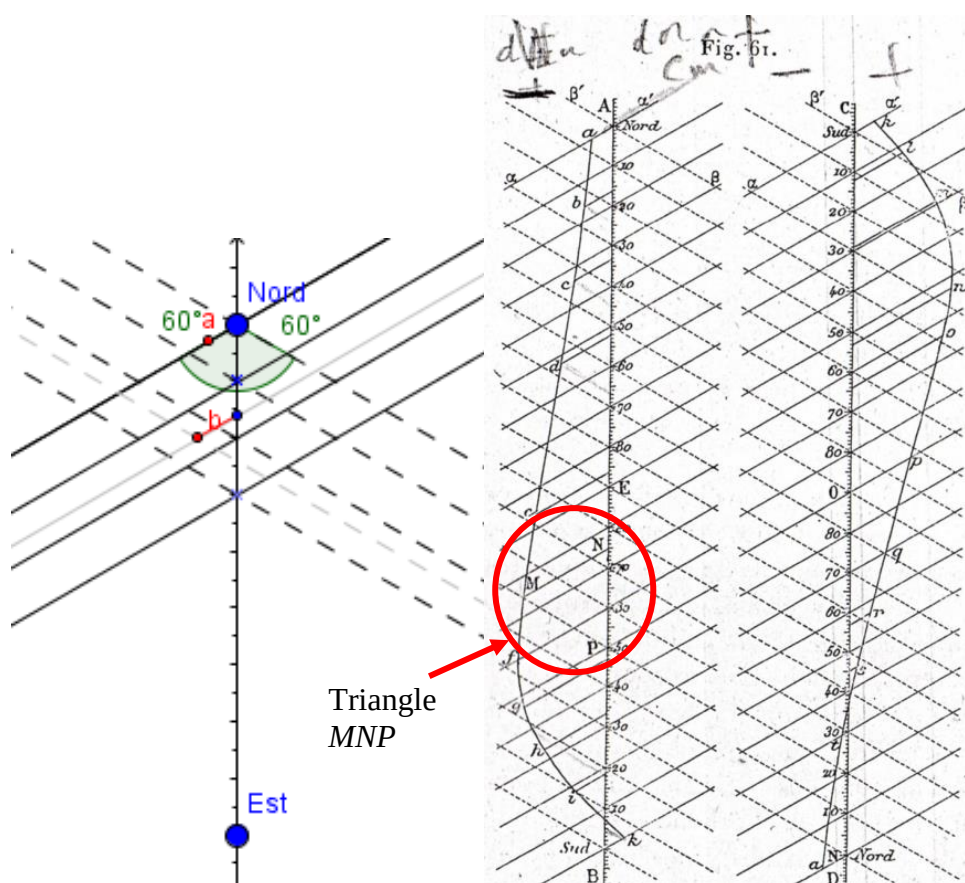


Figure 19 : Constructions du diagramme de Napier correspondant aux mesures du tableau 8 (tracé original de Constan à droite<sup>277</sup>).

<sup>276</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 112.

<sup>277</sup> *Ibid.* Schéma de droite annoté par mes soins et schéma de gauche construit par mes soins.

Le diagramme de Napier est basé sur des triangles équilatéraux. À partir de deux segments  $[AB]$  et  $[CD]$  divisés en 180 parties égales représentant des degrés, sont tracées des droites parallèles (en trait plein pour les caps compas et en trait pointillé pour les caps magnétiques) faisant un angle de  $60^\circ$  avec  $[AB]$  et  $[CD]$  (voir figure 19). On mène des parallèles aux droites en traits pleins pour y construire les déviations observées  $\delta$  avec comme convention de les placer à droite de la droite  $(AB)$  si elles sont NE et à gauche si elles sont NO. On obtient ainsi une courbe construite point par point passant par ce que Constan note  $a, b, c \dots, s, t$ . Il est alors possible de partir d'un cap magnétique pour aboutir à un cap compas par la propriété de la conservation des longueurs dans un triangle équilatéral. C'est ce qui est donné en exemple par Constan avec le triangle  $NMP$ . Le cap magnétique de départ est  $S75^\circ E$  (point  $N$  sur le diagramme de la figure 19) ce qui conduit à un cap compas  $S50^\circ E$  (point  $P$  sur le diagramme). L'opération inverse étant bien entendu possible en commençant par tracer une parallèle aux droites en pointillé. La construction d'une courbe afin de déterminer la déviation du compas n'est pas explicitement au programme des examens. Il est ainsi demandé uniquement au candidat au brevet de capitaine de cabotage de « dresser le tableau des déviations en rade et à la mer pour un compas ou plusieurs à la fois »<sup>278</sup>. En comparant les quatre auteurs, nous remarquons que Cousin n'évoque aucune courbe de déviation.

Le tableau de déviation, et la courbe qui lui est associée, ne restent cependant pas valables très longtemps. L'ingénieur français Charles Lallemand<sup>279</sup> a proposé en 1885 un abaque hexagonal permettant de déterminer la déviation du compas du *Triomphe* quelle que soit la position du navire<sup>280</sup>. Mais rares sont les navires ayant bénéficié d'un tel abaque. Il faut donc prendre régulièrement des hauteurs de soleil en mer à l'aide d'un sextant en faisant tourner le navire de  $360^\circ$  et en prenant plusieurs caps au compas à peu près équidistants les uns des autres. Marguet n'est pas aussi explicite sur la difficulté du procédé, que Constan qui écrit :

*L'opération est naturellement plus délicate qu'en rade, à cause de la difficulté qu'on éprouve à conserver exactement le même cap pendant cinq ou six minutes ; il faudra donc placer à la barre un homme sachant bien gouverner.*

*Les résultats sont aussi un peu moins précis que ceux que l'on obtiendrait en rade, à cause des mouvements du navire si la mer n'est pas très belle.*

*Enfin l'opération entraîne une perte de temps assez sensible ; il faut au moins*

<sup>278</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 30 septembre 1913, p. 8641.

<sup>279</sup> Charles Lallemand (1857-1938).

<sup>280</sup> Voir sur le site <http://www.myreckonings.com/wordpress>, consulté le 13 août 2018.

deux heures, en effet, pour obtenir un nombre d'observations suffisant pour tracer un bon diagramme.<sup>281</sup>

### La régulation dans les faits

Il est possible de trouver dans la presse d'avant-guerre des indications sur les postes ou coffres de régulation dans les différents ports de guerre ainsi que sur les divers navires traités. Les coffres de régulation sont Lauberlach à Brest, La Pallice à Rochefort, Quatre-Coffres à Toulon. Les autres ports cités sont Lorient, Saint-Nazaire et Cherbourg. Les correspondants, qui informent les lecteurs du début ou de la fin de la régulation, citent principalement des torpilleurs, des contre-torpilleurs, des croiseurs et des cuirassés. Mais on y trouve également un remorqueur, un navire de transport, un steamer et le paquebot *France* n'appartenant pas à la Marine mais à la Compagnie générale des transports. Le tableau suivant (voir tableau 8) présente les navires cités dans l'*Ouest-Éclair* sur la période 1900-1914.

| 1900                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1901                                                                                                                                                                                             | 1902                                                                                                             | 1903                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1904                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Saint-Louis</i> , Cuirassé, en janvier, à Lorient.<br><i>Isly</i> , Croiseur, en avril.<br><i>Dupuy-de-Lôme</i> , en mai, à Brest.                                                                                                                                                   | <i>Lance</i> , Torpilleur, en janvier, à Brest.                                                                                                                                                  | <i>Masséna</i> , en février.                                                                                     | <i>Gloire</i> , croiseur, en juin, à Lorient.<br><i>103</i> , torpilleur, en septembre.<br><i>Condé</i> , croiseur, en novembre, à Lorient.                                                                                                                                                                                                                     | <i>Suffren</i> , en janvier.<br><i>Sully</i> , en janvier.<br><i>Fleurus</i> , en avril.<br><i>281</i> , torpilleur, en mai.                                  |
| 1905                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1906                                                                                                                                                                                             | 1907                                                                                                             | 1908                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1909                                                                                                                                                          |
| <i>Lance</i> , en janvier, à Lorient.<br><i>Catinat</i> , en avril.<br><i>Léon Gambetta</i> , en mars, à Brest.<br><i>Manche</i> , aviso, en août.<br><i>Isly</i> , en août, à Lorient.<br><i>Vérité</i> , en octobre à Brest.<br><i>Le Goliath</i> , remorqueur, en octobre, à Toulon. | <i>Catapulte</i> , contre-torpilleur, en janvier, à Brest.<br><i>Victor Hugo</i> , en septembre, à Lorient.<br><i>Nive</i> , transport, en novembre.                                             | 332, en avril.<br><i>Tourbillon</i> , en juin.                                                                   | <i>Tromblon</i> , contre-torpilleur, en janvier, à Rochefort.<br><i>Milos</i> , steamer, en janvier, à Brest.<br><i>Ernest-Renan</i> , croiseur, en avril, à Saint-Nazaire.<br>334, 340, 331, 335, 337, torpilleurs, en avril.<br>336, en juin, à Rochefort.<br><i>Emeraude</i> , en août, à Cherbourg.<br><i>Guedon</i> , croiseur, en septembre, à Cherbourg. | <i>Utile</i> , navire hydrographique, en avril.<br><i>Berthelot</i> , en juillet, à Rochefort.<br><i>Marseillaise</i> et <i>Depetit-Thouars</i> , en octobre. |
| 1910                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1911                                                                                                                                                                                             | 1912                                                                                                             | 1913                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1914                                                                                                                                                          |
| <i>Châteaurenault</i> , croiseur, en janvier, à Cherbourg.<br><i>Cugnot</i> , en janvier à Rochefort.                                                                                                                                                                                   | <i>Surcouf</i> , croiseur, en janvier, à Lorient.<br><i>Waldeck-Rousseau</i> , en janvier, à Lorient.<br><i>Mirabeau</i> , en mai à Lorient.<br><i>Cavalier</i> , contre-torpilleur, en juillet. | <i>Vergniaud</i> , en janvier.<br><i>Saint-Louis</i> , en avril.<br><i>France</i> , paquebot, en avril, à Brest. | <i>Courbet</i> , en avril, à Lorient.<br><i>Jean-Bart</i> , cuirassé, en avril.                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <i>Descartes</i> , croiseur, en mars.                                                                                                                         |

Tableau 8 : Navires dont le compas a été régulé cités par l'*Ouest-Éclair* de 1900 à 1914.

<sup>281</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p.114.



Nous remarquons à la lecture de ce tableau, la forte affluence des torpilleurs en régulation en 1908 ou tout au moins la volonté pour les correspondants locaux d'en faire part aux lecteurs. Nous pouvons également y relever que les compas de certains navires sont régulés plusieurs fois durant ces quatorze années. Il semblerait de plus que la régulation des compas des navires de la Marine ait été effectuée par des marins mécaniciens et de ce fait ait été en dehors des attributions des officiers chargés de la navigation. En effet, un article de l'*Ouest-Éclair* de 1907 présente les conditions difficiles dans lesquelles les marins-vétérans sont employés pour régler les compas à Lauberlach<sup>282</sup>.

La déviation des compas peut donc être mesurée en rade dans au moins six ports avec probablement une compensation des compas si nécessaire.

Une mesure régulière de cette déviation en mer reste nécessaire pour éviter les catastrophes. Les rapports de mer, tant pour les navires de la marine marchande que pour les navires de la marine de guerre, font mention de problèmes occasionnés par une mauvaise prise en compte de la déviation du compas. Le capitaine J. Rault, commandant le trois-mâts *Connétable-de-Richemont* écrit dans le rapport sur le naufrage de son navire près d'Honolulu le 18 octobre 1903 : « J'attribue le naufrage de mon navire au courant qui est très fort en ces parages, ainsi qu'à mes compas [Thomson] qui ont dû varier en approchant des fonds »<sup>283</sup>. Toujours en 1903, « le trois-mâts goélette *Béarn-et-Bretagne* qui avait touché la pointe du Lisay, côte Est de l'Île de Ré, dans la nuit du 31 octobre par suite des courants et d'une déviation de compas a été remorqué à la Rochelle »<sup>284</sup>. Le lieutenant de vaisseau Leniau est jugé en conseil de guerre, en 1910, pour la perte du torpilleur 192 qu'il commandait.

*L'officier dit qu'il n'avait pris le commandement du torpilleur que depuis trois jours seulement et que les compas existant à bord se trouvaient en très mauvais état (...). Le président lui reproche de ne pas avoir procédé à la vérification des tables de déviation de compas.*<sup>285</sup>

Une fois le problème de la déviation résolu, reste encore à tenir compte de la déclinaison pour obtenir le cap vrai qui est utilisé sur les cartes de navigation. Il semblerait que la correction du compas ne préoccupait toutefois pas toutes les catégories de marins au début du XX<sup>e</sup> siècle. L'*Almanach du Marin Breton* essaye, de manière récurrente, plusieurs années de suite, de

---

<sup>282</sup> *Ouest-Éclair*, 10 juin 1907, p. 4.

<sup>283</sup> *Ouest-Éclair*, 20 décembre 1903, p. 6.

<sup>284</sup> *Ouest-Éclair*, 11 novembre 1903, p. 4.

<sup>285</sup> *Ouest-Éclair*, 25 mars 1910, p. 1.

convaincre les patrons de pêche, encore sceptiques, qu'eux aussi peuvent tirer avantage à l'utiliser. Il y est écrit en 1903 :

*Tout patron intelligent et soucieux de sa réputation de bon marin et de la vie des hommes qui sont avec lui, doit avoir à son bord, un compas, un rapporteur et une carte routière comprenant les parages qu'il fréquente. Les anciens naviguaient tant bien que mal sans tout cela, c'est vrai ; mais à notre époque, les exigences du métier sont plus grandes qu'autrefois.*<sup>286</sup>

Et l'*Almanach* rappelle dès 1900 que le compas ne donne pas le cap vrai, mais « sur nos côtes bretonnes, ils marquent trop à gauche, ils se trompent juste d'un quart et demi »<sup>287</sup>, c'est-à-dire que la déclinaison  $D_m$  est de  $17^{\circ}$ <sup>288</sup>. Il semblerait que les incitations de l'*Almanach* à faire évoluer les pratiques trouvent plus d'écho parmi les « jeunes marins désireux de s'instruire »<sup>289</sup>. Les rédacteurs sont sur ce sujet « très heureux que la lecture de l'*Almanach* du Marin Breton a développé chez eux le goût de l'étude de la navigation »<sup>290</sup>. Il est également possible que ces jeunes s'interrogent sur la correction lorsqu'on s'éloigne des côtes bretonnes mais l'*Almanach* n'aborde pas ce problème plus complexe. D'ailleurs, un autre instrument devient nécessaire pour une utilisation correcte du compas à distance des côtes. Il faut mesurer des hauteurs d'astres à l'aide d'un sextant.

## 2) Le sextant

Contrairement semble-t-il au compas, le sextant est un instrument appartenant en propre à l'officier de marine. Il est suffisamment onéreux pour se retrouver en bonne place dans les récompenses à l'École navale, au moins à partir de 1906. Il existe quatre types de récompenses décernées aux meilleurs élèves à la sortie du *Borda*. Les trois les mieux classés aux examens de sortie reçoivent respectivement : une montre en or d'une valeur de 500 à 600 francs pour le premier, un sextant avec un horizon artificiel pour le deuxième et une jumelle de marine pour le troisième. D'autres élèves sont récompensés par un revolver d'ordonnance. En 1906, M. Ebstein reçoit un sextant muni d'un binocle de Magnac et d'un horizon artificiel<sup>291</sup>. Le ministre de la marine décerne ensuite un sextant muni d'une lunette Fleuriais et d'un horizon

---

<sup>286</sup> *Almanach du Marin Breton*, 1903, p. 47.

<sup>287</sup> *Almanach du Marin Breton*, 1900, p. 32.

<sup>288</sup> En 2016 la déclinaison est de  $2^{\circ}$  Ouest au Guilvinec.

<sup>289</sup> *Almanach du Marin Breton*, 1906, p. 43.

<sup>290</sup> *Ibid.*

<sup>291</sup> *Ouest-Éclair*, 11 septembre 1906, p. 4.

artificiel à Pierre Appel en 1907<sup>292</sup>, à Jean Tonnelle en 1908<sup>293</sup> et à M. Petyst de Morcourt en 1910<sup>294</sup>.

### *Les sextants dans les cours de navigation*

Marguet est le seul à introduire historiquement le sextant parmi les auteurs d'ouvrages de cours de notre corpus<sup>295</sup>. L'édition de 1913 de son *Cours de navigation et de compas* présente l'invention de cet instrument optique à réflexion en quelques lignes très peu détaillées : « la première idée en remonte peut-être à Newton. Il a été décrit en 1730 par Thomas Godfrey, de Philadelphie. Hadley en donne la première description en Europe (1731-1732) »<sup>296</sup>. Marguet étoffe son paragraphe, peut-être suite à des recherches pour ses ouvrages historiques (voir chapitre 1). Il écrit dans l'édition de 1921 :

Hooke (1666) paraît être le premier à avoir eu l'idée, pour mesurer un angle, de rabattre l'un des côtés de l'angle sur l'autre côté, au moyen d'un miroir. Newton (1699) imagina un instrument à deux miroirs ayant tous les organes et toutes les propriétés essentielles de notre sextant. La disposition actuelle des organes de l'instrument de Newton date de Hadley (1731), qui a fait entrer le sextant (alors octant) dans la pratique courante des marins.<sup>297</sup>

Certains historiens, préfèrent donner une origine française à l'instrument utilisé dans l'hexagone – selon eux, le sextant « est issu du quartier anglais perfectionné par Jean-Paul Grandjean de Fouchy (1707-1788) à partir de 1732 »<sup>298</sup> – ou tout au moins relèvent la contribution de l'académicien français Grandjean de Fouchy à « cette longue quête des longitudes du Siècle des lumières »<sup>299</sup>. Mais l'octant de l'astronome français n'a pas été adopté par les marins car il n'était pas adapté à la pratique en mer. Si l'octant date de la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, il faut attendre le début de la seconde moitié de ce même siècle pour qu'apparaisse le sextant. En effet, « le capitaine John Campbell, après avoir testé l'octant de Hadley pour les distances lunaires en 1757, proposa d'adapter l'instrument à la mesure de plus

---

<sup>292</sup> *Ouest-Éclair*, 11 août 1907, p. 5.

<sup>293</sup> *Ouest-Éclair*, 30 août 1908, p. 5.

<sup>294</sup> *Ouest-Éclair*, 30 septembre 1910, p. 5.

<sup>295</sup> Le « sextant » est au programme du cours de navigation de la première année à l'École navale. MINISTÈRE DE LA MARINE ET DES COLONIES, *Bulletin officiel de la Marine*, Op. Cit., p. 316.

<sup>296</sup> MARGUET F., Op. Cit., p. 60.

<sup>297</sup> MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École navale (2<sup>e</sup> édition revue et corrigée)*, Paris, Augustin Challamel, 1921, p. 62.

<sup>298</sup> GILLET A., *Une histoire du point en mer*, 2000, p. 35.

<sup>299</sup> FAUQUE D., « Un nouvel instrument pour observer les hauteurs, inventé par M. Grandjean de Fouchy », *Revue d'histoire des sciences*, 2008/1 (Tome 61), p. 63.

grands angles. En 1758, il essayait avec succès un sextant construit par John Bird »<sup>300</sup>. Toutefois, l'octant, qui mesure des angles de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ , cohabite longtemps avec le sextant, qui mesure des angles de  $0^\circ$  à  $120^\circ$  (ce qui peut s'avérer pratique pour déterminer la distance angulaire entre deux points).

Les ouvrages de cours ne font quasiment plus mention de l'octant au début du XX<sup>e</sup> siècle. Seul Cousin cite les deux instruments en les définissant conjointement : « Le *sextant* et l'*octant* sont deux instruments servant l'un et l'autre à mesurer les distances angulaires et les hauteurs des astres. Ils ne diffèrent que par leurs dimensions et la graduation du cercle divisé ou limbe sur lequel on lit les mesures faites »<sup>301</sup>. Les autres cours examinés se contentent de donner des explications sur le sextant. Ce choix peut se comprendre en considérant qu'en France le nombre d'octants produits aurait culminé en 1850 avant de diminuer jusqu'en 1880 alors que celui du sextant culminerait en 1880 avant de décroître jusqu'aux années 1920 comme en Grande-Bretagne<sup>302</sup>.

Les cours peuvent être précédés de notions d'optique ou débiter directement l'étude du sextant comme dans le cours de Marguet. Délaissions cette fois encore les cours de l'École navale un peu indigestes pour nous tourner vers ceux des écoles d'hydrographie plus limpides. Constan a particulièrement soigné la présentation du fonctionnement du sextant. Il explique d'abord le principe du sextant à partir d'un schéma semblable à celui de la figure suivante (voir figure 20).

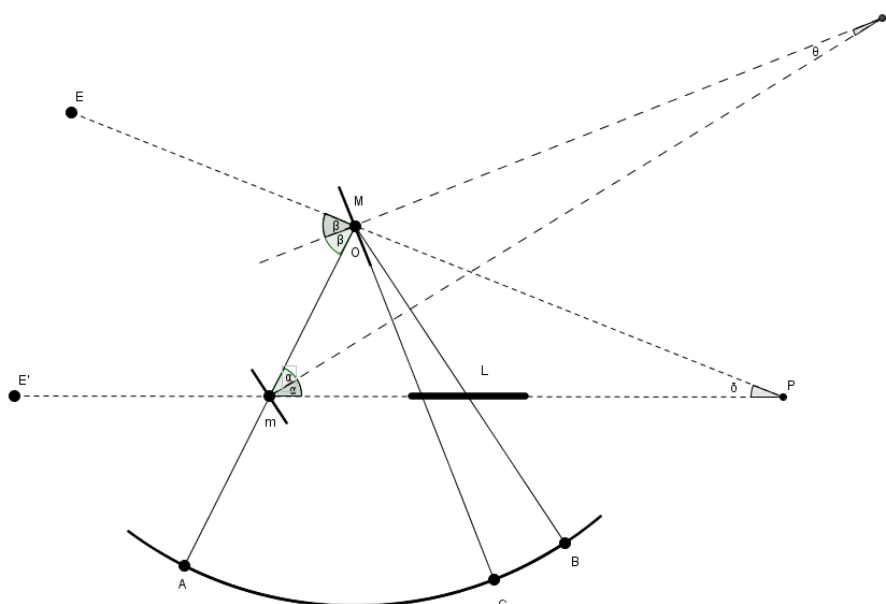


Figure 20 : Schéma de sextant.

<sup>300</sup> FAUQUE D., « Revue critique. De l'art de naviguer à la science nautique au Siècle des lumières », *Revue d'histoire des sciences*, 2010/1 (Tome 63), p. 201.

<sup>301</sup> COUSIN A., *Op. Cit.*, p. 103.

<sup>302</sup> Comme le note Danielle Fauque en analysant les travaux de Mörzer Bruyns in FAUQUE D., *Op. Cit.*, p. 203.

Sur ce schéma,  $E$  et  $E'$  sont les deux objets dont on veut mesurer la distance angulaire ( $E$  pouvant être le soleil et  $E'$  l'horizon).  $AB$  (le « limbe ») est un arc de cercle d'environ  $60^\circ$  et  $C$  est un point mobile sur l'arc  $AB$ .  $M$  et  $m$  sont deux miroirs tels que  $M$  est mobile (et plus grand que  $m$ ) et  $m$  est fixe (parallèle à  $[OB]$  et sur  $[OA]$ ).  $L$  est la lunette d'observation fixée sur  $[OB]$ . L'objectif est d'amener l'image de  $E$  en coïncidence avec celle de  $E'$  par double réflexion. Il suffit de faire pivoter le miroir  $M$  en déplaçant  $C$  sur l'arc  $AB$  jusqu'à ce que la perpendiculaire en  $O$  au miroir coïncide avec la bissectrice de l'angle  $EOm$ . On peut alors montrer que la distance angulaire entre  $E$  et  $E'$  est égale au double de l'angle formé par les deux miroirs. Pour cela désignons par  $2\beta$  l'angle  $EOm$ ,  $2\alpha$  l'angle  $MmL$ . On appelle  $\delta$  l'angle entre les directions  $OE$  et  $LE'$  (c'est la distance angulaire cherchée) et  $\theta$  l'angle entre les deux miroirs. Soit  $Q$  le point d'intersection entre la perpendiculaire à  $MC$  passant par  $O$  et la perpendiculaire au miroir  $m$  passant par le point  $m$ . On montre facilement que l'angle  $MQm$  est égal à  $\theta$ .

Dans le triangle  $MPm$ , on a  $2\alpha + \delta = 2\beta$  donc  $\delta = 2\alpha - 2\beta$  (1).

Dans le triangle  $MQm$ , on a  $\alpha + \theta = \beta$  donc  $2\alpha + 2\theta = 2\beta$  (2).

En remplaçant  $2\beta$  de (1) par l'expression (2), on obtient  $\delta = 2\theta$ .

Or le miroir  $m$  est parallèle à  $[OB]$ , donc l'angle  $COB$  est égal à  $\theta$  en utilisant les angles alternes-internes égaux. Et Constan de conclure :

*Par conséquent, pour connaître l'angle  $\delta$ , il suffit d'évaluer l'arc  $BC$  et d'en multiplier la valeur par 2. Afin d'éviter cette multiplication, le limbe est gradué en demi-degrés : on obtient ainsi la valeur de  $\delta$  par simple lecture.*<sup>303</sup>

Le principe, comme nous venons de le voir, est très simple. La difficulté réside dans la construction d'un instrument suffisamment précis, ce à quoi vont s'atteler des générations d'artisans.

Les ouvrages de cours examinés proposent en général une planche donnant la description des différents éléments d'un sextant. C'est le cas des ouvrages pour les écoles d'hydrographie : alors que Marguet se contente d'un schéma très basique mais associé à une longue description, Constan décrit explicitement un sextant Lorieux-Hurlimann<sup>304</sup> ce qui peut être pratique car il s'agit d'un sextant très courant à l'époque. Guilhaumon utilise une belle illustration mais ne précise pas s'il s'agit d'un sextant d'une marque en particulier<sup>305</sup>.

<sup>303</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 3.

<sup>304</sup> Nous pouvons dater un tel sextant entre 1880 et 1900 car l'établissement Hurlimann rachète la maison Lorieux, qui produit des appareils d'optique, en 1880. Cet établissement est lui-même racheté en 1900 par Ponthus et Therrode. Les sextants sont alors estampillés Lorieux-Ponthus et Therrode.

<sup>305</sup> Guilhaumon utilise d'ailleurs la même illustration dans l'édition de 1891 et de 1906 alors que la technique a évolué en quinze années.

Intéressons-nous au sextant présenté par Guilhaumon qui a l'avantage d'être une présentation plus détaillée que celle de Marguet et plus générale que celle de Constan.

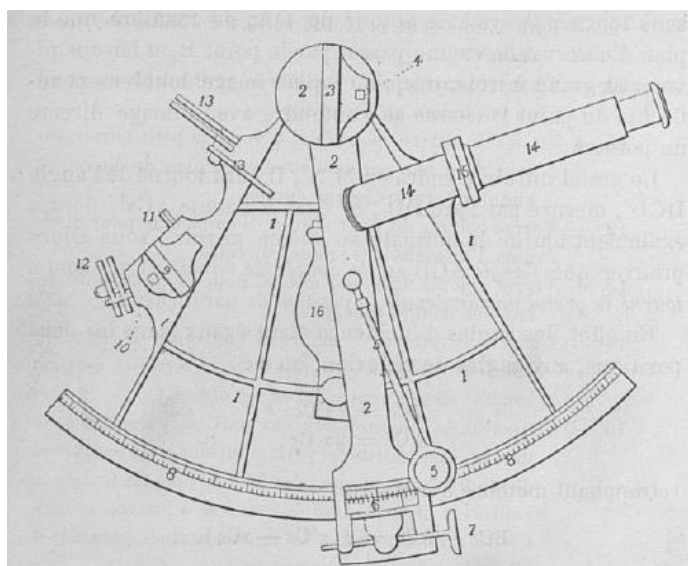


**Figure 21 : Illustration du sextant proposé par Guilhaumon.<sup>306</sup>**

Guilhaumon donne une nomenclature détaillée de 16 éléments du sextant de la figure ci-dessus (voir figure 21) :

1. *Corps de l'instrument, taillé dans une épaisse feuille de cuivre.*
2. *Alidade pivotant autour d'un axe passant par le centre du limbe, sur lequel elle vient s'appliquer.*
3. *Grand miroir fixé sur l'alidade, avec laquelle il tourne.*
4. *Vis à tête carrée, permettant d'incliner le grand miroir en avant ou en arrière et de le rendre perpendiculaire au plan du limbe.*
5. *Loupe articulée sur l'alidade.*
6. *Vernier encastré dans l'alidade.*
7. *Vis de rappel, destinée à donner à l'alidade un mouvement très lent. (Sous le limbe est placée une vis de pression, qui sert à immobiliser l'alidade.)*
8. *Limbe dans lequel est encastrée une lame d'argent portant les graduations.*
9. *Petit miroir dont la moitié voisine du limbe est seule étamée.*
10. *Vis à tête carrée, pour incliner le petit miroir en avant ou en arrière et le rectifier.*

<sup>306</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 243.

11. Vis à tête carrée, pour faire pivoter le petit miroir autour d'un axe perpendiculaire au plan du limbe, et annuler l'erreur instrumentale.
12. Verres colorés du petit miroir. S'emploient pour diminuer l'intensité des images directes.
13. Verres colorés du grand miroir, pour diminuer l'intensité des images réfléchies.
14. Lunette astronomique munie de quatre fils de réticule ; elle renverse les objets. (La lunette terrestre est plus courte, elle ne renverse pas les objets.)
15. Collier de la lunette, en deux parties, permettant de donner à la lunette un petit mouvement de bascule et rendre l'axe optique parallèle au plan du limbe ; le collier est disposé aussi de manière à pouvoir s'écarter du plan du limbe, la lunette restant parallèle à elle-même dans ce mouvement.
16. Poignée de l'instrument.<sup>307</sup>

Cette liste nomme les différentes parties du sextant ainsi que leurs particularités. Il est possible d'y déceler également les réglages que l'utilisateur devra effectuer pour pouvoir utiliser correctement l'instrument. Marguet en dénombre quatre qu'il range dans deux catégories distinctes. Il écrit que :

*Pour que les mesures ne soient pas affectées d'erreurs, il faut : 1° que l'axe optique de la lunette soit parallèle au plan du limbe ; 2° et 3° que les miroirs soient perpendiculaires au plan du limbe ; 4° qu'il n'y ait pas d'erreur d'excentricité.*

*La rectification du sextant consiste à se rapprocher autant que possible des trois premières conditions.*<sup>308</sup>

Mais il ajoute quelques pages plus loin que « les rectifications du sextant ne sont jamais absolues, pas plus dans un sextant que dans un instrument quelconque »<sup>309</sup>. Les utilisateurs sont invités à faire pivoter les miroirs, à l'aide des vis, dans les conditions d'observations explicitées dans les ouvrages de cours. Le sextant rectifié est alors dans la position de collimation c'est-à-dire que ses deux miroirs sont parallèles. Mais même rectifié, il reste à tenir compte de l'erreur instrumentale. Les ouvrages pour les écoles d'hydrographie du corpus ne traitent pas ce problème de la même manière que celui de l'École navale. Guilhaumon et Constan ainsi que Cousin ne traitent que de la collimation c'est-à-dire du décalage entre le zéro du vernier et le

<sup>307</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 243 à 244.

<sup>308</sup> MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École navale*, Paris, Augustin Challamel, 1913, p.70.

<sup>309</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p.75.

zéro du limbe lorsque les deux miroirs sont parallèles (position de collimation). Ils n'évoquent pas l'excentricité qui provient d'un calage imparfait du centre de rotation de l'alidade.

Marguet, dans son cours de l'École navale, à l'inverse, propose un long développement sur ce point en s'inspirant vraisemblablement des travaux de Hilleret<sup>310</sup>. Marguet cite une étude, effectuée à Hambourg mais non datée, dans son édition de 1921.

*D'après des observations faites par l'observatoire de la marine à Hambourg, sur plusieurs centaines de sextants, dans un instrument sur deux on a trouvé des erreurs > 1' ; 20% des instruments ont donné des indications à peu près correctes ; 30% n'ont pas présenté d'écart supérieur à 1' ; quelques-uns ont eu jusqu'à 3 et 4' d'erreur pour des angles de 80°.*<sup>311</sup>

Nous pouvons alors nous demander pourquoi les ouvrages de cours des écoles d'hydrographie négligent l'étude de l'excentricité alors que l'étude allemande souligne l'importance de cette erreur. Une réponse pourrait être apportée par l'article daté d'octobre 1888 que le lieutenant de vaisseau A. La Porte avait publié dans la *Revue maritime*, et intitulé « Étude de quelques sextants au point de vue de l'excentricité ». Il conclue son étude qui porte notamment sur le sextant 335 Hurlimann–Lorieux, alors en service à l'École navale depuis un an, par un avis sur l'erreur admissible ou pas.

*Nous nous demandons quelle peut être l'erreur commise par un observateur ayant négligé de rectifier même un bon instrument, au point de vue de l'excentricité et de la prismaticité, et il faut bien l'avouer, ces deux rectifications sont si longues et si délicates qu'on ne les entreprendra que rarement. (...) il faudra conclure que même à l'horizon artificiel, on devra s'attendre à trouver des hauteurs erronées de 1' à 2' (...)*

*On ne saurait trop se convaincre qu'à moins d'une étude des plus sérieuses on ne peut jamais répondre de 2' au sextant. Si cette approximation est grandement suffisante en mer, il n'en est pas de même à terre pour le réglage des chronomètres.*<sup>312</sup>

L'officier de marine marchande, mais également l'aéronaute et l'aviateur, pourra donc se contenter de tenir compte de la collimation dans ses calculs sous peu qu'il accepte une erreur raisonnable.

---

<sup>310</sup> Notamment l'article « De l'Excentricité dans les instruments à réflexion et des moyens d'y remédier ». HILLERET G., « De l'Excentricité dans les instruments à réflexion et des moyens d'y remédier », *Revue maritime et coloniale*, 1886.

<sup>311</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 83.

<sup>312</sup> LA PORTE A., « Étude de quelques sextants au point de vue de l'excentricité », *Revue Maritime*, juillet-septembre, 1889, p. 256.



### *Le gyroscope Fleuriais*

L'article de La Porte aborde aussi un autre élément associé au compas. Il fait, en effet, référence à l'horizon artificiel dans son article. Étudions ce point qui va revêtir une importance non négligeable dans notre recherche des liens entre la navigation maritime et la navigation aérienne (voir chapitre 4).

Marguet débute la partie du cours sur les horizons artificiels par un petit paragraphe sur le gyroscope Fleuriais<sup>313</sup>.

*Gyroscope Fleuriais. – Cet instrument est destiné à remplacer l'horizon à la mer, quand celui-ci est invisible. Il se compose d'un gyroscope tournant, maintenu sur le sextant en avant de la lunette. L'appareil est construit de manière que la précession se fasse autour de la verticale vraie. L'influence des mouvements du navire ou de ceux de l'observateur est pratiquement négligeable. Les hauteurs se prennent par rapport à un repère linéaire. L'instrument et son usage sont décrits par M. Favé dans la Revue Maritime de janvier 1910, avec tous les détails nécessaires à son emploi. Il rendrait de grands services entre des mains exercées.*<sup>314</sup>

Le choix de Marguet d'insérer à cet endroit un paragraphe sur le gyroscope Fleuriais ne se retrouve pas chez les autres auteurs de cours. La typographie (petits caractères) utilisée par l'auteur indique que la notion n'est pas spécifiquement au programme de l'École navale. Constan et Guilhaumon avaient toutefois présenté des instruments permettant les observations de nuit mais dans le paragraphe précédent, celui sur les horizons artificiels, alors que Marguet a préféré les y inclure. Cousin qui, rappelons-le, propose un ouvrage plus simple, ne s'intéresse pas à la question. Selon Guilhaumon, « on n'emploie jamais la lunette astronomique pour les observations de nuit. On adapte, à l'instrument, la lunette terrestre ou une lunette spéciale dont le champ est plus étendu »<sup>315</sup>.

Guilhaumon fait référence ici aux instruments que Constan appelle « instrument Laurent » et « instrument Fleuriais ». Ces instruments, respectivement inventés par le capitaine de marine marchande Albert Laurent<sup>316</sup> et l'amiral Georges Ernest Fleuriais<sup>317</sup>, « améliorent simplement les conditions dans lesquelles peuvent s'effectuer les observations de nuit par horizon défectueux »<sup>318</sup>.

---

<sup>313</sup> Le « gyroscope Fleuriais » est explicitement au programme du cours de navigation de la première année à l'École navale. MINISTÈRE DE LA MARINE ET DES COLONIES, *Bulletin officiel de la Marine, Op. Cit.*, p.316.

<sup>314</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 86.

<sup>315</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 256.

<sup>316</sup> Albert Laurent (1815-1888)

<sup>317</sup> Georges Ernest Fleuriais (1840-1895). École navale (1855).

<sup>318</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 20.

Fleuriais va également imaginer un procédé beaucoup plus efficace que sa lunette : un gyroscope. Constan présente le gyroscope Fleuriais en cinq lignes tandis que Marguet lui consacre une demi-page dans l'édition de 1913 de son cours et cinq pages dans l'édition de 1921.

Le sextant imaginé par Fleuriais utilise le principe du gyroscope, à savoir qu'un disque tournant rapidement conserve une orientation fixe par rapport aux étoiles.<sup>319</sup>

En 1886, alors qu'il est capitaine de vaisseau, Fleuriais publie dans la *Revue Maritime* un premier article de 49 pages, intitulé « Gyroscope-collimateur », sur l'appareil qu'il a imaginé. Cet appareil est prévu pour répondre à un problème qui s'est accentué avec l'augmentation de la vitesse des navires :

*En autres termes, le problème ayant pour objet la recherche d'un procédé permettant d'obtenir des hauteurs d'astres, sans intervention de l'horizon de la mer, qui était déjà important pour la marine à voile est devenu d'un intérêt de premier ordre pour la marine à vapeur.*<sup>320</sup>

Il explique qu'il a choisi une nouvelle voie différente de celles empruntées par les autres chercheurs de l'époque : « Il y a lieu aussi de faire remarquer que le niveau liquide, qui jusqu'ici a été la base commune des instruments proposés, présente le grave inconvénient de ne pas être indépendant des mouvements d'inclinaison du bâtiment et des trépidations de la main de l'observateur »<sup>321</sup>. Fleuriais fait appel à Hurlimann pour construire un prototype qui est testé au début des années 1880 sur *La Galissionnière*. L'article qu'il publie également dans la *Revue Maritime* en 1892, intitulé « Horizon gyroscopique », permet notamment d'informer le lecteur sur l'état d'avancement des travaux sur l'instrument et des tests auxquels il a participé. Fleuriais cite de nombreux officiers de marine et scientifiques qui ont participé aux essais et permis des perfectionnements puisque « depuis cette époque [1886] l'appareil a été l'objet de nombreuses expériences officielles et officieuses »<sup>322</sup>. Il ajoute : « ce sont d'ailleurs les études pratiques et les discussions théoriques de ces savants observateurs qui, en faisant découvrir les causes de certaines anomalies restées longtemps inexplicables, ont permis d'y porter remède »<sup>323</sup>. Il a ainsi élaboré un appareil qui permet de répondre correctement au problème d'un horizon

---

<sup>319</sup> MÖRZER BRUYNS W.F.J. et DUNN R., *Sextants at Greenwich: A Catalogue of the Mariner's Quadrants, Mariner's Astrolabes, Cross-staffs, Backstaffs, Octants, Sextants, Quintants, Reflecting Circles and Artificial Horizons in the National Maritime Museum, Greenwich*, Oxford, OUP, 2009, p. 57.

<sup>320</sup> FLEURIAIS G., « Gyroscope-collimateur. Substitution d'un repère artificiel à l'horizon de la mer », *Revue Maritime*, 1886, p. 453.

<sup>321</sup> FLEURIAIS G., *Op. Cit.*, p. 454.

<sup>322</sup> FLEURIAIS G., « Horizon gyroscopique », *Revue Maritime*, 1892, p. 5.

<sup>323</sup> FLEURIAIS G., *Op. Cit.*, p. 6.

inexistant en restant dans les limites habituelles acceptées en navigation. Il écrit à ce propos : « il ne faut pas en effet perdre de vue que si, en marine, l'exactitude rigoureuse de la position n'est pas nécessaire, par contre la connaissance de l'erreur possible est absolument obligatoire »<sup>324</sup>.

L'article que publie Louis Favé<sup>325</sup>, ingénieur hydrographe, ancien élève de l'École polytechnique, en 1910 toujours dans la *Revue Maritime* offre l'opportunité de connaître l'évolution de ce sextant sur un quart de siècle et de connaître l'approximation obtenue lors de nombreux essais. Cet article intitulé « Le point sans l'horizon de la mer », écrit suite à des essais demandés par le Service hydrographique, exprime l'enthousiasme de Favé envers l'appareil. Il écrit dans l'introduction :

*Les résultats des essais du modèle le plus récent de l'Horizon gyroscopique, imaginé par l'amiral Fleuriais, qui ont été faits à la mer, sur l'initiative du Service hydrographique, dans ces dernières années, sont tels qu'il y a grand intérêt à les porter à la connaissance des marins.*

*Ils montrent que l'on dispose aujourd'hui d'un instrument permettant, lorsque l'horizon de la mer est rendu invisible par la brume ou par l'obscurité, d'observer des hauteurs d'astres avec une précision suffisante, pour rectifier la route et atterrir avec sécurité.*

*L'instrument est assez robuste pour se prêter à un usage courant ; son emploi ne présente pas beaucoup plus de difficulté que celui du sextant ordinaire ; les données qu'il fournit ne comportent que des calculs simples ; en un mot, il remplit les conditions qu'exige la pratique.*<sup>326</sup>

Nous comprenons à la lecture de l'article que le décès de Fleuriais en 1895 a interrompu les recherches de perfectionnement de l'appareil pour quelques années. Il faut attendre 1901 pour que celles-ci reprennent et surtout 1902 lorsque le Service hydrographique commande deux nouveaux appareils à Ponthus et Therrode, successeurs de Hurlimann (voir figure 22).

---

<sup>324</sup> FLEURIAIS G., *Op. Cit.*, p. 7.

<sup>325</sup> Louis Favé (1853-1922).

<sup>326</sup> FAVÉ L., « Le point sans l'horizon de la mer », *Revue Maritime*, 1910, p. 5.



Figure 22 : Sextant gyroscopique Fleuriais de la maison Hurlimann, Ponthus et Therrode.<sup>327</sup>

Favé présente le résultat de nombreuses observations et ajoute des tableaux de statistiques reprenant les résultats répertoriés par Fleuriais. Ceux qui suivent comparent les observations faites avec l'appareil de Fleuriais et celles faites avec un sextant ordinaire (voir tableaux 9 et 10).

**Différences entre les résultats des observations  
faites à l'horizon gyroscopique et ceux des procédés ordinaires,**

| DIFFÉRENCES COMPRISES<br>entre | PROPORTION POUR CENT<br>des observations<br>faites de 1889 à 1891.<br>Modèle primitif.<br>Ancien procédé d'observation. | PROPORTION POUR CENT<br>des observations<br>faites de 1905 à 1909.<br>Modèle Ponthus et Therrode.<br>Nouveau<br>procédé d'observation. |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 et 1'.....                   | » } 61                                                                                                                  | 41,00 } 69                                                                                                                             |
| 1' et 2'.....                  | » } 20                                                                                                                  | 28,00 } 16,00                                                                                                                          |
| 2' et 3'.....                  | 11                                                                                                                      | 10,00                                                                                                                                  |
| 3' et 4'.....                  | 4                                                                                                                       | 2,00                                                                                                                                   |
| 4' et 5'.....                  | Dépassant 5' { » } 4                                                                                                    | 1,7 { 2,9                                                                                                                              |
| 5' et 6'.....                  | (limite non                                                                                                             | 0,6                                                                                                                                    |
| 6' et 7'.....                  | indiquée).. { » }                                                                                                       | 0,6                                                                                                                                    |
| 7' et 8'.....                  |                                                                                                                         |                                                                                                                                        |

Tableau 9 : Statistiques proposées par Favé.<sup>328</sup>

<sup>327</sup> © National Maritime Museum Collections.

<http://collections.rmg.co.uk/collections/objects/43451.html#Uhm5lhKt0fHK7jwk.99>, consulté le 13 août 2018.

<sup>328</sup> FAVÉ L., *Op. Cit.*, p. 65.

**Chances d'obtenir, sur 100 observations, une hauteur isolée  
avec une approximation supérieure à N minutes.**

|                                                                      | N' |    |      |      |      |    |    |     |
|----------------------------------------------------------------------|----|----|------|------|------|----|----|-----|
|                                                                      | 1' | 2' | 3'   | 4'   | 5    | 6' | 7' | 8'  |
| Nombres donnés par Fleuriais. Observations de 1889 à 1891 (1010).    | "  | "  | 85,1 | 96,8 | 98,6 | "  | "  | "   |
| Nombres de Fleuriais corrigés des erreurs d'impression ou de calculs | "  | 61 | 81   | 92   | 96   | "  | "  | "   |
| Observations de 1905 à 1909 (359).                                   | 41 | 69 | 84   | 94   | 96   | 98 | 99 | 100 |

Tableau 10 : Statistiques proposées par Favé.<sup>329</sup>

Favé commente ces tableaux en écrivant :

*On voit que l'approximation est à peu près la même ; le progrès réalisé consiste donc en ce que l'usage du modèle récent est devenu des plus faciles. On constate de plus que l'approximation est suffisante pour que l'instrument rende dans la pratique de grands services.*<sup>330</sup>

L'intérêt de Favé pour les sextants à horizon artificiel ne va pas se limiter à cet article sur le gyroscope de Fleuriais. Il va lui aussi faire fabriquer un appareil pour remplacer l'horizon, mais en optant pour un sextant à niveau à bulle. Ces deux appareils vont participer aux débuts de la navigation aérienne comme nous le verrons bientôt dans le paragraphe consacré à la navigation en ballon (voir chapitre 4).

Lecointe écrit l'intérêt qu'il porte au gyroscope Fleuriais même s'il n'a pas pu l'utiliser dans l'expédition du *Belgica*. La liste des instruments d'observation à bord du navire arctique contient un sextant avec pied, un horizon artificiel liquide, un horizon artificiel à glace, une lunette astronomique, un sextant avec niveau à bulle d'air et un « gyroscope dans le vide de l'Amiral Fleuriais ». La précision du sextant à bulle s'est révélée insuffisante donc Lecointe ne l'a pas utilisé. Il explique ensuite sur quelques lignes pourquoi il n'a pas pu utiliser l'instrument de Fleuriais.

*Il est non seulement d'une grande conception théorique, mais encore un instrument pratique dans de nombreuses circonstances. Les officiers de la Compagnie française des Transatlantiques, dont l'éducation scientifique très complète s'est faite à*

<sup>329</sup> FAVÉ L., *Op. Cit.*, p. 66.

<sup>330</sup> *Ibid.*

bord des bâtiments de la flotte, font usage de cet appareil et en obtiennent déjà de fort bon résultats.

*Mais le gyroscope est d'autant plus difficile à fabriquer qu'il exige : 1° un constructeur très instruit, 2° un constructeur très habile, secondé par de bons ouvriers. Or, M. Démichel, à Paris, dont la science et l'habileté sont connues, et qui est, je crois, le seul fabricant de gyroscope dans le vide, éprouve encore de nombreux mécomptes. Ainsi, en 1897, l'année où nous avons reçu le nôtre, 50 p. c. des gyroscopes devaient être renvoyés plusieurs fois à l'atelier de fabrication, avant de pouvoir rendre aucun service. Le gyroscope de la Belgica ne fut pas exempt de ces tribulations.*

*Il dut être renvoyé en France, parce que la vis de calage s'était brisée pendant le voyage de Paris à Anvers. L'instrument réparé fut expédié en Australie ; mais comme nous n'avons pas fait d'escale dans cette partie du monde, le gyroscope ne nous est parvenu ... qu'après le retour de l'Expédition !*

*Cet incident est à regretter, car l'appareil de l'Amiral Fleuriais nous aurait rendu de grands services dans l'Antartique. Il y a cependant lieu de remarquer que l'instrument n'étant pas toujours en station, son emploi est presque impossible pendant les jours nombreux où les astres n'apparaissent que d'une façon très fugitive au travers des nuages.*<sup>331</sup>

Ce témoignage est intéressant pour la navigation maritime car il permet de se faire une idée des difficultés que pouvaient rencontrer les navigateurs pour acquérir et tester des instruments prometteurs. Mais si ces instruments vont gagner en notoriété, ils sont encore loin d'être d'un usage courant au début du XX<sup>e</sup> siècle. Il existe cependant une autre catégorie d'horizons artificiels destinés à remplacer l'absence d'horizon le jour. Ces horizons artificiels sont de deux sortes : les horizons à glace et les horizons à fluide ou à liquide<sup>332</sup>.

#### *Les horizons à glace et à fluide ou à liquide*

Marguet ne souhaite pas s'attarder sur ces horizons. Il ne consacre que cinq lignes à l'horizon à glace et vingt-cinq lignes à l'horizon à fluide. Il écrit :

*Horizon à glace. \_ Le plan horizontal est ici formé par un miroir, monté sur trois vis calantes, qu'on rend horizontal au moyen d'un niveau. Cet horizon ne s'emploie plus*

---

<sup>331</sup> LECOINTE G., *Op. Cit.*, p. 6.

<sup>332</sup> Marguet utilise l'expression « horizon à fluide » alors que les trois autres auteurs se servent de l'expression « horizon à liquide »

*à cause des décalages auxquels il est soumis par suite des dilatations inégales des pieds, des trépidations.*<sup>333</sup>

Nous pouvons nous étonner Guilhaumon consacre deux pages au traitement de l'horizon artificiel puisqu'il écrit également :

*Les horizons à glace sont fort peu employés ; les dilatations qui se produisent pendant l'observation occasionnent fréquemment des erreurs. L'opération du calage exige, en outre, une certaine habileté, surtout quand les vis calantes ne reposent pas sur un massif convenablement disposé.*<sup>334</sup>

Les marins semblent donc avoir privilégié les horizons à liquide plutôt que les horizons à glace comme l'indique d'ailleurs Guilhaumon (« les horizons à liquide sont à peu près exclusivement employés par les marins »<sup>335</sup>). Marguet n'est cependant pas convaincu par l'utilisation de plusieurs types d'horizons à fluide. Il écrit :

*Horizon à fluide. \_ On a employé comme plan horizontal l'huile et le goudron ; mais les images sont faibles ; il faut alors relever beaucoup la lunette au-dessus du limbe, ce qui nuit à la stabilité de l'axe optique. Par grand vent, l'image se déforme par degrés insensibles. Enfin au-dessous de 10° le liquide se fige.*

*Le mercure, en grande profondeur, est sujet à de continuels tremblements. Il doit aussi être écarté. De sorte que l'horizon le plus pratique est celui qui utilise le mercure en couche mince.*<sup>336</sup>

Constan, tout comme ses autres collègues, ne semble pas avoir les mêmes préventions quant aux divers liquides utilisés. Il compare d'ailleurs les avantages du mercure et de l'huile :

*Le mercure, dans les horizons à fluide, a l'avantage de donner une surface dont le pouvoir réfléchissant est considérable, mais a l'inconvénient de trembloter aux moindres vibrations du sol environnant. C'est pourquoi on se sert très fréquemment d'huile, surtout dans les pays chauds où elle ne risque pas de se congeler.*<sup>337</sup>

Il illustre ses définitions de petites figures représentant les modèles les plus courants (voir figure 23).

---

<sup>333</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, 1913 p. 88.

<sup>334</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 260.

<sup>335</sup> *Ibid.*

<sup>336</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, 1913 p. 88.

<sup>337</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 21.

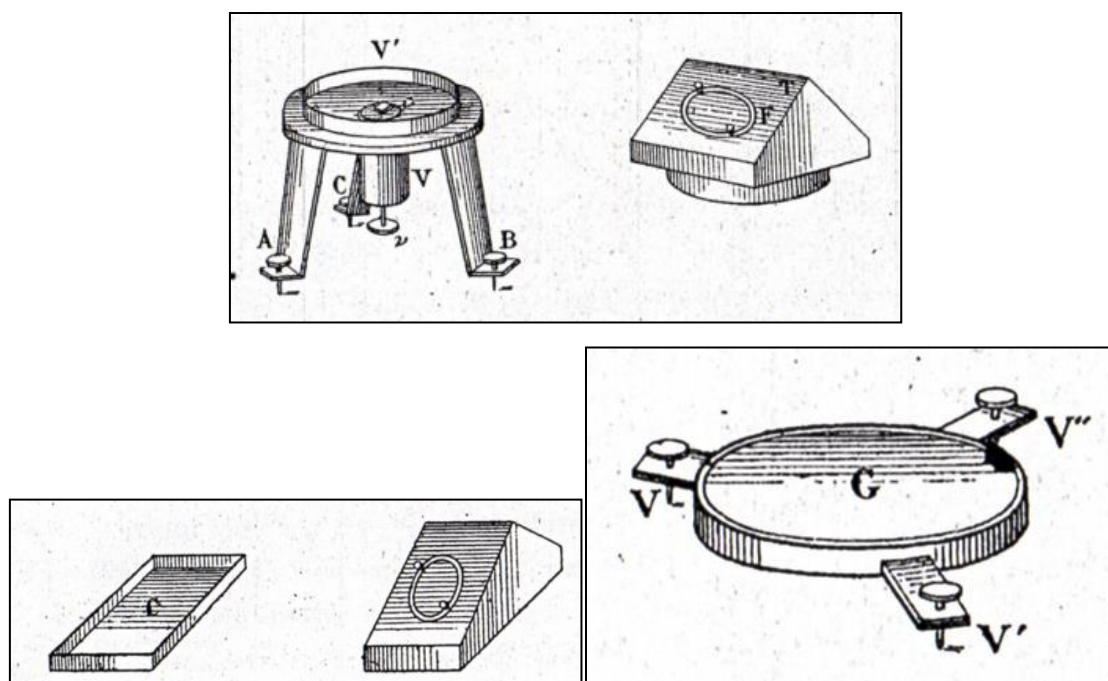


Figure 23 : Trois modèles d'horizons artificiels (à mercure, à huile, à glace).<sup>338</sup>

Aucun auteur, ni Marguet, ni ses collègues des écoles d'hydrographie, ne s'étend sur l'utilisation de ces deux types d'horizons artificiels. Constan écrit dans l'introduction du paragraphe sur les horizons artificiels : « Nous verrons un peu plus loin que, dans certains cas, un Capitaine a besoin d'observer directement, à terre, les hauteurs des astres par rapport à l'horizon apparent »<sup>339</sup> mais n'y revient pas vraiment si ce n'est dans la technique d'observation du soleil à l'horizon artificiel :

*Pratiquement, l'observation s'effectue de la manière suivante : on commence par poser l'horizon à terre et on le recouvre de sa toiture, de telle sorte que les fenêtres se trouvent dans la direction du vertical du Soleil. L'observateur s'assied ensuite sur la boîte du sextant, aussi près que possible de l'horizon, les coudes appuyés sur les genoux : l'alidade étant à zéro, il dispose un verre coloré devant le petit miroir, place l'œil au collier de la lunette et vise le Soleil direct ; il manœuvre ensuite l'alidade, en maintenant l'instrument bien vertical, jusqu'à ce qu'il aperçoive le Soleil réfléchi...<sup>340</sup>*

Le marin utiliserait donc ces horizons artificiels à terre pour déterminer sa position s'il s'est perdu. Il s'agit là d'une utilisation que nous n'aurions pas imaginée de prime abord mais qui pourrait se révéler utile pour d'autres catégories de navigateurs telles que celle du navigateur aérien.

<sup>338</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, pp. 20-21.

<sup>339</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 20.

<sup>340</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 25.



Reste maintenant à faire un état des lieux d'un dernier instrument, très sensible, indispensable à la navigation en association avec le sextant. Il s'agit du chronomètre dont l'étude fait partie des cours suivis à l'École navale et dans les écoles d'hydrographie.

### 3) Le chronomètre

Comme nous l'avons déjà écrit, le chronomètre est indispensable à la navigation astronomique dite « par lieux géométriques » (voir chapitre 2). Certains commentateurs présentent le chronomètre comme l'instrument roi de la navigation<sup>341</sup>. Il est vrai que son histoire, conjointement à la détermination de la longitude, concourt à son aura depuis son invention par les Britanniques au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle.

La part des ouvrages de cours consacrés au chronomètre est relativement importante (près de 20% pour Marguet, 11% pour Guilhaumon, 13% pour Constan et 10% au moins pour Cousin).

#### *Les trois « montres »*

Mais il faut d'abord faire la distinction entre la « montre d'habitacle », la « montre de comparaison » ou « compteur » et le « chronomètre ». Marguet ne se préoccupe là encore que de l'instrument le plus sophistiqué à savoir le chronomètre, en lui adjoignant un schéma très détaillé<sup>342</sup>, alors que les Constan et Cousin s'intéressent aux trois<sup>343</sup>. Constan écrit :

*Montre d'habitacle. \_ En plus des chronomètres et des compteurs, il existe à bord de chaque navire une bonne montre ordinaire destinée à régler les occupations journalières. Cette montre est généralement placée sur le pont, à côté de l'habitacle du compas, et s'appelle, pour cette raison, montre d'habitacle.*

*La montre d'habitacle, au lieu d'indiquer l'heure temps moyen de Paris, donne l'heure moyenne locale. La plupart du temps, elle donne le temps vrai local  $T_{vg}$  : cette montre a donc besoin d'être mise fréquemment à l'heure, l'heure vraie locale variant avec la position du navire sur le Globe.*<sup>344</sup>

Nous imaginons immédiatement les limites de cet instrument. Mais il est suffisant, lorsqu'il est associé à un sextant, pour déterminer la latitude par l'observation d'une hauteur méridienne et pour régler le compas. Il est d'ailleurs possible de régler la montre d'habitacle en

---

<sup>341</sup> SEGERIC J-J., *Histoire du point astronomique en mer*, 2006, p. 331.

<sup>342</sup> Le « chronomètre » est au programme du cours de navigation de la deuxième année à l'École navale. MINISTÈRE DE LA MARINE ET DES COLONIES, *Bulletin officiel de la Marine*, Op. Cit., p. 316.

<sup>343</sup> Guilhaumon ne donne aucune description de ces instruments.

<sup>344</sup> CONSTAN P., Op. Cit., p. 37. Rappelons que le cours de Constan tout comme les ouvrages de Guilhaumon et de Cousin ont été publiés avant que l'heure de Greenwich soit adoptée en France en 1911.

marquant midi lorsque nous voyons descendre le soleil dans l'observation de hauteur méridienne de soleil.

Le chronomètre est, quant à lui, un instrument beaucoup plus sophistiqué. Constan définit les chronomètres comme :

*Des instruments destinés à conserver avec précision l'heure temps moyen de Paris. Ce sont de grosses montres en cuivre de 10 cm à 12 cm de diamètre construites avec un soin extrême et disposées de manière à ressentir le moins possible les chocs et les vibrations du navire.*<sup>345</sup>

Il poursuit en donnant les précautions à prendre pour conserver les propriétés de l'instrument :

*A cet effet chaque chronomètre est suspendu à la Cardan dans une boîte parallélépipédique en acajou (...) et, de plus, cette boîte, calée avec des coussins est placée à bord des navires dans un coffre capitonné.*

*Ces instruments doivent d'ailleurs être manipulés avec beaucoup de soin : on ne doit les déplacer qu'en cas de nécessité absolue, tout mouvement brusque pouvant altérer la régularité de leur mouvement et par suite les indications qu'ils fournissent.*<sup>346</sup>

De manière à éviter de transporter ce chronomètre si sensible, il existe à bord une troisième catégorie de montres. Il s'agit des « compteurs » ou « montres de comparaison ». Ce « sont des montres d'une construction un peu moins soignée que celle des chronomètres et d'un prix moins élevé. Mais ce sont elles que l'on déplace pour les observations, de sorte qu'ils sont les intermédiaires entre le chronomètre et l'observateur »<sup>347</sup> comme l'écrit Constan en tête de paragraphe.

### *Les problèmes à résoudre*

De ce fait, pour connaître l'heure d'une observation, il faut savoir passer d'une part du compteur à l'heure correspondante du chronomètre et savoir passer d'autre part de l'heure du chronomètre à l'heure moyenne du premier méridien. Selon Constan, « ces deux problèmes importants se résolvent facilement à l'aide d'éléments appelés *comparaisons*, *états absolus* et *marches*... »<sup>348</sup>.

La comparaison sert à résoudre le premier problème. La résolution du second problème va nécessiter de connaître l'état absolu du chronomètre (la correction à ajouter à l'heure du chronomètre pour obtenir l'heure moyenne du premier méridien au même instant) ainsi que sa

---

<sup>345</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 36.

<sup>346</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, pp. 36-37.

<sup>347</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 37.

<sup>348</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 43.

marche diurne (la variation de l'état absolu du chronomètre en vingt-quatre heures moyennes). En effet, l'état absolu du chronomètre est légèrement variable malgré tous les soins apportés à sa construction notamment en fonction des changements de température. Constan et Guilhaumon proposent, chacun dans leur cours, aux officiers de construire une courbe de marche sur laquelle l'axe des abscisses représente les températures en degrés et l'axe des ordonnées les secondes de la marche (voir figure 24).

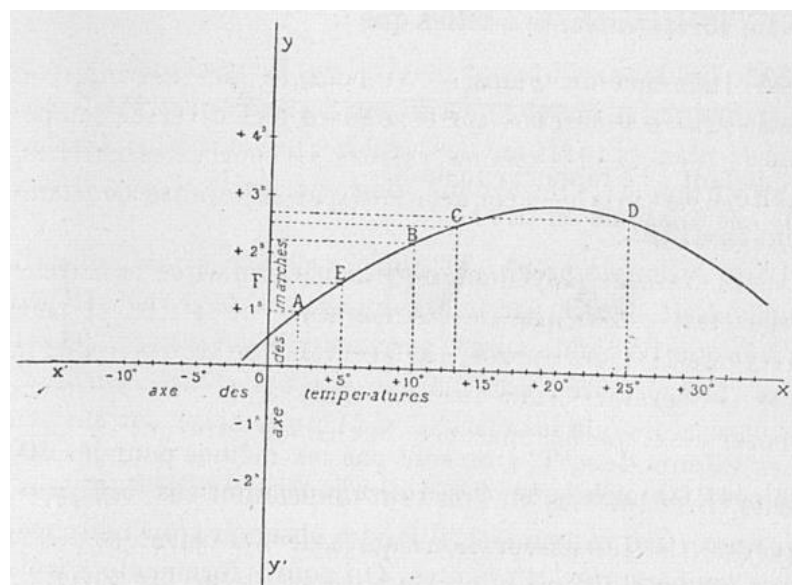


Figure 24 : Courbe des marches proposée par Guilhaumon.<sup>349</sup>

Constan pourrait être en désaccord avec la courbe proposée par Guilhaumon car selon lui « comme les chronomètres sont habituellement compensés pour les températures de 0° et 30°, cette courbe doit couper l'axe des x au point O et en un point P, tel que OP représente 30° à l'échelle adoptée »<sup>350</sup>. Cependant, dans tous les cas, l'expérience montre que « la plupart des montres retardent quand la température augmente »<sup>351</sup>. Le graphique permet de lire une estimation de la marche du chronomètre, mais Guilhaumon rappelle que cette courbe ne reste pas valable dans le temps. Toutefois, il est souvent possible de supposer que les modifications correspondent à une « accélération » journalière raisonnable du chronomètre et compléter le graphique initial par une courbe dite « isotemps ».

L'apprentissage de la détermination de « l'état absolu d'un chronomètre » fait partie du programme de cours des officiers de marine. Constan explique, en 1904, le procédé à ses lecteurs en précisant que « dans de nombreux ports on a installé des *signaux horaires*, c'est-à-

<sup>349</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 302.

<sup>350</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 50.

<sup>351</sup> *Ibid.*

dire des signaux (boules de couleur voyante) qui tombent à une heure précise et bien déterminée »<sup>352</sup> :

*Pour avoir l'heure précise du signal, on opérera de la manière suivante : supposons que l'on ait trouvé pour l'heure approchée de la chute  $M = 10^h10^m$ . On montera sur le pont en temps utile, puis à  $10^h09^m50^s$  on comptera les battements du compteur. La chute ayant coïncidé avec le 27<sup>e</sup> battement et les compteurs faisant ordinairement 25 battements en  $10^s$ , (...) il est clair que l'on a pour heure de la chute :  $M = 10^h09^m50^s + 0^s,4 \times 27 = 10^h10^m00^s,8$ .*

*Les signaux horaires tombant en général deux fois, à quelques minutes d'intervalle, on aura soin d'observer également la seconde chute qui permettra de contrôler l'exactitude de la première observation.*<sup>353</sup>

Cet extrait du cours de Constan met en évidence l'importance du rôle de l'officier des montres ainsi que la précision attendue dans le réglage du chronomètre.

Le navigateur, ayant un chronomètre lui permettant de déterminer précisément l'heure de son observation, pourra enfin calculer la longitude et avoir le point observé. Ceci semblerait être une motivation suffisante pour avoir un chronomètre en bon état à bord. Et pourtant, les autorités déplorent son absence sur certains navires effectuant pourtant de longs trajets. Le rapport fait au ministre de la marine sur les naufrages et accidents de mer pour l'année 1898 en fait mention. Il y est écrit qu'« il est à remarquer que des bâtiments en partance, même pour une longue traversée, prennent la mer sans être munis de cartes marines et d'instruments à calculs nautiques indispensables »<sup>354</sup>. Toutain, l'administrateur de l'Établissement des invalides, qui a écrit ce rapport illustre son propos d'exemples dont celui du *Philomène* :

*L'échouement avec bris, suivi de la perte totale de la goélette Philomène, du port de Saint-Pierre et Miquelon, survenu le 21 avril au cap Breton, dans sa traversée de Saint-Pierre au banc de Louis-bourg, est imputable à une erreur de point dans la longitude : le patron de ce bâtiment n'avait pas de chronomètre à bord...*<sup>355</sup>

L'absence du chronomètre est peut-être due au coût élevé de l'appareil ou aux difficultés de sa maintenance, mais ce n'est pas précisé dans le rapport. Nous pouvons tout de même espérer que la situation s'est améliorée à la fin des années 1910<sup>356</sup>.

---

<sup>352</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 58.

<sup>353</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 59.

<sup>354</sup> « Statistique des naufrages et autres accidents de mer pour l'année 1898 », *Revue Maritime*, avril 1901, p. 1107.

<sup>355</sup> *Ibid.*

<sup>356</sup> Je n'ai pas encore trouvé les informations correspondantes en ce sens.

Les instruments de navigation (compas, sextant, chronomètre), en bon état et bien réglés, permettent d'effectuer des mesures. Ces mesures servent dans des calculs nautiques pour lesquels l'officier de marine utilise principalement les tables de navigation et accessoirement des nomogrammes plus souvent appelés abaques de navigation.

## B) Les tables et nomogrammes de navigation

### 1) Tables de navigation

Plusieurs catégories de tables sont utilisées en navigation. Il faut d'abord faire la distinction entre les tables de logarithmes, comme les tables de Friocourt, qui permettent d'obtenir un résultat exact et les tables abrégatives qui simplifient les procédés de calculs mais ne donneront qu'un résultat approché. Il faut ensuite distinguer les différentes approches qui ont permis d'établir les tables abrégatives.

Les ouvrages de cours de navigation ne donnent pas d'explication sur l'utilisation des tables de logarithmes mais indiquent à quelles tables il faut se référer pour tel ou tel calcul. Les tables abrégatives, lorsqu'elles sont citées, bénéficient de quelques lignes d'explication assez succinctes. Le lecteur devra donc se reporter directement aux tables qu'il compte utiliser. Celles-ci sont le plus souvent munies de plusieurs pages d'explications pour pouvoir s'approprier le procédé.

|                     | Marguet<br><i>Cours de navigation<br/>et de compas de<br/>l'École Navale</i> |        |      | Guilhaumon<br><i>Eléments de<br/>cosmographie et de<br/>navigation</i> |        |      | Constan<br><i>Cours élémentaire<br/>d'astronomie et de<br/>navigation</i> |        |      | Cousin<br><i>Résumé pratique de<br/>navigation</i> |        |      |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------|------|------------------------------------------------------------------------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------|--------|------|----------------------------------------------------|--------|------|
| Nombre de citations | 1 à 2                                                                        | 3 à 15 | > 15 | 1 à 2                                                                  | 3 à 15 | > 15 | 1 à 2                                                                     | 3 à 15 | > 15 | 1 à 2                                              | 3 à 15 | > 15 |
| Friocourt           |                                                                              | X      |      |                                                                        |        | X    |                                                                           |        | X    |                                                    |        | X    |
| Perrin              |                                                                              | X      |      |                                                                        | X      |      |                                                                           |        | X    |                                                    | X      |      |
| Decante             | X                                                                            |        |      | X                                                                      |        |      | X                                                                         |        |      |                                                    | X      |      |
| Labrosse            | X                                                                            |        |      |                                                                        | X      |      |                                                                           | X      |      |                                                    |        |      |
| Caillet             | X                                                                            |        |      |                                                                        |        | X    |                                                                           | X      |      | X                                                  |        |      |
| Schwérer            | X                                                                            |        |      |                                                                        |        |      |                                                                           |        |      |                                                    |        |      |
| Guyou               | X                                                                            |        |      |                                                                        |        |      |                                                                           |        |      |                                                    |        |      |
| Souillagouët        |                                                                              |        |      |                                                                        | X      |      |                                                                           |        | X    |                                                    |        |      |
| De Magnac           |                                                                              |        |      | X                                                                      |        |      |                                                                           |        |      |                                                    |        |      |
| Pouvreau            |                                                                              |        |      | X                                                                      |        |      |                                                                           |        |      |                                                    |        |      |
| Houël               |                                                                              |        |      | X                                                                      |        |      |                                                                           |        |      |                                                    |        |      |

Tableau 6 : Comparaison du nombre de citations de tables selon l'ouvrage de cours.

Les cours de Marguet présentent très peu de références à ces tables contrairement aux ouvrages destinés aux écoles d'hydrographie qui citent systématiquement le numéro des tables de logarithmes (essentiellement celles de Friocourt) à utiliser pour effectuer les calculs (voir tableau 11). Les tables de Perrin viennent en deuxième position par rapport au nombre de citations, tous ouvrages confondus, et les autres tables sont citées plus ou moins souvent selon l'auteur. Il existe une grande différence du nombre de citations des tables de Caillet entre Guilhaumon et les autres auteurs ce qui peut s'expliquer par une différence de génération. En effet, les *Eléments de cosmographie et de navigation* de Guilhaumon sont déjà à leur quatrième édition en 1906. Cette édition, bien que remaniée par rapport à la première édition de 1891, reflète des habitudes acquises une génération avant celle de Marguet, Constan et Cousin. De ce fait, Caillet y est cité presque aussi souvent que Friocourt, alors qu'il a quasiment disparu chez les autres auteurs.

Les lettres adressées par Eugène Perret (voir chapitre 1) à Maurice d'Ocagne en septembre 1904 permettent de faire un état des lieux des tables utilisées à cette époque en France. Perret indique à d'Ocagne, dans sa lettre du 29 septembre 1904, les tables de navigation qui, selon lui, existent en France. Il y distingue les trois principales (Friocourt, Perrin, Souillagouët) – qu'il cite en premier – des six autres (Labrosse, Decante, Guyou, Serres, Hommey, Pouvreau).

Ces lettres font partie d'un ensemble de 24 lettres que Perret a adressé à d'Ocagne du 13 avril 1904 au 30 octobre 1908. Les 19 premières ont été rédigées à Lorient alors que Perret y est directeur de l'observatoire avec la charge des observations et des calculs. Les cinq dernières sont rédigées à Brest à bord du *Borda* où il a été nommé comme professeur. La correspondance montre notamment les essais plus ou moins fructueux d'utilisation de nomogrammes dans le cadre de la navigation maritime et dans les observatoires de marine, mais donne aussi un inventaire des tables qui étaient en usage dans la marine au début du XX<sup>e</sup> siècle. Perret a été introduit auprès de d'Ocagne, qui est considéré comme le « père de la nomographie » (voir paragraphe suivant), par Louis Favé en tant que concepteur d'un nomogramme de points alignés. La correspondance qui s'en suit est l'occasion pour d'Ocagne de demander à Perret des renseignements sur les tables de navigation utilisées dans la Marine, pour un jeune officier (M. Fournier) qui entre à l'École d'application (*Duguay-Trouin*).

### *Les tables de Friocourt*

Les premières tables citées par Perret sont les tables de Friocourt (voir chapitre 1) à six décimales. Perret les présente à d'Ocagne, dans une lettre du 24 septembre, en indiquant que

« ces tables constituent un progrès notable, comme disposition et comme impression, sur les anciennes tables de Caillet qui viennent d’être abandonnées »<sup>357</sup>.

Vincent-Marie Caillet<sup>358</sup>, professeur de navigation à l’École navale à partir de 1833, examinateur de la Marine à partir de 1848, rédige quelques ouvrages de navigation dont en 1854 les *Tables de logarithmes ou cologarithmes des nombres et des lignes trigonométriques à six décimales*<sup>359</sup> (voir figure 25).

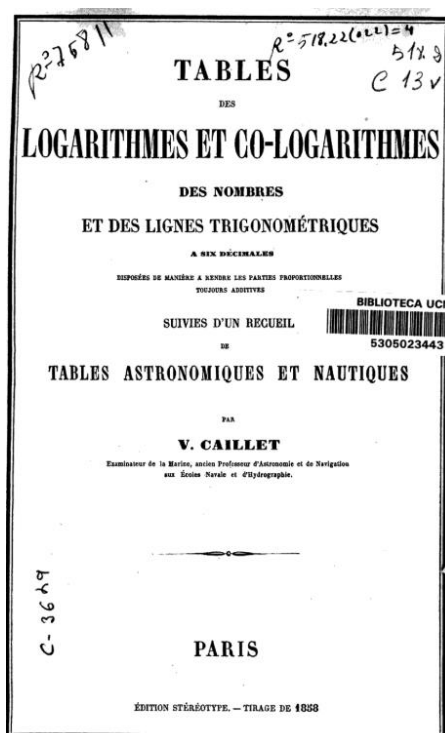


Figure 25 : Page de garde et extrait des tables de Caillet.<sup>360</sup>

Ces tables, rééditées au moins trois fois, sont progressivement remplacées par celles de Friocourt qui ont les mêmes fonctions.

Les tables de Friocourt ont été éditées pour la première fois en 1899 (voir chapitre 1) avant d’être de nombreuses fois rééditées<sup>361</sup> (voir figure 26). L’auteur précise au lecteur qu’il s’est laissé guidé par les tables de Caillet pour composer son ouvrage, mais qu’il a tenté de le faire progresser suite aux travaux du capitaine de frégate Guyou et de ses années comme professeur à bord du *Borda*.

<sup>357</sup> PERRET E., *Lettre du 24 septembre 1904*, p. 2.

<sup>358</sup> Vincent-Marie Caillet (1811-1887).

<sup>359</sup> CAILLET V., *Tables de logarithmes ou cologarithmes des nombres et des lignes trigonométriques à six décimales*, Paris, Renou et Maulde, 1858.

<sup>360</sup> CAILLET V., *Op. Cit.*, Image extraite de <https://books.google.fr>, consulté le 13 août 2018.

<sup>361</sup> Les capitaines au long cours et les commandants de bord s’en servaient encore à la fin des années 1980.

*L'occasion était en effet favorable pour tenter un progrès ; il s'agissait d'abord de modifier la texture de certaines tables, de manière à éviter les erreurs que facilitait leur disposition ; il y avait aussi à tenir compte des nouvelles méthodes de calcul révélées dans ces dernières années, notamment par M. Le capitaine de frégate Guyou dans son ouvrage : Les problèmes de navigation et la carte marine ; enfin nous ne pouvons négliger de tirer parti de l'expérience personnellement acquise pendant quatre années de professorat à l'École navale (Cours de calculs nautiques).*<sup>362</sup>

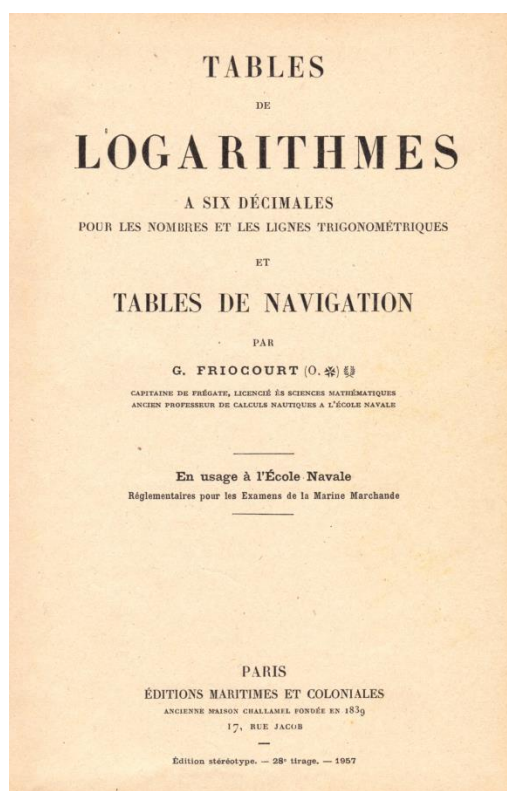


**Figure 26 : Page de garde des tables de Friocourt (dans son édition de 1957).**<sup>363</sup>

L'ouvrage est constitué deux parties accolées ayant une numérotation indépendante. La première partie relative aux tables de logarithmes fait 288 pages pour 9 tables et est précédée de 24 pages d'indications. La seconde partie, plus courte, représente simplement 104 pages mais avec 35 tables précédées de 16 pages d'explications. Elle porte plus spécifiquement sur la navigation. Il s'agit d'un livre polyvalent, avec de multiples applications, à la fois en usage à l'École navale et réglementaire pour les examens de la marine marchande. Il a été rédigé en tenant compte des exigences de la Marine, que l'auteur connaissait bien, et de celles de la

<sup>362</sup> FRIOCOURT G., *Tables de logarithmes à six décimales pour les nombres et les lignes trigonométriques et tables de navigation*, Paris, Augustin Challamel, 1922, p. V.

<sup>363</sup> FRIOCOURT G., *Op. Cit.*



marine marchande grâce à « M. l'Examineur d'hydrographie Villain, qui a eu l'obligeance de nous faire connaître les desiderata de la marine marchande et nous éclairer de ses conseils »<sup>364</sup>.

## **TABLES DE FRIOCOURT - Index**

### **Première partie – Tables de logarithmes**

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Disposition et usage des tables de logarithmes.                                                                                                 | IX  |
| I. Nombres usuels avec leurs logarithmes.                                                                                                       | 1   |
| II. Logarithmes des nombres entiers depuis 1000 jusqu'à 10000.                                                                                  | 3   |
| III. Logarithmes des sinus, tangentes, cotangentes et cosinus, de six en six secondes, pour les quatre-vingt-dix premières minutes du quadrant. | 41  |
| IV. Logarithmes et cologarithmes des sinus et tangentes, de quinze en quinze secondes, pour tous les degrés du quadrant.                        | 57  |
| V. Logarithmes d'addition et de soustraction.                                                                                                   | 239 |
| VI. Carrés des nombres de 1 à 1500.                                                                                                             | 262 |
| VII. Lignes trigonométriques naturelles.                                                                                                        | 264 |
| VIII. Valeurs naturelles des sinus, tangentes, cotangentes et cosinus, de minute en minute, pour tous les degrés du quadrant.                   | 265 |
| IX. Interpolation des lignes naturelles.                                                                                                        | 288 |

### **Deuxième partie – Tables de navigation**

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Notations.                                                                                     | II  |
| Explication et usage des tables.                                                               | III |
| I. Correction des hauteurs à la mer : Soleil.                                                  | 1   |
| II. Correction des hauteurs à la mer : Étoiles.                                                | 2   |
| III. Correction des hauteurs à la mer : Lune.                                                  | 3   |
| IV. Table de point.                                                                            | 4   |
| V. Facteur $\frac{1}{\cos L_m}$ .                                                              | 48  |
| VI. Latitudes croissantes.                                                                     | 49  |
| VII. Réfractions astronomiques moyennes.                                                       | 58  |
| VIII. Correction des réfractions.                                                              | 58  |
| IX. Hauteurs correspondantes.                                                                  | 59  |
| X. Conversion des heures et minutes en fraction décimale du jour.                              | 59  |
| XI. Facteur $\frac{10}{15 \cos L \sin Z}$ .                                                    | 59  |
| XII. Dépression apparente et distance à l'horizon.                                             | 60  |
| XIII. Dépression du pied d'une côte qui borne l'horizon.                                       | 60  |
| XIV. Distance à un objet de hauteur connue, situé en deçà de l'horizon visuel.                 | 61  |
| XV. Distance à un objet de hauteur connue, situé au-delà de l'horizon visuel.                  | 62  |
| XVI. Distance d'un objet, connaissant l'angle de sa flottaison avec l'horizon.                 | 64  |
| XVII. Augmentation du demi-diamètre horizontal de la lune.                                     | 66  |
| XVIII. Accourcissement des demi-diamètres du soleil et de la lune produit par la réfraction.   | 66  |
| XIX. Correction $V \cos Z$ .                                                                   | 66  |
| XX. Angle à la verticale.                                                                      | 66  |
| XXI. Diminution de la parallaxe équatoriale.                                                   | 66  |
| XXII. Parallaxe de hauteur de la lune, moins la réfraction.                                    | 67  |
| XXIII. Angle au pôle d'un astre et sa hauteur, à l'instant favorable pour déterminer l'heure.  | 76  |
| XXIV. Angle au pôle et amplitude d'un astre, au moment de son lever ou de son coucher vrai.    | 80  |
| XXV. Produits des arcs par les sinus de 22°,5, de 45° et de 67°,5.                             | 84  |
| XXVI. Table pour la correction des déviations quadrantales.                                    | 84  |
| XXVII. Temps approximatif qu'un astre met à s'élever ou à s'abaisser de 50' près de l'horizon. | 85  |

<sup>364</sup> FRIOCOURT G., Op. Cit., p. VI.

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| XXVIII. Variation de l'amplitude lorsque l'astre s'élève ou s'abaisse de 50' près de l'horizon.          | 85  |
| XXIX. Limites des circumméridiennes à la mer.                                                            | 85  |
| XXX. Changement en hauteur d'un astre pendant la minute qui précède ou qui suit son passage au méridien. | 86  |
| XXXI. Courbure des courbes de première espèce.                                                           | 90  |
| XXXII. Circumméridiennes.                                                                                | 90  |
| XXXIII. Coefficient de Pagel.                                                                            | 98  |
| XXXIV. Azimut par l'heure.                                                                               | 100 |
| XXXV. Distance à un objet fixe au moyen de deux relèvements et de la route faite dans l'intervalle.      | 102 |

**Extrait 6 : Sommaire des tables de Friocourt.**<sup>365</sup>

Friocourt présente ses innovations par rapport aux tables de Caillet dans l'avertissement. Il a entièrement recalculé les tables XV et XXXIII de la deuxième partie (voir extrait 6) ainsi que celles « pour lesquelles il y a lieu de tenir compte de l'aplatissement terrestre »<sup>366</sup>. Par la disposition inédite des tables III et V de la première partie (voir extrait 6), il a « voulu combler une lacune que nous avons souvent entendu déplorer »<sup>367</sup> car « nous ne possédions pas en France de tables de ce genre à six décimales »<sup>368</sup>. Ce problème de non disposition de tables particulières françaises amènera d'ailleurs régulièrement des capitaines au long cours à utiliser des tables étrangères qu'ils auront rapportées de leurs voyages. Friocourt indique que la table IX de la deuxième partie (voir extrait 6) lui a été inspirée par son collègue M. Fayet, lui aussi professeur à l'École navale.

*Les tables de Perrin*

Les deuxièmes tables par ordre d'importance – cf. les citations dans les ouvrages de notre corpus (voir tableau 11) et la liste donnée par Perret à d'Ocagne – sont celles de Perrin. Il s'agit plus précisément des *Nouvelles tables destinées à abrégé les calculs*, publiées pour la première fois en 1876 dans un recueil de 59 pages et rééditées de nombreuses fois<sup>369</sup>. Édouard Perrin<sup>370</sup>, était connu à cette époque pour ses travaux en calculs nautiques. A. Ledieu, ancien officier de vaisseau et examinateur de marine, remercie à plusieurs reprises Perrin pour son aide lors de la rédaction de *Les nouvelles méthodes de navigation* qui paraît en 1877. Il indique sur la page de couverture « Ouvrage rédigé pour la partie application avec le concours de plusieurs officiers de la marine militaire, et notamment de MM. Perrin, auteur de tables nautiques (...) » et ajoute

<sup>365</sup> FRIOCOURT G., *Op. Cit.*, pp. VII-VIII.

<sup>366</sup> FRIOCOURT G., *Op. Cit.*, p. V.

<sup>367</sup> *Ibid.*

<sup>368</sup> *Ibid.*

<sup>369</sup> Perret se réfère probablement à la troisième édition ou à la deuxième qui date de 1892. PERRIN É., *Nouvelles tables destinées à abrégé les calculs nautiques*, Paris, Augustin Challamel, 1892.

<sup>370</sup> Édouard Jean Perrin (1852-1926).

dans la préface « Nous avons pu ainsi achever d'apprécier les dispositions véritablement supérieures de cet officier pour la *Navigation appliquée* ; et nous inclinons à penser qu'il ne tardera pas à se faire un nom dans la science hydrographique »<sup>371</sup>. Les multiples rééditions et l'importance que leur accorde le monde maritime en sont d'ailleurs l'illustration.

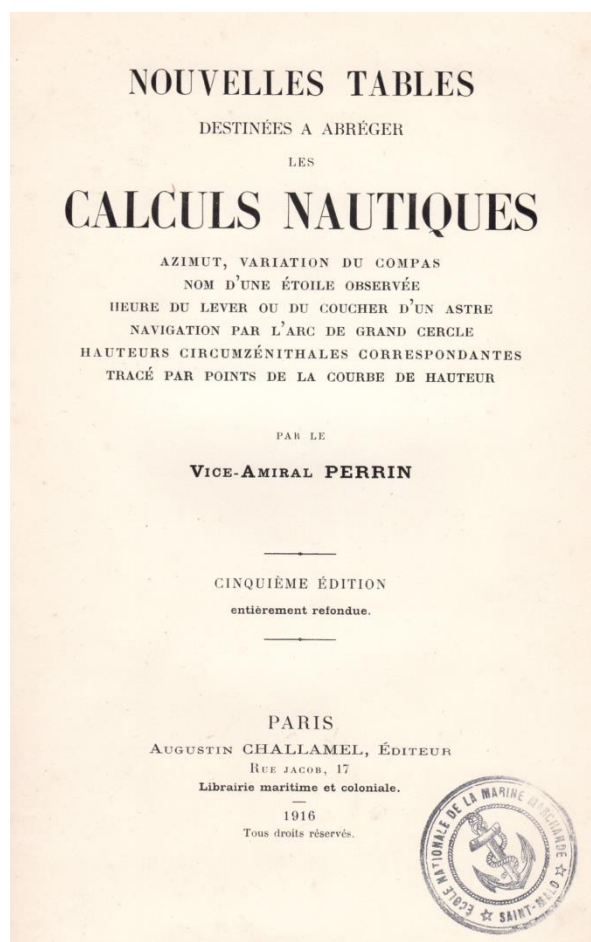


Figure 27 : Page de garde des tables de Perrin (dans son édition de 1916).<sup>372</sup>

Les tables de Perrin consistent, dans la première version de 1876, en trois tables de « faible volume » ainsi que « des applications aux calculs nautiques en usage à cette époque »<sup>373</sup> comme le précise l'auteur. Elles

*donnent l'azimut d'un astre en fonction de l'heure, la variation du compas, la direction de la droite de hauteur ; elles permettent de reconnaître si une étoile observée est bien celle que l'on a présumée ; elles servent à calculer la hauteur ainsi que l'heure du lever ou du coucher d'un astre ; elles fournissent l'angle parallaxique du triangle*

<sup>371</sup> LEDIEU A., *Les nouvelles méthodes de navigation*, Paris, Dunod, 1877, p. XXX.

<sup>372</sup> PERRIN É., *Nouvelles tables destinées à abrégé les calculs nautiques*, Paris, Augustin Challamel, 5<sup>e</sup> éd., 1916

<sup>373</sup> PERRIN É., *Op. Cit.*, p. V.

de position et la plupart des coefficients différentiels exprimant l'influence sur le résultat d'erreurs commises sur les données ; elles facilitent le calcul de l'équation des hauteurs correspondantes et la solution des divers problèmes relatifs à la navigation par arc de grand cercle.<sup>374</sup>

Les trois tables sont à deux arguments comme l'indique Perrin dans le descriptif de chacune de ses tables<sup>375</sup>. La table I a pour arguments l'angle horaire et la différence en longitude (ou la déclinaison de l'astre ou la latitude d'arrivée suivant les cas) dans des expressions de la forme

$$p' = \frac{tgD}{sinAH}.$$

La table II a pour arguments l'angle horaire (ou la différence en longitude) et la latitude du navire (ou la latitude de départ) dans des expressions de la forme

$$p'' = \frac{tg\varphi}{tgAH}.$$

La table III a pour arguments « le nombre  $p$ , et la latitude du navire ou la latitude de départ »<sup>376</sup> pour des expressions de la forme

$$cotgA = p \cos\varphi.$$

Les trois éditions qui suivent la version de 1876 connaissent « divers remaniements et additions »<sup>377</sup> puis une refonte totale en 1916 pour la mettre « en harmonie avec les idées actuelles sur la navigation »<sup>378</sup>. Perrin fait suivre la partie *Explication et usage des tables*, correspondant aux trois tables initiales, de deux tables supplémentaires. La table IV donne la « correction des hauteurs correspondantes observées à moins d'une heure d'intervalle »<sup>379</sup> et la table V donne l'« écart entre la courbe de hauteur et la tangente menée à cette courbe par le point déterminatif »<sup>380</sup>.

Les tables de Perrin ont la particularité d'être de faible volume et de présenter dans la partie des explications une sorte de mémento rappelant les bases de la résolution des problèmes nautiques. On y trouve à la fois des définitions (méridien, angle horaire, azimut...), quatorze problèmes avec les exemples correspondants détaillés et quelques points que Perrin a voulu présenter à son lecteur (détermination du point par les hauteurs circumzénithales correspondantes, tracé par point de la courbe de hauteur...). Ces particularités rendent l'ouvrage

---

<sup>374</sup> *Ibid.*

<sup>375</sup> PERRIN É., *Op. Cit.*, p. 1 pour la table I, p. 11 pour la table II, p. 21 pour la table III.

<sup>376</sup> PERRIN É., *Op. Cit.*, p. 21.

<sup>377</sup> PERRIN É., *Op. Cit.*, p. VI.

<sup>378</sup> *Ibid.*

<sup>379</sup> PERRIN É., *Op. Cit.*, p. 83.

<sup>380</sup> PERRIN É., *Op. Cit.*, p. 93.

attrayant et facilitent son accès ce qui pourra se révéler déterminant pour le navigateur aérien moins armé en science nautique que son homologue de la marine.

### *Les tables de Souillagouët*

Les troisièmes tables de la liste de Perret, les tables de Souillagouët, sont moins citées que les précédentes dans les ouvrages de cours (citées uniquement par Guilhaumon et Constan) (voir tableau 11). Ces tables auront pourtant des prolongements importants dans leur interprétation par Charles Bertin dès 1904<sup>381</sup>.

Les tables de Souillagouët correspondent à une innovation intéressante. Les auteurs de l'*American Practical Navigator*<sup>382</sup>, qui considèrent cet enseignant français comme le premier à avoir décomposé le triangle de position en deux triangles rectangles afin d'établir une table de navigation, font une présentation succincte de l'ouvrage.

*Souillagouët, un professeur d'hydrographie Français, a été le premier à diviser le triangle de position en abaissant une perpendiculaire depuis le zénith. Ses Tables du Point Auxiliaire furent publiées en France en 1891 (...) Il y a quatre tables différentes pour un total de 408 pages. La méthode nécessite cinq ouvertures du livre, sept entrées de tables et six étapes mathématiques. L'interpolation n'est pas nécessaire.*<sup>383</sup>

Ferdinand Souillagouët est, comme la plupart des professeurs d'hydrographie, un ancien élève de l'École navale. Il publie ses tables en 1891 alors qu'il enseigne à Bordeaux. Il explique ses intentions et les procédés de calcul qu'il a utilisés dans l'introduction de l'ouvrage. Son travail découle des « méthodes de navigation basées sur l'emploi des droites de hauteur » et plus particulièrement de celle de Marcq Saint-Hilaire (voir chapitre 2). Mais il ne se contente pas de proposer un ensemble de tables, il propose également d'abandonner l'usage du point estimé pour un point qu'il nomme « auxiliaire ».

*La méthode de Marcq-Saint-Hilaire (...) peut devenir, à l'aide d'un artifice de calcul, la plus rapide des méthodes qu'on puisse appliquer à la recherche d'un lieu du navire. (...)*

*Dans le but d'abrégé d'une façon considérable le calcul de la hauteur estimée,*

---

<sup>381</sup> Charles Bertin indique avoir effectué ses calculs entre 1904 et 1911 dans sa *Tablette Bertin* publiée en 1929. BERTIN Ch., *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars, p. 273.

<sup>382</sup> L'*American Practical Navigator* est une encyclopédie américaine sur la navigation très complète et de nombreuses fois mise à jour depuis sa première édition en 1802.

<sup>383</sup> BOWDITCH N., *American Practical Navigator, Vol I*, USA, Defense Mapping Agency Hydrographic Center, 1977, pp.571-572. Ma traduction de « Souillagouët, a French professor of hydrographie, was the first to divide the navigational triangle by dropping a perpendicular from the zenith. His *Tables du Point Auxiliaire* were published in France in 1891. (...) There are four separate tables with a total of 408 pages. The method requires five book openings, seven tables entries, and six mathematical steps. Interpolation is not needed ».

nous avons pensé à construire des tables basées sur les formules :

$$\operatorname{tg} \phi = \cot L \cos P, \quad \sin \phi' = \cos L \sin P, \quad \sin H = \cos \phi' \cos (\Delta - \phi) \quad (\dots)$$

Toutefois, pour ne pas donner un volume considérable à ces tables, il est indispensable de réduire à un minimum le nombre des arguments d'entrée. C'est pourquoi (...) les tables n'ont été construites qu'en fonction des valeurs de  $L$  et  $P$  variant, savoir : de 15' en 15' pour la T.I et de 30' en 30' pour la T.II.

Étant donné cette disposition et afin d'éviter le souci des interpolations, l'observateur est conduit à substituer au point estimé un point voisin que nous avons désigné sous le nom de point auxiliaire\*, pour lequel la latitude et l'angle au pôle sont des arguments de la table.

\*Nous avons employé cette désignation dans la préface de nos tables publiées en juillet 1891. Les auteurs qui après nous ont utilisé notre artifice de calcul de diverses manières en ont généralement fait usage.<sup>384</sup>

Souillagouët sait que la méthode du point auxiliaire présenterait des difficultés pour être implantée tant dans la marine militaire que marchande. Il écrit donc à la fin de son introduction :

*Nous espérons que les modifications que nous proposons dans la pratique des calculs nautiques seront bien accueillies par les marins, car le grand nombre de travaux publiés dans ces dernières années sur ce même sujet nous fait penser qu'on répond à un véritable besoin de la navigation moderne, en cherchant à ramener à un minimum les opérations nécessaires au calcul du point.*

*Actuellement, sur les navires à vapeur à grande vitesse il faut calculer fréquemment, de jour comme de nuit, pour contrôler sa route. Dans ce problème du point, eu égard à l'approximation requise, l'emploi de tables spéciales est tout indiqué, moins encore au point de vue de la diminution du temps nécessaire à la réduction des observations que celle des chances d'erreur.<sup>385</sup>*

Bien que de nombreux marins restent sceptiques face à ce procédé, le travail de Souillagouët est tout de même apprécié par ses pairs. À ce titre, nous pouvons citer le rapport que le commandant Guyou rédige pour l'Académie des sciences en 1894 en vue de l'obtention d'un prix. Il écrit :

*Ces tables, qui ont été en grande partie calculées par lui-même, sont le résultat d'un travail considérable, et un résultat doublement utile, car, outre les simplifications qu'elles apportent au calcul du point, elles donnent à vue la solution d'un grand nombre de problèmes d'ordre secondaire que l'on a fréquemment à résoudre en navigation.*

*Les Tables du point auxiliaire peuvent être considérées comme Tables du*

---

<sup>384</sup> SOUILLAGOUËT F., *Tables du point auxiliaire*, Toulouse, Douladoure-Privat, 1894, p. III-IV.

<sup>385</sup> SOUILLAGOUËT F., *Op. Cit.*, p. XVI.

*triangle sphérique rectangle et, à ce point de vue plus général, rendront encore de grands services.*

*La Commission, en considération des commodités nouvelles qu'apportent ces Tables aux officiers de marine, pour l'accomplissement d'une partie de leur tâche, croit devoir proposer à l'Académie d'accorder à leur auteur un prix sur les fonds du Prix extraordinaire.*<sup>386</sup>

Souillagouët reçoit en 1894 une part s'élevant à 500 francs du « Prix de six mille franc » pour ses *Tables du point auxiliaire*. Ce prix, qui est attribué par l'Académie des sciences depuis 1876, est « destiné à récompenser tout progrès de nature à accroître l'efficacité de nos forces navales »<sup>387</sup>. Vingt ans plus tard, Bertin rend hommage à l'inventivité de Souillagouët mais déplore en même temps que ses tables ne soient pas suffisamment exploitées. Ainsi, il écrit en 1914 dans l'article de la *Revue maritime* présentant la genèse de ses propres tables :

*Il [Bertin] pense d'ailleurs que la souplesse de la table permettra d'autres essais ; il doute qu'aucun d'eux soit supérieur, en simplicité, à la réelle invention de M. Souillagouët, auquel il tient, une fois de plus, en terminant, à rendre l'hommage le plus respectueusement reconnaissant, puisque c'est la seule utilisation des tables du point auxiliaire qui lui a donné l'idée et le courage de mener à bonne fin le calcul de son œuvre, représentant un effroyable total de sept années de calculs.*

*Il reste d'ailleurs tout attristé à la pensée que l'œuvre du Maître est, bien qu'existante, relativement peu connue et utilisée.*

*La plupart des calculs faits avec la table de point sphérique pourraient, avec une précision moindre, être résolus avec les tables de point auxiliaire. Et l'accueil indifférent fait à celles-ci n'a pas permis à l'auteur de celles-là d'être soutenu, pendant sa longue gestation intellectuelle, par ce divin rayon d'espérance qu'aurait apporté l'espoir d'un succès de librairie. Il craint que son « enfant spirituel » ne soit mort-né !*<sup>388</sup>

Les tables de Souillagouët tombent peu à peu en désuétude pour être remplacée par celles qui leur sont directement issues à savoir celles de Bertin (voir chapitre 8).

---

<sup>386</sup> GUYOU É., « Rapport de M. Guyou sur les travaux de M. Souillagouët », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1894, pp. 1062-1063.

<sup>387</sup> GAUJA P., *Les fondations de l'Académie des sciences (1881-1915)*, Hendaye, Imprimerie de l'observatoire d'Abbadia, 1917, p. 111.

<sup>388</sup> BERTIN Ch., « La table de point sphérique ou essai d'une navigation sans logarithmes », *Revue Maritime*, janvier-février-mars 1914, p. 30. Remarquons que Bertin parle de lui à la troisième personne du singulier.

### *Les tables de Decante et Labrosse*

Les tables dont il est question maintenant appartiennent selon Perret à une seconde catégorie (moins essentielle). Il cite dans un premier temps la table des azimuts de Ferdinand Labrosse<sup>389</sup> et celle du lieutenant de vaisseau Édouard Decante<sup>390</sup> qui ont la même utilisation. Perret précise que celles de Labrosse « sont encore réglementaires comme matériel d'Etat dans la marine militaire, mais elles sont remplacées par celles 2° [de Decante] qui ont des limites plus larges en déclinaison »<sup>391</sup>. L'importance relative que semble leur accorder Perret (probablement parce qu'elles sont moins générales et résolvent uniquement le problème de la recherche de l'azimut) n'est pas partagée par l'ensemble des acteurs du monde maritime. En effet, Decante reçoit une part du « Prix de six mille francs » en 1897, qui s'élève à 100 francs, pour ses *Tables d'azimut*<sup>392</sup>.

Labrosse a un parcours atypique en raison de problèmes de santé. Il entre à l'École navale en 1858 mais démissionne du corps des officiers de la Marine en 1866 pour intégrer d'abord le corps du personnel des bureaux de l'administration centrale de la Marine avant de rejoindre celui des trésoriers des Invalides de la Marine en 1896. Ces postes lui permettent de se consacrer à l'écriture d'une dizaine d'ouvrages appréciés en France et à l'étranger notamment dans les pays anglo-saxons, dont ses *Tables des Azimuts*<sup>393</sup> dès 1868. Nous pouvons remarquer la volonté de l'auteur de s'adresser à un lectorat international puisque son introduction intitulée « Explication et usage des tables d'azimuts » est traduite en trois langues (anglais, allemand et espagnol). Le calcul de ses tables est basé sur la formule

$$\cot Z = \frac{\tan d \cos L}{\sin t} - \sin L \cot t \quad ^{394}$$

Les tables de Decante, bien que proches de celles de Labrosse, présentent tout de même une valeur ajoutée comme le souligne le lieutenant de vaisseau Th. Parfait, dès 1879, dans un article paru dans la *Revue Maritime et Coloniale* sous le titre « Emploi des tables de Decante dans les évolutions d'escadre ». Parfait écrit :

*Ces tables qui ne sont qu'une modification de celles de Labrosse, en diffèrent principalement en ce que l'on entre avec la date du mois, ce qui dispense de l'emploi de la déclinaison du soleil, et en ce qu'elles sont prolongées jusqu'à midi.*<sup>395</sup>

---

<sup>389</sup> Ferdinand Labrosse (1841-1912).

<sup>390</sup> Édouard Decante (1829-1911). École navale (1845).

<sup>391</sup> PERRET E., *Lettre du 29 septembre 1904*, p. 3.

<sup>392</sup> DECANTE É., *Tables d'azimut*, Paris, Gauthier Villars, 1889.

<sup>393</sup> LABROSSE F., *Tables des Azimuts*, Paris, Arthus-Bertrand, 1868.

<sup>394</sup> BOWDITCH N., *Op. Cit.*, p. 613.

<sup>395</sup> PARFAIT TH., « Emploi des tables de Decante dans les évolutions d'escadre », *Revue Maritime et Coloniale*, 1879, n°60, p. 235.



Cette introduction est suivie de la description précise de la méthode que l'auteur a probablement pratiquée à bord de la *Savoie*.

*En résumé : prendre dans la table l'angle au méridien, le transporter sur le cercle gradué du compas de relèvement, lire l'indication de la rose pour l'alidade, qui forme ainsi le deuxième côté de cet angle. (...) Ce moyen, employé à bord de la Savoie, a donné de bons résultats (...).*<sup>396</sup>

Précisons que Decante est chargé de l'Observatoire de Rochefort lorsque Parfait montre l'intérêt de ses tables en 1879.

### *Les tables de poche de Guyou*

Viennent ensuite les tables de poche du commandant Guyou (voir chapitre 1), éditées pour la première fois par Berger Levrault en 1884<sup>397</sup>, et qui sont particulièrement pratiques pour l'application de la méthode dite de l'angle horaire. Pourtant cette méthode particulière « doit s'incliner devant la méthode générale qui est celle de la « droite Marcq St Hilaire »<sup>398</sup> car selon Perret « depuis plusieurs années on peut dire que la droite Marcq est exclusivement employée par tous les navigateurs »<sup>399</sup>. Et il ajoute « d'ailleurs les tables de Friocourt comprennent celles du commandant Guyou »<sup>400</sup>. En effet, Friocourt indique dans l'avertissement « plusieurs tables sont extraites de l'ouvrage de M. le capitaine de frégate Guyou ; ce sont la table III (2<sup>e</sup> partie), la table VI (2<sup>e</sup> partie) et la table XXXII »<sup>401</sup>. Pourtant l'utilisation des tables de Guyou semble avoir perduré dans sa version initiale. Ainsi, le commandant au long cours P. Lheureux, s'exprimant en 1955 sur les tables de navigation dans un article de la revue *Navigation* intitulé « Au sujet des tables de navigation destinées au calcul de l'angle horaire »<sup>402</sup>, indique qu'il s'est immédiatement rallié aux « travaux du Commandant Guyou » au cours de sa première année de navigation. Il présente ensuite au lecteur la démonstration des calculs. Mais il faut rester prudent, car il s'agit peut-être de la « méthode pour faire le point »<sup>403</sup> élaborée par Guyou et pas uniquement de sa table de calculs.

---

<sup>396</sup> PARFAIT TH., *Op. Cit.*, p. 237.

<sup>397</sup> GUYOU É., *Tables de poche donnant le point observé et les droites de hauteur*, Paris, Berger Levrault, 1884.

<sup>398</sup> *Ibid.*

<sup>399</sup> *Ibid.*

<sup>400</sup> *Ibid.*

<sup>401</sup> FRIOCOURT G., *Op. Cit.*, p. VI.

<sup>402</sup> LHEUREUX P., « Au sujet des tables de navigation destinées au calcul de l'angle horaire », *Navigation* (Paris), n°12, octobre 1955, p. 374.

<sup>403</sup> GUYOU É., « Nouvelles méthodes pour déterminer le point à la mer », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1909, pp. 1062-1063.

### *Les autres tables citées par Perret*

Perret cite ensuite des tables moins connues. Il s'agit des *Tables condensées pour le calcul rapide du point observé*, publiées chez Gauthier-Villars en 1891<sup>404</sup> par le lieutenant de vaisseau Élie Serres<sup>405</sup> et qui donnent « un moyen général de tracer la droite Marcq, plus simplement que par la formule ordinaire ; elles seraient sans doute très employées si la formule ordinaire, par elle-même, n'était si simple à calculer : mais l'abréviation porte simplement sur un calcul qui peut être exécuté sans se presser en moins de 4 minutes »<sup>406</sup>.

Puis viennent deux tables que Perret ne connaît pas. Il s'agit d'abord de la *Table d'angles horaires*<sup>407</sup> du capitaine de frégate Louis Hommey<sup>408</sup>, publiée en 1863. Il cite ensuite *Les nouvelles tables de mer pour le calcul de la hauteur, de l'heure et de l'azimut* de Georges Pouvreau, capitaine au long cours, publiées en 1885<sup>409</sup>. Il écrit à leur propos :

*Quant aux 2 dernières tables, je ne les connais pas et je ne les ai jamais vues entre les mains d'un marin. Il est probable que celle de Hommey, qui est très ancienne, n'a pas réussi à cause du feuilletage énorme qu'elle doit nécessiter ; elle aurait cependant dû être en faveur près des marins, auquel la méthode de l'angle horaire a été chère pendant si longtemps et si obstinément !*<sup>410</sup>

Les tables d'Hommey sont peut-être restées confidentielles en France, mais elles ont tout de même donné lieu à un petit paragraphe de trois lignes dans le *Bowditch*<sup>411</sup>. On y apprend qu'elles ont été publiées en deux volumes en France en 1863 et qu'il s'agit d'une amélioration de celles de Cassini et Lalande.

Rappelons que Perret donne cette liste de neuf tables à d'Ocagne à l'attention d'un jeune officier dénommé Fournié qui doit entrer à l'École d'application. Perret précise qu'il préfère, quant à lui, travailler avec une autre table comprenant les logarithmes de Gauss même s'il n'en a pas parlé à Fournié.

*Pour ma part, je préfère à l'outillage de l'école une simple table à 5 décimales, mais comprenant les logarithmes de Gauss (genre table de Houël). Il en résulte de grandes simplifications, mais je n'ai point parlé de cela à M. Fournié qui va passer par*

---

<sup>404</sup> SERRES É., *Tables condensées pour le calcul rapide du point observé*, Paris, Gauthier-Villars, 1891.

<sup>405</sup> Élie Serres (1859-1928). Promotion 1876 de l'École navale.

<sup>406</sup> PERRET E., *Op. Cit.*

<sup>407</sup> HOMMEY L., *Table d'angles horaires*, Paris, Mallet-Bachelier, 1863.

<sup>408</sup> Louis Hommey (1814-1897).

<sup>409</sup> POUVREAU G., *Les nouvelles tables de mer pour le calcul de la hauteur, de l'heure et de l'azimut*, Paris, Gauthier-Villars, 1885.

<sup>410</sup> *Ibid.*

<sup>411</sup> BOWDITCH N., *Op. Cit.*, p. 562.

*le Duguay-Trouin. L'Ecole d'application impose ses méthodes qu'il faut connaître et bien approfondir avant de songer à s'en affranchir.*<sup>412</sup>

Ce passage dans la correspondance de Perret avec d'Ocagne met en valeur la différence qu'il peut exister entre les méthodes étudiées à l'école et la pratique à bord des navires. L'article cité précédemment de Lheureux apporte la même précision surtout lorsque ce dernier ajoute que sa rencontre, en 1919, avec un officier utilisant les tables de Martelli<sup>413</sup>, l'a incité à en démonter le mécanisme et à aider à leur diffusion en rédigeant une note. Notons que les similitudes entre les tables de Martelli et de Pouvreau sont flagrantes ce qui amène à s'interroger sur les liens entre les deux auteurs<sup>414</sup>.

### *Un classement des tables*

Perret classe les tables de navigation selon l'importance qu'il leur accorde. Pierre Hugon, professeur en chef de 1<sup>re</sup> classe d'hydrographie et secrétaire général de l'Institut Français de Navigation, propose dans la revue *Navigation*<sup>415</sup> une classification systématique des tables selon le nombre d'arguments utilisés pour résoudre le triangle sphérique<sup>416</sup>. Il distingue trois catégories. Dans les tables dites « à argument simple », le triangle de position sera résolu par la formule fondamentale ou une formule dérivée de celle-ci. Hugon y classe notamment les tables de logarithmes de Friocourt et celles de poche de Guyou mais ne cite pas celle de Caillet alors qu'elle y aurait eu sa place. Dans les tables dites « à double argument », le triangle de position est résolu après avoir été décomposé en deux triangles rectangles sphériques à l'aide d'un point auxiliaire<sup>417</sup>. Ce procédé a été notamment utilisé en France par Souillagouët à partir de 1891 mais Hugon n'y fait pas mention. La table à double argument la plus ancienne citée par Hugon étant celle des capitaines au long cours français Erick et Michel de Catalano datant de 1918<sup>418</sup>.

---

<sup>412</sup> PERRET E., *Lettre du 24 septembre 1904*, p. 3.

<sup>413</sup> Ces tables ont été publiées pour la première fois en 1873 par l'italien G. F. Martelli et rééditées de nombreuses fois ultérieurement.

<sup>414</sup> Pour Pierre Bedel la différence principale se situe au niveau de la précision (4 décimales pour Martelli contre 5 pour Pouvreau) ainsi que l'ordre de présentation des tables. Voir BEDEL P., *Tables de Martelli*, 12 mars 2016, in <http://fer3.com/arc/imgx/Martelli-version2.pdf> et discussion sur les liens entre les auteurs <http://www.fer3.com/arc/sort2.aspx?y=200301&sort=dd&y2=201612&author=&subject=martelli>. (Consultées le 13 août 2018).

<sup>415</sup> Cette publication trimestrielle est l'organe de l'Institut Français de Navigation (I.F.N.). L'association et sa revue ont été créés quasiment simultanément en 1953 à l'initiative d'un groupe venant d'horizons divers (professeurs d'hydrographie, pilotes d'avion et navigateurs dans l'armée de l'air et l'aviation marchande, officiers de marine marchande et de marine militaire, administrateurs des affaires maritimes, ingénieurs, etc.) en vue de favoriser le développement des méthodes et des techniques dans le domaine de la navigation maritime et aérienne.

<sup>416</sup> *Navigation*, n°3 juillet 1953, pp. 78–85.

<sup>417</sup> Ce qui diffère des tables à deux arguments de Perrin.

<sup>418</sup> Hugon l'appelle « table zonique », mais il semblerait que ce nom ne lui soit attribué qu'à partir de 1922.

Il semblerait, de plus, que seules les tables à argument simple et à double argument (et pas celles à trois arguments) aient existé avant la Première guerre mondiale.

### *L'utilisation des tables en mer*

Reste cependant à connaître l'utilisation effective de ces tables. Nous savons déjà que le commandant Lheureux utilise probablement les tables de Guyou et la méthode qui lui est associée mais sans date précise. Lheureux indique qu'au cours de sa première année de navigation, il a lui-même recherché à établir un ensemble de deux tables destinées au calcul de l'angle horaire « avant d'avoir pris connaissance des travaux du Commandant Guyou et de sa méthode, à laquelle nous nous sommes immédiatement ralliés »<sup>419</sup>. Mais nous pouvons dater son initiation aux travaux de Guyou à une période antérieure à 1919. En effet, il écrit à propos des tables de Martelli :

*Nous en avons nous-mêmes entendu parler à maintes reprises, mais satisfait de la méthode du Commandant Guyou, nous avons écouté distraitemment les éloges de ces tables. Cependant, au cours de l'été 1919, nous vîmes embarquer sur le navire à bord duquel nous étions Lieutenant, un Officier qui faisait un usage constant desdites tables.*<sup>420</sup>

Ces quelques lignes nous permettent d'affirmer que les tables de Guyou principalement, et accessoirement celles de Martelli, étaient en usage dans la marine marchande avant 1919.

Les rapports scientifiques de l'expédition arctique *Belgica* de Georges Lecoinge donnent une idée des tables de navigation en usage sur un navire scientifique de 1897 à 1899. Cet officier des montres précise que « plusieurs tables nautiques, telles que celles de Caillet, de Perrin, de Labrosse, de l'Amirauté anglaise »<sup>421</sup> ont été embarquées. Et quelques lignes plus loin, il indique « Les types de calculs dont nous avons fait usage ressemblent beaucoup à ceux qui sont donnés à bord du navire-école Le Borda. Enfin, les calculs ont été faits généralement à l'aide des tables de Caillet et de Perrin »<sup>422</sup>. Lecoinge fait suivre des rappels sur les formules utilisées pour faire le point, par 27 pages de calculs effectués de fin 1897 à 1899 durant l'expédition, en précisant les tables qui ont été utilisées. Enfin Lecoinge a présenté de nombreux calculs réellement effectués à l'aide de tables ce qui mérite d'être mis en valeur. Lecoinge informe également ses lecteurs de la présence à bord du *Belgica* de « l'Abaque dressé par MM. Favé et

---

<sup>419</sup> LHEUREUX P., *Op. Cit.*, p. 374.

<sup>420</sup> LHEUREUX P., *Op. Cit.*, p. 377.

<sup>421</sup> LECOINGE G., *Op. Cit.*, p. 7.

<sup>422</sup> *Ibid.*

Rollet de l'Isle »<sup>423</sup>. Si l'utilisation des tables de navigation était courante en mer, il semblerait que l'utilisation des abaques ou nomogrammes l'ait moins été.

## 2) Nomogrammes ou abaques de navigation

Pour pouvoir rechercher les abaques ou nomogrammes de navigation, il faut d'abord définir la notion. Citons le mathématicien français, l'ingénieur des ponts et chaussées et professeur à l'École polytechnique Maurice d'Ocagne<sup>424</sup> :

*La nomographie est la théorie générale de la représentation graphique cotée des équations à un nombre quelconque de variables ; le but d'une telle représentation est de remplacer toute espèce de calcul numérique par de simples lectures faites sur des graphiques.*

*Tout graphique coté ainsi disposé est un abaque ou nomogramme <sup>(1)</sup>. A chacune des variables y intervenant correspond un système d'éléments cotés.*

*(<sup>1</sup>) (...) On verra plus loin (...) que, logiquement, l'abaque ne devrait être regardé que comme un cas particulier du nomogramme. L'habitude s'est néanmoins répandue d'étendre le terme d'abaque à toute espèce de diagramme coté.*<sup>425</sup>

Les historiens font remonter au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle l'utilisation du terme « abaque » pour des tables graphiques, par l'ingénieur des ponts et chaussées Léon Lalanne,<sup>426</sup>. Nous ne nous appesantirons pas sur la controverse entre les similitudes et différences abaques-nomogrammes dans la mesure où les tables graphiques utilisées portent l'un ou l'autre des noms ou ni l'un ni l'autre. Pour ne pas alourdir mes propos J'emploierai exclusivement le mot « abaque » pour désigner ces tables graphiques, sauf si le mot « nomogramme » a été préféré par l'auteur du graphique<sup>427</sup>.

Nous trouvons très peu de référence aux abaques dans les ouvrages de cours du corpus. Marguet cite le « quartier de réduction » tout comme les trois autres auteurs. Il fait également référence aux nomogrammes de son collègue Perret mais sans les expliciter<sup>428</sup>. Les auteurs citent également le diagramme de Napier qui sert pour la régulation des compas (voir

---

<sup>423</sup> Ibid.

<sup>424</sup> Maurice d'Ocagne (1862-1938).

<sup>425</sup> OCAGNE (D') M., *Principes usuels de nomographie avec application à divers problèmes concernant l'artillerie et l'aviation*, 1920, p. 1.

<sup>426</sup> Voir DAVAL N., *La circulation de la nomographie dans les journaux de la période 1890-1930*, Colloque CIRMATH – Autour de la base de données des journaux mathématiques, Nancy, 3 et 4 novembre 2015.

<sup>427</sup> Je suis ici le choix fait par Rodolphe Sorreau, un autre spécialiste en nomographie, dans SOREAU R., *Nomographie ou traité des abaques*, Chiron, 1921.

<sup>428</sup> L'ouvrage *Navigation* publié en 1908 (PERRET E., *Navigation*, Paris, Doin, 1908) et les *Cours autographiés de l'École navale* de Perret apparaissent dans la bibliographie donnée par Marguet. Marguet est professeur à l'École navale quand Perret vient y enseigner de 1906 à 1912.

paragraphe sur le compas). Aucune autre mention n'est présente dans les ouvrages de cours. Les marins doivent donc se référer aux fascicules correspondant à l'abaque qu'ils veulent utiliser, de même que pour les tables de navigation.

### *Le quartier de réduction*

Marguet écrit seulement quelques lignes sur le quartier de réduction dans le paragraphe sur les formules relatives à la loxodromie, car « le quartier de réduction permet de résoudre graphiquement les formules. Il permet de construire des triangles rectangles, mais il n'est presque plus employé »<sup>429</sup>. Marguet commence par définir ce qu'est la loxodromie :

*Quand un bâtiment fait route en gouvernant à un cap constant, la route qu'il décrit est une courbe qui coupe tous les méridiens sous un même angle. Une pareille courbe s'appelle une loxodromie (loxos, oblique, courbe ; dromos, course).*<sup>430</sup>

Il est possible d'établir cinq formules en considérant un déplacement loxodromique  $AB$ , où  $A$  est le point de départ de latitude  $\varphi_1$  et de longitude  $G_1$  et  $B$  le point d'arrivée de latitude  $\varphi_2$  et de longitude  $G_2$ . Considérons  $Z$  l'azimut loxodromique (entre  $AB$  et le nord),

on pose  $l = \varphi_2 - \varphi_1$  (changement NS ou en latitude),

$g = G_2 - G_1$  (changement en longitude),  $e$  (chemin EW ou en longitude).

Nous obtenons :

$$l = m \cos Z \quad (1)$$

$$e = -m \sin Z \quad (2)$$

$$e = -l \operatorname{tg} Z \quad (3)$$

$$g = \frac{e}{\cos \varphi_m} \quad (4)$$

$$g = -\frac{2l \operatorname{tg} Z}{\cos \varphi_m} \quad (5)$$

Le paragraphe développé par Constan est plus étoffé que celui de Marguet puisqu'il écrit :

*Cette propriété des formules loxodromiques de pouvoir se représenter graphiquement au moyen de triangles rectangles, a fait imaginer un instrument très simple, appelé quartier de réduction, qui permet d'obtenir sans calcul, par de simples lectures, l'un quelconque des éléments qui figurent dans les formules précédentes en fonction des deux autres éléments auxquels il se trouve lié. Cet instrument, qui est fréquemment employé par les caboteurs, se compose d'un carton ABCD (fig. 74),*

<sup>429</sup> MARGET F., *Op. Cit.*, p.12.

<sup>430</sup> MARGET F., *Op. Cit.*, p.8.

quadrillé comme l'indique la figure. Des cercles ayant *A* pour centre, passent par les divers points de division des côtés, et un fil, dont l'extrémité est fixée en *A*, peut être tendu à volonté de manière à former, soit avec *AB*, soit avec *AD*, un angle aigu quelconque qui s'évalue aisément au moyen de deux arcs *pq* et *p'q'* gradués en degré et en sens inverse l'un de l'autre. L'usage de cet instrument est des plus simples et se comprend à première vue.<sup>431</sup>

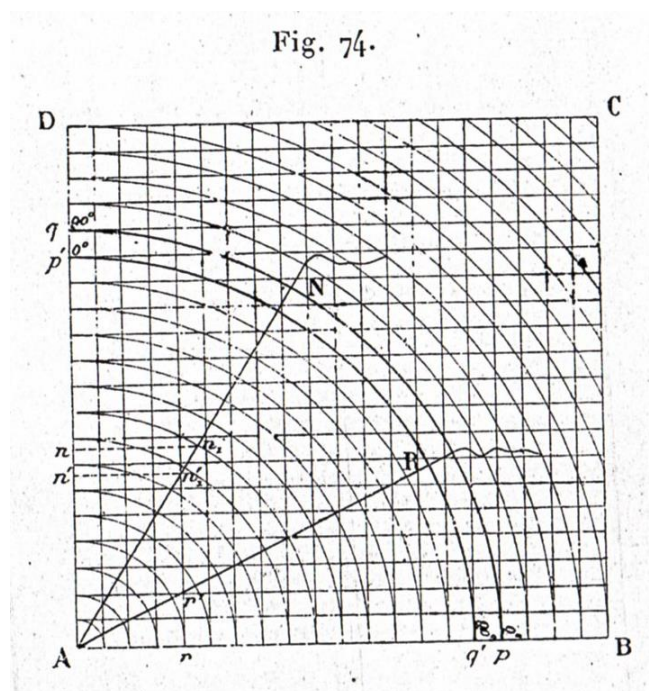


Figure 28 : Quartier de réduction.<sup>432</sup>

Le quartier de réduction est un outil familier aux marins depuis le XVII<sup>e</sup> siècle<sup>433</sup> et utile à ceux qui ne maîtrisent pas la trigonométrie et l'usage des tables de logarithme comme le précise l'abbé Rochon<sup>434</sup>, astronome brestois, dans son mémoire de 1798 :

*Cet instrument, qui donne la solution de tous les triangles rectangles, est tellement usité dans la marine, que l'on ne saurait rendre un plus grand service que d'en étendre les applications et l'usage. (...)*

*Je sais bien que l'on peut faire les opérations que je viens d'indiquer par le calcul ; mais lorsque le navigateur ne connaît pas les principes des trigonométries rectilignes et sphériques, les tables de logarithmes et des sinus ne sont plus dans les*

<sup>431</sup> CONSTAN P., *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 2<sup>e</sup> partie, 1904, pp. 143-144.

<sup>432</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 144.

<sup>433</sup> BOISTEL G., « De quelle précision a-t-on réellement besoin en mer ? Quelques aspects de la diffusion des méthodes de détermination astronomique et chronométrique des longitudes en mer en France, de Lacaille à Mouchez (1750-1880) », *Histoire & mesure*, volume XXI, n°2, 2006, p 136.

<sup>434</sup> Alexis Marie de Rochon (1741-1817)

*mains qu'une espèce de méthode graphique et pourquoi chercher à le priver d'un instrument qui suffit à ses besoins, et dont l'usage lui est si familier ! (...)*

*J'ai dit que les opérations qui se sont faites jusqu'à ce jour par le quartier de réduction, n'étaient qu'un simple corollaire des solutions que l'on obtient par la trigonométrie rectiligne des triangles rectangles. Mais quoique le calcul soit plus rigoureux dans tous les cas que la solution donnée par cet instrument, il est évident que les inexactitudes attachées au lock et à la boussole rendent le degré de précision que l'on obtient par la trigonométrie absolument inutile.*<sup>435</sup>

Ces quelques lignes illustrent l'intérêt que peut présenter une méthode graphique, mais s'y retrouve également en filigrane la polémique opposant les adeptes de la simplification et de la vulgarisation. L'abbé Rochon en cette fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, fait partie de cette deuxième catégorie, mais une majorité des mathématiciens, des examinateurs de la Marine et des officiers savants de la Marine française lui sont opposés. Ainsi Jean Charles de Borda et Pierre Lévêque<sup>436</sup> condamnent, en 1798, l'emploi des méthodes graphiques et instrumentales qui « ont l'inconvénient d'habituer à un travail en quelque sorte automatique, des hommes qui n'y sont déjà que trop disposés »<sup>437</sup>. Il semblerait tout de même que l'utilisation du quartier de réduction ait encore fait partie des techniques à maîtriser par les marins dans la première décennie du XX<sup>e</sup> siècle. Mais cet instrument a ensuite été progressivement délaissé.

C'est à l'occasion du paragraphe sur le quartier de réduction que Marguet cite en premier un des nomogrammes de Perret. Il écrit que « Le capitaine de frégate Perret a construit un nomogramme par point alignés pour résoudre la formule  $a = b \cos \theta$  (ou  $\sin \theta$ ). »<sup>438</sup>.

### *Les nomogrammes de Perret*

Marguet cite quatre fois les nomogrammes de Perret. Le premier résout les formules de loxodromie comme le quartier de réduction. Le « nomogramme des azimuts » est la deuxième citation faite au début du paragraphe concernant la navigation astronomique où Marguet le compare aux tables de Perrin.

---

<sup>435</sup> ROCHON A., *Mémoire sur l'astronomie nautique*, Paris, Imprimerie de Prault, 1798, pp. 3-4.

<sup>436</sup> Pierre Lévêque (1746-1814).

<sup>437</sup> BORDA (DE) J.-Ch. et LÉVÊQUE P., « Rapport sur le mémoire et la carte trigonométrique présentés par le Citoyen Maingon, Lieutenant de Vaisseau », *Procès-verbaux de l'Académie des sciences de l'Institut de France*, 1798, p. 470.

<sup>438</sup> MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École Navale*, 1921, p. 11.



*Les tables de l'amiral Perrin résolvent ces problèmes. On peut aussi les résoudre par le nomogramme des azimuts de M. Perret, qui est équivalent aux tables précitées. Les unes et l'autre résolvent en effet la formule des quatre éléments consécutifs.*<sup>439</sup>

Le nom de Perret est présent ensuite dans le paragraphe correspondant à la détermination des coordonnées horaires et enfin dans celui sur les chronomètres. Le terme nomogramme apparaît encore une dernière fois lors de la « méthode du point rapproché ou point Marcq ». Dans ce paragraphe, Marguet écrit « A<sub>e</sub> se calcule généralement par les tables de Labrosse ou de Perrin ou nomographiquement »<sup>440</sup> mais il ne précise pas l'abaque auquel il se réfère.

L'intérêt pour les nomogrammes est à l'origine de la correspondance entre Perret et d'Ocagne. D'Ocagne avait alors entrepris de collecter tous les abaques. Perret a été introduit auprès d'Ocagne par l'intermédiaire de Favé, lui-même concepteur d'abaques. Perret remercie d'Ocagne pour l'intérêt qu'il porte à son « modeste travail » et explique comment il est arrivé à construire des nomogrammes à point alignés. Il écrit :

*J'ai été initié à la nomographie à la fin de 1899 par l'un de vos anciens élèves, Mr Raclot, Ingénieur des Constructions Navales, au cours d'un voyage dans le Levant avec l'Escadre de la Méditerranée.*<sup>441</sup>

Puis il s'est procuré « une copie des Conférences de l'Ecole Polytechnique (1894-95) »<sup>442</sup>. Il a ensuite construit plusieurs nomogrammes pour son usage personnel dont le « nomogramme de l'azimut par l'heure » qu'il écrit être inspiré des travaux de Guillaume Bigourdan, son professeur à l'observatoire Montsouris en 1898<sup>443</sup>. Il a également établi un autre nomogramme destiné à la préparation des observations circumméridiennes à l'astrolabe à prisme (inventé par l'astronome français François Auguste Claude<sup>444</sup> à partir du sextant de marine), un troisième pour la préparation des observations au sextant, et un quatrième sur les occultations. La relation épistolaire Perret-d'Ocagne permet à Perret d'entrer en contact avec Robert Bourgeois<sup>445</sup> (voir chapitre 4) qui enseignera l'astronomie et la géodésie à l'École polytechnique de 1908 à 1928. Perret écrit qu'il veut « donner satisfaction au Commandant Bourgeois ; j'y attache beaucoup d'importance parce que je suis convaincu que la méthode des points alignés est supérieure à tout autre »<sup>446</sup>. Il indique que « le Service hydrographique de la

---

<sup>439</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 33.

<sup>440</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 192.

<sup>441</sup> PERRET E., *Lettre du 13 avril 1904*, pp. 2-3.

<sup>442</sup> *Ibid.*

<sup>443</sup> Guillaume Bigourdan (1852-1932) est un astronome titulaire en 1897 à l'Observatoire Montsouris de Paris.

<sup>444</sup> François Auguste Claude (1858-1938).

<sup>445</sup> Robert Bourgeois (1857-1945).

<sup>446</sup> PERRET E., *Lettre du 26 avril 1904*, p. 2.

Marine a fait éditer un abaque géométrique (anonyme) qui permet fort bien la détermination de l'azimut et l'angle horaire pour la préparation des observations à l'astrolabe »<sup>447</sup> mais il souhaiterait que « le service géodésique puisse comparer les deux systèmes »<sup>448</sup>. Sa correspondance montre également l'évolution de l'opinion de marins envers les méthodes graphiques. Son nomogramme des azimuts est testé par l'un de ses amis qui le présentent à des sous-officiers initialement sceptiques.

*L'épreuve bleue, quelque grossière qu'elle soit, est employée couramment à bord de la Drôme, transport du littoral commandé par l'un de mes amis, Tiercelin. Les sous-officiers n'hésitent plus à s'en servir, et pour qui connaît l'aversion profonde des marins pour tout ce qui est graphique, on ne peut s'empêcher d'y voir un bon présage pour le succès.*<sup>449</sup>

Ceci lui permettait d'écrire sur la page précédente de sa lettre : « je crois que lorsque les marins verront la supériorité pratique de l'interpolation graphique sur l'interpolation calculée, ils seront gagnés à la nomographie »<sup>450</sup>. Il se félicite également d'avoir pu rallier à sa cause Guyou dont nous avons présenté la contribution aux tables de navigation. Il écrit que le Commandant Guyou « adversaire résolu des méthodes graphiques »<sup>451</sup> fait « une exception en faveur du nomogramme des Azimuts, à cause de la remarquable simplicité de son maniement »<sup>452</sup> après l'avoir vu entre les mains de M. Claude. Guyou se propose même de le faire publier sur les fonds de l'observatoire de Montsouris. D'Ocagne demande, début octobre, à Perret de faire un compte rendu de son *Calcul simplifié* pour la *Revue Maritime*. Ce qu'il accepte car il considère

*Qu'elle contribuerait dans une grande mesure à vulgariser la nomographie dans la Marine. Ceci vous en êtes convaincu autant que moi, serait rendre à la Marine un signalé service. Toute confusion possible entre le calcul nomographique et le calcul graphique étant détruite, je pense que du même coup s'envolera l'aversion profonde – et justifiée dans les conditions où l'on doit opérer – que les officiers de marine ont toujours manifestés pour les solutions graphiques.*<sup>453</sup>

Ses travaux ont également suscité l'intérêt de la marine italienne puisque le Dr Giuseppe Pesci, de l'Académie navale italienne, lui demande un exemplaire de son nomogramme des

---

<sup>447</sup> *Ibid.*

<sup>448</sup> *Ibid.*

<sup>449</sup> PERRET E., *Lettre du 29 septembre 1904*, p. 5.

<sup>450</sup> PERRET E., *Op. Cit.*, p. 4.

<sup>451</sup> PERRET E., *Op. Cit.*, p. 5.

<sup>452</sup> *Ibid.*

<sup>453</sup> PERRET E., *Lettre du 28 décembre 1904*, pp. 2-3.

azimuts. Malheureusement Pesci l'informe que son nomogramme pour le calcul des azimuts « n'a pas la priorité » ayant été publié dès 1901 en Italie par le professeur Molfino. Cette information contenue dans la lettre du 29 octobre 1904 est intéressante car elle illustre le fait que plusieurs personnes pouvaient travailler dans la même direction sans être en relation. Avec l'augmentation de la vitesse des navires, il était devenu nécessaire au début du XX<sup>e</sup> siècle, de perfectionner les techniques permettant de faire le point. Certains choisissent de développer les méthodes graphiques comme Perret et d'autres s'orientent vers le perfectionnement de tables. Tous n'ont pas pensé à faire publier des recherches qui sont le plus souvent issues de besoins pratiques personnels. Perret écrit dans sa première lettre adressée à d'Ocagne : « Si j'avais été sûr de ne pas être importun, il y a longtemps que je vous aurais communiqué mes résultats ; Mr Favé, plus autorisé que moi, a eu cette bonne pensée »<sup>454</sup>. De ce fait il se reproche de ne pas avoir fait paraître de note dès qu'il a eu l'idée du nomogramme car « les publications auraient été tout au moins simultanées en France et en Italie »<sup>455</sup>. Il se justifie en écrivant « je ne pensais guère à la publication ; je ne voyais dans l'étude de la nomographie que l'intérêt qu'il pouvait y avoir à se construire des nomogrammes pour un usage personnel »<sup>456</sup>. Après en avoir discuté avec d'Ocagne il communique tout de même quelques-uns de ses nomogrammes à M. Pasquier de l'université de Louvain afin d'illustrer son cours de nomographie<sup>457</sup> puis publie quelques articles en lien avec la navigation sur la nomographie<sup>458</sup>. Quelques lettres plus tard, il y évoque également son travail d'enseignant à bord du *Borda* qu'il a rejoint début 1906. Il écrit que ses nomogrammes sont une bonne illustration des cours d'analyse de son collègue Réveille :

*La leçon de nomographie faite par M. Réveille dans son cours d'analyse a vivement intéressé les élèves ; ils en ont apprécié toute l'importance pratique en voyant avec quelle simplicité le nomogramme des azimuts « résoud » un problème qui se présente constamment en mer.*<sup>459</sup>

Perret adresse quatre lettres à d'Ocagne de Brest en 1906 et la dernière est datée du 30 octobre 1908. Le ton a changé. Nous le sentons moins impliqué et il semble déçu par les élèves et l'accueil fait aux nomogrammes dans la marine. Il fait un commentaire sur l'application nomographique américaine que d'Ocagne lui a adressé. « C'est intéressant, et je souhaite que

<sup>454</sup> PERRET E., *Lettre du 13 avril 1904*, p. 2.

<sup>455</sup> PERRET E., *Lettre du 29 octobre 1904*, p. 2.

<sup>456</sup> PERRET E., *Op. Cit.*, p. 3.

<sup>457</sup> D'Ocagne a conservé parallèlement les lettres de Pasquier.

<sup>458</sup> PERRET E., *Sur l'application de la nomographie aux principales tables nautiques*, Compte rendu de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, 1905. PERRET E., *Nomogrammes à points alignés pour la préparation des observations circumméridiennes à l'astrolabe à prisme*, Annales hydrographiques, Imprimerie nationale, 1905.

<sup>459</sup> PERRET E., *Lettre du 26 mars 1906*, p. 1.

cela réussisse ; mais je n'y crois pas beaucoup »<sup>460</sup> Il y reconnaît une traduction en points alignés de l'abaque de Favé et Rollet de l'Isle qu'il avait lui-même envisagée (voir paragraphe sur cet abaque). Mais il indique qu'il l'avait abandonné :

*Surtout parce que je sais comment on est reçu dans la Marine quand on propose d'interpoler au 1/10 de millimètre. (...) Mon nomogramme des azimuts plaît parce que la dimension minimum du degré est 1,7mm et qu'on désire le degré. (...) Peut-être cependant parviendrait-on à triompher de ce préjugé en répandant dans le commerce des nomogrammes bien gravés, clairs, et en grand nombre.*<sup>461</sup>

Nous venons voir au travers de la correspondance de Perret et d'Ocagne que les nomogrammes n'ont pas vraiment la faveur des marins.

Perret s'intéresse aux nomogrammes de points alignés comme il l'a appris à partir des Conférences de l'École polytechnique (1894-95) de d'Ocagne. Il explique succinctement le principe des nomogrammes à points alignés dans les premières pages de son fascicule de 1904 *Note sur quelques applications de la nomographie à l'astronomie nautique* :

*Soient deux axes parallèles  $Mu$  et  $Nv$ , munis d'origines  $M$  et  $N$  et sur chacun desquels on considère un sens positif ou un sens négatif. Si une droite quelconque  $HK$  rencontre les axes aux points  $H$  et  $K$ , les segments  $MH = u$  et  $NK = v$ , pris avec leurs signes, sont dits les coordonnées parallèles de la droite  $HK$ .*

*Dans ce système de coordonnées, l'équation  $au + bv + c = 0$  représente un point  $P$  situé sur la droite  $HK$  (...).*<sup>462</sup>

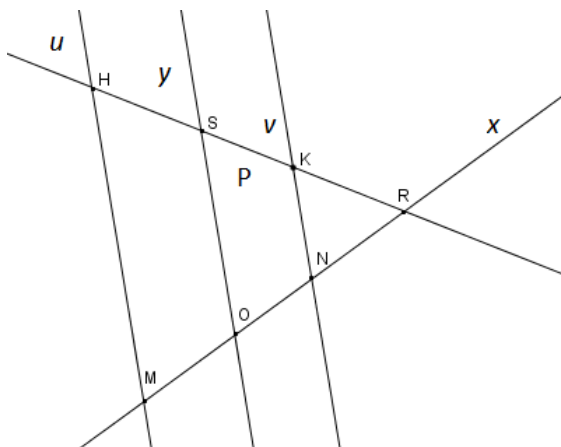


Figure 29 : Illustration du principe du nomogramme de points alignés.<sup>463</sup>

<sup>460</sup> PERRET E., *Lettre du 30 octobre 1908*, p. 3.

<sup>461</sup> PERRET E., *Op. Cit.*, p. 4.

<sup>462</sup> PERRET E., *Note sur quelques applications de la nomographie à l'astronomie nautique*, Annales hydrographiques, Imprimerie nationale, 1904, p. 7.

<sup>463</sup> Reprise de la figure proposée par Perret dans *Note sur quelques applications de la nomographie à l'astronomie nautique*, Annales hydrographiques, 1904, p. 7.

De ce fait un faisceau de droites est remplacé par un nuage de points alignés comme dans l'exemple ci-dessous (voir figure 30) :

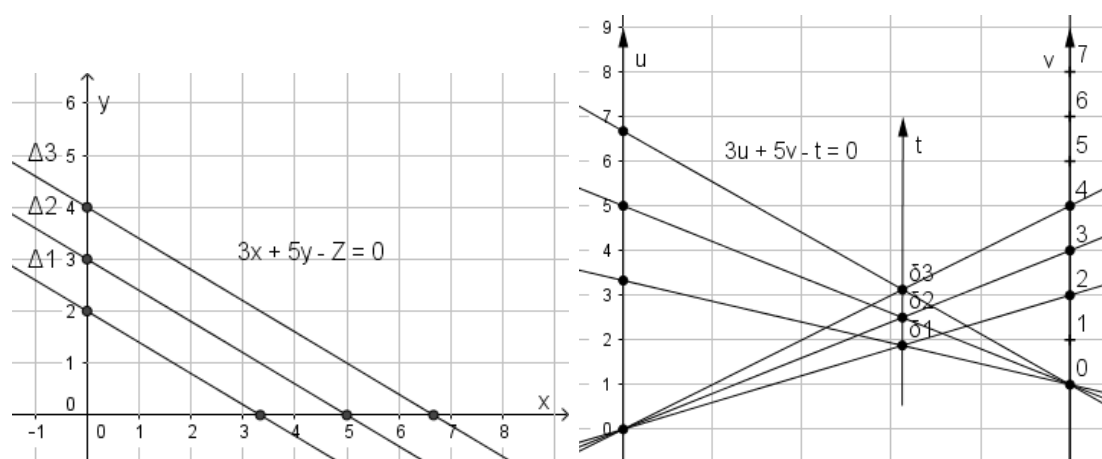


Figure 30 : Exemple du remplacement d'un faisceau de droites par des points alignés.<sup>464</sup>

Le nomogramme des azimuts proposé par Perret est basé sur la relation générale

$$\cotg A \sin AH + \cos \varphi \operatorname{tg} \mathcal{D} - \sin \varphi \cos AH = 0$$

où  $\varphi$  est la latitude,  $\mathcal{D}$  la déclinaison,  $AH$  l'angle horaire et  $A$  l'azimut de l'astre. Selon lui, les abaques sont particulièrement adaptés pour résoudre de telles équations. Il oppose les tables et les nomogrammes dans son préambule :

*(...) l'usage des tables, d'une extrême commodité lorsque l'équation à résoudre ne comporte que deux ou trois variables, se complique beaucoup quand le nombre de variables s'élève.*

*On en a la preuve lorsqu'on veut, par exemple, employer ce moyen pour déterminer l'azimut d'un astre, connaissant la latitude, l'angle horaire et la déclinaison, problème qui se présente à chaque instant à la mer. La table devient alors un ouvrage comportant un ou plusieurs volumes (Labrosse, Decante), à moins qu'on scinde le problème en plusieurs parties (Perrin).<sup>465</sup>*

La relation générale

$$\cotg A \sin AH + \cos \varphi \operatorname{tg} \mathcal{D} - \sin \varphi \cos AH = 0$$

est bien de la forme

$$au + bv + c = 0$$

en posant d'une part

$$u = \cotg A, v = \operatorname{tg} \mathcal{D}$$

<sup>464</sup> Graphique construit par mes soins.

<sup>465</sup> PERRET E., *Op. Cit.*, p. 5.

et d'autre part

$$a = \sin AH, b = \cos \varphi \text{ et } c = -\sin \varphi \cos AH.$$

Ce qui donne le nomogramme suivant (voir figure 31) :

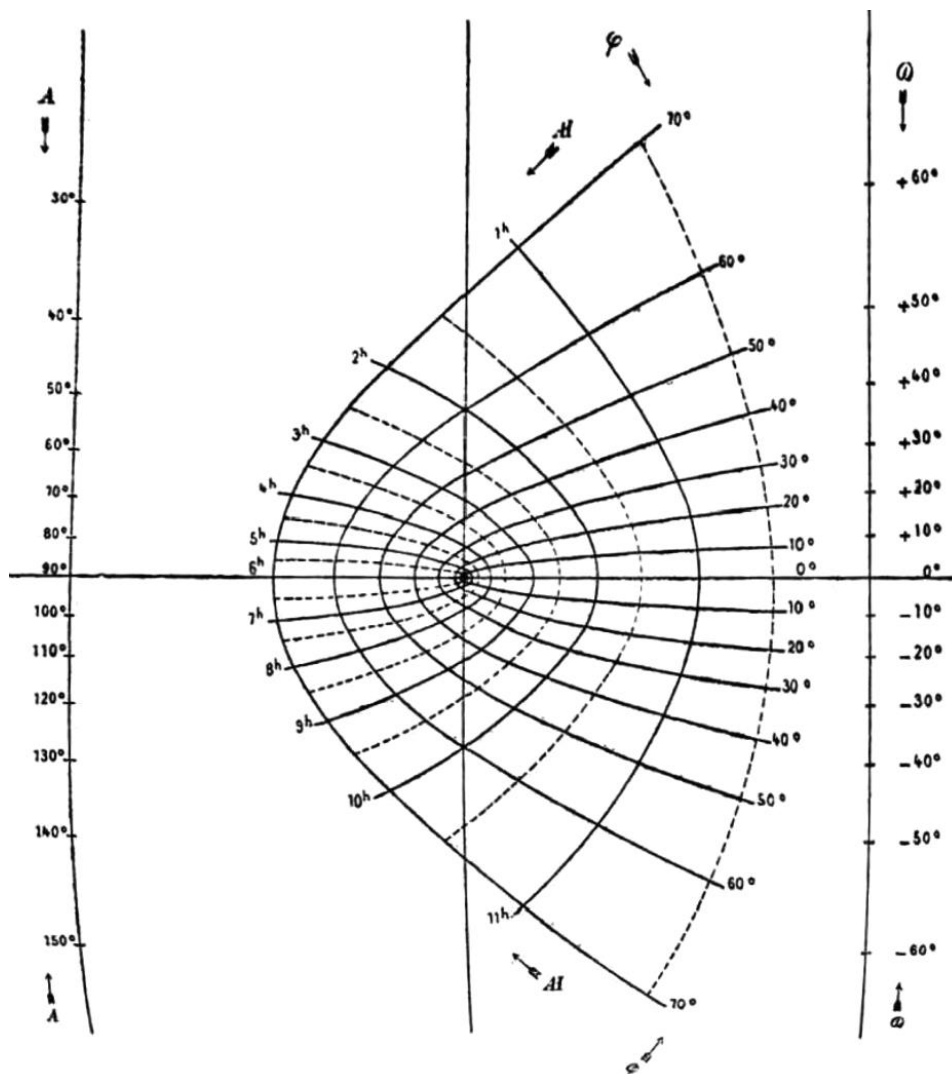


Figure 31 : Faisceau d'hyperboles du « nomogramme des azimuts » de Perret.<sup>466</sup>

Marguet reconnaît l'intérêt du nomogramme construit par son confrère dans son cours de l'École navale tout comme Bertin dans son article de 1914 dans la *Revue maritime*. Ce dernier présente la forme idéale que pourrait prendre la publication de son manuscrit. Il écrit :

*Le verso d'un tableau séparé devrait contenir quelques renseignements intéressants (...). On pourrait même y ajouter un tracé schématique, à l'échelle réduite,*

<sup>466</sup> PERRET E., *Op. Cit.*, p. 16.

*du merveilleux nomogramme azimutal du capitaine de frégate Perret, limité à quelques hyperboles de latitude et d'angle horaire.*<sup>467</sup>

Si Marguet fait référence au nomogramme de son collègue Perret, il ne cite pas le nomogramme mis au point par d'Ocagne quelques années auparavant.

### *Le diagramme d'Ocagne*

D'Ocagne, pouvant être qualifié d'« ingénieur-savant »<sup>468</sup> a également mis au point plusieurs nomogrammes relatifs à la résolution des triangles sphériques<sup>469</sup> dont l'un est spécifiquement destiné à la navigation. Ce nomogramme connu sous le nom de « diagramme d'Ocagne » permet, entre autres, de déterminer la hauteur et l'azimut d'un astre connaissant la latitude de l'observateur, l'angle au pôle et la déclinaison de l'astre.

Les notations utilisées dans le triangle de position sont : latitude  $\varphi$ , déclinaison  $\mathcal{D}$  (et distance polaire  $\delta$ ), hauteur  $h$  (et distance zénithale  $N = 90^\circ - h$ ), angle au pôle  $P$  et azimut  $Z$ . La formule donnant la hauteur est transformée notamment à l'aide de la fonction haversine<sup>470</sup> de :

$$\sinh = \sin\varphi \cdot \sin\mathcal{D} + \cos\varphi \cdot \cos\mathcal{D} \cdot \cos P$$

en

$$\text{hav}(N) = \text{hav}(\varphi - \mathcal{D}) + \text{hav}(P) \cdot (\text{hav}(180^\circ - (\varphi + \mathcal{D})) - \text{hav}(\varphi - \mathcal{D}))$$

D'Ocagne considère alors les droites d'équation  $y = mx + p$

avec  $m = (\text{hav}(180^\circ - (\varphi + \mathcal{D})) - \text{hav}(\varphi - \mathcal{D}))$ ,  $p = \text{hav}(\varphi - \mathcal{D})$

pour  $x = \text{hav}(P)$  et  $y = \text{hav}(N)$  dans un repère orthogonal.

Ainsi pour  $P$  compris entre  $0^\circ$  et  $180^\circ$  (ou  $Z$  compris entre  $360^\circ$  et  $180^\circ$ ) en abscisse, et  $N$  compris entre  $0^\circ$  et  $180^\circ$  (ou  $\delta$ ,  $(\varphi - \mathcal{D})$  et  $(\varphi - H)$ ) en ordonnée à gauche et  $(\varphi + \mathcal{D})$  et  $(\varphi + H)$  en ordonnée à droite, il est possible de construire un abaque à mailles rectangulaires résolvant les triangles de position (voir figure 32).

<sup>467</sup> BERTIN Ch., *Op. Cit.*, p. 33.

<sup>468</sup> Voir CHATZIS K., « Un « ingénieur-savant » tardif : le cas de Philibert Maurice d'Ocagne (1862-1938) », *Séminaire d'Histoire des mathématiques de l'IHP « Maurice d'Ocagne (1862-1938) : questions historiques et historiographiques soulevées par ses archives (séance préparée par Dominique Tournès)*, Paris, 20 mars 2015. <https://f-origin.hypotheses.org/wp-content/blogs.dir/2187/files/2015/03/S%C3%A9ance-IHP-20-mars-2015-Exos%C3%A9-de-K.-Chatzis.pdf>.

<sup>469</sup> TOURNÈS D., *Abagues et nomogrammes*, 2016, < hal-01484563 >.

<sup>470</sup>  $\text{hav}(\alpha) = \frac{1 - \cos\alpha}{2} = \left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2$ .

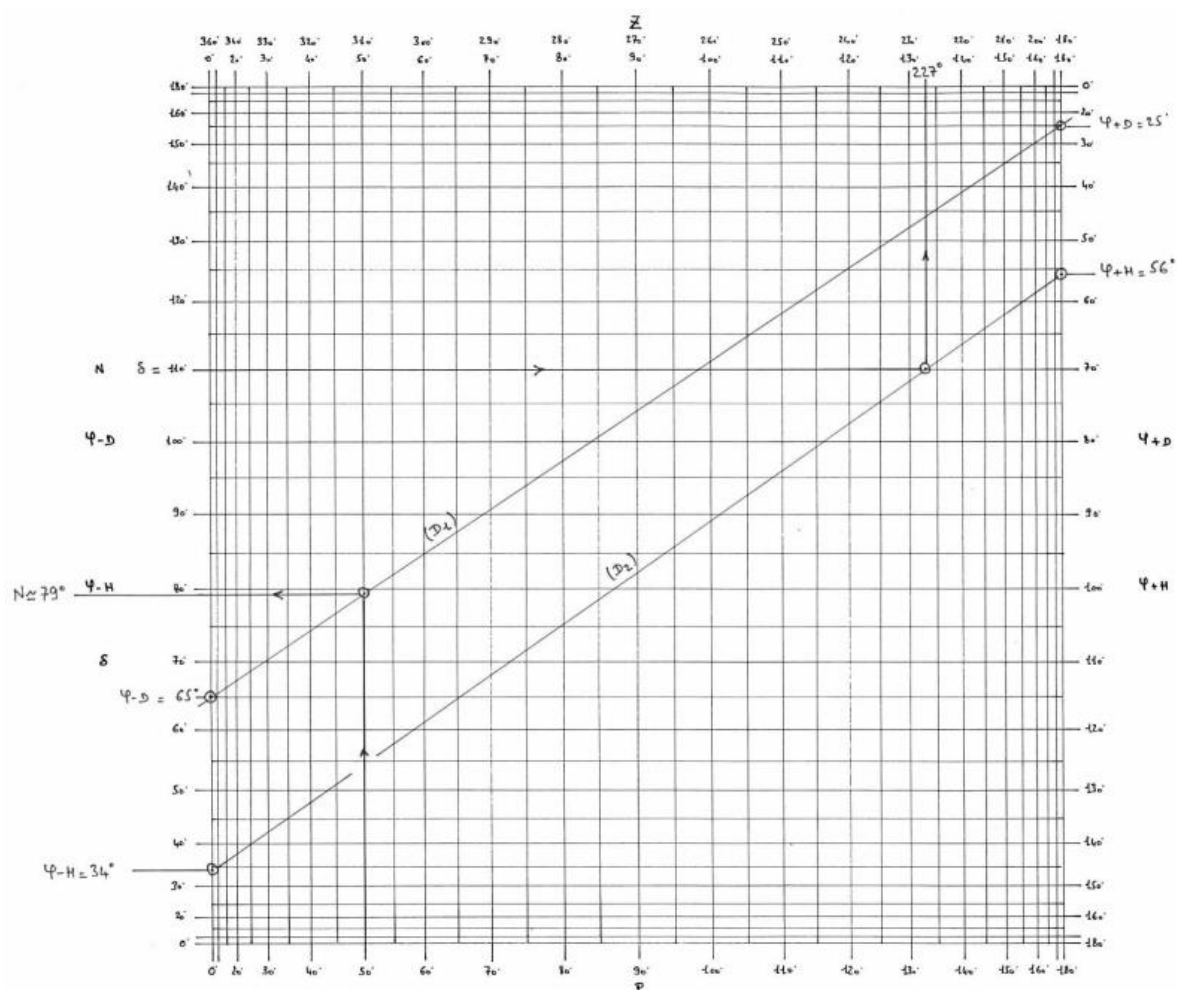


Figure 32 : Reproduction d'un diagramme d'Ocagne.<sup>471</sup>

La construction du diagramme est simple, mais les résultats sont peu précis (mais acceptable pour la détermination de l'azimut)<sup>472</sup>. Le diagramme ne peut pas être fractionné car il faut y tracer les droites en entier. L'abaque de Favé et Rollet de l'Isle est plus pratique car il peut être fractionné, donc réalisable sur plusieurs pages de dimensions acceptables.

### *L'abaque de Favé et Rollet de l'Isle*

Nous pouvons remarquer que l'abaque de Favé et Rollet de l'Isle<sup>473</sup> n'apparaît pas dans les ouvrages de cours alors qu'il est présent dans la liste des instruments et documents nautiques à bord du *Belgica* lors de son expédition de 1897 à 1899.

<sup>471</sup> BEDEL P., *Diagrammes et abaques*, novembre-décembre 2013, p. 12, <http://fer3.com/arc/imgx/Diagrammes-abaques.pdf>. Pierre Bedel n'ayant pas trouvé de diagramme original, a construit un diagramme d'Ocagne. Il y a résolu le triangle de position tel que  $P = 50^\circ W$ ,  $D = 20^\circ S$  et  $\varphi = 45^\circ N$ . La lecture graphique donne  $h = 11^\circ$  ( $N = 79^\circ$ ) et  $Z = 227^\circ$ .

<sup>472</sup> *Ibid.*

<sup>473</sup> Maurice Rollet de l'Isle (1859-1943).



Un exemplaire du fascicule de 24 pages *Abaque pour la détermination du point à la mer*<sup>474</sup> extrait des *Annales hydrographiques de 1892* a été envoyé à d'Ocagne par Favé avec la dédicace « Hommage de ses dévoués camarades ». Les auteurs de l'abaque font preuve d'optimisme quant à l'utilisation des abaques dans la marine puisqu'ils écrivent :

*Les méthodes graphiques tendent de plus en plus à remplacer le calcul dans un très grand nombre d'applications. On leur reconnaît de grands avantages : la rapidité est plus grande, la fatigue moindre, les chances d'erreur diminuent. Ces avantages, reconnus lorsque le calculateur peut travailler en toute tranquillité d'esprit, ne sont-ils pas encore plus grands pour un marin obligé d'opérer dans des circonstances où son attention doit être toujours en éveil pour parer tout de suite à toutes les éventualités ?*

*(...) L'usage des abaques est devenu courant dans un grand nombre d'applications, et il prend une extension rapidement croissante.*<sup>475</sup>

Ils renvoient ensuite le lecteur à l'ouvrage de d'Ocagne, si celui-ci veut s'informer sur la nomographie.

L'abaque de Favé et Rollet de l'Isle sert à résoudre le triangle pôle-zénith-astre (PZE) en le divisant en deux triangles rectangles en *B* (voir figure 33).

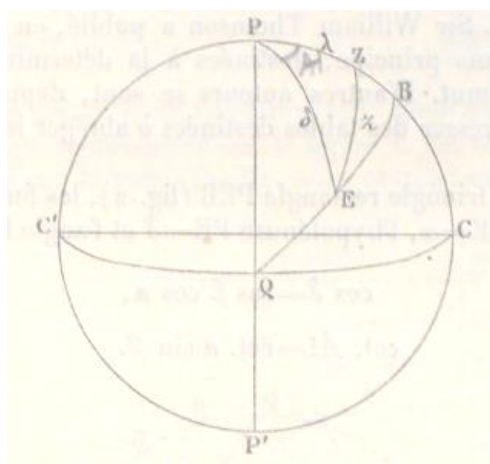


**Figure 33 : Représentation du triangle PZE par Favé et Rollet De L'Isle.**<sup>476</sup>

D'une part, dans le triangle *PBE*, la distance *PE* (distance polaire  $\delta$ ) et l'angle *P* (angle au pôle *AH*) sont connus et les distances *EB* (qui sera noté  $\alpha$ ) et *PB* (qui sera noté  $\beta$ ) seront trouvés. D'autre part, dans le triangle *ZEB*, les distances *EB* (commun avec le triangle *PBE*) et

<sup>474</sup> FAVÉ L. et ROLLET DE L'ISLE M., *Abaque pour la détermination du point à la mer*, Annales hydrographiques, Imprimerie nationale, 1892.

<sup>475</sup> FAVÉ L. et ROLLET DE L'ISLE M., *Op. Cit.*, p. 6.

<sup>476</sup> FAVÉ L. et ROLLET DE L'ISLE M., *Op. Cit.*, p. 7.

$ZB$  (obtenue en calculant la différence  $PB - \lambda$ ) sont connues et la distance  $EZ$  (qui donnera la hauteur  $h$  de l'astre) ainsi que l'angle  $BZE$  (qui donnera l'azimut  $PZE$ ) seront trouvés. Les auteurs de l'abaque se basent sur deux formules ( $\cos \delta = \cos \beta \cos \alpha$  et  $\cot AH = \cot \alpha \sin \beta$ ) pour construire un double réseau de lignes de niveau (voir figure 34).

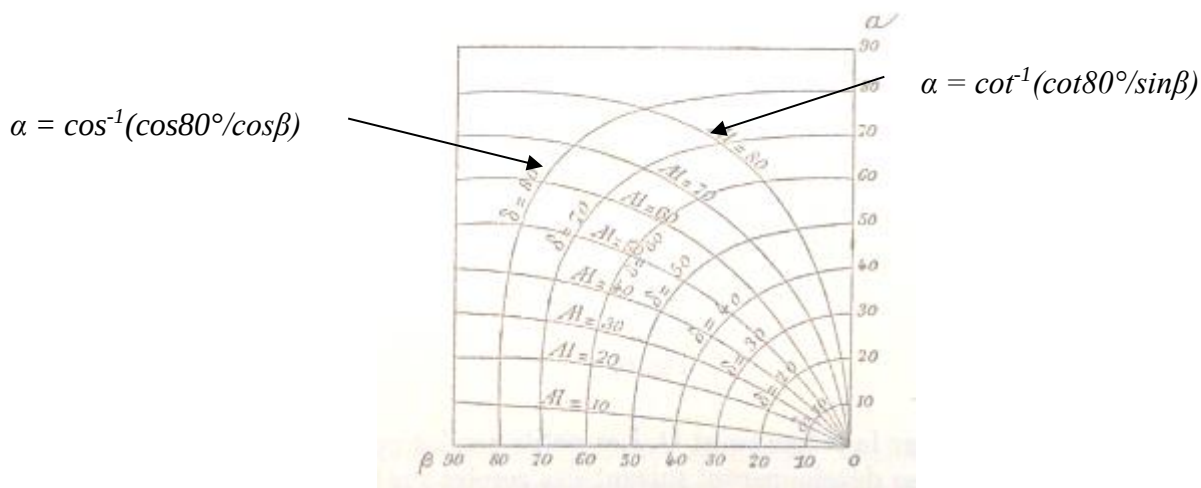


Figure 34 : Double réseau de lignes de niveau de l'abaque pour la détermination du point à la mer.<sup>477</sup>

Le plan est de ce fait partagé en une série de quadrilatères curvilignes qui peuvent être rendus aussi petits que l'on veut en augmentant le nombre de ligne. Les auteurs proposent ensuite les moyens d'appliquer l'abaque selon la position de l'astre et du point  $B$  dans les différents quadrants puis listent les différents usages possibles de l'abaque.

Cet abaque est principalement conçu pour effectuer le calcul de transformation des coordonnées horaires ( $P, \mathcal{D}$ ) aux coordonnées horizontales ( $Z, H$ ) pour répondre aux attentes de la navigation par lieux géométriques (voir chapitre 2). Les auteurs proposent six applications : pour la détermination du point rapproché, comme table d'azimut, pour trouver le nom d'un astre observé, pour trouver l'heure du lever ou du coucher d'un astre et l'azimut à l'horizon, pour la détermination de l'angle horaire, pour déterminer la route à suivre pour la navigation par arc de grand cercle et la distance de deux points.

L'abaque ne demande aucun tracé, contrairement au diagramme d'Ocagne, et est fractionnable. Il est donc pratique à utiliser. En 1894, Eugène Pereire, président de la Compagnie générale transatlantique, en demande une édition particulière, en 4 feuilles à l'échelle de 12 mm par degré<sup>478</sup>, ce qui illustre l'intérêt que pouvait présenter ce procédé pour la navigation. Mais son étude n'est pas présente dans les programmes officiels de l'enseignement maritime.

<sup>477</sup> FAVÉ L. et ROLLET DE L'ISLE M., *Op. Cit.*, p. 9.

<sup>478</sup> BEDEL P., *Op. Cit.*, p. 23.

### *Les tables graphiques de Constan*

D'Ocagne recueille d'autres abaques utilisables en navigation notamment ceux de l'Italien Pesci ou ceux du Brésilien Radler de Aquino mais il est peu probable qu'ils aient été beaucoup utilisés dans la marine française.

Les *Tables graphiques d'azimut*<sup>479</sup> de Constan ont, en revanche, dû avoir plus d'écho en France que les tables étrangères du fait de la popularité de leur auteur.

*Nous espérons que notre nouveau travail sera accueilli par les Marins avec la même faveur que notre Cours d'Astronomie-Navigation dont il est d'ailleurs une intéressante application.*<sup>480</sup>

Constan, voulant simplifier le travail du navigateur, travaille dans deux directions : des tables abrégatives et des tables graphiques. Il publie une première version des « Tables graphiques d'azimuts » en 1906. Cet ouvrage de 50 pages propose trois tables dont la deuxième est graphique (voir figure 35). L'auteur indique avoir été inspiré par les travaux de Favé et Rollet de l'Isle qui l'ont amené à proposer un procédé adapté aux personnes ayant peu d'instruction scientifique. Constan construit trois graphiques pour résoudre des systèmes d'équations à quatre inconnues à l'aide de quadrilatères curvilignes.

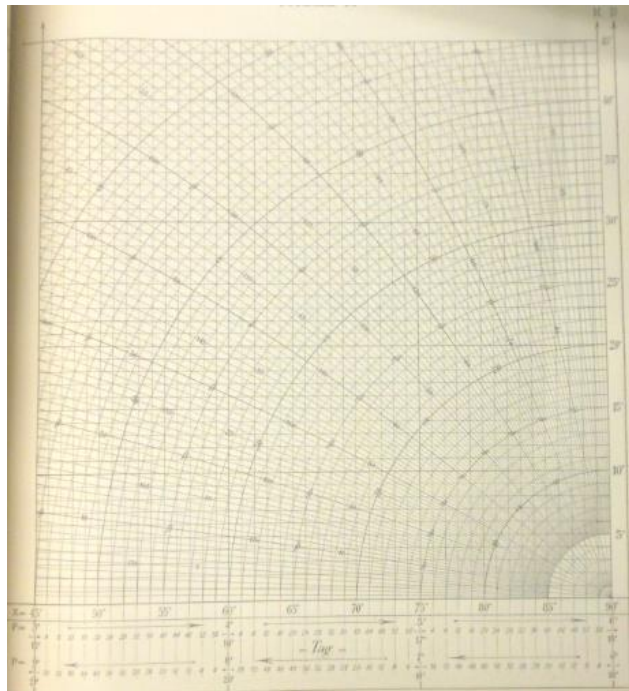


Figure 35 : Troisième graphique d'azimuts de la table II de Constan.<sup>481</sup>

<sup>479</sup> CONSTAN P., *Tables graphiques d'azimut*, Saint Briec, F. Guyon, Paris, Augustin Challamel, 1906. CONSTAN P., *Tables graphiques d'azimut et tables nautiques*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1927.

<sup>480</sup> CONSTAN P., *Tables graphiques d'azimut*, 1906, p. 8.

<sup>481</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 21.

Il est amené à considérer ces deux systèmes :

$$\begin{cases} \cos \alpha = \cos D \sin P \\ \operatorname{tg} D = \cos P \operatorname{tg} \beta \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} \cos \alpha = \cos H_v \sin Z_v \\ \operatorname{tg} H_v = -\cos Z_v \operatorname{tg}(\lambda + \beta) \end{cases}$$

Dans ces systèmes les valeurs connues sont, dans un premier temps,  $P$  (angle au pôle obtenu à partir du  $Tag$ ),  $D$  (déclinaison) et  $\lambda$  (colatitude). Les valeurs cherchées sont  $Z_v$  (azimut vrai) et  $H_v$  (hauteur vraie).  $\alpha$  et  $\beta$  sont les mesures d'arc et d'angle qui seront déterminées dans le premier système puis introduites dans le second. Il étudie ensuite différents cas qui ramènent au même traitement moyennant quelques artifices. La lecture sur les courbes se faisant ensuite selon les indications données sur trois schémas (voir figure 36) :

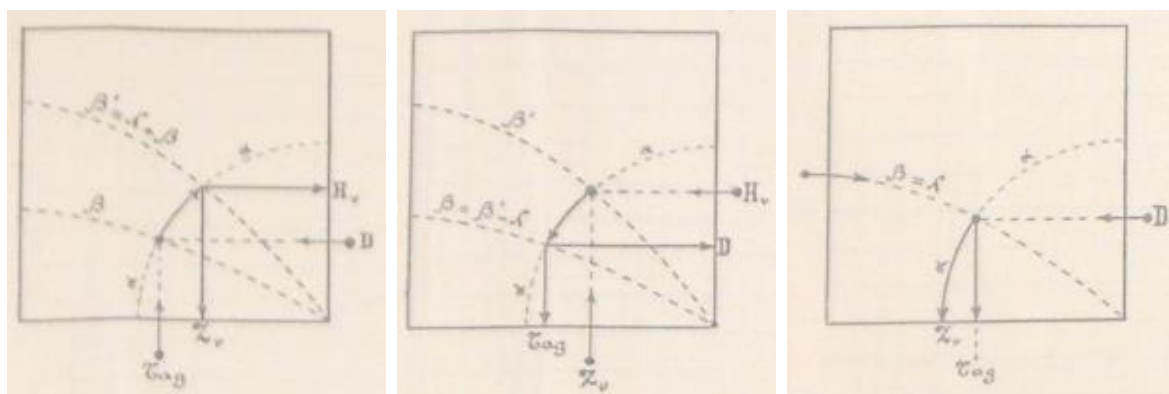


Figure 36 : Schémas explicatifs de lecture des tables de Constan.<sup>482</sup>

Les tables graphiques de Constan ont le même domaine d'application que celles de Favé et Rollet de l'Isle. Mais Constan détermine uniquement l'azimut (au demi-degré) graphiquement alors que la hauteur est obtenue par calcul grâce à des tables de logarithmes qui sont incluses dans l'ouvrage.

Bien que Constan mette en avant le gain de temps de son procédé pour résoudre le triangle de position (40%<sup>483</sup>), les procédés graphiques ont peu la faveur des navigateurs. Pierre Hugon explique que l'encombrement et la détérioration rapide de l'abaque en sont la principale cause :

*Pour en revenir aux solutions graphiques des calculs astronomiques, on sait que d'innombrables chercheurs et théoriciens ont imaginé des systèmes de résolution du triangle de position. Certains de ces abaques sont célèbres, comme les abaques d'Ocagne, de Rollet de l'Isle, de Rust, etc. Les conditions d'emploi, sur une passerelle,*

<sup>482</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 20.

<sup>483</sup> CONSTAN P., *Cours d'astronomie et de navigation. Tome 3*, Paris, Gauthier-Villars, 1936, p. 64.

*plus ou moins abritée, ont vite fait de maculer, de déformer ou de froisser ces feuilles dont, souvent, les dimensions exigées pour obtenir l'approximation nécessaire et éviter l'emploi d'une loupe, sont peu compatibles avec l'espace vital de l'officier de quart.*<sup>484</sup>

Un procédé graphique est pourtant couramment utilisé sur les passerelles : les cartes.

Favé et Rollet de l'Isle avaient indiqué au début de leur fascicule *Abaque pour la détermination du point à la mer* que selon eux :

*Les procédés graphiques peuvent se diviser en deux classes : les constructions d'épures destinées à obtenir les quantités cherchées et les tableaux graphique ou abaqués, qui permettent d'obtenir à vue la valeur des inconnues.*<sup>485</sup>

Après avoir recensé les tables et nomogrammes relevant de la seconde classe, étudions les cartes que nous pouvons, dans une certaine mesure que nous allons préciser, rattacher à la première classe.

### C) Les cartes

L'*Almanach du Marin Breton*, qui s'adresse essentiellement aux marins-pêcheurs de Bretagne, aborde régulièrement l'usage des cartes marines. Celui de 1900 débute le paragraphe qui leur est consacré par :

*Il y a des gens qui croient faire les malins en méprisant les cartes, mais ce sont des ignorants, ceux-là ! Tous ceux qui savent lire les cartes, connaissent bien que ça peut être très utile. Une carte à bord, ça fait gagner du temps, ça peut sauver la vie à l'équipage et surtout ça rend bien plus hardi.*<sup>486</sup>

Nous comprenons donc pourquoi les ouvrages de cours Marguet pour l'École navale d'une part et ceux de Guilhaumon, Constan et Cousin pour les écoles d'hydrographie d'autre part, traitent tous de la cartographie. En effet, tout navigateur doit avoir des connaissances approfondies en matière de cartes marines et même à propos d'autres cartes plus spécifiques selon le niveau de formation qu'il souhaite atteindre.

#### 1) Les cartes marines

Marguet consacre le deuxième chapitre de son cours de navigation à la carte marine qui est la carte la plus utilisée à bord des navires<sup>487</sup>. Il écrit :

---

<sup>484</sup> HUGON P., « Comment navigue-t-on actuellement sur les navires français ? », *Navigation* (Paris), n°1, janvier 1953, pp. 16-17.

<sup>485</sup> FAVÉ L. et ROLLET DE L'ISLE M., *Op. Cit.*, p. 6.

<sup>486</sup> *Almanach du Marin Breton*, 1900, p. 30.

<sup>487</sup> La « carte de Mercator » est au programme du cours de navigation de la première année à l'École navale. MINISTÈRE DE LA MARINE ET DES COLONIES, *Bulletin officiel de la Marine*, *Op. Cit.*, p. 316.

*Elle sert à résoudre graphiquement les problèmes de l'estime.*

*Le navigateur qui gouverne à cap constant suit en réalité une loxodromie sur l'ellipsoïde terrestre et non sur une sphère. La carte marine est construite de manière à développer cet ellipsoïde en satisfaisant aux deux conditions suivantes, évidemment très commodes : 1° La loxodromie doit être représentée par une droite ; 2° cette droite doit faire avec les images des méridiens un angle égal à l'azimut loxodromique.<sup>488</sup>*

Ce choix de carte s'explique assez bien car la navigation loxodromique est la navigation la plus simple. En effet, suivre une « loxodromie », revient à gouverner à cap constant. Marguet propose quelques figures correspondant à la loxodromie, mais Constan illustre la loxodromie sur le globe et sa représentation sur la carte marine par une figure double beaucoup plus explicite (voir figure 37).

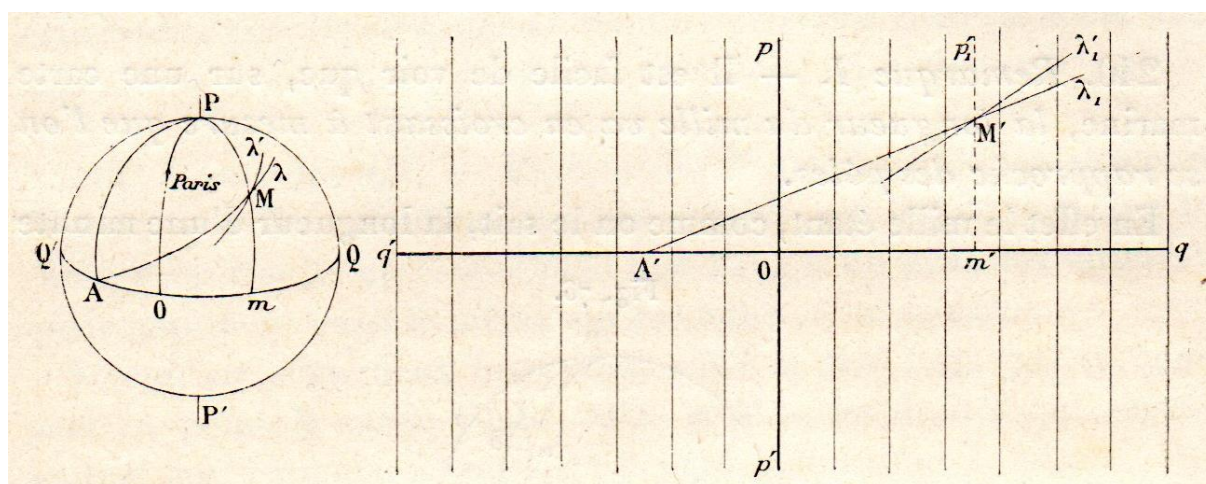


Figure 37 : Extraite du cours de navigation de Constan illustrant la loxodromie.<sup>489</sup>

Nous remarquons que la route AM, obtenue en gardant un cap constant, est courbe sur le globe terrestre, mais est représentée par le segment A'M' sur le « canevas » d'une carte marine.

Cette « carte marine » souvent nommée « carte de Mercator<sup>490</sup> » est donc tout à fait indiquée pour « résoudre graphiquement les problèmes de l'estime »<sup>491</sup> comme l'a indiqué Marguet avant de présenter un court historique de cette carte :

*En 1569 Gérard Mercator publia une carte universelle (planisphère) sur lesquelles les loxodromies devaient être représentées par des lignes droites. Mais les*

<sup>488</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 17.

<sup>489</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 147.

<sup>490</sup> Gérard Mercator (1512-1594).

<sup>491</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 17.



cotes des parallèles extrêmes y sont erronées de 1/40 environ. En 1610 Edouard Wright calcula les longueurs des minutes du méridien d'une telle carte jusqu'à  $89^{\circ}59'$ . Il fit chaque minute égale à  $1/\cos\phi$ . Il donnait ainsi les moyens de résoudre correctement, par le calcul, pour la pratique tout au moins, les problèmes de l'estime ; ce qui ne pouvait se faire auparavant. En 1645 Bond fit remarquer que les cotes de Wright étaient proportionnelles à  $\log \tan(45 + \phi/2)$ . En 1668 Gregory donna une démonstration laborieuse de la remarque de Bond. Enfin en 1695 Halley démontra très simplement la loi des latitudes croissantes en projetant stéréographiquement la loxodromie sur l'équateur.<sup>492</sup>

### Le canevas

Cette présentation, outre sa teneur historique, cite la loi utilisée pour construire le « canevas » d'une carte marine. C'est dans le cadre de l'utilisation d'un tel canevas qu'il est possible de considérer la carte marine comme un procédé graphique de première classe, en reprenant la distinction proposée par Favé et Rollet de l'Isle (voir paragraphe précédent). Marguet propose sept pages d'explications sur le canevas et les échelles. Ses explications sont approfondies, car adaptées aux exigences de l'École navale, mais sans référence aux tables de logarithmes en usage ce qui donne une lecture assez ardue. Celles données par Constan ou Guilhaumon sont plus facile d'accès mais encore conséquentes. Constan explique le principe des latitudes croissantes en y consacrant trois pages mais ne donne pas d'exemples alors que Guilhaumon détaille le procédé sur sept pages en l'illustrant de trois figures (voir figures 38, 39, 40).

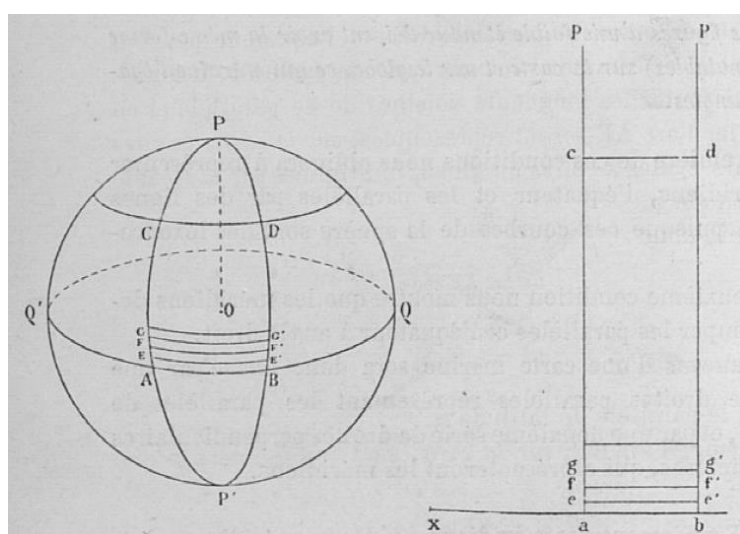


Figure 38 : Extraite du cours de Guilhaumon pour illustrer l'espacement des parallèles.<sup>493</sup>

<sup>492</sup> Ibid.

<sup>493</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 162.

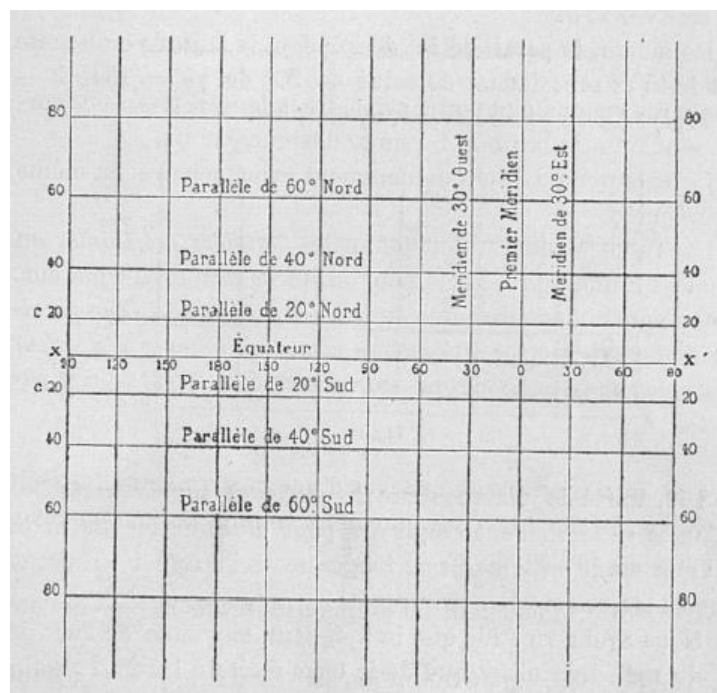


Figure 39 : Extraite du cours de Guilhaumon pour illustrer la construction du canevas.<sup>494</sup>

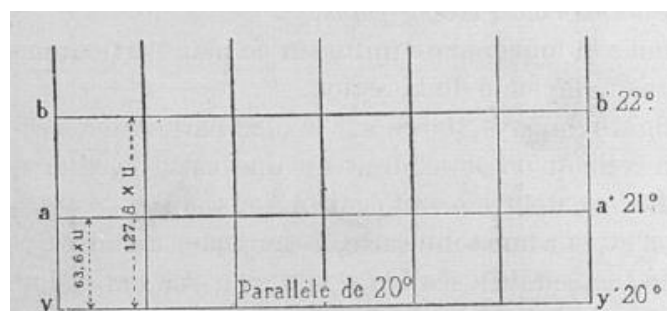


Figure 40 : Extraite du cours de Guilhaumon pour illustrer la construction du canevas d'une carte particulière.<sup>495</sup>

La troisième figure (voir figure 40) est associée à l'explication de la construction du canevas d'une portion de carte générale (de 20° à 22°) en utilisant la table V de Caillet (voir paragraphe sur les tables).

Guilhaumon précise que :

*Le canevas d'une carte marine sera (...) formé par une série de droites parallèles représentant les parallèles de la latitude, et par une deuxième série de droites perpendiculaires aux premières, qui représenteront les méridiens.*<sup>496</sup>

Les méridiens formant entre eux des angles égaux sur la sphère seront représentés par des droites parallèles ayant le même espace entre elles sur la carte, alors que l'espace entre les

<sup>494</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 165.

<sup>495</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 167.

<sup>496</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 161.



droites parallèles, représentant les parallèles du globe, évolue selon la « loi des latitudes croissantes ». Il n'est toutefois pas indispensable de savoir comment est construite une carte marine pour l'utiliser. Cousin, qui souhaite proposer à ses lecteurs un ouvrage plus basique que ceux de ses confrères, n'explique pas la construction du canevas de la carte marine mais passe très rapidement aux usages.

La présentation de la « carte marine » était abordée lors des « conférences », mais ces cours magistraux étaient complétés par des séances d'application ce que révèlent les ouvrages de cours. En effet, la partie consacrée à la carte marine et à la loxodromie est complétée par les « usages des cartes marines » où sont listés les problèmes qui peuvent être traités sur la carte en projection de Mercator.

### *Les catégories de cartes marines*

Les lecteurs de l'*Almanach du Marin Breton* de 1903 sont informés que les « cartes marines » à leur disposition sont à ranger dans quatre catégories : les cartes d'atterrage, les cartes routières, les cartes particulières et les plans particuliers. Les cartes d'atterrage sont des « cartes à petit point » qui « représentent une très grande étendue de côte (par exemple toute la côte Ouest de France), et servent pour atterrir : on y voit toutes les sondes des grands fonds »<sup>497</sup>. Les cartes routières, qui sont également des cartes à petit point, « donnent une vue d'ensemble de grandes étendues de côtes ; elles sont très commodes pour marquer la position sur la carte, et pour faire connaître la route qu'il faut suivre pour se rendre d'un point à un autre »<sup>498</sup>. Ces cartes peuvent avoir deux échelles : celles où le mille est représenté par une longueur de six millimètres (« avec les cartes à 6 mm par mille il faut 2 cartes seulement pour aller de Ouessant à la rivière de Bordeaux »<sup>499</sup>) et celles plus détaillées où « le mille est représenté par environ un centimètre et demi »<sup>500</sup> (« il faut 11 de ces cartes, du cap Fréhel à Bordeaux »<sup>501</sup>). Les cartes particulières (voir carte 2) et plus encore les plans particuliers sont beaucoup plus détaillés ; ils représentent de petites étendues de côtes et on dit que ce sont des « cartes à grand point ». Le mille est représenté par quatre centimètres dans les cartes particulières et il faut notamment 31 de ces cartes de Saint Malo à la Gironde. Les plans particuliers sont encore plus précis puisque le mille y est représenté par 13 centimètres et il faut 46 de ces cartes de Saint-Malo à Bordeaux.

---

<sup>497</sup> *Almanach du Marin Breton*, 1903, p. 34.

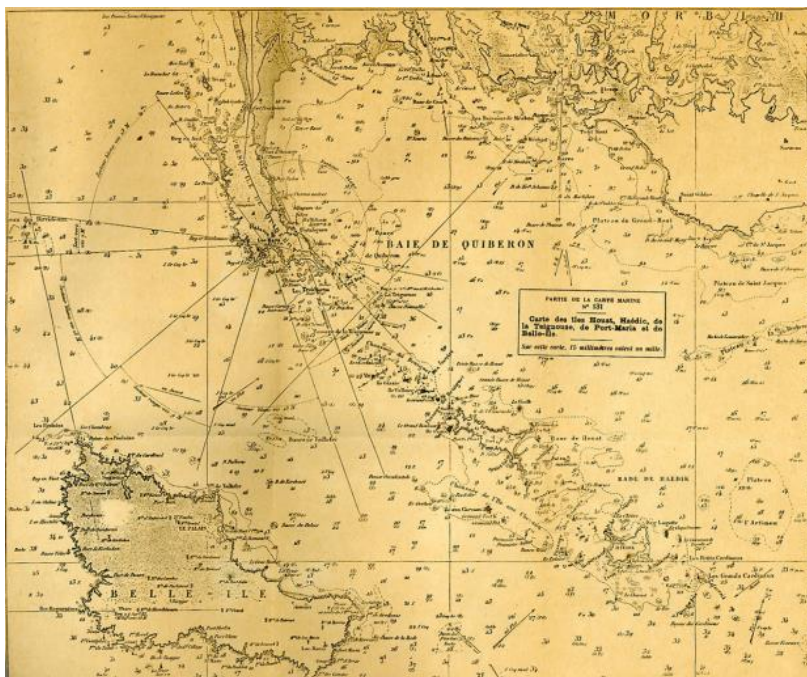
<sup>498</sup> *Ibid.*

<sup>499</sup> *Almanach du Marin Breton*, 1903, p. 38.

<sup>500</sup> *Ibid.*

<sup>501</sup> *Ibid.*

Chacune de ces cartes marines françaises coûte deux francs en 1903 (« ce n'est pas cher, si on songe à tout le travail que cela représente »<sup>502</sup>).



Carte 2 : Extrait de la carte particulière n°131 reproduite dans l'Almanach du Marin Breton de 1903.<sup>503</sup>

## 2) Les cartes pour la navigation orthodromique

L'*Almanach du Marin Breton*, tout comme le *Résumé pratique de navigation* de Cousin, ne s'intéresse qu'aux cartes marines car elles sont adaptées à la navigation habituelle à cap constant. Avec l'amélioration des performances des navires, le début du XX<sup>e</sup> siècle voit se développer la navigation par arc de grand cercle ou navigation orthodromique.

Il est possible de faire remonter l'intérêt pour la navigation orthodromique au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. En effet, Hilleret, professeur à l'École navale (voir chapitre 1), écrit dans son mémoire présenté à l'Académie des sciences en 1876 sous le titre *Nouveau système de cartes marines, pour la navigation par arc de grand cercle* :

*Depuis vingt ans environ, la navigation à vapeur a pris un développement considérable, et la rapidité des traversées, qui ne pouvait s'obtenir d'une manière régulière avec la voile, est intervenue comme un nouvel élément dans les transactions commerciales. On a cherché dès lors, par tous les moyens possibles, à raccourcir les traversées, et l'on a pensé à substituer à la route faite à la mer, sur un arc loxodromique,*

<sup>502</sup> *Almanach du Marin Breton*, 1903, p. 37.

<sup>503</sup> *Almanach du Marin Breton*, 1903, p. 39.

*une route suivant l'arc de grand cercle, qui est le plus court chemin d'un point à un autre sur la sphère. Les avantages qui peuvent résulter de cette substitution ne sont point à dédaigner, ainsi qu'on peut le constater par les chiffres suivants : l'arc de grand cercle allant de Brest à New-York est plus petit de 100 mille marins que l'arc loxodromique joignant ces deux points ; (...) La route par arc de grand cercle économise, pour un grand paquebot, environ 800 francs, rien que pour le combustible (...) Or les grandes compagnies comptent par centaines les traversées faites annuellement ; l'économie qui peut donc résulter de la route par arc de grand cercle se chiffre par des sommes considérables. Il est évident que la marine militaire a aussi de grands avantages à suivre l'arc de grand cercle (...).*<sup>504</sup>

Marguet définit la navigation orthodromique dans son troisième chapitre :

*Le chemin le plus court entre deux points de la sphère est le plus petit des deux arcs du grand cercle qui joint ces deux points. Cet arc a reçu le nom d'orthodromie.*<sup>505</sup>

Et il précise quelques pages plus loin :

*Il arrive qu'on ne veuille pas dépasser un parallèle de latitude donnée comme limite (glaces, vents contraires). Dans ce cas, pour suivre la trajectoire la plus courte, on fait une route composée de deux arcs de grand cercle, passant par les points donnés et tangents au parallèle limite, et de l'arc du parallèle limite qui les sépare.*<sup>506</sup>

Guilhaumon présente l'orthodromie dans son cours là encore de manière plus explicite, sans utiliser de vocabulaire compliqué :

*Quand la route que doit suivre le navire n'est pas trop rapprochée de la direction Nord et Sud, il y a une différence très appréciable entre la distance, comptée sur la loxodromie, et la distance des mêmes points, sur l'arc du grand cercle. On appelle navigation orthodromique le procédé consistant à faire route sur l'arc de grand cercle qui joint le point de départ au point d'arrivée. Dans la pratique, on suivra une série de routes loxodromiques voisines de l'arc de grand cercle ; certaines considérations de vents et de courants pourront aussi déterminer le capitaine à s'écarter momentanément de la route orthodromique.*<sup>507</sup>

---

<sup>504</sup> HILLERET G., « Nouveau système de cartes marines pour la navigation par arcs de grands cercles », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1876, p. 1095.

<sup>505</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 29.

<sup>506</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 33.

<sup>507</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 396.

### *La carte de Hilleret*

Il n'est pas étonnant que les livres de cours du début du XX<sup>e</sup> siècle, consacrent quelques paragraphes à la navigation orthodromique lorsqu'ils s'adressent d'une part aux élèves de l'École navale et d'autre part aux marins préparant les brevets les plus élevés. Mais si ces ouvrages de cours font bien mention d'une carte adaptée à cette navigation, ils n'en joignent aucun extrait.

Guilhaumon écrit seulement :

*M. Hilleret, professeur à l'École navale, a dressé des cartes spéciales, sur lesquelles les grands cercles sont représentés par des lignes droites. Ces cartes permettent de résoudre, graphiquement, les divers problèmes auxquels donne lieu la navigation orthodromique.*<sup>508</sup>

Et Constan d'ajouter à la suite de quelques lignes assez semblables : « Nous ne saurions trop recommander l'emploi de ces cartes »<sup>509</sup>.

Marguet ne va pas beaucoup plus loin bien qu'il donne quelques précisions sur la méthode qu'a employée Hilleret pour établir ses cartes<sup>510</sup> :

*M. Hilleret a construit des cartes sur lesquelles l'orthodromie est représentée par une droite.*

*Ces cartes sont obtenues par la projection perspective de la surface de la terre sur des plans tangents à l'équateur, le point de vue étant au centre. Les méridiens sont donc des droites, les parallèles des hyperboles. Un canevas de carte marine réduit joint à la carte permet de trouver très facilement l'azimut de la route initiale.*<sup>511</sup>

Cette carte (voir figure 41) est la solution qu'Hilleret a proposée au problème qu'il a énoncé dans son mémoire de 1876 :

*Construire un système de carte où les arcs de grand cercle soient représentés par des lignes droites et permettant d'obtenir, par des constructions graphiques très simples, l'angle de route et la longueur de l'arc de grand cercle à parcourir ; en outre donner aux cartes une étendue suffisante pour les besoins de la navigation.*<sup>512</sup>

---

<sup>508</sup> GUILHAUMON J-B., *Op. Cit.*, p. 402.

<sup>509</sup> CONSTAN P., *Op. Cit.*, p. 178.

<sup>510</sup> Bien que la « carte de Hilleret » soit au programme du cours de navigation de la première année à l'École navale. MINISTÈRE DE LA MARINE ET DES COLONIES, *Bulletin officiel de la Marine*, *Op. Cit.*, p. 316.

<sup>511</sup> MARGUET F, *Op. Cit.*, p. 34.

<sup>512</sup> *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1876, p. 1096.

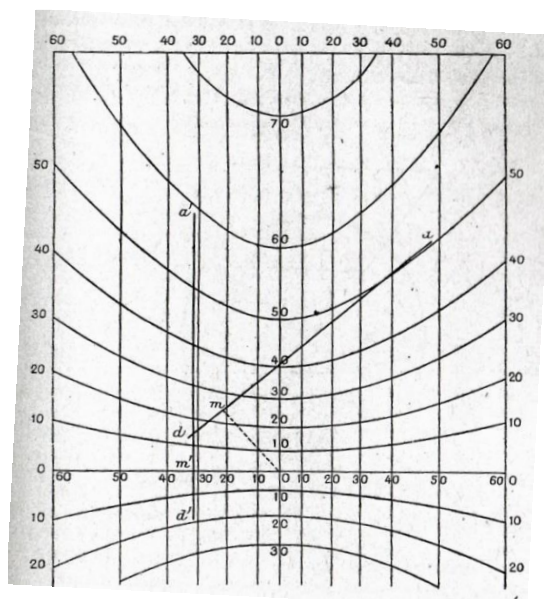


Figure 41 : Exemple de canevas de carte de Hilleret extrait du cours de Cornet vers 1925.<sup>513</sup>

### La carte de Gernez

Le capitaine au long cours Désiré Gernez<sup>514</sup> va lui aussi proposer, en 1913, une carte adaptée à la navigation orthodromique qui résulte cette fois d'une projection gnomonique<sup>515</sup> (voir figure 42). Marguet en fera d'ailleurs mention dans la deuxième édition de son *Cours de navigation et de compas* publié en 1921. La carte dite de Gernez est une carte polaire donc particulièrement adaptée aux expéditions arctiques contrairement aux cartes marines qui distordent les latitudes élevées.

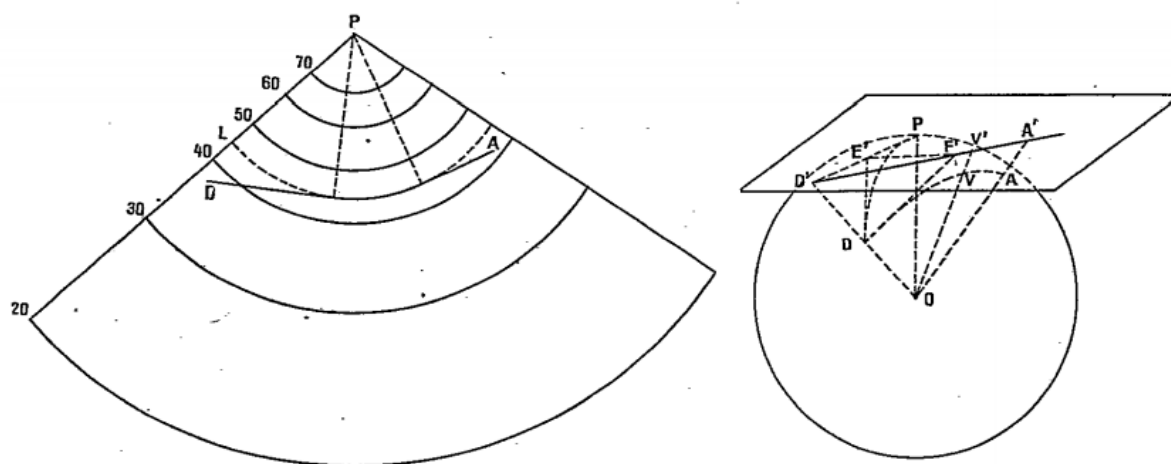


Figure 42 : Canevas de carte de Gernez.<sup>516</sup>

<sup>513</sup> CORNET C., *Cosmographie et navigation*, vers 1925, p. 91.

<sup>514</sup> Désiré Gernez (1877-1954).

<sup>515</sup> GERNEZ D., « Tracé et usage des cartes pour la navigation orthodromique construite sur les plans tangents aux pôles », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1913, p. 445.

<sup>516</sup> GERNEZ D., *Op. Cit.*, p. 446.

## Conclusion

L'officier qui aura appris à maîtriser les différents instruments sera à même de se diriger et de déterminer la position du navire par des observations astronomiques, des calculs et beaucoup d'application. Il est entraîné à suivre un algorithme (« calculs nautiques type ») qui lui permet d'optimiser son travail. Les procédures sont très précises et nécessitent un entraînement rigoureux. Cet entraînement débute à l'école et est ensuite entretenu durant les années de navigation<sup>517</sup>.

De plus, le navigateur maritime est à même de se diriger et de déterminer sa position précise et de manière autonome grâce à l'amélioration des instruments de mesure. Les constructeurs fournissent un matériel efficace (compas, sextant, chronomètre) même si certaines innovations (comme les horizons artificiels gyroscopiques) subissent encore des séries de test au début du XX<sup>e</sup> siècle. Tout navigateur doit apprendre à utiliser correctement un compas. Les officiers se destinant à la navigation au long cours doivent également maîtriser l'utilisation du sextant et de la montre. Ces instruments fournissent des mesures qui sont à la base des calculs nautiques.

Les marins utilisent en priorité une table « à argument simple » pour faire les calculs. Si Lecoq cite encore, au début du XX<sup>e</sup> siècle, les tables de Caillet dans ses exemples, les tables de Friocourt les supplantent rapidement et pour des décennies. Nous pouvons alors remarquer que les habitudes acquises par les officiers durant leur formation perdurent. Les calculs logarithmiques sont un des éléments essentiels de la détermination de la position du navire dans la navigation astronomique en France.

Toutefois, de nombreux marins ne s'en satisfont pas. Ils cherchent à calculer plus vite et en faisant moins d'erreurs. Certains vont se tourner vers des tables particulières comme celles de Souillagouët et d'autres vont être tentés par des abaques comme ceux de Perret ou de Favé et Rollet de l'Isle. Cette volonté de simplification se heurte souvent à l'hostilité d'une partie de la marine. En effet, ils sont suspectés de vouloir céder à la facilité et même d'être fainéants.

Quelques nouvelles cartes viennent également d'être introduites sur les passerelles (cartes adaptées à la navigation orthodromique), mais les « cartes marines » ou « cartes de Mercator » restent la base.

Les marins ont la réputation de ne pas apprécier les solutions graphiques. Nous avons pourtant montré que les procédés graphiques se révèlent souvent une aide précieuse voir même

---

<sup>517</sup> Il est très courant que ces officiers continuent à faire des points d'étoiles même lorsqu'ils ont progressé en grade et que ce n'est plus dans leurs attributions.

la solution la plus élégante comme dans la détermination du point par la méthode de Marcq Saint-Hilaire.





## Partie 2

La naissance de la navigation aérienne et ses emprunts à la navigation maritime du début du XX<sup>e</sup> siècle à la fin de la Première guerre mondiale

## Préambule

La navigation aérienne naît avec les « plus légers que l'air », appelés également « aérostats » à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Pour certains historiens de l'aéronautique du début du XX<sup>e</sup> siècle, 1884 est une année charnière séparant approximativement la « période historique » de la « période moderne » comme les nomme Joseph Lecornu dans son ouvrage de 1913, *La Navigation aérienne : histoire documentaire et anecdotique* :

*Ce fut le 9 août 1884, dix mois jour pour jour après la première expérience de l'aérostat Tissandier, que suivant les expressions de M. Hervé-Mangon, pour la première fois, un ballon véritablement dirigeable s'est élevé dans les airs, a suivi un itinéraire fixé à l'avance, pour revenir prendre terre au point même d'où il était parti : c'est à deux officiers français, les capitaines Renard et Krebs, que revient incontestablement l'honneur de cette mémorable expérience.*<sup>518</sup>

Et c'est également vers cette date que l'aérostation libre connaît un grand développement en France<sup>519</sup>. Mais il faut attendre le début du XX<sup>e</sup> siècle pour entrer dans la période que Lecornu nomme « contemporaine ». Période où les conditions pour pratiquer la navigation aérienne commencent à être remplies.

*On peut affirmer que le problème de l'Aéronautique a reçu sa solution complète aussi bien par les ballons dirigeables que par les appareils d'aviation et le jour est arrivé où nous allons voir « réalisées les grandes applications de la navigation aérienne et l'atmosphère terrestre sillonnée par des appareils qui en prendront définitivement possession ! ».*<sup>520</sup>

Les conditions pour avoir recours à cette navigation dépendent donc du type d'aéronef – ballon libre, ballon dirigeable, avion – mais aussi comme nous allons le montrer, de l'utilisateur. En effet, le militaire n'aura pas les mêmes besoins que le sportif ou le savant.

Les progrès en navigation aérienne sont indissociables de l'histoire de l'aéronautique militaire. Léon Gambetta, suite à la guerre de 1870 et au siège de Paris, crée une commission des communications aériennes et charge le colonel Charles Renard<sup>521</sup> de l'aérostation militaire. Celui-ci organise un centre de recherche à Chalais-Meudon (voir figure 43) et en devient le directeur de 1877 jusqu'à sa mort en 1905, secondé par son frère Paul<sup>522</sup>. Les deux hommes sont

---

<sup>518</sup> LECORNU J., *La Navigation aérienne : histoire documentaire et anecdotique*, 1913, p. 223.

<sup>519</sup> Les auteurs de l'*Histoire de l'aéronautique* indiquent que « le ballon libre a connu un grand développement à partir de 1879 ». DOLLFUS Ch. et BOUCHÉ H., *Histoire de l'aéronautique*, Collection des grands ouvrages de « l'Illustration », 1938, p. 154.

<sup>520</sup> LECORNU J., *Op. Cit.*, p. 381.

<sup>521</sup> Charles Renard (1847-1905).

<sup>522</sup> Paul Renard (1854-1933).

ingénieurs polytechniciens, officiers du génie, inventeurs et pionniers de l'aéronautique. Paul deviendra par la suite un fervent adepte de l'aéroplane quand celui-ci détrônera l'aérostat.

Un décret du 19 mai 1886 organise les services d'aérostation militaire en les plaçant sous la tutelle du génie et notamment :

*L'établissement actuel de Chalais prend le titre d'établissement central d'aérostation militaire ; il comprend un atelier d'études et d'expériences, un arsenal spécial de construction et une école d'instruction. Un personnel spécial lui est attaché.*<sup>523</sup>.

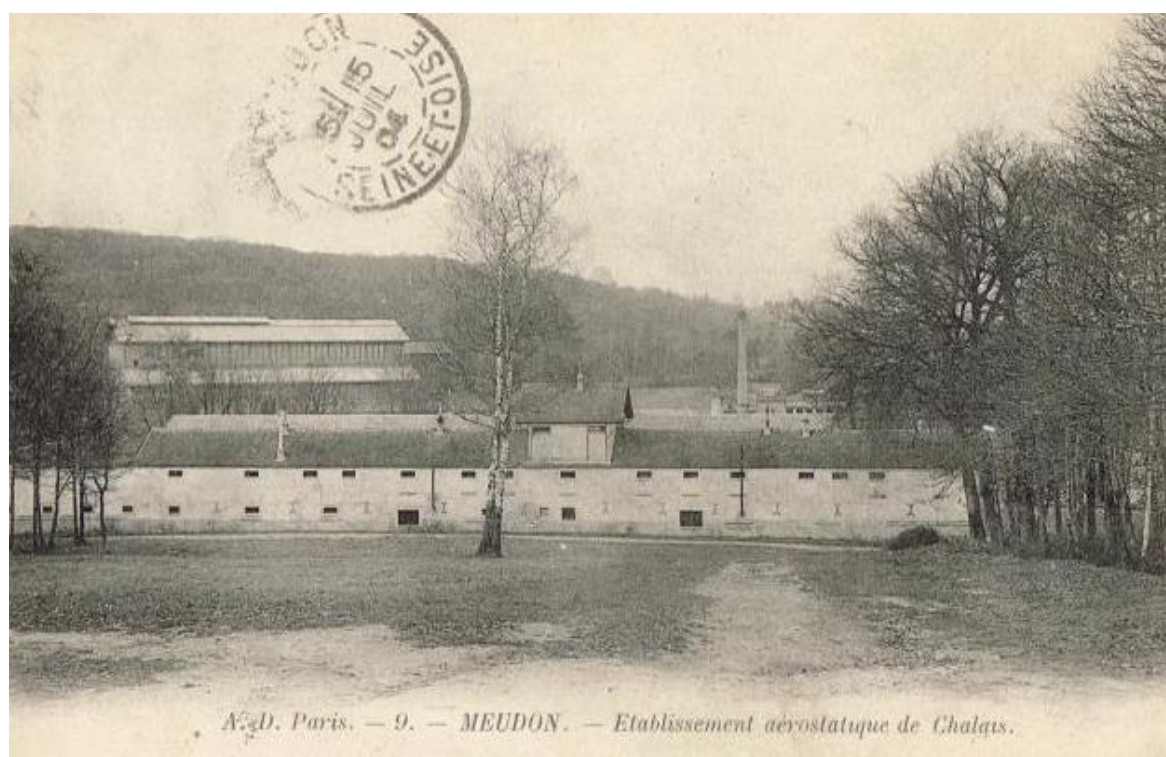


**Figure 43 : Établissement central d'aérostation militaire de Chalais-Meudon avant 1904.**<sup>524</sup>

Parallèlement, l'Armée s'intéresse à l'aviation naissante. Au printemps 1909, le général Jean Brun, ministre de la Guerre, souhaite doter l'Armée d'aéroplanes dans un proche avenir. Finalement, il crée deux aviations, l'une attachée au génie et l'autre à l'artillerie. Le ministère de la Guerre fait participer les avions et les aérostats aux grandes manœuvres de Picardie, ce qui aboutit à la création de l'Inspection permanente de l'aéronautique militaire, le 22 octobre 1910. Cette décision « représente la première étape vers l'institutionnalisation de l'arme

<sup>523</sup> *Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*, 20 mai 1886, p. 2318.

<sup>524</sup> Carte postale de la page <http://cabanus.e-monsite.com/pages/les-dirigeables/les-precurseurs.html>, consulté le 13 août 2018.

aérienne »<sup>525</sup>. Différentes lois et décrets poursuivent l'organisation de l'aéronautique militaire en 1911, 1912 et 1913. Le général Félix Bernard, nommé chef des Services aéronautiques en septembre 1913, adopte une série de mesures dès le 1<sup>er</sup> novembre : « l'aérostation et l'aviation sont ainsi définitivement séparées entraînant la transformation des trois groupes mixtes en deux groupes d'aviation et un groupe d'aérostation »<sup>526</sup>.



Figure 44 : Visite du général Brun au camp d'aviation de Chalons.<sup>527</sup>

La Marine s'est également intéressée à l'aérostation, principalement dans le sud de la France dans un premier temps. Ainsi le centre aérostatique de Toulon, situé à Lagoubran, est ouvert de 1890 à 1904 suite à l'initiative du lieutenant de vaisseau Albert Serpette<sup>528</sup>. Le lieutenant de vaisseau Jean Tapissier<sup>529</sup> en est notamment chargé en 1899. Il est remplacé en 1900 par le lieutenant de vaisseau Maxime Genty<sup>530</sup> mais reste attaché à l'aéronautique. En effet, il est membre de la Commission permanente internationale d'aéronautique<sup>531</sup> et à ce titre

<sup>525</sup> DUBREIL-VILLATOUX M.-C., « L'aéronautique militaire dans la grande guerre vers l'institutionnalisation », *Archives de l'aéronautique militaire de la première guerre mondiale*, Service historique de la défense, 1908, p. 12.

<sup>526</sup> DUBREIL-VILLATOUX M.-C., *Op. Cit.*, p. 16.

<sup>527</sup> Photographie Marius Prieur. CHAMBE R., *Histoire de l'aviation*, Paris, Flammarion, 1949, p. 174.

<sup>528</sup> Albert Charles Serpette (1855-1903). MARIET V., *Rochefort dans la Grande Guerre. L'aérostation et les ballons de la marine*, Mémoire Master Histoire RIHMA, 2015-2016, p. 43.

<sup>529</sup> Jean Marie Denis Henry Tapissier (1865-1932). École navale (1885).

<sup>530</sup> Maxime Auguste Genty (1867-1902).

<sup>531</sup> Les membres français élus pour la Commission permanente en 1900 étant : M. Tesserenc de Bort, le commandant Hirschauer, le comte de la Vaulx, le comte de la Valette, Paul Renard, M. Hervé, le lieutenant de vaisseau Tapissier, M. Surcouf, M. Lachambre et M. Mallet. *L'Aéronaute*, novembre 1900, p. 260.



participe au deuxième Congrès international d'aéronautique de Paris en 1900 ainsi qu'au Congrès de l'association internationale maritime en 1901. Mais la Marine se détourne précocement des dirigeables. Une commission, présidée par le contre-amiral Le Pord, conclut, le 2 avril 1910, que les avions et hydravions conviennent mieux que les dirigeables pour remplir les missions de la Marine<sup>532</sup>.

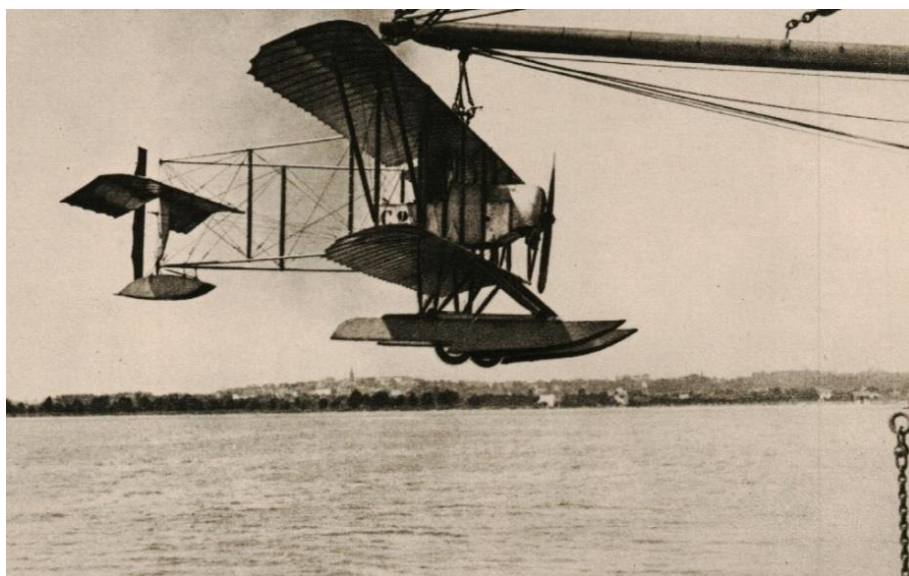


Figure 45 : Embarquement d'un hydravion à bord du *Foudre*.<sup>533</sup>

En effet, la Marine pressent, elle aussi, les avantages qu'elle pourrait tirer de l'aviation vers 1910, année retenue comme celle de la création de l'aéronautique maritime<sup>534</sup>, lorsqu'elle commande et réceptionne son premier avion. Il s'agit d'un biplan Farman qui sera piloté par le lieutenant de vaisseau Louis Byasson<sup>535</sup>. La Marine s'intéresse à la fois aux avions et aux hydravions à coque ou à flotteurs. De plus elle commence à faire former quelques officiers dans les centres d'instruction de la Guerre (voir chapitre 4). En avril 1911, le capitaine de frégate René Daveluy est désigné comme « chargé de l'Aviation maritime » tandis que le croiseur auxiliaire *Foudre* est choisi comme futur bâtiment central d'aviation et premier porte-hydravion français<sup>536</sup>. Mais il faut attendre le décret du 20 mars 1912 pour que soit créé le Service d'aéronautique maritime. L'aviation maritime participe pour la première aux Grandes manœuvres navales en mai 1914. Elle possède 14 aéroplanes à la veille de la guerre (huit

<sup>532</sup> FEUILLOY R., *Les dirigeables de la Marine française 1915-1937*, Paris, ARDHAN, 2008, p. 15.

<sup>533</sup> Photographie du musée de la Marine. *Ibid.*

<sup>534</sup> L'aéronautique maritime est officiellement créée le 20 mars 1912. Il faut attendre le décret du 16 mars 1937 pour que le terme soit officiellement remplacé par celui d'aéronautique navale. LE ROY Th., *Les bretons et l'aéronautique des origines à 1939*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2002, p. 7.

<sup>535</sup> Louis Édouard Byasson (1870-1911). École navale (1888).

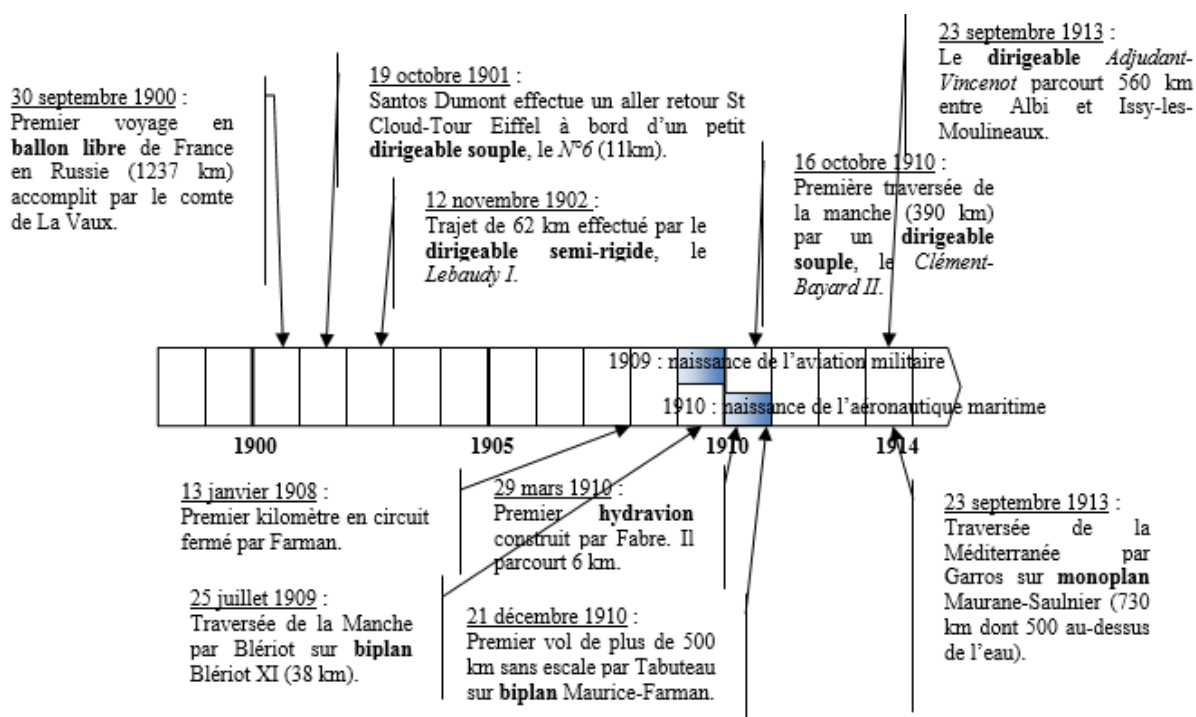
<sup>536</sup> FEUILLOY R., <http://www.aeronavale.org/almana/debut%20avia%20maritime.htm>, consulté le 13 août 2018.

hydravions au Centre provisoire de Toulon, quatre hydravions au Centre provisoire de Bizerte et deux hydravions à bord du *Foudre*<sup>537</sup>) mais aucun dirigeable.

### *Aperçu des performances en termes de distance*

Certaines conditions doivent être remplies pour que la navigation aérienne soit réellement pratiquée. Les procédés de navigation peuvent présenter un intérêt en aéronautique dès que les voyages sont suffisamment longs, ce qui est le cas à la fois pour les « plus légers que l'air » avant la Première guerre mondiale, ou encore que des instruments peuvent pallier à une visibilité insuffisante.

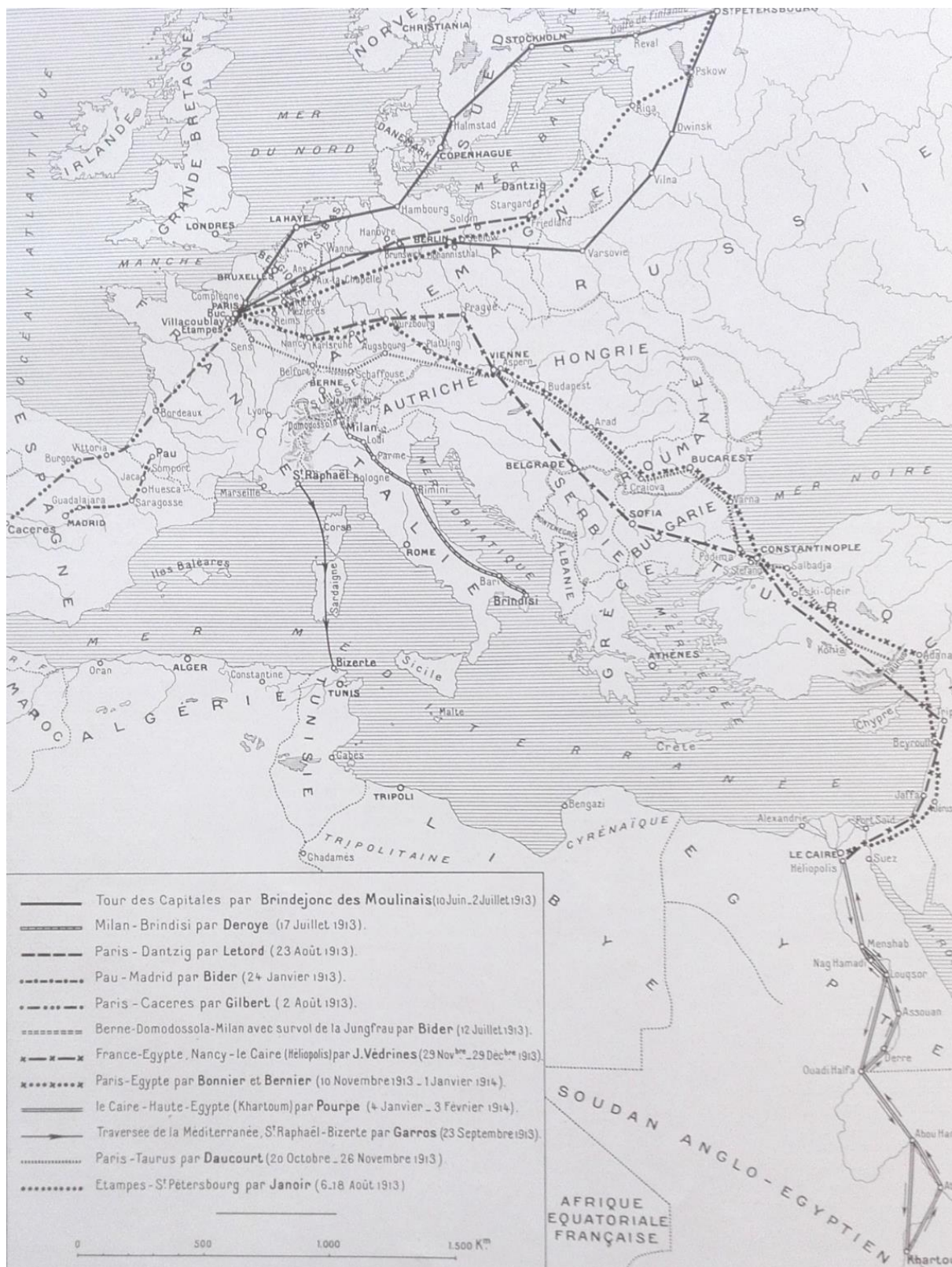
Ainsi, les distances parcourues en ballons libres sont déjà suffisantes en 1900, lorsque le comte Henry de la Vaulx<sup>538</sup> relie Paris à Korostichev près de Kiev, pour que les aéronautes puissent tirer profit de l'utilisation des techniques de navigation en aérostation. La progression des distances parcourues par les dirigeables est, quant à elle, régulière à partir de 1901 et devient suffisante dès 1902 pour recourir à la navigation à l'estime avec une utilisation des cartes et des boussoles (voir figure 46). Le développement de l'aviation est plus tardif, mais la progression des distances parcourues est rapide, ce qui justifiera, dans cet autre domaine de l'aéronautique, un recours aux techniques de navigation, tout au moins à l'estime (voir carte 3).



<sup>537</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 188.

<sup>538</sup> Henry de la Vaulx (1870-1930).

<sup>539</sup> Frise construite par mes soins à l'aide de nombreuses sources. La partie supérieure de la frise concerne les « plus légers que l'air » et la partie inférieure les « plus lourds que l'air ».



Carte 3 : Carte des grands voyages en aéroplane effectués par des Français en 1913 et 1914.<sup>540</sup>

<sup>540</sup> DOLLFUS Ch. et BOUCHÉ H., *Op. Cit.*, p. 262.

### *La concurrence entre les « plus légers que l'air » et les « plus lourds que l'air »*

Si les ballons dirigeables ont battu des records de distances avant les avions, leur nombre est dépassé par celui des avions dans les années 1910. En effet, les « plus légers que l'air » et les « plus lourds » n'ont pas la même progression, en termes d'unités, au début du XX<sup>e</sup> siècle, les ballons dirigeables demandant des infrastructures beaucoup plus imposantes que les avions.

Paul Renard publie, début 1909, un article faisant le bilan de « l'année aéronautique » 1908. Cet article met notamment l'accent sur la navigation aérienne, en pleine et rapide mutation. Renard informe les lecteurs, que :

*Les progrès de la navigation aérienne dans ces derniers temps ont été si rapides qu'il est évident pour tout le monde que ce nouveau mode de locomotion est sur le point d'entrer dans la pratique courante. Aussi, à la fin de cette année 1908 n'est-il pas inutile de jeter un regard en arrière et de se rendre compte des progrès réalisés au cours des douze derniers mois.*

*Ce qui a le plus frappé et à bon droit les imaginations, ce sont les progrès des avions. Ces appareils, hier encore inconnus du grand public, sont devenus populaires, et il semble à la grande majorité de nos contemporains qu'en matière d'aéronautique eux seuls méritent de retenir l'attention. (...) Il serait à la fois injuste et inexact de croire qu'à eux seuls ils constituent tout le domaine de la navigation aérienne.*<sup>541</sup>

Ces quelques lignes mettent en évidence la concurrence qui existe entre les ballons libres et les dirigeables d'une part et les avions d'autre part. En effet, en France, les autorités (et le public) se désintéressent précocement du développement des « plus légers que l'air », en particulier des dirigeables, au profit des avions. Les militaires constatent, notamment, que leurs dirigeables sont moins fiables que les avions lors des Grandes manœuvres du sud-ouest du 11 au 17 septembre 1913<sup>542</sup>.

### *Situation de l'aéronautique militaire au début de la Première guerre mondiale*

Les efforts entre 1900 et 1914 des constructeurs de ballons et des aviateurs<sup>543</sup>, ainsi que des utilisateurs de ces moyens de locomotion aériens, permettent de proposer aux autorités

---

<sup>541</sup> RENARD P., « L'année aéronautique », *La Revue hebdomadaire*, 2 janvier 1909, p. 15.

<sup>542</sup> Voir [http://albindenis.free.fr/Site\\_escadrille/debut\\_aviation\\_militaire5.htm](http://albindenis.free.fr/Site_escadrille/debut_aviation_militaire5.htm), consulté le 13 août 2018.

<sup>543</sup> « Aviateur » désigne celui qui travaille à l'« aviation » (art de fabriquer des avions). Selon Clément Ader, le terme serait utilisé depuis 1892 et « adopté par de nombreux officiers » (in *L'Humanité*, 3 décembre 1908, NP). Ce terme sera surtout utilisé après la Première guerre mondiale pour désigner les constructeurs d'avion.



militaires, le 2 août 1914, à la fois des dirigeables et des avions aptes à la navigation aérienne. La France est en avance dans le domaine aéronautique (avions, moteurs, instructeurs) sur les autres puissances. Au soir du 3 août 1914, elle dispose ainsi de 27 escadrilles (comptant chacune en moyenne 8 avions), plus les avions dans les écoles, et de 220 pilotes brevetés militaires d'active auxquels viendront se joindre les grands pilotes civils ainsi que les pilotes mis à sa disposition par la Marine<sup>544</sup>. L'Armée possède également quelques dirigeables sur lesquels compte en priorité le commandement militaire.

Pourtant la situation de l'aéronautique française n'est pas optimale. Elle est dans une phase de développement, mais n'a pas encore prouvé sa valeur ajoutée sur le champ de bataille. Il faut cependant garder à l'esprit que la plupart des historiens considèrent aujourd'hui que l'usage de l'aviation dans l'Armée et la Marine allait de soi, faisant là fi de déclarations hostiles à ces engins, vraies ou supposées, de la part de généraux de l'armée française. La phrase attribuée au général Ferdinand Foch : « Tout ça voyez-vous c'est du sport mais, pour l'armée, l'avion c'est zéro ! »<sup>545</sup> aurait été prononcée en 1910 et n'est donc plus complètement d'actualité en 1914. D'autant que le rôle primordial joué par l'aviation d'observation et de reconnaissance durant la bataille de la Marne du 2 au 12 septembre 1914 incite le général Joseph Joffre à réorganiser le service aéronautique. Le lieutenant-colonel Édouard Barès, prenant la direction du service aéronautique aux armées et s'entourant d'une équipe d'aviateurs qui remplace les aéroliers, élabore une doctrine de guerre aérienne où l'aviation de bombardement prend une place prépondérante<sup>546</sup>. Cette stratégie devra être révisée en intégrant l'aviation de chasse, mais elle aura le mérite d'avoir fait appel aux méthodes scientifiques de navigation aérienne pour réussir les bombardements sur les objectifs lointains (voir chapitre 5).

### *La situation de la Marine et de l'aéronautique maritime au début du conflit*

La situation de la Marine française au début de la guerre est en comparaison moins brillante que celle de l'aéronautique militaire. Elle a été déclassée, passant de la deuxième à la septième place mondiale avec une flotte vétuste qui n'a pas eu le temps de se moderniser et de se mettre à niveau<sup>547</sup>. La marine nationale est amenée à accepter un rôle de second plan avec pour mission de sécuriser les convois de troupes et non de combattre la marine allemande. Une partie des

---

<sup>544</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 188.

<sup>545</sup> ROBÈNE L., « L'aviation c'est du sport ! Images et représentations de l'aéronautique dans la presse sportive de la Belle Époque. L'exemple de La Vie au Grand Air (1900-1914) », *Nacelles*, Pour une histoire sociale et culturelle de l'aéronautique au XX<sup>e</sup> siècle, Dossier thématique/Thematic Section, mis à jour le 21 octobre 2016.

<sup>546</sup> BERNARD Ph., « À propos de la stratégie aérienne pendant la première guerre mondiale : mythes et réalités », *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, tome 16, n° 3, juillet-septembre 1969, pp. 357-361.

<sup>547</sup> Collectif, « La Marine nationale et la Première Guerre mondiale : une histoire à redécouvrir », *Revue d'histoire maritime*, Paris, Presses de l'université Paris-Sorbonne, n°20, 1<sup>er</sup> mai 2015, pp. 7-191.

marins est également envoyée combattre sur terre, voire dans l'aviation de guerre car ils n'ont pas d'utilité à bord des bâtiments.



**Figure 47 : Torpilleur escortant un convoi.<sup>548</sup>**

De plus l'aéronautique maritime est embryonnaire au début du conflit. En effet, elle ne peut compter que trente-cinq pilotes brevetés civils ou militaires (ou les deux) pour une quinzaine d'appareils. Sa situation empire rapidement puisqu'elle est invitée à se priver de son personnel volant au profit de l'aéronautique militaire qui manque de pilotes, le centre de Saint-Raphaël ne disposant plus que de deux ou trois pilotes à la fin de l'été 1914. Mais l'aviation maritime recommence à se développer en 1915. Elle participe au combat sur trois fronts : en mer du Nord, en Adriatique et au Proche-Orient. En conséquence, un nouveau Centre d'aviation maritime (CAM) ouvre à Boulogne-Dunkerque et le lieutenant de vaisseau de Laborde, revenu dans la Marine, en prend le commandement le 1<sup>er</sup> avril 1915.

---

<sup>548</sup> Estampe réalisée par M. Desdevises du Désert. Bibliothèque du patrimoine de Clermont Auvergne Métropole.



Figure 48 : Navires de guerre en pleine mer survolés par un hydravion en 1915.<sup>549</sup>

Les décisions du Kaiser Guillaume II d'instituer en zone de guerre les eaux entourant la Grande-Bretagne et l'Irlande le 1<sup>er</sup> février 1915, et plus encore de mettre l'Europe sous blocus maritime en déclarant la guerre sous-marine illimitée le 1<sup>er</sup> janvier 1917, renforcent le rôle de la Marine durant le conflit<sup>550</sup>.

D'ailleurs la croissance de l'aviation maritime s'accélère à partir du début de l'année 1916 grâce à la mise en place de programmes de développement<sup>551</sup>. De nouveaux centres sont créés et d'autres renforcés. En 1916, l'aviation maritime dispose ainsi de 150 hydravions ou avions armés ou en réserve. Et environ 150 nouveaux pilotes ont été formés pour un effectif total de 1 000 hommes dans l'aéronautique maritime. L'arrêté du 8 septembre 1916 fixe l'organisation des centres. Chaque « centre aéronautique » qui peut regrouper à la fois un centre d'aviation et un centre d'aérostation est placé sous l'autorité d'un officier de marine commandant de centre, et chaque escadrille d'aéronefs est commandée par un officier de marine (ou assimilé) placé sous l'autorité du commandant du centre. L'aviation est de mieux en mieux organisée et peut ainsi répondre aux exigences de la guerre sous-marine déclenchée par l'Allemagne à la suite de la bataille maritime du Jütland (du 31 mai au 1<sup>er</sup> juin 1916 au large de

<sup>549</sup> Photographie de l'agence Rol. Sur le site <https://gallica.bnf>.

<sup>550</sup> BRÉZET F.-E., *La guerre sous-marine allemande 1914-1945*, Paris, Perrin, 2017.

<sup>551</sup> 7 programmes de développement vont se suivre de 1916 à l'armistice.

Danemark) et de l'échec de l'offensive terrestre à Verdun (du 21 février au 18 décembre 1916). La Marine doit pour cela reprendre les pilotes qu'elle avait prêtés à l'Armée au début de la guerre. L'amiral Lucien Lacaze, ministre de la Marine, décide en septembre 1916 de réorganiser complètement l'aéronautique maritime. Les années 1917 et 1918 correspondent alors à une nouvelle période particulièrement propice au développement de l'aéronautique maritime.

## Chapitre 4

### La naissance d'une navigation aérienne

#### Introduction

L'enseignement et la pratique des procédés de navigation maritime sont parfaitement établis au début du XX<sup>e</sup> siècle. Il n'en est pas de même pour la navigation aérienne. Il existe bien quelques cours de navigation aérienne et même des écoles, mais le contenu de l'enseignement y est très différent de celui dispensé pour les marins à l'École navale ou dans les écoles d'hydrographie. De même, de nombreux articles et ouvrages relatifs à la navigation aérienne sont publiés dès la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, mais ils concernent principalement les moyens de faire voler un navire aérien et non de le diriger. Il s'agit avant tout de construire et de faire voler un aéronef.

La navigation aérienne, dans l'acception que nous avons considérée pour la marine, c'est-à-dire être capable de tracer une route pour aller d'un point de départ à un point d'arrivée et de s'y maintenir en connaissant sa position, est plus tardive. Elle suit le développement des différentes catégories d'aéronefs. La pratique de la navigation aérienne débute avec les ballons libres avant de s'étendre aux dirigeables et aux avions.

Les aéronautes et les aviateurs voient le plus souvent le sol qu'ils survolent. Or le vol à vue nécessite rarement le recours aux instruments de navigation à l'estime et encore moins à ceux de navigation astronomique que nous avons présentés pour la marine. C'est tout de même en reprenant la distinction entre ces deux types de navigation maritimes (navigation à l'estime et navigation astronomique) que nous allons rechercher celles qui ont cours en navigation aérienne en dégagant les points communs et les différences entre le maritime et l'aérien.

Quelques questions méritent alors d'être posées. Comment acquérir des connaissances en navigation aérienne ? Existe-il des établissements enseignant la navigation aérienne ou les aéronautes et les aviateurs doivent-ils s'autoformer ? De quels instruments de navigation disposent l'aéronaute et l'aviateur ? Qui travaille sur ces instruments ? Quelle est la nature des liens en termes de navigation qui existent entre la marine et l'aéronautique à cette époque ? Quels aéronautes et aviateurs peuvent avoir besoin des techniques de navigation ? Les aéronautes et les aviateurs ont-ils recours à la navigation astronomique ou se contentent-ils de pratiquer la navigation à l'estime ?

Pour répondre à ces questions, nous allons analyser les progrès de la navigation aérienne et les nouveaux défis qui se présentent à elle avant 1914, en dégagant dans un premier temps

les moyens dont disposaient les aéronautes et les aviateurs de l'époque pour se former. Puis, en reprenant la distinction établie pour la navigation maritime, nous précisons ce qui fait la spécificité de la navigation à l'estime dans l'aéronautique. Enfin, nous montrerons que les aéronautes ont réellement pratiqué la navigation astronomique, au moins à bord des ballons, avant la Première guerre mondiale.

## A) La formation à la navigation aérienne

### 1) La navigation aérienne dans la presse du début du XX<sup>e</sup> siècle

Dans son bilan de l'année aéronautique 1908, Paul Renard consacre une partie de l'article à ce qu'il appelle la « propagande en faveur de l'aéronautique » :

*Comme on devait s'y attendre, la littérature aéronautique s'est développée dans des proportions inconnues jusqu'alors. Sans parler des périodiques spéciaux, qui sont de plus en plus nombreux, des articles publiés chaque jour par des revues et des journaux non spéciaux, les livres proprement dits consacrés en 1908 à la navigation aérienne, forment un volume très respectable. (...)*

*La propagande en faveur de l'aéronautique s'est également développée sous toutes les formes possibles : accroissement des sociétés existantes, fondation de nouvelles sociétés, organisation de cours et de conférences, tous les moyens sont employés pour développer le goût de la locomotion aérienne et répandre sur ce sujet des notions exactes. (...)*

*En France, l'Académie des Sciences a constitué, depuis plusieurs années déjà, une commission de l'Aéronautique. (...) Quelques-uns de ses membres prennent une part active aux études se rattachant à la locomotion aérienne, entrent dans les conseils des sociétés spéciales, auxquelles ils apportent, avec une collaboration précieuse, l'autorité de leur passé scientifique. (...)*

*A l'exemple des corps savants, les pouvoirs publics commencent à s'intéresser aux choses de l'atmosphère. En France, notamment, le parlement a voté des crédits pour encourager les progrès de la locomotion aérienne. (...)<sup>552</sup>*

Tous les médias et institutions mentionnés par Renard ne proposent pas nécessairement d'interventions sur le thème de la navigation aérienne. Cependant, l'essentiel des vecteurs de transmission des connaissances, en y ajoutant les institutions militaires qui ne sont pas explicitement présentes, sont cités par Renard.

---

<sup>552</sup> RENARD P., *Op. Cit.*, pp. 19-20.

La presse n'a pas attendu 1908 pour s'intéresser à l'aéronautique. En effet, la question y est très présente à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle tant dans la presse spécialisée que dans la presse généraliste<sup>553</sup>. Il est difficile de savoir si la presse suscite l'engouement du public pour l'aéronautique ou si elle le suit. Mais elle a tendance à orienter l'opinion publique en faveur des « plus lourds que l'air » plutôt que pour les « plus légers que l'air »<sup>554</sup>. Il semblerait toutefois que cette préférence n'ait pas eu d'impact sur les techniques de navigation à l'estime et astronomique en France avant 1914.

Des journalistes et vulgarisateurs scientifiques publient dans les nombreuses revues aéronautiques qui voient le jour à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle. Leur intérêt pour l'astronomie, la météorologie et la navigation aérienne transparaît dans leurs publications.

C'est notamment le cas de Wilfrid de Fonvielle<sup>555</sup>, aéronaute et républicain convaincu. Il s'intéresse précocement aux ballons, puisqu'il effectue de nombreuses ascensions dès 1860, souvent en vue d'observations astronomiques. Aéronaute du siège de Paris, président de la Société française de navigation aérienne (SFNA), membre d'honneur de l'Aéro-Club de France (AéCF) et membre de la Société Astronomique de France, il contribue par quelques inventions au développement de la navigation à bord des ballons libres<sup>556</sup>.



Figure 49 : Portrait de Wilfrid de Fonvielle.<sup>557</sup>

<sup>553</sup> Voir HARTMANN G., « l'aéronautique dans la presse », sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

<sup>554</sup> Voir LENOBLE B., « L'aéroplane et le ballon vus par le journal. Technique aérienne et imaginaire médiatique en France (de 1906 au début des années 1920) », *Hypothèses* 2006/1 (9), p. 209-220.

<sup>555</sup> Wilfrid de Fonvielle (1824-1914).

<sup>556</sup> FONVIELLE (DE) W., « Notes sur ma carrière aéronautique », *L'Aérophile*, 15 mai 1914, pp. 232-233.

<sup>557</sup> Photographie Carl Reutlinger. Sur le site <https://gallica.bnf>. Droits réservés.

C'est également le cas de Georges Besançon<sup>558</sup> qui rencontre de Fonvielle en 1881. Celui-ci l'initie à la fois à l'aérostation et à l'écriture politique. Il obtient son brevet de pilote aéronaute en 1887 et effectue de nombreuses ascensions. Il s'intéresse particulièrement à la météorologie au travers des ballons-sondes. Parmi ses nombreuses fonctions et centres d'intérêt, il fonde une école d'aérostation en 1888 et est nommé dès octobre 1909 membre du Conseil de perfectionnement de l'École supérieure d'aéronautique et de construction mécanique<sup>559</sup>.

### *La navigation aérienne traitée par les sociétés aéronautiques et leurs organes de presse*

La Société française de navigation aérienne, dans un premier temps, puis l'Aéro-Club de France sont les deux associations les plus importantes dans notre domaine de la navigation aérienne. Ces associations propagent leurs idées au travers de deux publications de première importance dans la presse aéronautique. *L'Aéronaute* est l'organe officiel de la SFNA et *L'Aérophile* celui de l'AéCF.

La SFNA, fondée à la fin du Second Empire, s'intéresse aux différents aspects du vol dans sa pratique et son usage<sup>560</sup>. Ses membres viennent d'horizons divers et présentent une grande mixité sociale. Ce sont des praticiens, des techniciens, des mécaniciens, des savants, des publicistes et des ingénieurs etc., qui permettent d'apporter des réponses variées à la question de la navigation aérienne. Le premier acte de cette société, en 1873, fut de faire construire un ballon de 3 000 mètres cubes, le *Zénith*, afin d'effectuer des ascensions privées<sup>561</sup>.

La revue *L'Aéronaute*, reflétant probablement les idées majoritaires au sein de la SFNA, traite naturellement des ballons (qui sont à l'origine de la création de la société) mais anticipe également le développement des « plus légers que l'air »<sup>562</sup>. Cette revue est considérée comme la première revue aéronautique publiée en France. Nous n'y avons identifié que très peu d'articles relevant de la navigation aérienne<sup>563</sup> (voir tableau 13).

Les progrès relevés dans la science aéronautique entre 1898 et 1908 sont en partie impulsés par une autre association particulièrement active : l'Aéro-Club de France. Cette association, créée le 20 octobre 1898, fédère plusieurs petits clubs d'aérostation et de ballon

---

<sup>558</sup> Georges Besançon (1866-1934).

<sup>559</sup> Voir HARTMANN G., « Georges Besançon (1866-1934), Perpétuel Sinon Immortel », sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

<sup>560</sup> Voir Luc Robène. ROBÈNE L., « La recherche aéronautique XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles », Séminaire 2012-2013, Centre Alexandre Koyré.

<sup>561</sup> FONVIELLE (DE) W., *Histoire de la navigation aérienne*, Paris, Hachette, 1907, p. 130.

<sup>562</sup> Voir RAVEL Ch., « la plus ancienne publication aéronautique » *L'Aéronaute*, *Magazine du Musée Régional de l'Air*, n° 123, été 2015.

<sup>563</sup> Il est possible qu'il y en ait eu d'autres, auxquels nous n'avons pas eu accès, car la revue initialement mensuelle, puis hebdomadaire, a existé de 1868 à 1911.



libre sportif<sup>564</sup>. Son premier président Albert de Dion<sup>565</sup>, co-fondateur du Touring-Club de France et de l'Automobile-Club de France, est un farouche nationaliste ultraconservateur qui souhaite œuvrer pour la suprématie française en matière d'aéronautique<sup>566</sup>. Ce club, dont le but est de « développer, sous toutes ses formes et dans toutes leurs applications les diverses activités aériennes »<sup>567</sup>, est chargé de délivrer les brevets de pilote à partir de 1909 pour faire face à l'afflux de néophytes. L'AéCF comprend, dès sa fondation, plusieurs commissions dont une commission scientifique présidée par le prince Roland Bonaparte, membre de l'Académie des sciences. La commission s'occupant des questions d'aviation va également être très active, mais selon Wilfrid de Fonvielle c'est celle traitant des exploits sportifs qui a le plus d'importance. Pour lui, « le sport est (...) la principale raison d'être de l'Aéro-Club et la cause presque unique de sa prospérité »<sup>568</sup>. Ces spécificités n'empêchent pas l'existence de nombreuses occurrences relatives à la navigation aérienne dans *L'Aérophile* ; le sportif peut avoir besoin de se diriger !

*L'Aérophile* a été créé en 1893 par Georges Besançon et Wilfrid de Fonvielle, afin de publier les travaux personnels des membres de l'Union aérophile de France, société savante fondée en 1889 pour faire avancer l'aéronautique<sup>569</sup>. Ce périodique devient l'organe de l'AéCF en 1901 ainsi que celui de quelques associations sportives de moindre importance. À ce titre, « l'Aéro-Club publie, dans la revue *L'Aérophile*, un Bulletin mensuel qui donne, avec le compte rendu des réunions et des travaux de la société, toutes les informations utiles à ses membres »<sup>570</sup>. Les numéros de la revue contiennent à la fois des articles détaillés sur la navigation à l'estime et sur la navigation astronomique (voir tableau 13).

D'autres associations aéronautiques vont participer à l'essor de la navigation aérienne française. La Ligue nationale aérienne est créée par le naturaliste René Quinton<sup>571</sup> le 2 septembre 1908 avec comme objectif de répliquer à la souscription allemande pour équiper l'armée de dirigeables. *La Revue Aérienne*, qui est l'organe de l'association, prévoit cependant de publier uniquement des articles sur les « plus lourds que l'air », qui sont en plein essor. André Michelin<sup>572</sup>, qui avait déjà participé à la création de l'AéCF, apporte son soutien financier à la Ligue. Il poursuit ainsi son œuvre de mécénat en faveur de l'aéronautique en s'efforçant

<sup>564</sup> Voir HARTMANN G., « Quand l'Aéronautique tenait Salon au Grand Palais des Champs-Élysées à Paris », sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

<sup>565</sup> Jules-Albert de Dion (1856-1946). Il est président de l'AéCF de 1898 à 1905.

<sup>566</sup> Voir ROBÈNE L. et BODIN D., « Le feuilleton aéronautique à la Belle Époque », *Le Temps des médias*, février 2007 (n°9), pp. 47-62.

<sup>567</sup> HARTMANN G., *Op. Cit.*, p. 2.

<sup>568</sup> FONVIELLE (DE) W., *Histoire de la navigation aérienne*, 1907, p. 198.

<sup>569</sup> Voir HARTMANN G., « Georges Besançon (1866-1934), Perpétuel Sinon Immortel », *Op. Cit.*, p. 6.

<sup>570</sup> *L'Aérophile*, janvier 1901, p. 11.

<sup>571</sup> René Quinton (1866-1925).

<sup>572</sup> André Michelin (1853-1931).

d'« obtenir des pouvoirs publics la création d'une force militaire aérienne capable de rivaliser avec les unités de l'armée allemande »<sup>573</sup>. Les liens de la Ligue avec l'AéCF et *L'Aérophile* sont nombreux, comme l'illustre la présence de Besançon et de bien d'autres au Comité technique de la Ligue.

Les mentions à la navigation aérienne sont les plus nombreuses dans *L'Aérophile* puis dans *La Revue Aérienne* (voir tableau 12).

| Organe                   | Nom de l'association                            | Date de création de la revue et de l'association | Nombre de mentions de navigation à l'estime ou astronomique relevées (de 1868 à 1914) |
|--------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>L'Aéronaute</i>       | Société française de navigation aérienne (SFNA) | 1868 / 1873                                      | Moins de 5                                                                            |
| <i>L'Aérophile</i>       | Aéro-Club de France (AéCF)                      | 1893 / 1898                                      | Plus de 20                                                                            |
| <i>La Revue aérienne</i> | La ligue nationale aérienne                     | 1908 / 1908                                      | Entre 5 et 10                                                                         |
| <i>Aéro</i>              |                                                 | 1908                                             | Moins de 5                                                                            |

**Tableau 13 : Articles de revues aéronautiques avant 1914.**<sup>574</sup>

L'aéronautique bénéficie du fort mouvement de segmentation qui accompagne l'essor de la presse à « l'apogée de la presse française » (1880-1914)<sup>575</sup>. Le domaine compte jusqu'à neuf titres en 1908<sup>576</sup>, dont l'*Aéro* qui a une publication hebdomadaire. L'essor de la presse spécialisée est remarquable à la veille de la guerre 1914-1918, à tel point que la publication de l'*Aéro* devient quotidienne à partir de 1912. Cette revue créée en 1908 présente quelques articles en lien avec la navigation à l'estime mais qui n'approfondissent pas la question. Il y est fait principalement mention d'instruments de navigation utilisés lors de voyage ou de numéros de brevets d'invention et de quelques publicités.

#### *La navigation aérienne traitée dans la presse non spécialisée dans l'aéronautique*

Plusieurs revues ne sont pas spécialisées dans l'aéronautique mais s'y intéressent en tant que discipline sportive. À ce titre, les articles sur l'aérostation ou les avions y sont courants. La revue *Dunkerque-Sport* publie en 1909 un article en feuilleton s'intitulant « Quelques

<sup>573</sup> MOULIN-BOURRET A., *Guerre et industrie : Clermont-Ferrand, 1912-1922 : la victoire du pneu*, Publications de l'Institut d'études du Massif Central, 1997, p. 98.

<sup>574</sup> Articles disponibles sur <https://gallica.bnf>.

<sup>575</sup> BELLENGER C., GODECHOT J., GUIRAL P. et TERROU F., *Histoire générale de la presse française, tome 3 : De 1871 à 1940*, Paris, Presses universitaires de France, 1972.

<sup>576</sup> ROBÈNE L. et BODIN D., *Op. Cit.*, p. 52.

remarques sur la façon de se repérer en ballon »<sup>577</sup>, qui dénote par sa profondeur. D'autres revues spécialisées dans les sciences et techniques publient quelques articles en rapport avec la navigation aérienne comme *L'Astronomie* ou *Le Génie civil*.

La presse généraliste n'est pas en reste pour faire rêver son lectorat avec l'aéronautique. Les Français se passionnent pour les débuts de l'aviation, pour les exploits sportifs des premiers aviateurs. La presse non spécialisée s'en fait l'écho au travers de la vingtaine de quotidiens parisiens, de deux-cents périodiques et de plus de cinq-cents journaux publiés en province<sup>578</sup>. Certains organes de presse tels que *l'Illustration* ou *La Vie au Grand Air* peuvent privilégier le sensationnalisme, parfois en décalage avec une information technique sérieuse présente dans *L'Aérophile* ou dans d'autres catégories de presse spécialisée (militaire ou maritime, astronomie, génie civil ou militaire, topographie et géographie). Le lieutenant-colonel Jean Estienne<sup>579</sup>, directeur du parc d'aviation de Vincennes, a choisi de présenter son système pour se repérer en aéroplane dans le *Matin* et dans *La Vie au Grand Air* en 1910. Il souhaitait probablement par là étendre son lectorat afin d'obtenir le maximum d'adhésion à une méthode encore expérimentale :

*Il appartient aux aviateurs autorisés de dire s'il est bon. Pour leur permettre de se prononcer après expériences, il serait désirable que les amis de l'aviation – groupements sportifs, municipalités, simples particuliers surtout – voulussent bien établir des repères dans le voisinage des centres d'aviation.*<sup>580</sup>

Le lieutenant-colonel Jean Estienne est un polytechnicien qui fait sa carrière dans l'artillerie. Il commande le service d'aviation de Reims en cours de formation à partir de 1909 où il met au point les techniques et l'emploi de l'aviation d'observation. Après un commandement du groupe d'aviation de Lyon, il fonde une section d'aviation d'artillerie à Vincennes où il est en contact avec plusieurs officiers qui publieront sur la navigation aérienne.

Le néophyte peut finalement accéder à une initiation à la navigation aérienne au travers des articles de la nombreuse presse spécialisée ou non. Mais il aura intérêt à assister aux conférences données dans les associations et les écoles afin de tirer parti de l'expérience des conférenciers.

---

<sup>577</sup> BARATOUX M., « Quelques remarques sur la façon de se repérer en ballon », *Dunkerque-sports*, 7 mars 1909, 14 mars 1909, 28 mars 1909.

<sup>578</sup> Voir HARTMANN G., *Op. Cit.*

<sup>579</sup> Jean Estienne (1860-1936).

<sup>580</sup> ESTIENNE J., « Pour se repérer en aéroplane », *La Vie au Grand Air*, 24 décembre 1910, p. 940.

2) La navigation aérienne présentée lors de conférences et étudiée dans les écoles  
Plusieurs écoles d'aérostations sont ouvertes près des établissements et clubs permettant de pratiquer l'ascension en ballon.

*Les écoles d'aérostation pour militaires*

L'Établissement central d'aérostation militaire de Chalais-Meudon, dont le colonel Charles Renard est le directeur depuis 1877, comprend à la fois un atelier d'études et d'expériences, un arsenal spécial de construction mais aussi une école d'instruction. En 1907, cette école a trois objectifs :

- 1° donner l'instruction technique aux officiers aérostiers, aux officiers du génie ;*
- 2° compléter l'enseignement pratique de sous-officiers et d'hommes de troupe des compagnies d'aérostiers, pour en faire des instructeurs ; 3° former à des travaux professionnels spéciaux des sapeurs du génie pour le service des parcs aérostatiques.*<sup>581</sup>

Il est probable que les élèves y préparent le « certificat d'aptitude à la conduite des ascensions libres » nécessaire pour « assurer le service des communications par ballons libres dans les places fortes investies »<sup>582</sup>. Les candidats sont recrutés à l'issue d'une épreuve orale d'une durée de trente minutes à une heure. Pour cela, ils doivent justifier d'une instruction suffisante en aéronautique et météorologie et « doivent savoir se servir pratiquement des cartes de France (1/80 000, 1/200 000, 1/100 000) »<sup>583</sup>. En analysant le programme des connaissances exigées pour l'obtention du certificat, nous pouvons en extraire deux éléments en rapport avec la navigation aérienne. D'une part, les candidats sont interrogés en topographie sur la « pratique des cartes de France » (coefficient 10 sur 28) :

*La commission d'examen s'assurera, par des interrogations minutieuses, que la pratique des cartes de France au 1/80,000 et au 1/200,000 du ministère de la guerre, au 1/100,000 du ministère de l'intérieur, est familière aux candidats.*<sup>584</sup>

D'autre part, le « point en ballon » (coefficient 15 sur 28)<sup>585</sup> est mentionné succinctement en fin de la partie sur l'« aéronautique ». Les deux éléments, que nous avons repérés, prouvent que certains procédés de navigation sont exigibles pour l'obtention du certificat d'aptitude à la conduite des ascensions libres. Mais il n'est pas certain que la navigation à l'estime et la navigation astronomique aient fait partie des connaissances

---

<sup>581</sup> MASSE D., *Pour choisir une carrière*, Paris, Larousse, 1907, p. 356.

<sup>582</sup> *Journal militaire*, Paris, Chapelot et Cie, 1902, p. 945.

<sup>583</sup> *Op. Cit.*, p. 946.

<sup>584</sup> *Op. Cit.*, p. 948.

<sup>585</sup> *Op. Cit.*, p. 949.

transmises à l'école de Chalais-Meudon au début du XX<sup>e</sup> siècle, car le peu de temps alloué à l'ensemble des cours (21 jours pour les soldats et sous-officiers, 7 jours pour les capitaines des compagnies d'aérostiers, 19 jours pour les officiers d'état-major et un mois pour les officiers aérostiers<sup>586</sup>) permet uniquement une initiation à la navigation.

Les jeunes gens désirant rejoindre les rangs des compagnies de sapeurs-aérostiers du génie peuvent passer par l'École normale d'aérostation dont les cours sont donnés à l'école communale des Écluses Saint-Martin. Cette école, fondée par le banquier et aéronaute Louis Vernanchet et Georges Besançon en janvier 1888, est reconnue comme un établissement préparatoire pour l'admission aux compagnies de sapeurs-aérostiers du génie, par un décret du ministre de la Guerre du 9 décembre 1888<sup>587</sup>.

### *Les écoles d'aérostation pour les civils*

Parallèlement, les civils s'organisent pour pouvoir effectuer des ascensions sportives ou scientifiques au sein d'associations qui patronnent parfois des écoles. Besançon fonde ainsi l'École supérieure de navigation aérienne en 1889. Ces écoles sont souvent en lien avec la SFNA, comme l'« École d'aérostation pratique, la Française » qui fusionne avec la SFNA en 1894 pour créer l'« École Française de navigation aérienne ». La SFNA se félicite de la réussite de l'école en 1896 et de l'intérêt qu'elle a suscité auprès du ministère de l'Instruction publique :

*Les brillants élèves de l'Ecole Française de Navigation aérienne, qui comprend déjà plus de 60 élèves, sont une véritable pépinière digne de leur directeur Edouard Surcouf, si bien secondé par des professeurs, tous membres de notre Société et dont le désintéressement mérite tous nos éloges, puisque c'est gratuitement qu'ils font leurs cours.*

*La Société Française de Navigation aérienne est fière de voir le succès de cette école fondée par elle il y deux ans et qui fonctionne sous son patronage.*

*L'Ecole Française de Navigation aérienne forme les jeunes gens qui veulent se vouer aux diverses branches de l'aéronautique, ces jeunes gens qui ont le cœur assez énergique pour affronter l'air, considéré jusqu'ici comme un élément effrayant par tous ceux qui ne le connaissent pas, (...)*<sup>588</sup>

---

<sup>586</sup> MASSE D., *Op. Cit.*, p. 356.

<sup>587</sup> FONVIELLE (DE) W., « Portraits d'aéronautes contemporain – M. Louis Vernanchet », *L'Aérophile*, décembre 1900, pp. 161-162. HARTMANN G., « Georges Besançon (1866-1934), Perpétuel Sinon Immortel », *Op. Cit.*, pp. 5-6.

<sup>588</sup> *L'Aéronaute*, Août 1896, p. 183.

Le contenu des cours ne nous est pas connu, mais il est probable que les enseignants transmettent le maximum d'informations aux élèves, dont celles qu'ils ont engrangé sur la navigation à l'estime, mais l'enseignement y reste rudimentaire comme l'estime Paul Renard<sup>589</sup>. Les initiateurs d'un projet d'École supérieure d'aéronautique à Paris, présenté devant le comité de direction de l'AéCF le 12 mai 1909 avaient constaté que :

*Jusqu'à ces temps derniers, en dehors des établissements d'aérostation militaire, l'enseignement aéronautique n'existait pour ainsi dire pas. Certaines sociétés avaient bien organisé des cours forcément très élémentaires ; ces cours étaient suivis avec plus ou moins d'assiduité par des jeunes gens désireux de faire leur service militaire dans les troupes d'aérostiers. De temps en temps quelques conférences de vulgarisation étaient faites ; les conférenciers réunissaient généralement un auditoire nombreux et sympathique, mais composé d'amateurs qui venaient plutôt chercher des distractions intellectuelles qu'un enseignement précis, et qui, la conférence finie, ne gardaient, pour la plupart, qu'un souvenir très vague de ce qu'ils avaient pu entendre.*<sup>590</sup>

### *L'enseignement supérieur*

Des cours sur la navigation aérienne sont également présents dans les universités, notamment les *Leçons sur la navigation aérienne* de Lucien Marchis<sup>591</sup> proposées à l'Université de Bordeaux en 1903-1904<sup>592</sup> et ultérieurement à la Faculté des sciences de Paris<sup>593</sup>, mais il est plus question dans ces leçons de réussir à faire voler un aérostat que de le diriger. Ces préoccupations d'ingénieur aboutissent à la réalisation du projet du commandant Jean-Baptiste Roche<sup>594</sup>, patronné par de nombreuses personnalités scientifiques. L'École supérieure d'aéronautique de Paris, qui ouvre le 15 novembre 1909, « répond à un besoin urgent, en fournissant à l'industrie aéronautique, dont nous admirons l'essor, l'état-major d'ingénieurs spécialisés qui va lui devenir indispensable »<sup>595</sup>.

L'enseignement est initialement composé de 160 leçons ou conférences groupées sur 80 matinées et de 180 demi-journées qui sont prévues pour les travaux pratiques. Le contenu de cet enseignement ne présente pas explicitement de référence à la navigation aérienne. Ce n'est

---

<sup>589</sup> RENARD P., « Une École Supérieure d'Aéronautique », *L'Aérophile*, 15 juin 1909, p. 269.

<sup>590</sup> *Op. Cit.*

<sup>591</sup> Lucien Marchis (1863-1941). Il enseigne essentiellement la physique dans des lycées et des facultés.

<sup>592</sup> MARCHIS L., *Leçons sur la navigation aérienne*, Université de Bordeaux, Faculté des sciences, Paris, Dunod, 1903-1904.

<sup>593</sup> MARCHIS L., *Cours d'aéronautique*, Faculté des sciences de Paris, Paris, Dunod & Pinat, 1910.

<sup>594</sup> Jean-Baptiste Roche (1861-1954).

<sup>595</sup> HEC A., « L'École supérieure d'Aéronautique », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> décembre 1909, p. 538.

plus le cas en 1912. Dans la liste des cours professés se trouve « le point en ballon et les cartes aéronautiques »<sup>596</sup>, ce qui correspond à ce qui était demandé pour l'obtention du certificat d'aptitude à la conduite des ascensions libres mais peut surprendre pour une école supérieure de mécanique qui n'est pas une école de pilotage. Le général Robert Bourgeois y présente une « conférence sur le point en ballon » (voir paragraphe sur la synthèse des procédés du « point en ballon ») probablement dès 1913 et certainement en 1914, tout comme une à l'AéCF le 14 janvier 1913.

Le général Bourgeois est un officier d'artillerie spécialisé en astronomie, géodésie et géographie. À ce titre, il est professeur de géodésie et d'astronomie générale à l'École polytechnique à partir de 1908 (jusqu'en 1928) et comme nous l'avons vu, intervient à l'École supérieure d'aéronautique où il donne des conférences ainsi qu'à l'AéCF. Il est omniprésent dans le monde scientifique dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, membre de plusieurs sociétés savantes (Société française de géographie, Société française de physique, Académie des sciences) et est directeur du Service géographique de l'Armée de 1911 à 1919<sup>597</sup>. Ses apports à la navigation sont de plusieurs ordres : la cartographie en général et le point en aéronef en particulier, mais aussi une correspondance avec différents acteurs de la navigation comme Eugène Perret (voir chapitre 3).



**Figure 50 : Portrait de Robert Bourgeois.**<sup>598</sup>

---

<sup>596</sup> « Bulletin de l'École supérieure d'aéronautique », *La Revue aérienne*, 25 décembre 1912, p. 707.

<sup>597</sup> Voir LOWCZYK O., « Le général Bourgeois, un militaire imposé ? L'influence de l'état-major français sur le Comité d'études en 1917 », *Guerres mondiales et conflits contemporains*, mars 2008, n° 229, pp. 5-19.

<sup>598</sup> Photographie extraite de la page consacrée à Robert Bourgeois à l'École polytechnique. <https://www.polytechnique.edu/bibliotheque/fr/bourgeois-robert-x1876#note4>, consulté le 13 août 2018.

Une école préparatoire pour préparer le concours d'entrée à l'École supérieure de l'aéronautique est fondée à partir de 1913. De ce fait, « il est ainsi possible d'obtenir en trois années d'études le diplôme d'une Ecole supérieure d'ingénieurs (un an à l'Ecole préparatoire, deux ans à l'Ecole supérieure d'aéronautique et de construction mécanique) »<sup>599</sup>. Cet élément met en valeur le niveau élevé de connaissances scientifiques demandées à l'entrée de cette école d'ingénieur.

L'École supérieure de l'aéronautique fait partie des nombreuses écoles d'aviation qui se développent à la veille de la guerre 1914-1918. Mais si l'enseignement y est de qualité, il reste purement théorique et ne permet pas de piloter un aéroplane. Celui qui veut devenir aviateur peut se tourner vers les écoles mises en place par les constructeurs ou vers les écoles militaires plus tardivement. Ainsi en 1911 :

*Il existe de nombreuses écoles d'aviation, les unes purement théoriques, comme l'Ecole Supérieure d'Aéronautique dirigée par M. le commandant Roche à Paris, les autres entièrement pratiques et dirigées à Châlons, Nevers et Étampes par Henri Farman ; à Mouzon près de Sedan, par Sommer ; à Pau par Blériot, à Buc par Maurice Farman. Quand vous achetez un aéroplane – les monoplans coûtent de 12 à 20.000 francs, les biplans de 25.000 à 28.000 francs, munis de leur moteur – les fabricants vous font, comme il est juste, bénéficier de leçons gratuites pendant une dizaine de jours environ. Après ce délai, les frais de location de hangar, 10 francs par jour, sont à votre charge.*

*Mais il arrive que, sans être acheteur d'une machine, il peut être utile cependant d'en connaître la manœuvre. Beaucoup de jeunes gens, qui se sentent attirés vers cette science et cette industrie nouvelles, désirent être initiés à la conduite d'un aéroplane. Pour ceux-ci, les prix varient : on traite d'ordinaire à forfait : 2.500 francs, avec cette petite clause : « En cas de bris d'appareil, l'élève est pécuniairement responsable ». Quand il ne veut point encourir un tel risque, le prix des leçons s'élève à 4.500 francs et les frais de réparation, voire de remplacement ne sont à sa charge, le cas échéant, que si l'accident provient d'une faute inexcusable de l'apprenti.*<sup>600</sup>

---

<sup>599</sup> « École préparatoire à l'École Supérieure d'Aéronautique », *L'Aérophile*, 15 novembre 1913, p. 517.

<sup>600</sup> GRAFFIGNY (DE) H., *Catéchisme de l'aviation à la portée de tout le monde*, Paris, Bernard Tignol, 1911, pp. 164-165.



### *Les écoles d'aviation*

L'apprentissage de la navigation aérienne n'est pas la préoccupation première des écoles d'aviation. Ainsi, les plus anciennes de ces écoles, qui ouvrent en France en 1908, permettent avant tout de s'initier à un nouveau sport<sup>601</sup>.

Le pilote apprenti pourrait trouver, dans ces écoles, des connaissances en navigation à l'estime (et éventuellement astronomique) au contact des autres pilotes, mais ce n'est probablement pas le premier objectif de sa formation. Il doit d'abord maîtriser le vol de l'aéroplane et apprendre ensuite à gérer tous les aspects du moteur de son avion. Pour cela, les constructeurs, qui ouvrent des écoles, s'engagent à instruire tout acheteur en déléguant l'enseignement à un employé, un mécanicien ou un nouveau pilote<sup>602</sup>.

Les nouvelles dispositions qui à partir de 1910 imposent à tout pilote d'aéroplane de posséder un brevet délivré par l'AéCF et qui en mars 1911 instituent le brevet militaire obligent les écoles à perfectionner leur enseignement, mais les leçons de navigation aérienne y restent sommaires.

### 3) Un rapprochement entre la navigation aérienne et la navigation maritime au niveau de la formation

Le capitaine au long cours E. Desdemaines-Hugon propose en 1911, dans un article intitulé « Marins et aviateurs », de rapprocher les élèves de ces écoles d'aéronautique des marins pratiquant la marine à voile. Cet article a la particularité de mettre en avant les transferts de méthodes et de connaissances entre les marins et les aviateurs en proposant quelques pistes de réflexion. Plusieurs thèmes sont abordés, comme la résistance des cordages et les toiles utilisées dans la marine, mais également les procédés de navigation.

Selon Desdemaines-Hugon, les élèves pourraient tirer profit d'un voyage de quelques mois sur un voilier. Il fait part de sa suggestion au commandant Roche, directeur de l'École supérieure d'aéronautique, qui la trouve intéressante et qui « estime qu'une telle préparation serait un atout considérable pour un futur aviateur »<sup>603</sup>. Desdemaines-Hugon part du constat que « les marins, et en particulier ceux qui naviguent à la voile, possèdent tout un lot de qualités, d'instincts et de connaissances dont un aviateur tirerait un avantage incalculable sur ses concurrents si, pour sa part, il en était armé »<sup>604</sup>. Il considère que les aviateurs, bien encadrés,

---

<sup>601</sup> ROBÈNE L., BODIN D., HÉAS S., « Pau et l'invention de l'aviation « sportive » (1908-1910). Des enjeux technologiques aux plaisirs mondains : naissance d'un loisir et nouveaux pouvoirs du corps », *Staps*, vol. 87, n° 1, 2010, pp. 18-19.

<sup>602</sup> FERRY V., *Des formations aéronautiques. Du pingouin au jet. 1911-1960*, éditions du Gerfaut, 2008, p. 10.

<sup>603</sup> DESDEMAINES-HUGON E., « Marins et aviateurs », *La Revue aérienne*, 10 avril 1911, p. 172.

<sup>604</sup> DESDEMAINES-HUGON E., *Op. Cit.*, p. 169.

pourraient apprendre en quelques mois toutes les connaissances de la marine transférables à l'aviation que les marins mettent des années à acquérir :

*Il est notoire que les vieux marins ne mettant aucun empressement à initier et enseigner les jeunes – chacun pour soi ! – ceux-ci ne peuvent acquérir que fort lentement les connaissances qu'ils arrivent à posséder, tandis que, sous la direction d'un maître intelligent, faisant part à ses élèves-aviateurs de son expérience personnelle et de toute la partie des sciences maritimes qui peut leur servir dans la voie à laquelle ils se destinent, ceux-ci se verraient, à bref délai formidablement armés pour entreprendre la conquête de l'air.*<sup>605</sup>

Pour Desdemaines-Hugon, ce n'est pas auprès des vieux marins que les aviateurs pourront acquérir des connaissances mais auprès de jeunes officiers de marine prêts à transmettre les méthodes qu'ils ont eux-même acquises à l'École navale ou dans les écoles d'hydrographie.

Il répertorie et développe les éléments transférables de la marine à l'aviation en insistant sur les avantages de la marine à voile sur la marine à vapeur dans ce domaine. Il indique que le marin apprend sur un voilier à estimer et à anticiper les changements atmosphériques, qu'il y acquiert le « coup d'œil » pour estimer rapidement l'état de son navire, qu'il y développe son acuité visuelle. Et surtout, Desdemaines-Hugon relève que l'élève-aviateur pourrait tirer profit des connaissances du marin en matière d'orientation :

*Il en est de même pour la question, si importante en matière de navigation aérienne, de l'orientation. A bord d'un vapeur, depuis le moment du départ jusqu'à celui de l'arrivée, ou du moins jusqu'à ce qu'on ait doublé tel cap ou telle pointe, on est toujours « en route », et, en montant sur le point, les passagers eux-mêmes savent que le but est « droit devant », ce qui place le Nord et le Sud toujours dans la même direction par rapport à l'axe du navire. Tandis que, sur un voilier, la route suivie et la route à suivre étant, le plus souvent, deux choses différentes (par suite des vents contraires ou même des régions où il faut aller chercher certains vents favorables), il faut avoir les yeux sur la boussole ou sur les astres pour se rendre compte « comment on va » ; on est donc forcé de s'intéresser aux variations de l'une et à la marche des autres dans le ciel : deux sciences dont il est plus intéressant d'étudier les éléments sur le pont d'un navire que sur les bancs d'une école.*<sup>606</sup>

---

<sup>605</sup> Ibid.

<sup>606</sup> DESDEMAINES-HUGON E., *Op. Cit.*, pp. 170-171.

Le voilier étant tributaire du vent ne réussit pas forcément à suivre la route initialement prévue, ce qui n'est pas le cas pour un navire à moteur. La navigation à bord du navire à voile, à l'estime (avec utilisation du compas ou de la boussole) ou astronomique, est plus technique mais plus formatrice.

Desdemaines-Hugon propose deux étapes pour effectuer ce transfert de connaissances. Les écoles d'aviation pourraient tester les aptitudes à l'enseignement mais également au pilotage de jeunes officiers de marine ayant l'habitude de la marine à voile :

*Pour conclure d'une façon pratique, si l'aviation veut faire appel au concours de la marine, il faudrait d'abord qu'un constructeur prenne à l'essai, dans une de ses écoles, quelques jeunes officiers ayant l'habitude du navire à voiles, pour voir si ces marins manifestent, dès leurs débuts en aéroplane, des aptitudes supérieures à celles de la moyenne des sportsmen. Si réellement, ils se révèlent bon pilotes, il y a là, – sans parler de la réclame pour le constructeur intelligent qui aura, le premier, fait cette expérience, il y a là, dis-je une précieuse indication : sachant désormais que la marine à voile est, pour l'aviation, une excellente école préparatoire (...)*<sup>607</sup>

La première étape dans le transfert de connaissance serait d'initier les marins à l'aéronautique. Il semblerait ici que Desdemaines-Hugon anticipe des qualités de pilote chez les jeunes officiers de marine ce qui peut paraître un peu excessif.

La seconde étape qu'il envisage est une confrontation de l'aviateur à la navigation maritime. Il écrit que : « les clubs ou sociétés de navigation aérienne pourraient armer un voilier de 7 à 8000 tonnes à bord duquel les futurs aviateurs feraient un voyage dans d'excellentes conditions »<sup>608</sup>.

Les conceptions du capitaine au long cours ont semblé suffisamment intéressantes pour que la revue lui consacre quatre pages et sa une du 10 avril 1911. Les clubs ne l'ont semble-t-il pas suivi pour le projet d'armer un voilier, mais quelques officiers de marine avaient été autorisés à suivre les cours de l'École supérieure d'aéronautique dès novembre 1909 et ceux des écoles de pilotage de Vincennes ou de Chalons.

### *Les premiers marins brevetés*

Ainsi, les marins commencent à passer les brevets de pilote d'aéroplane de l'Aéro-Club de France en 1910 (voir tableau 13).

---

<sup>607</sup> DESDEMAINES-HUGON E., *Op. Cit.*, p. 171.

<sup>608</sup> *Ibid.*

| Nom                              | Grade en 1910 | Date et numéro de brevet de l'AéCF | Date et numéro de brevet militaire |
|----------------------------------|---------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Byasson Louis<br>(1870-1911)     | LV            | 9 août 1910, n°175.                |                                    |
| Lafon Charles<br>(1882-1953)     | EV            | 16 août 1910, n°194.               |                                    |
| Delage Paul<br>(1883-1946)       | EV            | 29 août 1910, n°219.               | 5 août 1911, n°24.                 |
| Devé Auguste<br>(1882-1916)      | EV            | 4 octobre 1910, n°243.             |                                    |
| Hautefeuille Jean<br>(1878-1941) | LV            | 4 octobre 1910, n°243.             |                                    |
| Conneau Jean<br>(1880-1937)      | EV            | 7 décembre 1910, n°322.            | 18 février 1911, n°4.              |

**Tableau 7 : Premiers pilote de la Marine formés en 1910 et ayant obtenu le brevet de pilote d'aéroplane de l'Aéro-Club de France.**<sup>609</sup>

Nous pouvons nous étonner de l'âge assez élevé pour certains des premiers brevetés. Un article paru en septembre 1910 dans la *Navigazette* répond à ce questionnement :

*La marine, après avoir hésité assez longtemps à utiliser les aéroplanes, s'est enfin décidée à s'intéresser à l'aviation. (...) Aujourd'hui c'est l'amiral Le Pord, président de la Commission d'aviation maritime, qui donne (...) son opinion sur l'aéroplane employé comme auxiliaire de notre flotte de guerre. (...)*

*L'amiral ajoute que, seuls, des officiers de marine ayant déjà assez navigué, pourront devenir des aviateurs maritimes, parce que leur accoutumance de la mer les préserve des erreurs si communes à ceux qui n'ont pas la longue pratique de l'observation des flots. En plus, ils sont habitués aux brises du large dont ils connaissent merveilleusement les variations subites et dangereuses. Enfin, seuls, ils peuvent désigner de suite la nationalité et la valeur d'un bateau.*<sup>610</sup>

Cette conception va dans le sens de la nécessité d'avoir d'abord des marins avant d'avoir des pilotes. Il est vrai que la flotte aérienne maritime est encore très restreinte (14 aéroplanes à la veille de la Première guerre mondiale). De plus, les qualités mises en avant pour faire un bon aviateur marin, selon l'amiral Jules Le Pord<sup>611</sup>, ne sont pas ses connaissances en navigation, mais ses capacités d'observateur (connaissance des vagues, reconnaissance des navires).

<sup>609</sup> Tableau construit à partir des informations de : Aéro-Club de France, *Mémorial des pionniers de l'aviation, 1909-1921*, Paris, ARDHAN, 1998.

<sup>610</sup> LESTONNAT R., « L'Aviation Navale », *Navigazette*, 1<sup>er</sup> septembre 1910, p. 1.

<sup>611</sup> Jules Le Pord (1851-1932).

La Marine avait déjà fait un pas vers l'aéronautique en autorisant en 1909 deux officiers, Jean Conneau<sup>612</sup> et Pierre Cayla<sup>613</sup> à suivre les cours de l'École supérieure d'aéronautique de novembre 1909 à juillet 1910, à son ouverture. À cette occasion, la presse souligne l'intérêt que pourraient retirer la marine et l'armée de terre de ce genre d'initiative.

*Le ministre de la marine a autorisé deux enseignes de vaisseau à suivre les cours de l'école d'aéronautique.*

*On ne peut que le féliciter de s'intéresser au progrès et si les aéroplanes donnent dans l'avenir les résultats qu'ils semblent promettre, il n'est pas douteux que la marine pourra les utiliser dans plus d'une circonstance. Il faut donc dès maintenant que quelques-uns de nos officiers de marine puissent se mettre au courant d'une science dont le développement rapide est surprenant. Cette désignation de deux jeunes officiers pour étudier l'aéronautique ne peut être qu'une indication et il y aura lieu d'aller plus loin. L'expérience d'officiers de marine plus anciens ne saurait manquer d'être utile même aux professeurs de pratique de la navigation aérienne. Celle-ci a bien des points communs avec la navigation ordinaire et aussi avec la navigation sous-marine. En bonne logique, on peut même s'étonner que l'armée de terre n'ait pas fait appel pour la conduite des dirigeables à l'expérience des officiers de marine. Question de bouton toujours !<sup>614</sup>*

L'auteur de l'article reconnaît les avantages que la marine peut retirer en envoyant de jeunes officiers se former à l'aéronautique. Mais il s'étonne qu'à l'inverse l'armée de terre ne cherche pas à utiliser les connaissances en navigation des officiers de marine chevronnés d'autant que seule l'armée de terre possède des dirigeables avant la Première guerre mondiale.

La Marine dispose ainsi en 1911 de sept officiers aviateurs dont deux ingénieurs en aéronautique. Parmi ces officiers, le lieutenant de vaisseau Louis Byasson tient une place particulière. En effet, il est à la fois le premier pilote aviateur de la Marine (affecté à l'école de pilotage de Vincennes en janvier 1910, il obtient son brevet en août après seulement 1h30 de leçons), mais aussi le premier marin à mourir aux commandes de son avion le 14 avril 1911 (sur le premier aéroplane de la Marine, un biplan Maurice Farman). Il avait été chargé de rechercher à Toulon un emplacement pour l'établissement d'un aérodrome pour la marine et était pressenti pour être mis à la tête d'une organisation de l'aviation maritime. Sa contribution

---

<sup>612</sup> Jean Louis Conneau (1880-1937), dit André Beaumont.

<sup>613</sup> Pierre Cayla (1880-1930). Il est le septième officier breveté pilote par l'AéCF, le 23 mars 1911, avec le n° 458, et le dix-septième breveté militaire le 19 juillet 1911.

<sup>614</sup> « La marine et l'aéronautique », *Ouest-Éclair*, 12 octobre 1909, p. 1.

à la navigation aérienne est intéressante, puisqu'il effectue des recherches sur l'utilisation des boussoles dans les voyages aériens et publie à ce titre quelques articles (voir paragraphe sur le compas)<sup>615</sup>.

Les officiers de Marine, tout comme les militaires des différentes armes (artillerie, infanterie, génie), sont encore formés dans des écoles civiles ou mixtes, mais la situation change. Ainsi en 1911, il y a quatre écoles qui forment exclusivement les militaires (Blériot à Pau, Breguet à Douai, Henri-Farman au camp de Chalons et Maurice-Farman à Toussus), auxquelles il faut ajouter les écoles mixtes des constructeurs et fournisseurs de l'armée qui forment les civils et les militaires (Henri-Farman, Blériot, Antoinette, Wright, Maurice-Farman, Sommer, Breguet, Voisin, Deperdussin, Rep.)<sup>616</sup>. Et, le 9 septembre 1913, l'inspection permanente de l'aéronautique militaire informe les constructeurs que les pilotes de l'armée seront exclusivement formés dans les écoles militaires à partir du 1er octobre 1914, selon une circulaire du ministre de la Guerre<sup>617</sup>.

## B) La navigation à l'estime

Le compas, associé à la carte, est l'élément de navigation à l'estime le plus présent dans les textes traitant de navigation aérienne avant la Première guerre mondiale. Il n'a pas été nécessaire d'attendre le début du XX<sup>e</sup> siècle pour que des scientifiques s'y intéressent, puisque l'astronome français Jules Janssen, présente son « compas aéronautique » à l'Académie des sciences en 1871. Mais, la seconde série de publications sur les compas aéronautiques date des années 1909-1911, période durant laquelle les inventeurs et les constructeurs déposent leurs premiers brevets<sup>618</sup>.

### 1) Le compas aéronautique à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle

Les militaires (Armée et Marine) ne sont pas les seuls à s'intéresser à l'aéronautique et à contribuer aux progrès dans le domaine de la navigation aérienne. Ce domaine de recherche, tant pour la navigation à l'estime que pour la navigation astronomique, intéresse quelques scientifiques, astronomes ou météorologistes, reconnus ou amateurs.

---

<sup>615</sup> Voir l'article <http://ecole.nav.traditions.free.fr/pdf/BYASSONLouis.pdf>, consulté le 13 août 2018.

<sup>616</sup> Voir la page [http://albindenis.free.fr/Site\\_escadrille/debut\\_aviation\\_militaire3.htm](http://albindenis.free.fr/Site_escadrille/debut_aviation_militaire3.htm), consulté le 13 août 2018.

<sup>617</sup> Voir la page [http://albindenis.free.fr/Site\\_escadrille/debut\\_aviation\\_militaire5.htm](http://albindenis.free.fr/Site_escadrille/debut_aviation_militaire5.htm), consulté le 13 août 2018.

<sup>618</sup> Voir le site [http://compassmuseum.com/aero/aero\\_f.htm](http://compassmuseum.com/aero/aero_f.htm), consulté le 13 août 2018.

Le scientifique français Jules Janssen<sup>619</sup> notamment connu comme le fondateur de l'astrophysique et réalisant de nombreuses missions scientifiques<sup>620</sup> travaille, dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, sur un compas lui permettant de se diriger en ballon.

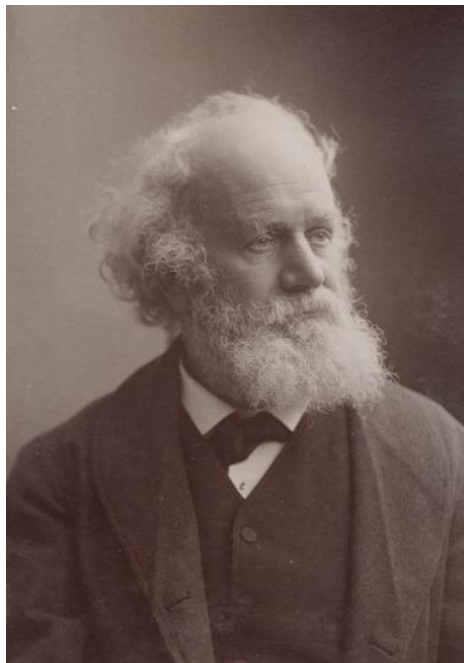


Figure 51 : Portrait de Jules Janssen.<sup>621</sup>

D'autres personnes, moins célèbres que Janssen apportent également leur contribution aux instruments de navigation. Ce sont des ingénieurs, des inventeurs, des marins qui imaginent et font même breveter leurs réalisations avec plus ou moins de succès.

Les personnes s'intéressant à la détermination de la route suivie par les ballons libres viennent d'horizons divers. Quelques-uns d'entre eux ont publié leurs recherches dans ce domaine. Nous savons déjà que Janssen est un astronome reconnu et que de Fonvielle est notamment un vulgarisateur scientifique. Si l'origine de Bourdin ne nous est pas connue, Alcide Boucarut<sup>622</sup> est quant à lui un officier de Marine remplissant les fonctions de commissaire au gouvernement en 1870.

---

<sup>619</sup> Jules Janssen (1824-1907).

<sup>620</sup> Voir articles de David Aubin et Charlotte Bigg ou Stéphane Le Gars et Laetitia Maison. AUBIN D. et BIGG C. « Neither Genius nor Context Incarnate: Norman Lockyer, Jules Janssen and the Astrophysical Self », *The History and Poetics of Scientific Biography*, ed. Thomas Söderqvist, Ashgate Publ, 2007, pp. 51-70. LE GARS S. et MAISON L., « Janssen, Rayet, Cornu : Trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890) », *Revue d'histoire des sciences*, 2006/1, Tome 59, p. 51-81. DOI 10.3917/rhs.591.0051.

<sup>621</sup> Photographie Atelier Nadar. Sur le site <https://gallica.bnf>.

<sup>622</sup> Alcide Boucarut (1825-1873).

Janssen quitte Paris assiégé, le 2 décembre 1870, à bord du « ballon monté »<sup>623</sup> le *Volta* afin d'aller observer une éclipse solaire le 22 décembre en Afrique du Nord. Il emporte à cette occasion des instruments scientifiques de sa conception dont un compas, mais il n'envoie une description de l'instrument à l'Académie des sciences qu'un an plus tard en février 1871 après l'armistice.

Janssen reconnaît ne pas avoir été le seul à faire des recherches sur la détermination de la route suivie par le ballon. Il écrit en réponse à M. Bourdin qui exprimait son « profond désappointement » à la lecture de la publication des travaux de Janssen alors que lui aussi avait imaginé un appareil :

*Il s'agit ici non d'une découverte scientifique, difficile et dès lors glorieuse, mais d'un service de pure pratique à rendre à l'aérostation. Plus il y aura de personnes s'occupant de la question, plus tôt elle sera résolue d'une manière commode et efficace.*

*Du reste, M. Bourdin n'a pas été seul à s'occuper de ce sujet. Quand j'ai présenté mon appareil à la Commission scientifique de Bordeaux, le 17 février, on m'a appris que M. Boucarut, capitaine de frégate, avait communiqué verbalement à quelques personnes, dès le mois d'octobre, l'idée d'un instrument reposant sur un principe semblable ; mais Boucarut n'avait rien publié. M. W. de Fonvielle a donné, en décembre dernier, dans le journal l'Aéronaute, la description d'un appareil qu'il nomme planchette aérienne, et qui conduit aussi à une première et intéressante solution de la question.*

*Il est donc évident que le problème de la détermination de la route suivie par le ballon, capitale pour l'aéronaute, avait préoccupé beaucoup de personnes, et je trouve regrettable que ces personnes n'aient pas cherché plus activement, et fait connaître au plus tôt un instrument, même imparfait, dont on aurait muni tous les ballons sortant de Paris ; on eût évité ainsi de bien regrettables malheurs.<sup>624</sup>*

Les malheurs auxquels se réfère Janssen sont probablement les deux disparitions en mer (sur les 66 ballons montés durant le siège) dues à l'absence de moyens efficace de navigation, le pilote, recruté dans la marine, n'ayant pas entamé la descente suffisamment tôt.

---

<sup>623</sup> Nom donné aux ballons emportant des passagers.

<sup>624</sup> JANSSEN J., « Sur le compas aéronautique », *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, séance du 13 mars 1871, T. 72, p. 291.



### *Le compas de Janssen*

L'instrument inventé par Janssen permet de donner à la fois la direction et la vitesse de l'aérostat dans une même observation dès que celui qui gère la navigation connaît la hauteur du ballon au-dessus de la terre, ce qui est possible grâce au baromètre et à l'utilisation de tables préparées à l'avance (voir figure 52). Janssen décrit son appareil de la manière suivante :

*Le compas consiste en une boîte cylindrique de métal, de 10 à 12 centimètres de diamètre et de hauteur. Le fond inférieur du cylindre est en verre ; deux bras s'élèvent de la partie supérieure de la boîte, et supportent à 28 ou 30 centimètres du fond et dans l'axe du cylindre, une petite plaque percée d'un trou. Ce trou, de quelques millimètres de diamètre, est un point de visée (...). Sur le fond de verre est tracée une série de circonférences, dont les rayons sont calculés pour être vus, du trou de visée, sous des angles croissant de 1, 2, 3, ..., 10 degrés. La plus grande de ces circonférences est divisée de 10 en 10 degrés, et porte les diamètres 0°-180°, 90°-270°, 45°-225°, 135°-315°. (...) Une aiguille aimantée est fixée sur le fond, un peu excentriquement, pour dégager la vue du centre ; elle se meut au-dessus d'une circonférence également gravée sur le verre (...).*<sup>625</sup>

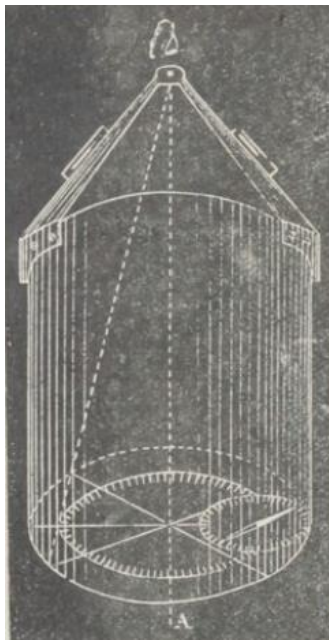


Figure 52 : « Compas aéronautique » de Janssen.<sup>626</sup>

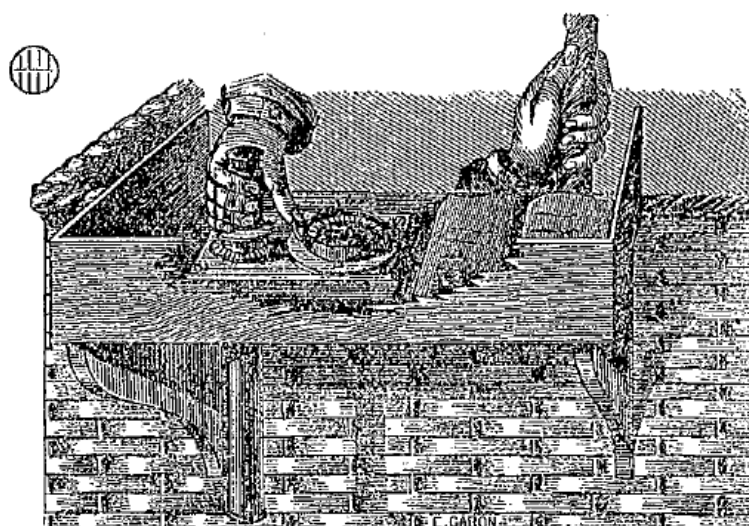
<sup>625</sup> JANSSEN J., « Compas aéronautique », *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, séance du 27 février 1871, T. 72, p. 222.

<sup>626</sup> *Ibid.*

Janssen poursuit par quelques explications sur le mode d'emploi de son appareil qui doit être tenu en dehors de la nacelle pour faire les observations au travers de l'œilleton.

*La « planchette aérienne » imaginée par de Fonvielle*

La « planchette aérienne » imaginée par de Fonvielle (voir figure 53), qui est « destinée à permettre la détermination rapide de la variation de la direction de la trajectoire pour savoir si l'aérostat s'approche ou s'éloigne du point vers lequel il se dirige »<sup>627</sup>, doit, elle aussi, être tenue à l'extérieur de la nacelle. Elle « se compose de deux parties essentiellement distinctes : une lunette verticale mobile dans une gorge et une boussole »<sup>628</sup>. La lunette « renferme un réticule composé d'un fil vertical et de trois fils perpendiculaires partageant le champ de la lunette en trois espaces angulaires d'un demi-degré chacun »<sup>629</sup>.



Planchette aérienne.  
Le réticule est représenté à gauche et en haut.

Figure 53 : Vue en perspective de la « planchette aérienne » imaginée par de Fonvielle.<sup>630</sup>

L'aéronaute devra évaluer le temps pour qu'un objet observé passe d'un fil à l'autre, ce qui lui permettra de déduire la vitesse du ballon. La boussole sert à déterminer la direction. Cet instrument nécessite, comme celui de Janssen, la connaissance préalable de la hauteur du ballon. Nous remarquons que cet appareil semble peu précis et même rudimentaire pour donner la direction d'autant que la déviation prise en compte n'est que théorique. De Fonvielle le reconnaît puisqu'il écrit :

<sup>627</sup> FONVIELLE (DE) W., « Planchette aérienne », *L'Aéronaute*, décembre 1870, p. 186.

<sup>628</sup> FONVIELLE (DE) W., *Op. Cit.*, p. 185.

<sup>629</sup> *Ibid.*

<sup>630</sup> *Ibid.*

*Si on connaît la déviation, on en déduit l'azimut de la trajectoire.*

*Il est vrai qu'une certaine incertitude affecte cet élément essentiel qui semble varier avec l'altitude, mais ne semble point varier avec une vitesse comparable à celle de la variation de direction des courants aériens eux-mêmes.*<sup>631</sup>

De Fonvielle évoque ici le problème qui s'est déjà présenté dans l'utilisation du compas de marine à savoir la prise en compte sa variation (voir chapitre 3). Ce problème devra être résolu si les concepteurs de compas veulent faire accepter leurs instruments aux aéronautes. De Fonvielle présente une collection d'instruments destinés aux observations scientifiques lors des voyages en ballon à l'exposition universelle de Londres en 1871. Dans la liste des appareils et instruments ne figure pas la planchette aérienne qui n'a peut-être pas été construite. Y figure, en revanche :

*3° une boussole portative ou compas aéronautique pour montrer l'azimut de la projection du chemin parcouru et pour estimer approximativement la vitesse du mouvement ; \_ 4° un cadran solaire horizontal pour faire reconnaître immédiatement le mouvement rotatoire de l'aérostat et en déterminer la vitesse, appareil indispensable pour éviter les girations continues et choisir le bon moment pour faire marcher les appareils photographiques instantanés(...) ; \_ 13° une boussole à main avec un cadran disposé pour récolter la plus grande somme possible de lumière.*<sup>632</sup>

#### *Autres compas*

L'instrument proposé par Bourdin, composé d'une lunette ordinaire « coupée perpendiculairement à son axe »<sup>633</sup> ne donne pas la direction de l'aérostat mais uniquement sa vitesse. D'ailleurs, c'est également la fonction principale des deux autres appareils que nous venons de présenter, ce qui les rapproche plus du loch marin que du compas.

Le sujet a probablement continué à intéresser quelques inventeurs, mais les traces sont rares. L'inventeur français du ballon-sonde Gustave Hermite<sup>634</sup> communique à l'Académie des sciences les résultats de son ascension, avec Maurice Farman, des 16-17 septembre 1899. Il précise que lors du voyage de quinze heures huit minutes sur une distance de 655 kilomètres, « ils ont suivi exactement la direction qui leur avait été indiquée, le matin même de leur départ, par le Bureau central météorologique »<sup>635</sup>. Pour ce faire, il indique avoir utilisé un appareil qu'il

---

<sup>631</sup> *Ibid.*

<sup>632</sup> « Exposition internationale, Londres 1871 », *Rapports de la commission française*, 1872, p. 163. Le compas aéronautique présenté par de Fonvielle est probablement celui conçu par Janssen.

<sup>633</sup> *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, séance du 6 mars 1871, T. 72, p. 256.

<sup>634</sup> Gustave Hermite (1863-1914).

<sup>635</sup> *Le Génie Civil*, 14 octobre 1899, p. 398.

a nommé « *indicateur de direction*, en raison des services qu'il peut rendre à l'aéronaute égaré dans l'atmosphère, en lui permettant de connaître, même au milieu des nuages les plus épais, la direction que suit son aérostat »<sup>636</sup>.

## 2) Les premiers « marins du ciel »

Quelques marins font part de leurs connaissances en matière de navigation et en proposent des interprétations en termes de navigation aérienne à partir de 1909.

Les engins de locomotion aérienne ont, en effet, atteint un degré de perfectionnement suffisant pour que les pilotes s'intéressent à une navigation à l'estime plus raisonnée. Par ailleurs, des marins se « passionnent » pour ce sport, ou envisagent son avenir commercial et militaire, et veulent lui appliquer leurs connaissances.

Le problème de la fiabilité des boussoles apparaît dans un article rédigé par « Sailor »<sup>637</sup> sur les moyens de se rendre d'un point à un autre en luttant contre le vent. L'auteur écrit notamment que « le seul moyen de suivre entre deux points quelconques une route est de se servir d'une boussole ou comme l'on dit en marine d'un compas »<sup>638</sup> en tenant compte de la variation (déclinaison et déviation) de l'instrument. Mais il regrette que « tous les aviateurs se plaignent des indications fantaisistes données par leurs boussoles »<sup>639</sup>. Selon lui, il est assez aisé, à l'instar de ce qui a été réussi pour les navires maritimes, de contrer les perturbations engendrées par les masses de fer sur les navires aériens :

*Il suffirait d'accepter l'augmentation de poids qui en résulterait, augmentation assez faible en valeur absolue, car les masses d'acier des avions et dirigeables actuels sont peu considérables.*<sup>640</sup>

L'auteur propose de se tourner éventuellement vers un nouveau procédé :

*On a proposé de remplacer les compas par d'autres appareils, principalement des gyroscopes ; mais il semble qu'il ne faille guère compter sur ces appareils qui ne sont pas assez simples. Le seul appareil qui ait jusqu'ici donné de bons résultats est la boussole électro-magnétique Dunoyer ; mais son emploi ne paraît pas facile sur les avions actuels.*<sup>641</sup>

---

<sup>636</sup> *Le Génie Civil*, 17 février 1900, p. 254.

<sup>637</sup> Il s'agit probablement d'un marin, mais nous n'avons aucune précision sur son origine ni son intérêt pour l'aéronautique.

<sup>638</sup> SAILOR, « Quelques questions de navigation aérienne. La Boussole et les cartes en Aéronavigation », *L'Aérophile*, 15 juillet 1910, p. 326.

<sup>639</sup> *Ibid.*

<sup>640</sup> *Ibid.*

<sup>641</sup> SAILOR, *Op. Cit.*, p. 327.

Il fait référence à un appareil que Louis Dunoyer<sup>642</sup>, un physicien français, a imaginé pour sa thèse de doctorat ès sciences physiques qu'il soutient en 1909, intitulée *Études sur les compas de marine et leurs méthodes de compensation. Un nouveau compas électromagnétique*<sup>643</sup>. Ce compas n'a apparemment pas été utilisé par les aéronautes et les aviateurs français avant-guerre<sup>644</sup>.

Le problème de l'incidence des métaux sur la boussole est présent également dans un article de l'ancien officier de vaisseau J. Legrand publié en septembre 1910 dans *La Revue Aérienne*. L'auteur veut faire bénéficier aux pilotes d'aéroplane de ses connaissances en navigation maritime en les adaptant à la navigation aérienne. Il considère cependant que la compensation par ajout de nouvelles masses aimantées n'est pas indispensable. « Dans tous les cas, un compas non compensé, mais suffisamment dirigé, permet de garder un cap déterminé, ce qui est notre problème fondamental »<sup>645</sup>. Il préconise pour cela d'établir la variation du compas. L'auteur conclue son article en prévoyant la nécessité du métier de navigateur aérien :

*En résumé, dès qu'on voudra tenter autre chose que des étapes de deux heures, la question de navigation prendra une telle importance que le même homme ne pourra assumer à la fois le service des gouvernails et de la lutte contre le vent et le service de la route. Le futur aéroplane à grand rayon d'action aura un observateur navigateur et deux hommes pouvant alterner entre la barre et la conduite du moteur.*<sup>646</sup>

### 3) Les compas de 1909 à 1912

Les années 1909-1912 sont riches pour l'aéronautique tant au niveau des exploits sportifs et techniques que de l'organisation de l'aéronautique militaire. La Manche est ainsi traversée pour la première fois par un avion et un dirigeable militaire. En effet, l'avionneur et pilote Louis Blériot<sup>647</sup> relie Sangatte, près de Calais, à Douvres (38 km) le 25 juillet 1909 sur un biplan *Blériot XI*. La traversée de la Manche est également réalisée, depuis Breuil dans l'Oise jusqu'à Londres (390 km), par le dirigeable souple, le *Clément-Bayard II*, le 16 octobre 1910. Les performances du dirigeable sont reconnues par le ministère de la Guerre qui passe commande de plusieurs machines semblables<sup>648</sup>.

---

<sup>642</sup> Louis Dunoyer de Segonzac (1880-1963).

<sup>643</sup> DUNOYER L., *Études sur les compas de marine et leurs méthodes de compensation. Un nouveau compas électromagnétique*, Gauthier-Villars, 1909.

<sup>644</sup> Il semblerait que Lindbergh ait utilisé un compas de ce type lors de sa traversée de l'Atlantique Nord en 1927.

<sup>645</sup> LEGRAND J., « Procédés de navigation », *La Revue aérienne*, 25 septembre 1910, p. 539.

<sup>646</sup> LEGRAND J., *Op. Cit.*, p. 540.

<sup>647</sup> Louis Blériot (1872-1936).

<sup>648</sup> HARTMANN G., « Clément-Bayard, sans peur et sans reproche (suite et fin) », p. 6, sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

Le ministère de la Guerre avait également passé commande de plusieurs avions l'année précédente, suite à la Semaine de Champagne en août 1909<sup>649</sup>. Cette commande marque la naissance de l'aviation militaire, qui va bénéficier d'importants efforts du ministère de la Guerre<sup>650</sup>. De même, 1910 est considérée comme l'année de naissance de l'aéronautique maritime.

Cette période est également propice à l'invention de compas adaptés à la navigation aérienne. La « boussole aéronautique du comte de Fayolle » fabriquée en 1909 et la « boussole Daloz » inventée en 1910 sont représentatives des recherches de cette nouvelle période de construction de boussoles aériennes, mais plusieurs sociétés d'instruments scientifiques commercialisent également leurs propres compas aériens.

### *La boussole du Comte de Fayolle (1909)*

Le comte Félix de Fayolle explique pour quelles raisons il a entrepris la fabrication d'une telle boussole (voir figure 54) :

*Dans mes voyages aériens, j'ai souvent regretté, dans le matériel du ballonnier, l'absence d'une boussole pratique. Pour lire facilement à chaque instant sa route du haut de la nacelle, il faut pouvoir faire coïncider exactement les renseignements donnés :*

- 1° Par aiguille aimantée ;*
- 2° Par le sol (routes, rivières, bordure de champs, etc.) ;*
- 3° Par la carte.<sup>651</sup>*

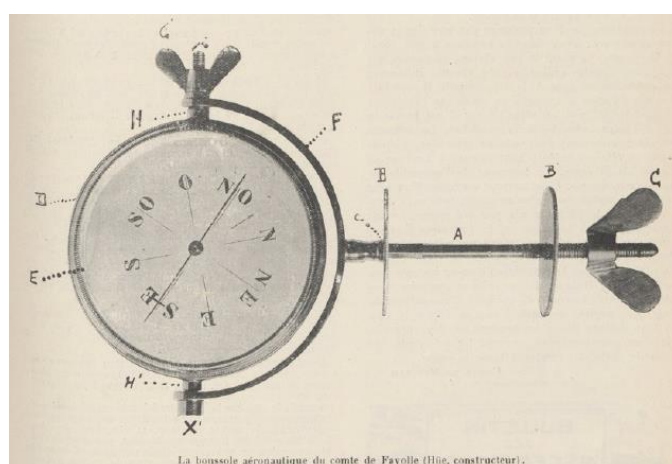


**Figure 54 : Boussole de Fayolle.**<sup>652</sup>

<sup>649</sup> CHAMBE R., *Histoire de l'aviation*, Flammarion, 1949, p. 174.

<sup>650</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 178.

<sup>651</sup> FAYOLLE (DE) F., « Boussole spéciale pour Aéronautes », *L'Aérophile*, mai 1909, p. 229.

<sup>652</sup> *Ibid.*

Il fait donc construire, par la maison Hüe<sup>653</sup>, un dispositif, de 16 cm, constitué d'une boussole transparente montée sur une tige métallique qui peut se fixer à l'extérieur de la nacelle. Comme la direction suivie par l'aérostat « est donnée par le bout du guide-rope qui suit une ligne naturelle du sol ou bien forme avec cette dernière un angle facilement appréciable »<sup>654</sup>, il suffit de faire coïncider cette direction avec la ligne correspondante de la rose des vents gravée sur la boussole.

La boussole imaginée par le comte de Fayolle est ingénieuse mais reste rudimentaire comparée aux compas utilisés dans la marine. Il ne se préoccupe aucunement du problème des réglages à lui apporter, les masses métalliques à bord du ballon n'ayant visiblement que peu d'action sur le fonctionnement de l'appareil.

Le comte de Fayolle a imaginé un dispositif, proche d'une boussole de marche, répondant au problème de la détermination de la route suivie par son ballon libre alors que Gaston Daloz a travaillé sur la même question mais pour les avions.

#### *La boussole Daloz (1910)*

Le problème de la compensation du compas n'est pas non plus forcément la priorité de Daloz :

*Les marins ont étudié à fond la question : et, à part celle de la dérive, qui seule m'occupe ici, je suppose les autres questions résolues, en me basant sur ce que l'installation d'une boussole à bord d'un sous-marin présentait au moins autant de difficultés que son installation à bord d'un avion.*<sup>655</sup>

Daloz fait breveter le 25 août 1910 « un système permettant d'observer le défilement du sol sous l'avion au travers de la rose transparente (feuille de mica) d'un compas équipé d'une aiguille d'aluminium orientée sur l'axe (le cap) de déplacement »<sup>656</sup>. Son but est de concevoir un appareil permettant à l'aviateur d'estimer sa dérive comme « pour estimer sa dérive, le marin constate l'angle que fait le sillage avec l'axe de son navire »<sup>657</sup>. Il publie deux articles aux contenus très proches dans *La Revue Aérienne* du 25 novembre 1910 et dans *L'Aérophile* du 1<sup>er</sup> décembre 1910, articles repris par des journaux plus généralistes dans les semaines qui

---

<sup>653</sup> La maison Hüe, fondée en 1865, est spécialisée dans la construction d'instruments scientifiques (baromètres, thermomètres, manomètres, etc.).

<sup>654</sup> *Ibid.* Le « guide-rope » est un long cordage qui traîne au sol depuis la nacelle du ballon.

<sup>655</sup> DALOZ G., « Boussole aérienne G. Daloz », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> décembre 1910, p. 532.

<sup>656</sup> [http://compassmuseum.com/aero/aero\\_f.htm#DALOZ](http://compassmuseum.com/aero/aero_f.htm#DALOZ), consulté le 13 août 2018. Doignon dépose un brevet en 1911 pour un compas sec ou liquide qui est un perfectionnement du brevet d'inventions de Daloz.

<sup>657</sup> DALOZ G., *Op. Cit.*, p. 531.

suivent<sup>658</sup>. L'auteur explique notamment l'utilisation de la boussole sur un trajet Paris-Bordeaux :

*Le pilote devra : 1° Chercher sur la carte ou sur une table accompagnant la boussole l'angle que fait la ligne qui joint Paris à Bordeaux le méridien géographique du point où il se trouve. Cet angle connu, il tracera, sur le sol et sur une longueur de deux mètres environ, une ligne qui fera avec le méridien du lieu l'angle préalablement déterminé, dit angle de route. (A cet effet, il serait à souhaiter que sur tous les aérodromes la méridienne fut rigoureusement tracée.)*

*2° Il amènera son aéroplane au-dessus de la ligne ainsi tracée, et, regardant à travers sa boussole, il verra, sur la lentille qui agit ici comme un viseur clair d'appareil photographique, l'image du terrain et de la ligne tracée. Alors à l'aide du bouton moleté, il tournera le disque de façon à ce que les traits gravés deviennent rigoureusement parallèles à l'image de la ligne du sol. Une fois ce parallélisme obtenu, il peut partir, sûr de garder sa route, à l'unique condition qu'il gouvernera de façon à voir tous les points de l'image du sol défiler rigoureusement parallèles aux lignes gravées sur le disque de mica. A chaque variation du vent, le pilote verra ce parallélisme disparaître : il gouvernera pour le ramener.*

*(...) Si tout est invariablement placé à bord et qu'enfin le moteur soit en marche, la direction que prendra l'aiguille aimantée sera la résultante de toutes les actions magnétiques terrestres et de toutes celles dues aux masses magnétiques du navire. Cette direction restera donc invariable durant le trajet, et les lignes du disque de mica auront bien la direction de la ligne fictive que nous avons supposée tracée entre le point de départ et le point d'arrivée.*<sup>659</sup>

---

<sup>658</sup> *Le Radical* 2 décembre 1910, *L'Univers* 10 décembre 1910, *Le Journal* 26 décembre 1910, *Le Génie Civil* 11 février 1911.

<sup>659</sup> DALOZ G., *Op. Cit.*, p. 532.



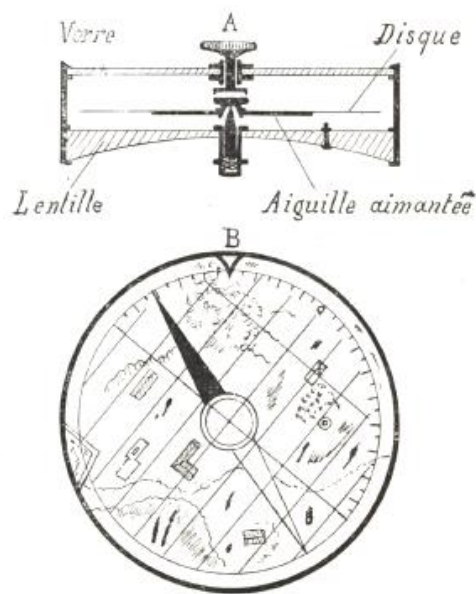


Figure 55 : Schéma de la boussole aérienne G. Daloz. En haut, vue en coupe. En bas vue en plan.<sup>660</sup>

La détermination de la « vitesse efficace » est obtenue au travers de cet appareil exactement de la même manière qu’au travers du compas aérien de Janssen car « en plus du système de traits parallèles, on a tracé sur le disque de mica deux traits perpendiculaires aux premiers »<sup>661</sup>. Daloz propose, en plus de la boussole (voir figure 55), un compas (voir figure 56) permettant de déterminer la grandeur et la direction du vent :

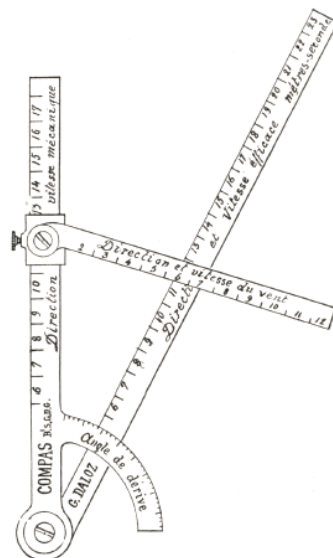


Figure 56 : Compas du navire aérien. Une face est graduée en mètres par seconde, l'autre en kilomètres par heure.<sup>662</sup>

<sup>660</sup> DALOZ G., *Op. Cit.*, p. 531.

<sup>661</sup> DALOZ G., *Op. Cit.*, p. 533.

<sup>662</sup> *Ibid.*

Abel-Louis Doignon<sup>663</sup> perfectionne le dispositif dès le mois de mai 1911 après avoir déposé un nouveau brevet relatif à l'amortissement liquide et au réglage rapide (voir figure 57), mais nous ne savons pas encore à partir de quelle date son entreprise vend elle-même des compas aériens.

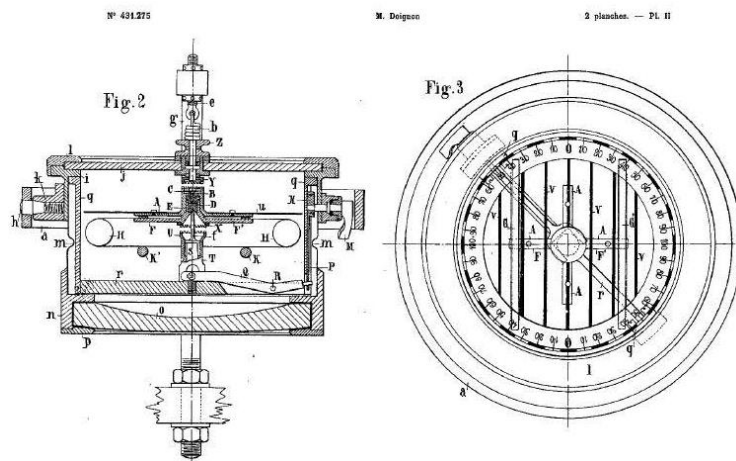


Figure 57 : Boussole Daloz perfectionnée par Doignon.<sup>664</sup>

L'appareil imaginé par Daloz semble peu pratique car il ne donne qu'une direction définie au départ. Il faut donc le coupler à une boussole basique pour obtenir la direction de l'aéronef durant le vol. Il a cependant la particularité d'avoir été construit et commercialisé comme l'indique la publicité ci-dessous (voir figure 58), à destination des pilotes d'aéroplane :

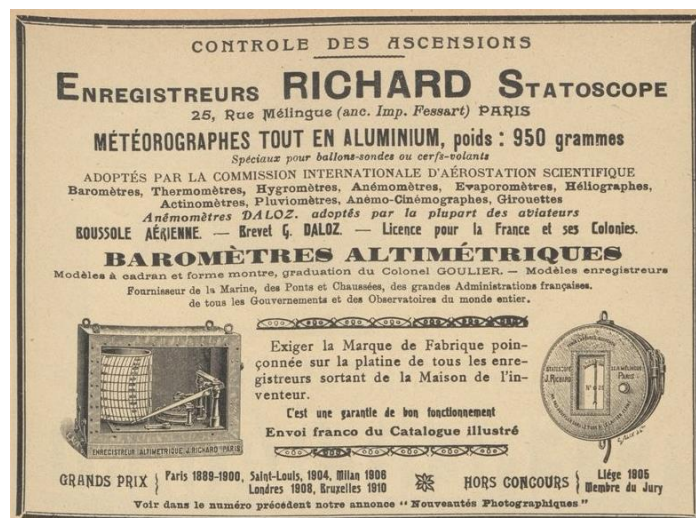


Figure 58 : Publicité pour des instruments de navigation aérienne commercialisés par la maison Richard.<sup>665</sup>

<sup>663</sup> Abel-Louis Doignon (1859-1929). L'entreprise Doignon s'est d'abord spécialisée dans le matériel d'armement (instruments de mesure des canons) à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle avant de proposer des compas (marins, militaires, aériens). [http://www.compassmuseum.com/hand/hand\\_f2.htm#DOIGNON](http://www.compassmuseum.com/hand/hand_f2.htm#DOIGNON), consulté le 13 août 2018.

<sup>664</sup> [http://www.compassmuseum.com/aero/aero\\_f.htm#DALOZ](http://www.compassmuseum.com/aero/aero_f.htm#DALOZ), consulté le 13 août 2018.

<sup>665</sup> *L'Aérophile*, 1er janvier 1912, p. V. Les publicités pour ce système sont présentes dans la revue à partir de janvier 1912 jusqu'en 1915.

La maison Richard Frères, fondée à Paris en 1845 par Félix Richard pour commercialiser un baromètre métallique, devient la maison Jules Richard lorsque son fils Jules<sup>666</sup> lui succède en 1871. La boussole Daloz fait partie des nombreux instruments scientifiques de précision, principalement des enregistreurs, au catalogue de cette maison<sup>667</sup>.

### *L'« anémo-boussole » de Baron*

La question de la direction suivie par l'aéroplane intéresse également l'ingénieur Auguste Baron<sup>668</sup>. Celui-ci crée et fait breveter l'« anémo-boussole » afin de « permettre au pilote d'un aéroplane de se diriger dans l'air comme un capitaine de navire sur l'eau »<sup>669</sup>. En effet, il croit en l'avenir du tourisme aérien dès lors que l'aviateur sera capable de se diriger dans des contrées qu'il ne connaît pas. Il écrit :

*L'aéroplane, instrument des déplacements rapides, futur maître des vastes espaces de l'air, est appelé à monopoliser dans l'avenir le tourisme aérien ; mais pour que son emploi se vulgarise et devienne possible dans tous les pays où il est assuré de rendre des services, il faut lui adjoindre un système de direction automatique qui empêche de s'égarer dans ses randonnées au milieu des contrées dont la topographie est peu connue.*<sup>670</sup>

Baron destine d'abord son appareil au tourisme aérien mais également aux vols militaires ou marchands. Il prévoit les difficultés de navigation dans les colonies :

*L'établissement de courriers postaux et militaires dans nos colonies, la traversée du Sahara et tant d'autres applications de cet engin de déplacement rapide ne seront possibles que si les machines volantes sont munies chacune d'un dispositif leur indiquant mathématiquement leur route, sans qu'elles puissent en dévier et sans s'astreindre à l'examen continu du terrain parcouru.*<sup>671</sup>

Les capacités des aéroplanes en termes de distance et de sécurité ne permettent pas encore de se rendre dans les contrées lointaines lorsque Baron écrit l'article en 1910, mais il présente un des enjeux majeurs de la navigation aérienne, à savoir se diriger sans regarder continuellement le sol (voir chapitres 6 et 7).

---

<sup>666</sup> Jules Richard (1848-1930).

<sup>667</sup> LAGUÈS M., BEAUDOUIN D., CHAPOUTIER G., *L'invention de la mémoire. Écrire, enregistrer, numériser*. Paris, CNRS éditions, 2017.

<sup>668</sup> Auguste Baron (1855-1938).

<sup>669</sup> BARON A., « De la direction automatique des engins volants dans l'espace et de l'« Anémo-Boussole » », *La Revue Aérienne*, 10 décembre 1910, p. 678.

<sup>670</sup> BARON A., *Op. Cit.*, p. 677.

<sup>671</sup> *Ibid.*

Son appareil est destiné à remplacer à la fois la boussole, le sextant et le loch du marin pour le pilote d'aéroplane.

*Cet appareil est basé sur la réaction de l'air déplacé par la vitesse de translation de la machine volante, sur un moulinet d'anémomètre, commandant un train d'engrenages entraînant une carte d'un mouvement continu, proportionnel à la marche de la machine dans l'espace.*

*Un index, convenablement disposé indique à tous moments au pilote sa situation au-dessus de tel ou tel point de sa route, et une boussole, munie d'un style spécial, sa direction continue ; ce qui permet au pilote de se rendre d'un point à un autre par la ligne mathématiquement la plus courte, soit de jour soit de nuit, sans crainte de dérivation ou d'erreur dans son estimation.*<sup>672</sup>

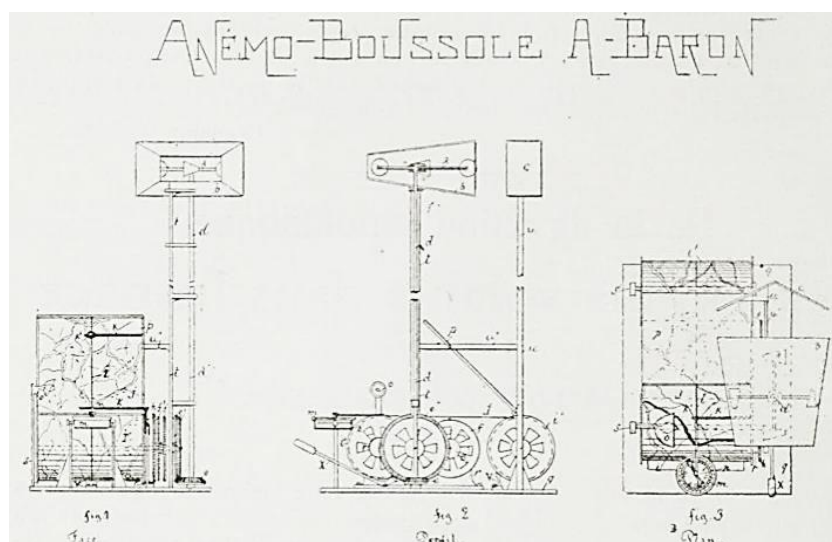


Figure 59 : Schéma de l'appareil imaginé par Baron.<sup>673</sup>

Baron décrit la méthode à suivre pour utiliser son appareil. Selon lui :

*Tout pilote, aussi inexpérimenté qu'il soit au point de vue d'une carte, peut être certain de suivre mathématiquement sa route sans dévier à droite ou à gauche et d'arriver sûrement au point désiré par le plus court chemin et par conséquent dans le moins de temps possible.*<sup>674</sup>

Les informations obtenues par cet appareil sont intéressantes mais entachées d'une certaine approximation car la détermination de la hauteur de l'aéroplane est imprécise, comme

<sup>672</sup> BARON A., *Op. Cit.*, p. 678.

<sup>673</sup> *Ibid.*

<sup>674</sup> BARON A., *Op. Cit.*, p. 680.

le commente Georges Prade dans la rubrique « la vie sportive » de la revue *Le Journal* où il écrit :

*Il est probable que dans la pratique il y aurait une certaine approximation car l'altitude invariable sera bien difficile à conserver, mais ce curieux appareil, qui remplacerait en somme le « loch » des navigateurs combiné avec la boussole, sous le nom d'anémo-boussole, nous a paru devoir être signalé à tous ceux qu'intéresse le progrès aérien.*<sup>675</sup>

Nous n'avons pas trouvé de trace de commercialisation du dispositif imaginé par Baron, en revanche quelques entreprises françaises vendent d'autres compas aériens pour les ballons libres, les dirigeables ou les avions à partir de 1910.

#### *Des compas aériens commercialisés par les entreprises françaises*

Deux types d'entreprises proposent des compas aéronautiques, les unes ayant débuté leur activité en commercialisant des baromètres et des enregistreurs, les autres étant issues du monde de l'horlogerie et de l'optique.

Les maisons Hüe (voir figure 60) et Richard, comme nous l'avons déjà indiqué, appartiennent à la première catégorie. C'est également le cas de l'entreprise de Léon Maxant, anciennement Redier, qui propose, elle aussi, des boussoles pour l'aviation vers 1914, soit un peu plus tardivement que les maisons Hüe et Richard (voir figure 61).



Figure 60 : Publicité pour des instruments de navigation aérienne commercialisés par la maison Hüe.<sup>676</sup>

<sup>675</sup> PRADE G., « l'anémo-boussole », *Le Journal*, 28 novembre 1910, p. 6.

<sup>676</sup> *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> janvier 1912, p. VII.





Figure 61 : Publicité pour des instruments de navigation aérienne commercialisés par la maison Léon Maxant.<sup>677</sup>

Paul Bordé<sup>678</sup> se lance également dans la commercialisation de compas pour l'aéronautique vers 1912 (voir figure 62). Cet ingénieur opticien, qui est l'un des fournisseurs du ministère de la Guerre, invente plusieurs instruments de précision à destination de l'aéronautique militaire. Ces compas, qui sont destinés à être employés à bord d'un dirigeable<sup>679</sup>, ont la particularité d'être compensés, ce qui en rend l'utilisation plus aisée.

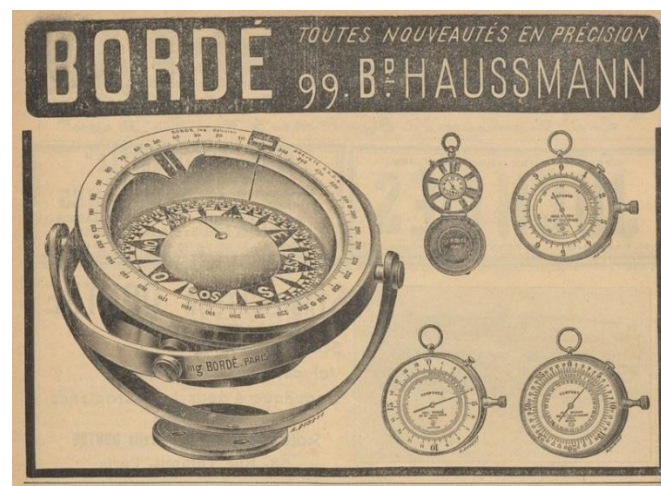


Figure 62 : Publicité pour des instruments de navigation aérienne commercialisés par la maison Bordé.<sup>680</sup>

<sup>677</sup> *L'Aérophile*, 1er janvier 1914, p. XI.

<sup>678</sup> Paul Bordé (1872-1913).

<sup>679</sup> [http://www.compassmuseum.com/aero/aero\\_f.htm#BORDE](http://www.compassmuseum.com/aero/aero_f.htm#BORDE), consulté le 13 août 2018.

<sup>680</sup> *L'Aérophile*, 1er janvier 1912, p. XIV. Maison fondée en 1856.

La société Vion fondée en 1832 par Th. Vion, pour construire et commercialiser des instruments d'optique, propose deux types de boussoles dans son catalogue de 1910 (voir figure 63). Elles mesurent entre 50 et 60 mm selon le modèle et sont à destination de l'aérostation et de l'aviation.

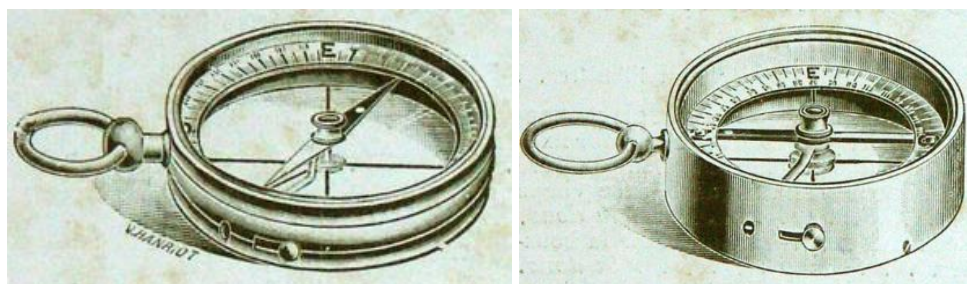


Figure 63 : Boussole pour l'aérostation et l'aviation de la société Vion.<sup>681</sup>

La société Henry-Lepaute, issue du monde de l'horlogerie<sup>682</sup>, fabrique des lentilles pour phares au XIX<sup>e</sup> siècle. Elle se diversifie en construisant divers instruments nautiques dont quelques compas pour l'aéronautique<sup>683</sup>. Elle fait notamment breveter un modèle de compas compensateur pour ballons dirigeables en 1910 (voir figure 64).

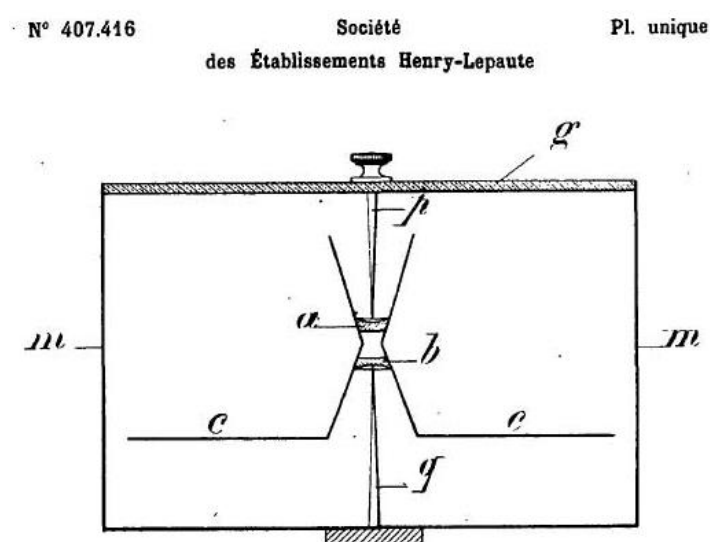


Figure 64 : Planche du brevet n°407.416 pour un compas compensateur pour la société des établissements Henry-Lepaute en 1910.<sup>684</sup>

<sup>681</sup> Catalogue Vion 1910 sur [http://www.compassmuseum.com/aero/aero\\_f.htm#AEROSTAT](http://www.compassmuseum.com/aero/aero_f.htm#AEROSTAT), consulté le 13 août 2018.

<sup>682</sup> Voir BOISTEL G., « De quelle précision a-t-on réellement besoin en mer ? Quelques aspects de la diffusion des méthodes de détermination astronomique et chronométrique des longitudes en mer en France, de Lacaille à Mouchez (1750-1880) », *Histoire & mesure*, volume XXI, n°2, 2006, p 139.

<sup>683</sup> ROUCH J., *Le compas de navigation aérienne*, Paris, Masson, 1921, p. 25.

<sup>684</sup> [http://www.compassmuseum.com/aero/aero\\_f2.html#LEPAUTE](http://www.compassmuseum.com/aero/aero_f2.html#LEPAUTE), consulté le 13 août 2018.

Les compas « monodep » (voir figure 65), construits dans les ateliers Deperdussin, selon le brevet de 1911 de Gaston Colombel ne rentre dans aucune des deux catégories (monde des baromètres et des enregistreurs ou monde de l'horlogerie et de l'optique). En effet, ils sont fabriqués par la société de l'avionneur Armand Deperdussin<sup>685</sup> qui en fait équiper quelques-uns de ses aéroplanes<sup>686</sup>.

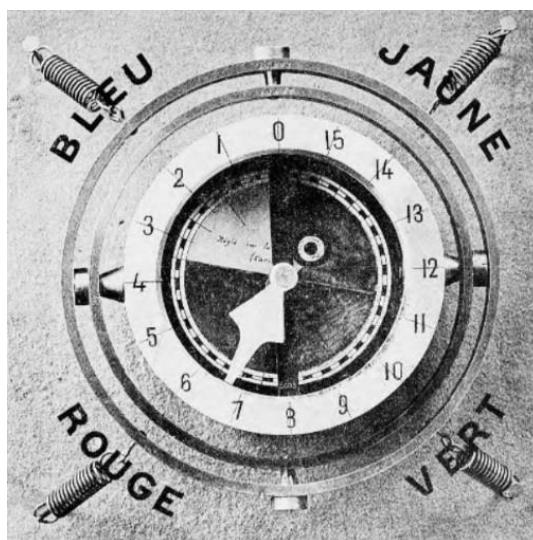


Figure 65 : Rose du compas Monodep (version 1911).<sup>687</sup>

Les compas ou boussoles sont finalement encore assez rudimentaires à cette époque et le pilote préfère souvent utiliser, lorsqu'il s'en sert, une simple boussole à main, pas toujours compensée, avec tous les inconvénients que cela peut comporter. Ce manque de connaissances sur l'utilisation correcte d'un compas par les pilotes d'aéroplanes est d'ailleurs relevé par le capitaine Georges Bellenger<sup>688</sup>.

#### 4) La direction en aéroplane en 1911

Le capitaine Georges Bellenger, officier d'artillerie et polytechnicien, s'intéresse à l'aviation après avoir fait ses armes dans l'aérostation<sup>689</sup>. Il vole en compagnie des premiers « marins du ciel » ce qui lui permet de comparer la technique du marin avec celle du pilote de l'armée de terre.

<sup>685</sup> Armand Deperdussin (1864-1924).

<sup>686</sup> [http://www.compassmuseum.com/aero/aero\\_f.htm#DEPERDUSSIN](http://www.compassmuseum.com/aero/aero_f.htm#DEPERDUSSIN), consulté le 13 août 2018.

<sup>687</sup> « Compas « Monodep » (brevet G. Colombel) et rose Roisin Deperdussin », *Bulletin de la Société de topographie*, janvier 1911, p. 189.

<sup>688</sup> Georges Bellenger (1878-1977).

<sup>689</sup> Brevet de l'AéCF en 1907 et brevet militaire en 1908 comme pilote d'aérostat puis brevet de pilote d'aéroplane de l'AéCF (n° 45) le 5 avril 1910.





Figure 66 : Georges Bellenger.<sup>690</sup>

Bellenger publie, en 1911, un article synthétique qui permet de dresser un état d'avancement précis des procédés de navigation à l'estime cette année-là, en considérant que l'aviation « est entrée dans la voie du tourisme aérien »<sup>691</sup>.

#### *La méthode maritime de Bellenger*

Bellenger distingue trois méthodes principales de diriger un aéroplane, bien que chaque pilote ait sa manière personnelle de se conduire.

La plupart des pilotes civils, sportifs ou touristes aériens, n'utilisent que très peu la carte et la boussole. Ils repèrent l'itinéraire en le parcourant en automobile en notant des points remarquables (églises, monuments, etc.) qu'ils rechercheront, l'un après l'autre, lorsqu'ils seront dans les airs. Cette méthode les oblige à voler bas pour reconnaître les repères et « la carte sert simplement à noter l'ordre dans lequel ils se présenteront »<sup>692</sup>.

Les pilotes de l'armée de terre, du génie ou de l'artillerie, utilisent différemment la carte « où ils suivent point par point leur itinéraire »<sup>693</sup>. Ils savent donc en théorie, à chaque instant, où ils se trouvent du moment qu'ils possèdent la carte de la région traversée et qu'ils peuvent vérifier leur itinéraire par des croisements de route qui sont leurs repères préférés. Bellenger

<sup>690</sup> Photographie Safara. CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 180.

<sup>691</sup> BELLENGER G., « La direction en aéroplane », *L'Aérophile*, 15 février 1911, p. 82.

<sup>692</sup> *Ibid.*

<sup>693</sup> *Ibid.*

note que cette méthode, qui ne nécessite pas l'utilisation d'une boussole, ne peut être appliquée, tout comme la précédente, que si le sol est visible. Mais il relève les particularités des vols militaires qui rendent la pratique du vol à vue suffisante :

*Cette obligation [de voir le sol] n'a pas gros inconvénient en matière militaire ; on vole pour reconnaître quelque chose à terre, et si on ne peut voir la terre, il n'y a plus lieu de voler, la reconnaissance devenant impossible.*<sup>694</sup>

Précisons à cette occasion que l'Armée se sert uniquement des avions pour l'observation lorsqu'ils ne sont pas utilisés pour un exploit sportif.

Bellenger s'attarde davantage sur la troisième méthode qu'il appelle « méthode maritime, parce que je l'ai vue employée jusqu'ici surtout par des marins »<sup>695</sup>. Il explique que :

*Avant de partir, le pilote mesure sur la carte, avec une grande précision, l'angle que devra marquer sa boussole pour que son avion soit orienté vers le point à atteindre ; puis il corrige de la dérive résultant du vent, en appréciant cette dérive par les girouettes et anémomètres. Il connaît alors le « cap » à tenir. Ensuite, le pilote examine les abords du point à atteindre, et cherche les points caractéristiques de ce terrain, en les prenant de préférence sur une ligne transversale à la direction suivie. Supposons une distance de 60 kilomètres à parcourir à la vitesse de 80 kilomètres à l'heure, l'appareil étant orienté à 127°30' du nord. Le pilote estime que, sa correction de dérive faite, il peut rester encore une erreur de 3 à 4 kilomètres à droite ou à gauche. Il étudie soigneusement une ligne transversale ayant environ 10 kilomètres de long et dont le milieu est formé par le point à atteindre. Puis, une fois parti, il s'occupe uniquement de maintenir son angle de 127°30' à la boussole, sans s'occuper des points où il passe pendant 40 minutes ; au bout de 40 minutes, il doit approcher de ses points de repère, il cherche à les reconnaître, et lorsqu'il en a identifié un, il gouverne en conséquence.*<sup>696</sup>

Une telle présentation de la « méthode maritime » prouve, comme nous l'avons déjà noté, que Bellenger a été en contact avec des marins, ce qui est corroboré par la suite de l'article. Il cite les mésaventures de l'enseigne de vaisseau Delage pour illustrer l'inconvénient qu'il a relevé dans cette troisième méthode :

*Elle a l'inconvénient que, si une cause quelconque a produit un écart supérieur aux vraisemblances prévues soit en direction, soit en vitesse, le pilote ignore*

---

<sup>694</sup> BELLENGER G., *Op. Cit.*, p. 83.

<sup>695</sup> BELLENGER G., *Op. Cit.*, p. 82.

<sup>696</sup> *Ibid.*

complètement où il se trouve. Comme exemple, je citerai le cas de mon camarade, l'enseigne de vaisseau Delage, qui étant monté au-dessus des nuages, à une allure imprévue ; (...) maintenu parfaitement orienté sur la ligne de Mourmelon à Vincennes avec une dérive très exactement estimée, s'est trouvé entraîné, une fois au-dessus des nuages à une allure imprévue ; en retraversant les nuages, il a pris terre à Rambouillet, ayant laissé loin derrière lui les repères qui devaient lui permettre l'entrée au port à Vincennes.<sup>697</sup>

Bellenger est convaincu :

*Que les aviateurs se serviront finalement d'une méthode mixte, résultant des deux dernières, la méthode militaire consistant à suivre sa route point par point sur une carte complète, tant que cela est possible, la méthode maritime consistant à marcher droit dans une orientation déterminée jusqu'à une transversale de repérage facile, lorsque le sol s'est dérobé momentanément à la vue.*<sup>698</sup>

Il a d'ailleurs lui-même pratiqué avec succès cette méthode mixte. Mais il doute que les aviateurs, surtout ceux qui ont connu les débuts de l'aviation, soient prêts à quitter le sol de vue sur de longues distances. Toutefois, nous pouvons imaginer qu'il a aidé à diffuser cette méthode mixte.

#### *Les méthodes de navigation aérienne du lieutenant de vaisseau Byasson*

Byasson publie également un article sur la navigation aérienne dans le même numéro de *l'Aérophile* de février 1911. Louis Byasson qui est, comme nous l'avons déjà noté, le premier marin breveté pilote d'aéroplane, s'est particulièrement intéressé à la navigation aérienne au compas. Il devait prendre le commandement de la première base aéronautique de la Marine à Toulon, mais il s'est tué accidentellement en entraînement en avril 1911. Le ministre de la Guerre prononce un discours où il met en valeur les qualités de navigateur de Byasson lors de ses obsèques :

*Le lieutenant de vaisseau Byasson apportait comme marin sa science profonde de la route. Il a cherché à se servir, dans ses reconnaissances, des courants atmosphériques. Il apportait aussi l'habituel et minutieux souci des soins qu'il faut apporter aux appareils auxquels on se fie. Byasson avait étudié, avec une attention scrupuleuse, les moyens propres à se diriger sûrement dans les airs, et nous laisse une remarquable étude sur l'utilisation du compas en aéroplane. Cette étude, il voulait la*

---

<sup>697</sup> BELLENGER G., *Op. Cit.*, p. 83.

<sup>698</sup> *Ibid.*

*compléter et l'expérimenter lui-même, au cours de longs voyages, et c'est au moment où il s'entraînait en vue de l'entreprendre qu'il a trouvé la mort.*<sup>699</sup>

Nous n'avons pas encore eu accès à l'étude publiée par Byasson, mais l'article de trois pages, publié dans *l'Aérophile*, nous donne un bon aperçu de ses résultats.

Il commence par déplorer que « de nombreux aviateurs semblent avoir une répugnance très marquée à employer le compas dans leurs navigations aériennes ou bien ils emploient parfois de petites boussoles tout à fait insuffisantes »<sup>700</sup>. Il explique succinctement les méthodes pour naviguer avec un compas mais il détaille les « opérations à effectuer pour déterminer la route du compas correspondant à une direction géographique quelconque »<sup>701</sup>.

Il explique qu'il n'est pas toujours simple de compenser le compas car cela « nécessite des dispositions spéciales et un supplément de poids »<sup>702</sup> alors qu'il est simple de dresser une table (voir figure 67) dont la construction est calquée sur celles utilisées sur les bateaux (voir chapitre 3) :

*Nous allons par un procédé très simple, dresser la table, indispensable au navigateur, des différences angulaires entre les directions géographiques et les caps indiqués par le compas quand l'appareil est placé dans ces directions.*

*Cette table nous donnera en même temps, pour chacune des directions que peut prendre l'aéroplane, la correction à faire au nombre de degrés d'une direction géographique quelconque pour avoir le nombre de degrés correspondant sur le compas.*

*Sur le sol de l'aérodrome, la direction du méridien géographique sera facilement déterminée à moins de un degré près. Cette ligne une fois tracée, la perpendiculaire donnera la direction E-O, puis les bissectrices les directions NE-SO, NO-SE, et ainsi de suite, autant de direction que l'on voudra.*

*L'aéroplane sera placé successivement (moteur en marche, même inclinaison que pendant le vol horizontal, organes de commandes à leur position moyenne, etc...), sur chacune des lignes tracées sur le sol et dirigé avec soin comme elles.*

*Pour chacune des positions occupées par l'appareil, on notera le cap au compas correspondant. On en déduira les différences avec la direction géographique*

---

<sup>699</sup> « Les obsèques du lieutenant Byasson », *Ouest-Eclair*, 20 avril 1911, p. 1.

<sup>700</sup> BYASSON L., « Notions simples sur l'aide apportée par l'usage du compas dans les Navigations aériennes au-dessus des terres », *L'Aérophile*, 15 février 1911, p. 88.

<sup>701</sup> BYASSON L., *Op. Cit.*, p. 89.

<sup>702</sup> *Ibid.*

considérée. Ceci fait on dressera un tableau analogue à la figure ci-jointe et que l'aviateur devra avoir toujours sous les yeux en même temps que la carte et le compas.<sup>703</sup>

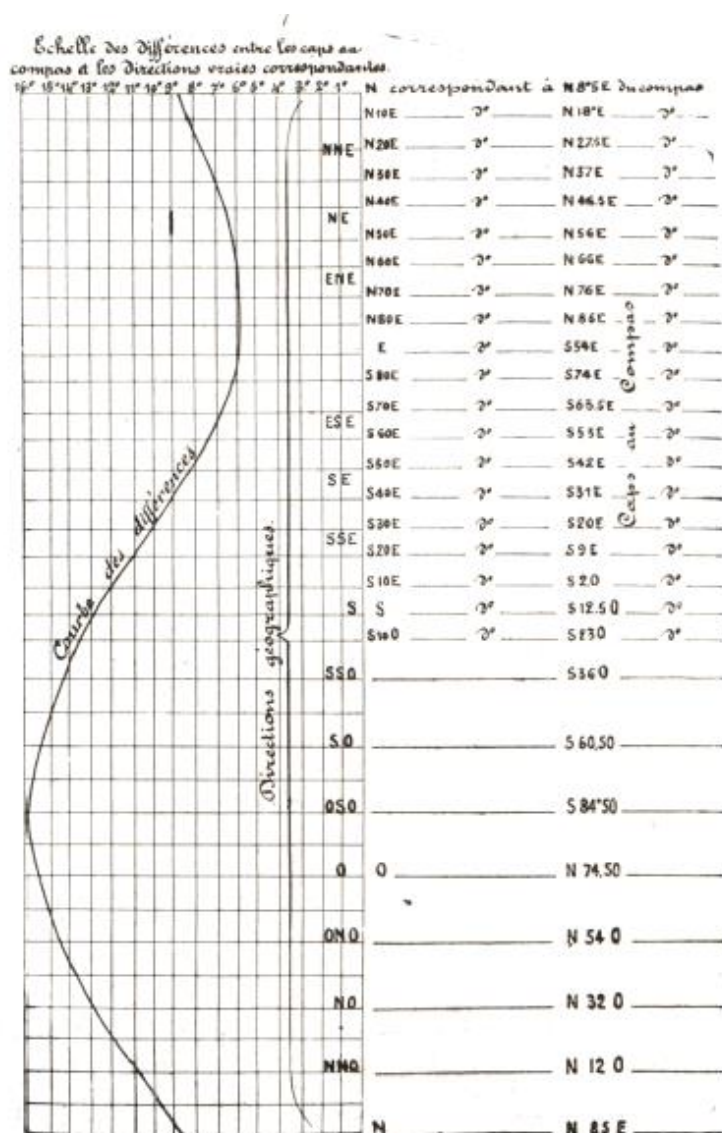


Figure 67 : Table de déviation et courbe de déviation correspondante proposée par Byasson en exemple.<sup>704</sup>

Byasson présente ici un procédé qu'il a appris à l'École navale en 1888 et qu'il a pratiqué lors de ses différentes affectations à bord de bâtiments jusqu'en 1910. Cette approche n'est pas très courante en 1910, quand les procédés de navigation aérienne sont dans une première phase d'élaboration.

Il propose également une méthode développée exclusivement pour la navigation aérienne : « méthode pour déterminer approximativement la vitesse par rapport aux campagnes

<sup>703</sup> Ibid.

<sup>704</sup> Ibid.

survolées »<sup>705</sup>. Il s'agit pour cela de fixer un triangle déformable « dans le plan de la surface supérieure horizontale du compas »<sup>706</sup> (voir figure 68). Byasson ne précise pas s'il s'agit d'un appareil de son invention, mais il est proche de celui qu'avait proposé Daloz.

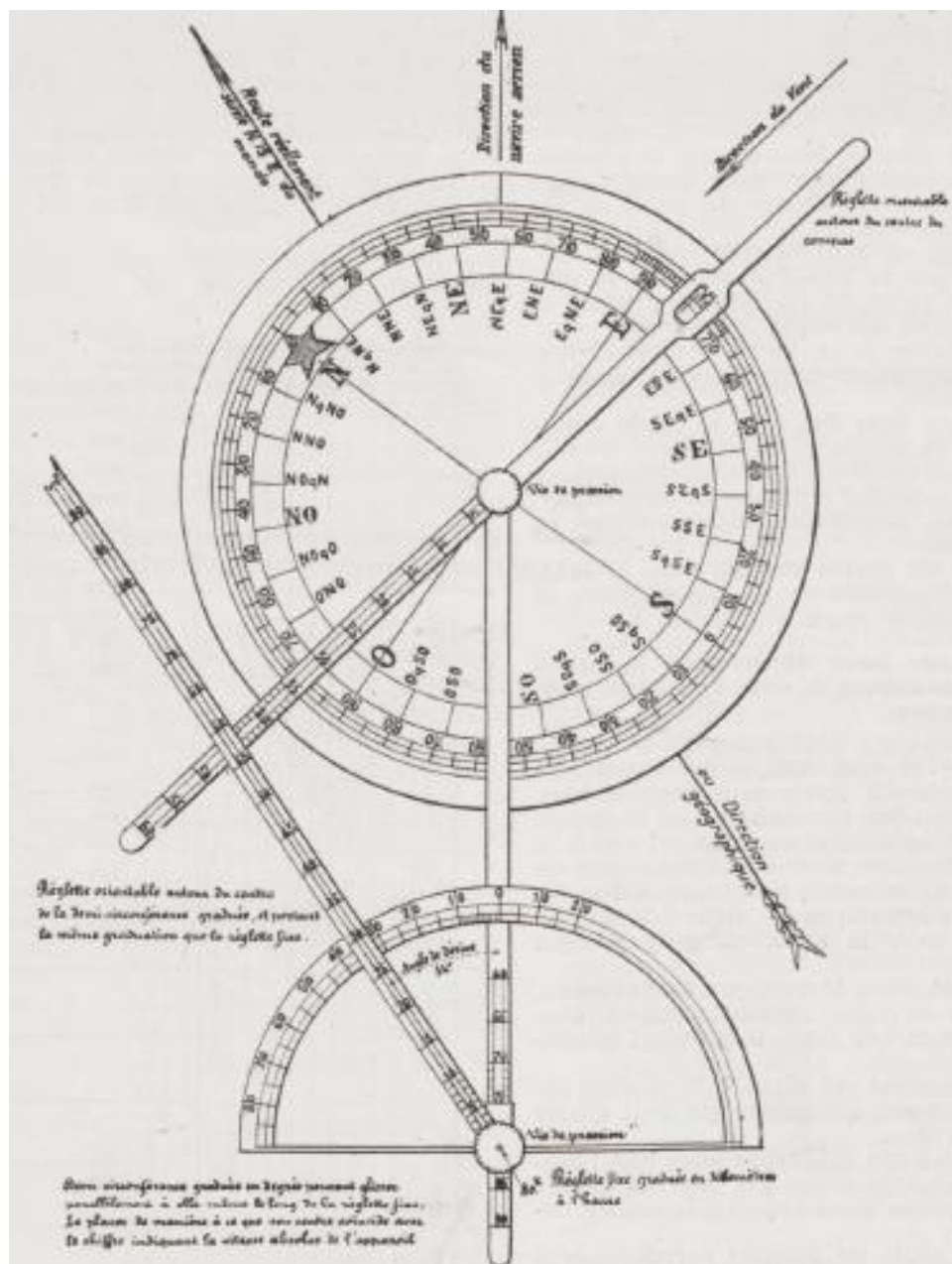


Figure 68 : Dispositif pour obtenir la vitesse par rapport aux campagnes survolées en aéroplane.<sup>707</sup>

Byasson n'est pas totalement satisfait de ce procédé qui est « loin d'avoir une précision mathématique »<sup>708</sup>, mais il est suffisant en l'état des performances des aéroplanes en 1911.

<sup>705</sup> BYASSON L., *Op. Cit.*, p. 90.

<sup>706</sup> *Ibid.*

<sup>707</sup> *Ibid.*

<sup>708</sup> BYASSON L., *Op. Cit.*, p. 91.

## 5) Les cartes utilisées en navigation aérienne

Tout comme pour le compas, les années 1909-1911 sont propices à une intense réflexion autour de la carte. Ainsi, un Congrès international réuni à la Sorbonne en 1909 émet le vœu d'établir rapidement des cartes spéciales pour l'aéronautique ce qui aboutit à la constitution d'une commission par l'Aéro-Club de France<sup>709</sup>.

Savoir utiliser une carte est une nécessité pour « un aéronaute sérieux et prudent »<sup>710</sup>. Marcel Baratoux<sup>711</sup> fait part, en mars 1909, de son expérience en indiquant quelles cartes il a utilisées pour se repérer en ballon. La carte en couleur au 400 millièmes du Touring a sa préférence, mais « on peut même se contenter de la carte au 850 millièmes, qui est la carte Vogel allemande, ou à l'extrême rigueur au 1500 millièmes qui est assez réduite pour qu'on puisse emporter toute l'Europe dans sa nacelle ! »<sup>712</sup>.

Le navigateur aérien de 1909 utilise les cartes existantes, à savoir les cartes d'état-major éditées par le Service géographique de l'Armée. La carte d'état-major est une carte établie à partir du XIX<sup>e</sup> siècle selon la projection de Bonne. Dans cette projection, les parallèles sont des cercles concentriques équidistants et l'échelle le long des parallèles est constante et égale à celle du méridien d'origine. En France, le parallèle origine est le 45<sup>e</sup> Nord et le méridien d'origine celui de Paris. Cette projection est équivalente mais non conforme sauf au voisinage du point d'origine (la commune de Ayrens) de ce fait elle pose problème pour les cartes à grande échelle et surtout, elle ne conserve pas les angles contrairement à la carte marine.

### *Les avantages de la projection de Mercator pour les cartes aéronautiques*

Les marins volants, comme « Sailor » ou l'ancien lieutenant de vaisseau J. Legrand, souhaiteraient l'existence de cartes en projection de Mercator pour la navigation aérienne.

« Sailor » veut convaincre ses lecteurs, mais aussi ceux qui réfléchissent à la conception de cartes spéciales, des avantages que peut présenter une carte en projection de Mercator sur une carte d'état-major. Le premier avantage mis en avant par « Sailor » est le remplacement du calcul d'une longueur d'arc de loxodromie par une simple lecture sur la carte (voir chapitre 3). Il explique que la carte en projection de Mercator évite de voler de ville en ville, mais permet à l'aviateur et à l'aéronaute d'effectuer de longs trajets en relevant des points remarquables (les angles relevés étant reportés directement sur la carte) :

---

<sup>709</sup> JUILLOT E., « L'aviation appliquée à la topographie », *Bulletin de la Société de topographie*, janvier 1920, p. 13. Conférence faite à Lille en 1914.

<sup>710</sup> BARATOUX M., « Quelques remarques sur la façon de se repérer en ballon », *Dunkerque-sport*, 7 mars 1909.

<sup>711</sup> Marcel Baratoux (1884-1976).

<sup>712</sup> *Ibid.*

*Les calculs de formules (...) seraient inutiles si, au lieu d'avoir des cartes d'état-major, les aviateurs avaient à leur disposition des cartes construites comme les cartes marines. (...)*

*L'emploi de cartes construites comme les cartes marines, c'est-à-dire de cartes de Mercator et des formules (...) deviendra d'ailleurs obligatoire dès que les dirigeables ou les avions effectueront des voyages un peu prolongés, effectués en partie de nuit. Pour se reconnaître au lever du jour, si l'on ne veut pas s'astreindre à faire des parcours en zig-zag en allant de grande ville à grande ville, il faudra faire le point par des relèvements de points saillants et aisément reconnaissables. Or pour pouvoir se servir de ces relèvements en les portant sur la carte, il faut que celle-ci conserve les angles, propriété précieuse de la carte de Mercator et que ne possède pas la carte d'état-major. (...) Puisqu'on commence à se préoccuper de faire des cartes spéciales pour les aviateurs, je crois avoir montré qu'il serait avantageux de les faire d'après la projection de Mercator.*<sup>713</sup>

Legrand rappelle lui aussi qu'il est possible de remplacer des calculs simples par une opération graphique en employant une carte marine. Mais pour lui les erreurs sur les angles et les distances des cartes d'état-major au 1/80 000<sup>e</sup> restent parfaitement acceptables au vu des performances des avions en 1910 (étapes de 20 kilomètres)<sup>714</sup>. Il justifie cette opinion par des calculs de distance effectués pour un voyage supposé de Reims au Mans. Il utilise pour cela « la feuille V de la carte touristique de France » au 1/400 000<sup>e</sup> sur laquelle il lit la distance de 315 km, or les calculs courants utilisés dans la marine donnent le même résultat. La carte d'état-major peut donc pour Legrand servir de base à la carte aéronautique au moins pour les étapes de 300 kilomètres ; ce sont les indications qui y sont rajoutées qui sont importantes.

#### *La carte spéciale du commandant Pollachi (1911)*

Le commandant Paul Pollachi<sup>715</sup> présente son projet de carte aéronautique à l'état-major de l'Armée le 21 septembre 1910, avant de le détailler dans les *Annales de géographie* de 1911. Il écrit d'abord que la question de l'établissement d'une carte aéronautique n'est pas nouvelle mais qu'il a fallu attendre 1910 pour que les autorités s'en préoccupent sérieusement en France (contrairement à l'Allemagne) :

---

<sup>713</sup> SAILOR, *Op. Cit.*, p. 327.

<sup>714</sup> LEGRAND J., *Op. Cit.*, pp. 537-538.

<sup>715</sup> Paul Pollachi (1862-1937), cartographe au Service géographique de l'Armée.



*Bien que la question de l'établissement d'une carte spéciale pour l'aéronautique ait été posée depuis longtemps et qu'une Commission internationale ait discuté, en 1908, l'échelle à adopter et les renseignements que cette carte devait donner, un seul essai avait été tenté cette année-là par la Ligue allemande des Navigateurs aériens. (...)*

*L'extension considérable que prit l'aéronautique en France pendant l'année 1910 et les articles de journaux et revues sportives qui réclamaient de plus en plus une carte spéciale pour la navigation aérienne mirent sérieusement la question à l'étude. Au mois d'août 1910 eut lieu le Circuit de l'Est : les itinéraires avaient bien été jalonnés (...), ils ne furent pas suivis par les aviateurs (...). Il n'y avait pas là d'inconvénient pour un raid étudié à l'avance et où l'on ne demandait aux aviateurs que d'arriver en un point donné et dans un certain temps. Tout autre serait la tâche de l'aviateur militaire qui recevrait l'ordre d'aller reconnaître une région qu'il ignore et d'en rapporter des renseignements utiles au commandement. Les manœuvres de Picardie virent confirmer nos réflexions. Nous eûmes alors l'idée d'établir une carte aéronautique qui donnerait au pilote les indications nécessaires pour qu'il pût se diriger par n'importe quel temps et éviter les points d'atterrissage dangereux.<sup>716</sup>*

Leur choix se porte alors sur une carte en couleur au 1/200 000<sup>e</sup> qui représente une longueur de 128 km sur une largeur de 80 km, cette échelle permettant de placer de nombreuses indications qui restent lisibles : « elle permet de détailler suffisamment la planimétrie pour une carte de grandes randonnées et de reconnaissances stratégiques »<sup>717</sup>.

La carte n'est pas topographique mais comporte des indications essentielles pour la direction : le réseau routier ordinaire, les lignes ferrées, les cours d'eau, les bois, les lieux habités « avec l'emplacement exact de leurs églises et clochers et la forme réelle de leurs contours »<sup>718</sup>, les « masses détachées », la configuration du sol. Y sont également indiqués les points d'atterrissage dangereux, les terrains propices à l'atterrissage et la déclinaison magnétique moyenne de la région pour l'année.

Une première feuille est établie pour la région autour du Centre d'aviation du Camp de Châlons (voir carte 4). Le ministère de la Guerre, étant satisfait du prototype, demande de poursuivre l'établissement de la carte par les feuilles de Paris, Amiens et Mézières qui devraient servir pour les prochaines grandes manœuvres d'armées (en septembre 1911).

---

<sup>716</sup> POLLACCHI P., « La carte aéronautique du service géographique de l'Armée », *Annales de Géographie*, 1911, p. 311.

<sup>717</sup> POLLACCHI P., *Op. Cit.*, p. 312.

<sup>718</sup> POLLACCHI P., *Op. Cit.*, p. 313.



Carte 4 : Carte aéronautique de Châlons dressée en 1911.<sup>719</sup>

#### *La carte spéciale du commandant Talon (1911)*

Parallèlement, le commandant A. Talon, ancien chef de section au Service géographique de l'Armée, présente au ministre des Travaux publics, en novembre 1910, le projet de carte aéronautique avec repères de l'Aéro-Club de France. Ils sont partis du constat que :

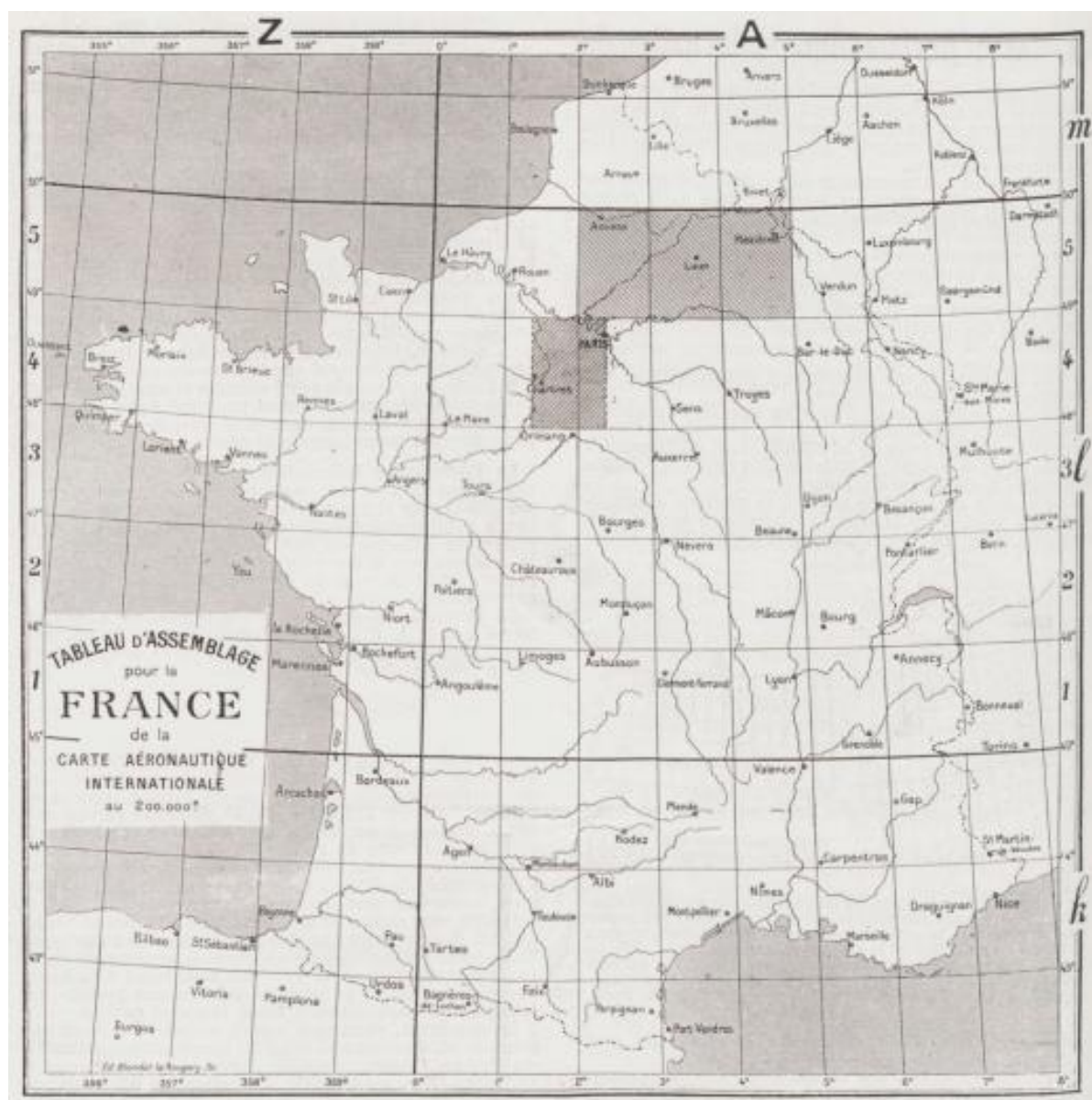
*Chaque jour, (...) faute de cartes appropriées, les aviateurs constituent eux-mêmes, avec les cartes existantes, les cartes spéciales dont ils ont besoin pour chaque voyage ; cette façon de procéder ne peut fournir qu'une solution provisoire, en attendant mieux.*<sup>720</sup>

Le spécimen de l'Aéro-Club de France et divers autres, dont celui de Pollachi, ont été transmis à la Commission permanente de navigation aérienne instituée au ministère des Travaux publics en vue d'établir une carte aéronautique internationale. Cette commission, composée de parlementaires, d'ingénieurs, d'aviateurs civils et militaires, a donné sa préférence,

<sup>719</sup> Source <https://gallica.bnf.fr>.

<sup>720</sup> TALON A., « Projet de Carte aéronautique avec Repères », *L'Aérophile*, 15 janvier 1911, p. 32.

conformément à l'avis de M. Lallemand membre de l'Institut, à celle présentée par l'Aéro-club (voir carte 5). La première carte construite selon ce projet est celle de Paris-Sud-Ouest.

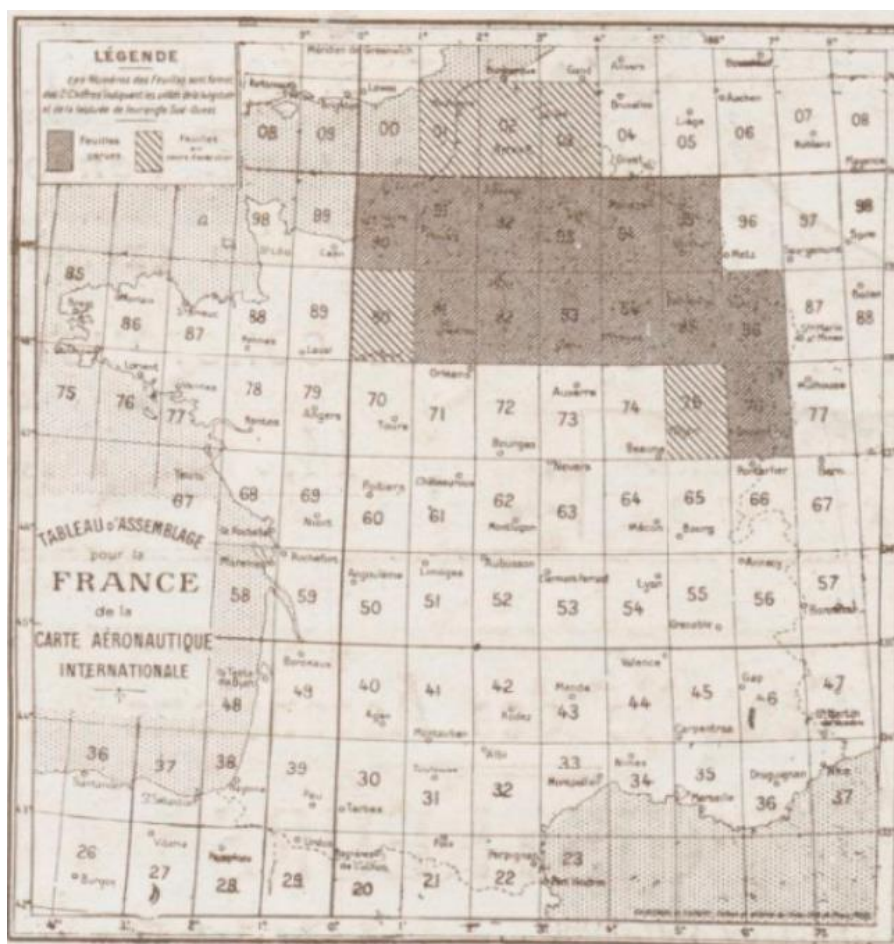


Carte 5 : Tableau général d'assemblage pour la France de la carte aéronautique internationale au 1/200 000° avec indication des feuilles de la carte de l'Aéro-Club de France parue et à paraître prochainement.<sup>721</sup>

Les trois feuilles suivantes, Amiens, Laon et Mézières, sont mises à la disposition des aviateurs militaires et du ministère de la Guerre pour les grandes manœuvres de septembre 1911. En 1913, suite au Congrès de Vienne, la carte française est adoptée avec quelques légères modifications au niveau international et imprimée. Cependant, la France est loin d'être entièrement recouverte par ces cartes spéciales en 1915 (voir carte 6).

<sup>721</sup> « La Carte Aéronautique Internationale », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> juillet 1911, p. 318.





Carte 6 : Tableau général d'assemblage pour la France de la carte aéronautique internationale au 1/200 000<sup>e</sup> avec indication des feuilles de la carte de l'Aéro-Club de France parues et à paraître prochainement.<sup>722</sup>

6) La navigation aérienne pratiquée lors du « Grand Prix Michelin » le 7 mars 1911

Il arrive couramment au détour du récit d'un voyage aérien de relever l'utilisation d'une carte et du compas, notamment par temps de brume. Mais aucun n'est aussi précis et détaillé que celui fait par Albert Senouque<sup>723</sup> en 1911 à l'occasion du « Grand Prix Michelin ». Ce prix de 100 000 francs est créé en 1908 par Édouard et André Michelin pour encourager l'essor d'une technologie qu'ils jugent stratégique<sup>724</sup>. Il est gagné par le pilote Eugène Renaux<sup>725</sup> le 7 mars 1911 avec comme passager Albert Senouque (voir carte 7).

<sup>722</sup> *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> mai 1915, p. VIII. Les cartes parues sont en foncé et les cartes à paraître sont hachurées.

<sup>723</sup> Albert Senouque (1882-1970). Voir paragraphe suivant.

<sup>724</sup> Règlement du prix : « Ce prix sera attribué au pilote du premier appareil à deux places occupées qui établira, avant le 1<sup>er</sup> janvier 1918, le record suivant, régulièrement homologué : s'envoler d'un point quelconque des départements de la Seine ou de Seine-et-Oise, passer au-dessus du parc de l'Aéro-Club de France, voler jusqu'à Clermont-Ferrand, virer autour de la cathédrale en la laissant à droite et à une distance d'environ 1 300 mètres puis revenir se poser au sommet du Puy-de-Dôme, dans la zone délimitée par la dernière branche du chemin de fer. Le parcours devra être effectué dans un délai moindre de six heures, temps chronométré du passage au-dessus de l'Aéro-Club de France à l'atterrissage au sommet du Puy-de-Dôme ».

Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Prix\\_Michelin\\_d'aviation](https://fr.wikipedia.org/wiki/Prix_Michelin_d'aviation), consulté le 13 août 2018.

<sup>725</sup> Eugène Renaux (1877-1925).



Carte 7 : Itinéraire schématique d'Eugène Renaux dans le Grand Prix Michelin.<sup>726</sup>

Il semblerait que Senouque n'ait pas été un simple passager, mais que son rôle s'apparenterait, avant l'heure, à celui de navigateur aérien. Senouque précise que Renaux s'occupait de la conduite de l'appareil pendant qu'il observait la route et la direction à suivre. Ils emportent quatre instruments de navigation et de pilotage : des cartes, un compas (ou boussole<sup>727</sup>), un chronomètre et un baromètre<sup>728</sup>. Ils sont, de plus, munis d'appareils acoustiques ingénieux permettant de communiquer entre eux :

*Les communications verbales entre le pilote et le passager étaient assurées par deux écouteurs fixés à nos casques, contre l'oreille et reliés par des tubes acoustiques au cornet porte-voix que nous avions chacun devant nos lèvres.*<sup>729</sup>

#### La boussole utilisée pour le grand Prix Michelin

Senouque et Renaux indiquent avoir utilisé un compas d'embarcation (voir figure 16 du chapitre 3), qui est un instrument de marine, et non une boussole d'artilleur ce qui se faisait plus couramment dans l'aéronautique de l'époque.

<sup>726</sup> SENOUEQUE A., « Comment fut gagné le Grand Prix « Michelin » », *L'Aérophile*, 15 mars 1911, p. 124.

<sup>727</sup> Senouque utilise indifféremment le terme compas ou boussole pour désigner le même instrument qu'ils ont utilisé.

<sup>728</sup> Le baromètre sert à déterminer l'altitude de l'aéroplane par la mesure d'une différence de pression.

<sup>729</sup> SENOUEQUE A., *Op. Cit.*, p. 125.

*Nous avons (...) un compas d'embarcation avec rose amortie de 10 centimètres de diamètre, placé devant le pilote et que le passager voyait par-dessus l'épaule de ce dernier. Le compas avait été compensé et les déviations déterminées par la maison Lepaute. La route était faite par le passager qui évaluait la dérive, donnait au pilote le cap au compas et identifiait les points de repère.*<sup>730</sup>

Conscient des problèmes inhérents aux compas, ils s'étaient renseignés auprès du lieutenant de vaisseau Léon Mascart<sup>731</sup> et avaient fait régler le leur par la Maison Henry-Lepaute.

Les conditions météorologiques lors du raid se révèlent moins propices que ce qu'ils avaient espéré. La brume et les remous rendent indispensable le recours au compas :

*Au départ, une brume intense nous empêche de voir quoi que ce soit. C'est à la boussole que nous nous dirigeons sur le parc de l'Aéro-Club de France. (...) Nous mettons le cap sur Nevers, choisi comme escale de ravitaillement. Nous sommes forcés de nous diriger à la boussole et cherchons à évaluer notre dérive en prenant des alignements. La brume nous gêne beaucoup. (...)*

*A partir d'Essones, nous commençons à être violemment secoués par les remous et nous n'arrivons plus à identifier les points sur la carte. Je recommande à Renaux de bien maintenir son cap au compas en lui donnant une dérive approximative de 10 degrés. (...)*

*Comme nous sommes très secoués et que la boussole se lit difficilement à cause des impulsions données par les remous, nous nous décidons à faire un coude au lieu de prendre la ligne droite, nous dirigeant sur Moulins. (...)*

*Nous doublons la cathédrale par 1 300 mètres d'altitude, et nous nous dirigeons au compas sur le puy de Dôme que nous n'apercevons toujours pas. (...)*<sup>732</sup>

Senouque considère que la navigation aérienne au long cours ne peut pas s'effectuer sans le concours de cet instrument. Il écrit :

*J'estime que pour un voyage aérien au long cours la boussole est absolument indispensable. Sans notre compas, nous n'aurions même pas pu, dès le début, aller de l'aérodrome de Buc au parc de l'Aéro-Club, n'ayant pu distinguer la Seine qu'en*

---

<sup>730</sup> SENOUQUE A., *Op. Cit.*, p. 125.

<sup>731</sup> *La Nature. Revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*, Paris, G. Masson, 1911, p. 316.

<sup>732</sup> *Ibid.*

*arrivant au-dessus du parc. Les cent premiers kilomètres ont été couverts uniquement au compas sans autre moyen de reconnaissance.*<sup>733</sup>

### *La carte d'état-major utilisée pour le Grand Prix Michelin*

Senouque trace leur route sur une carte d'état-major au 1/80 000<sup>e</sup> qu'il adapte à ses besoins :

*Nous avons découpé les feuilles de la carte d'état-major au 1/80 000, entoilé collé bout à bout une bande de largeur suffisante pour donner l'aspect du terrain jusqu'à 15 kilomètres à droite et à gauche de l'itinéraire le plus direct. Cet itinéraire idéal était tracé en rouge et gradué de kilomètre en kilomètre, au sens de la marche, pour nous permettre d'apprécier notre vitesse à l'aide de la montre. (...) Cette carte était montée devant le passager, sur un liseur comportant deux rouleaux, l'un enroulant la route parcourue, l'autre déroulant le reste de l'itinéraire.*<sup>734</sup>

En mars 1911, aucune carte spéciale aéronautique de la région concernée par le « Grand Prix Michelin » n'est encore disponible. Senouque a cependant pu étudier la première carte de Pollachi et l'apprécier :

*La carte aéronautique de la région de Châlons présentée à titre d'essai, par le commandant Pollachi, du Service Géographique de l'Armée me paraît très claire et très lisible et de nature à satisfaire aéronautes et aviateurs.*<sup>735</sup>

Il considère que les repères (étendues d'eau, routes, voies ferrées) qui y sont indiqués, correspondent à ceux qu'il a recherchés lors du raid. Mais Senouque et Renaux ne se contentent pas de la navigation à vue pour diriger leur aéroplane de Buc jusqu'au Puy de Dôme. Ils ont été obligés, vu les conditions météorologiques, de pratiquer la navigation à l'estime. En revanche, ils n'ont pas eu recours à la navigation astronomique alors que Senouque s'en était servie dès 1903 pour faire le point en ballon (voir paragraphe suivant).

### C) La navigation aérienne astronomique

Contrairement à la navigation à l'estime, les informations sur la navigation astronomique concernent presque exclusivement les « plus légers que l'air ». Et il est possible de dater les débuts de la période d'étude du « point en ballon » (libre ou dirigeable). Elle fait suite au Congrès d'aéronautique de 1900 et court jusqu'à la Première guerre mondiale (voir chapitre 5)

---

<sup>733</sup> Ibid.

<sup>734</sup> Ibid.

<sup>735</sup> Ibid.

Le général Bourgeois, directeur du Service géographique de l'Armée<sup>736</sup>, propose une série de conférences sur ce thème en 1913 et 1914. Notons cependant que celui-ci avait déjà effectué quelques observations solaires en ballon dès 1886, mais que l'expérience n'avait pas eu de suites<sup>737</sup>.

#### *La communauté des astronomes amateurs s'intéressant au « point en ballon »*

Une communauté d'astronomes, amateurs mais reconnus, s'intéresse à cette technique du « point en ballon ». Aymar de La Baume Pluvinel<sup>738</sup> peut être considéré comme la tête de file de cette communauté, Albert Senouque et Albert Baldit<sup>739</sup> ayant été ses assistants. Il a également travaillé avec Janssen à l'Observatoire de Meudon jusqu'en 1896 pour y préparer les expéditions d'éclipses de soleil. Peut-être y ont-ils discuté de navigation aérienne ?



Figure 69 : Portrait d'Aymar de La Baume Pluvinel.<sup>740</sup>

Albert Senouque est, entre autres, un physicien, météorologiste qui s'est fait connaître dans le monde de l'aéronautique lors d'ascensions scientifiques en ballon à partir de 1900. Il présente ses travaux sur le « point en ballon » au travers de conférences et d'articles publiés dans la revue *L'Aérophile*. Il donne ainsi, de 1902 à 1904, « de très intéressantes communications à la Société française de navigation aérienne et à l'*Aérophile* sur le point en ballon, sur la détermination de la hauteur des aérostats (...) »<sup>741</sup>. Ses activités sont diverses

---

<sup>736</sup> SCHIAVON M., « Des savants-officiers entre science, armée, État et industrie de précision : les géodésiens du Service géographique de l'armée, 1887-1920 », *Le sabre et l'éprouvette. L'invention d'une science de guerre 1914/1939*, Paris, Agnès Viénot, 2003, pp. 61-74.

<sup>737</sup> TOUCHET É., « Communications verbales », *L'Astronomie*, 1903, p. 165.

<sup>738</sup> Aymar de La Baume Pluvinel (1860-1938). Ses travaux furent jugés suffisamment intéressants pour qu'il soit reçu à l'Académie des sciences en 1932.

<sup>739</sup> Albert Baldit (1875-1950).

<sup>740</sup> Sur le site <https://gallica.bnf.fr>. Droits réservés.

<sup>741</sup> « La Photographie et la Télégraphie sans fil en Aéroplane », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> février 1911, p. 57.



puisqu'il participe comme photographe à la seconde expédition de Charcot en Antarctique en 1909. Mais il ne se limite pas aux aérostats. Il participe à divers vols en aéroplane et gagne même le « prix du colonel Levé » en 1910 pour les prises de vue en aéroplane. En 1911, il s'intéresse à l'utilisation de la « transmission sans fil » (TSF) en aéroplane et gagne le « grand prix Michelin » comme passager de l'aéroplane piloté par Eugène Renaux (voir paragraphe précédent). Enfin, Senouque obtient son brevet de pilote aviateur (n° 823) en 1912.



**Figure 70 : Photographie d'Albert Senouque à sa descente de l'aéroplane ayant remporté le grand prix Michelin.<sup>742</sup>**

Albert Baldit est un ancien officier de Marine entré à l'École navale en 1892 mais réformé en 1900. Il se tourne vers la météorologie, domaine dans lequel il fera une carrière remarquée, comme président de la commission météorologique de la Haute-Loire et vice-président de la section météorologie du Comité national français. Son passage dans la Marine lui a certainement facilité les calculs et les prises de mesure en vue du point en ballon lors des ascensions qu'il a effectuées avec le pilote Belge Léon de Brouckère<sup>743</sup> en 1907.

Cette petite communauté d'astronomes et de météorologues publie quelques études intéressantes sur le « point en ballon », l'un des domaines de recherche envisagé lors du Congrès international d'aéronautique de 1900.

1) L'utilité du « point en ballon » et les méthodes envisagées pour le déterminer  
La Commission permanente internationale d'aéronautique (CPIA), dans sa séance du 20 décembre 1900 à l'Institut, procède à la nomination de plusieurs sous-commissions pour examiner les vœux émis par le Congrès international d'aéronautique de 1900. Le premier vœu,

---

<sup>742</sup> *La Vie au grand air*, 18 mars 1911, p. 168.

<sup>743</sup> Léon de Brouckère (1885-1944).

parmi douze, émis par le congrès est le « point en ballon », et plus particulièrement, « il est désirable que des mesures soient prises pour permettre aux aéronautes d'apprendre à faire le point en ballon, au moyen d'observations astronomiques »<sup>744</sup>. Plusieurs procédés simplifiés, utilisant des abaques, vont être proposés aux aéronautes.

Il peut sembler surprenant que la communauté des aéronautes s'intéresse à la détermination du « point en ballon » dès 1900, alors que les ballons ne sont pas encore dirigeables. Aymar de La Baume Pluvinel indique dans un article de la revue *L'Aérophile* :

*Le problème de la détermination du point en ballon a été jugé assez important par le Congrès d'aéronautique de 1900 pour qu'une Commission spéciale ait été nommée dans le but d'indiquer aux aéronautes des méthodes simples et pratiques pour déterminer la position géographique de leur ballon. Le président de cette commission est M. Ch. Ed. Guillaume, et son secrétaire M. Favé.*<sup>745</sup>

#### *Utilité du point en ballon selon de La Baume Pluvinel*

Il relève deux raisons de s'intéresser à ce problème. Premièrement, selon lui, le principal danger de l'aérostation est d'être entraîné au-dessus de la mer. Il faut donc être capable de déterminer la position du ballon afin d'éviter d'abréger un voyage en descendant en-dessous de la couche nuageuse. Il s'adresse ici aux sportifs et aux scientifiques qui pratiquent l'ascension libre. Les aérostiers militaires, outre le problème de l'approche de la mer, doivent pouvoir se rendre compte de la proximité des frontières. En effet, ils doivent notamment en temps de guerre « ne redescendre qu'après avoir franchi les lignes ennemies »<sup>746</sup>. C'est donc par « mesure de sécurité » que l'aéronaute doit connaître à tout moment sa position.

Le développement des dirigeables incite de La Baume Pluvinel à ajouter une troisième raison de se pencher sur le problème. Il écrit en 1908 :

*Enfin, pour que les ballons dirigeables atteignent sûrement leur but, il faut pouvoir repérer leur route, car les courants aériens les font souvent dévier considérablement de la direction qu'ils doivent suivre.*<sup>747</sup>

#### *Les méthodes imaginées par la sous-commission*

Les membres de la sous-commission travaillent dans des directions différentes. Ainsi, Louis Favé s'est penché sur une méthode reposant sur des observations astronomiques et magnétiques

---

<sup>744</sup> PESCE G.-L., « Congrès et commission permanente internationale d'aéronautique », *L'Aérophile*, juillet 1901, p. 156.

<sup>745</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., « La détermination du point en ballon », *L'Aérophile*, janvier 1904, p. 20.

<sup>746</sup> *Ibid.*

<sup>747</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., « La détermination du point en ballon », *L'Aérophile*, mai 1908, p. 158.

afin d'obtenir la direction générale du ballon. Et le comte Henri de la Valette propose d'établir une sorte de dictionnaire de points remarquables relevés au sol<sup>748</sup>.

De la Valette, lors du diner-conférence du 1<sup>er</sup> août 1901 de l'Aéro-Club de France, fait une petite conférence sur l'avancement des travaux de la sous-commission. Il y indique qu'elle travaille sur trois méthodes différentes afin de permettre aux aéronautes « de repérer la situation de leur ballon soit par rapport aux coordonnées géographiques, soit par rapport à des points remarquables relevés sur le sol »<sup>749</sup>.

Premièrement, Favé, ayant déjà travaillé pour la marine (voir chapitre 3) propose une « méthode astronomique ». Cette méthode utilise un appareil,

*Au moyen duquel on peut relever rapidement la hauteur de certains astres faciles à reconnaître dans la limite du champ du ciel laissée libre par l'aérostat. Au moyen de tables préparées à l'avance et d'un système des plus ingénieux de report des angles observés sur une sphère, on obtient directement sans calcul, c'est-à-dire d'une façon instantanée, la situation du ballon par rapport au cordon géographique.*<sup>750</sup>

Deuxièmement, Théodule Moureaux<sup>751</sup>, directeur de l'Observatoire magnétique du Parc-St-Maur, propose une « méthode magnétique » basée sur l'utilisation de boussoles.

Enfin, de la Valette, quant à lui, s'est penché sur une « méthode géographique » basée sur la reconnaissance d'éléments caractéristiques tels que les rivières et les chemins de fer.

De La Baume Pluvinel reconnaît la valeur des méthodes maritimes avancées par Favé. Mais il considère qu'elles ne sont pas directement applicables par l'aéronaute tant sur le plan matériel que sur le plan du calcul :

*S'il a traversé la couche de nuages qui lui cache la vue de la terre et s'il peut observer les astres, il pourra « faire le point » et déterminer sa position par des méthodes analogues à celles qu'emploient les marins. Mais les aéronautes n'étant pas nécessairement des astronomes, il faudra que les observations à faire soient d'une extrême simplicité et que l'on puisse en déduire immédiatement la position en ballon sans aucun calcul.*<sup>752</sup>

De La Baume Pluvinel, étant astronome amateur, sait effectuer des observations astronomiques. Mais il propose de développer des procédés simplifiés car il est conscient que tous les aéronautes n'ont pas son niveau de connaissance en astronomie.

---

<sup>748</sup> Armée et marine, 14 juillet 1901, p. 506.

<sup>749</sup> L'Aérophile, 1901, p. 227.

<sup>750</sup> Ibid.

<sup>751</sup> Théodule Moureaux (1842-1919).

<sup>752</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., « La détermination du point en ballon », L'Aérophile, janvier 1904, p. 20.

La question du « point en ballon » intéresse particulièrement les scientifiques au tournant du XX<sup>e</sup> siècle, mais également les militaires.

### *Les militaires et le « point en ballon »*

En effet, rappelons que le programme de l'épreuve orale du Certificat d'aptitude à la conduite des ascensions libres, de l'instruction ministérielle datant du 20 mars 1902, contient la mention « point en ballon »<sup>753</sup>. Il n'y est toutefois pas mentionné le contenu de ce « point en ballon », ni des moyens permettant d'en acquérir la connaissance.

Le commandant Renard, alors sous-directeur de l'Établissement central d'aérostation militaire de Chalais-Meudon, exprime son intérêt, et celui des militaires, pour cette question devant la Société astronomique de France le 4 mars 1903 :

*Il y a quelques années, en 1886, notre collègue le commandant Bourgeois avait bien voulu prêter son concours aux officiers de Chalais et, au moyen d'observations solaires, était arrivé à déterminer les positions de l'aérostat à 30 ou 40 kilomètres près. Mais cette expérience a été unique.*

*Depuis, on s'est d'autant plus préoccupé de la question que les voyages aériens sont devenus plus longs : on a pu rester 35<sup>h</sup>45<sup>m</sup> dans l'atmosphère au moment des concours de 1900 et parcourir jusqu'à 1920 kilomètres, au-dessus d'un continent il est vrai, mais enfin il y a toujours intérêt à savoir où l'on est.*<sup>754</sup>

Puis, Renard observe que :

*Une grande difficulté se présente lorsqu'on veut faire le point en ballon : l'atmosphère est toujours plus ou moins brumeuse et il est impossible d'observer l'horizon.*

*Il faut donc trouver un moyen d'obtenir la verticale. (...)*

*En outre, en raison de la rapidité des vents, il importera de faire ce point aussi rapidement que possible et de chercher à simplifier les calculs par l'emploi de tables, d'abaques, etc.*

*Telles sont les principales difficultés que l'on rencontre dans la détermination du point en ballon ; par contre, on peut se contenter d'une approximation assez faible, ce qui facilite la solution du problème. Cette solution ne fait d'ailleurs aucun doute grâce à l'ingéniosité des savants qui s'occupent de la question.*<sup>755</sup>

---

<sup>753</sup> *Journal militaire*, Paris, Chapelot et Cie, 1902, p. 949.

<sup>754</sup> TOUCHET É., *Op. Cit.*, p. 165.

<sup>755</sup> *Ibid.*

Renard semble ne pas avoir encore pratiqué lui-même le « point en ballon ». Il ne cite pas explicitement les méthodes employées par les marins mais son exposé met en valeur les différences qu'il prévoit entre celles-ci et celles qui seront pratiquées dans la navigation aérienne.

## 2) La pratique du « point en ballon » entre 1904 et 1908

Le premier problème que rencontre l'aéronaute désirant utiliser la méthode astronomique pour faire le point est le choix de l'appareil de mesure.

### *Le « libellen quadrant » utilisé par De La Baume Pluvinel et Senouque*

Ce choix est assez restreint en 1904. De La Baume Pluvinel explique que le sextant « ordinaire » des marins est presque toujours impossible d'utilisation faute de ligne d'horizon bien délimitée. Il écarte le « sextant avec horizon artificiel à mercure » car il « exigerait une stabilité parfaite »<sup>756</sup>. De même, le « sextant gyroscopique de l'amiral Fleuriais » (voir chapitre 3) ne lui convient pas car trop délicat d'emploi. Son choix se porte sur un sextant à niveau, fabriqué et vendu en Allemagne sous le nom de « libellen quadrant »<sup>757</sup> (voir figure 71), qui est « un instrument simple, robuste et peu encombrant qui nous permet de mesurer avec une précision suffisante la hauteur des astres au-dessus de l'horizon »<sup>758</sup>.

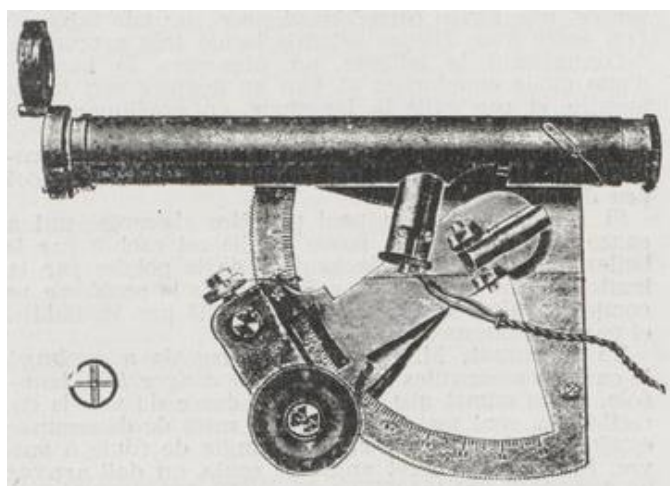


Figure 71 : Libellen quadrant.<sup>759</sup>

<sup>756</sup> *Ibid.*

<sup>757</sup> Fabriqué par la maison Butenschön de Hambourg à destination de l'artillerie prussienne. Le Dr A. Marcuse, professeur à l'Université de Berlin adresse une note à la Société astronomique de France, dans laquelle il informe qu'il avait déjà préconisé l'emploi de l'instrument et de la méthode des droites de hauteur à la troisième réunion de la Commission internationale d'aéronautique de Berlin de 1902, la méthode ayant été testée lors d'ascensions faites à l'Observatoire aéronautique de Lindenberg ; voir « Communications diverses », *L'Astronomie*, 1905, pp. 484-485.

<sup>758</sup> *Ibid.*

<sup>759</sup> « Le « point » en appareil aérien », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> février 1913, p. 59.

Senouque choisit également d'utiliser le « libellen quadrant » lors de son ascension à bord de l'*Altair* le 9 avril 1907 puisqu'il écrit « on peut dire qu'à l'heure actuelle, le sextant à niveau est l'instrument le plus pratique pour déterminer le point en ballon ; il peut, dans les plus mauvaises conditions, donner la position de l'aérostat à moins de 30 kilomètres »<sup>760</sup>.

#### *Le sextant gyroscopique utilisé par Baldit*

En revanche, le météorologue Albert Baldit préfère le « sextant gyroscopique de Fleuriais » (voir figure 72) lors de son ascension du 27 avril 1907 à bord de l'*Aéro-Club IV*. Il écrit : « c'est à cet instrument que nous avons eu recours et nous ne saurions trop affirmer que, malgré sa complication et sa délicatesse apparentes, il est réellement pratique et robuste »<sup>761</sup>.

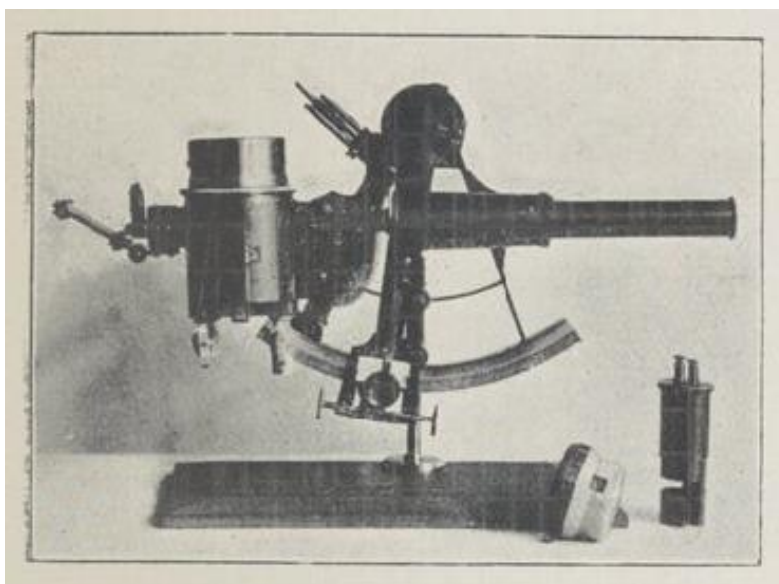


Figure 72 : Sextant gyroscopique Fleuriais utilisé par Baldit.<sup>762</sup>

Il reconnaît cependant les qualités du sextant à niveau allemand :

*Son maniement est excessivement commode et si l'approximation de 2' ou 3' annoncé par le constructeur est réelle en service courant, sa simplicité et son prix relativement modique le rendront précieux pour les aéronautes.*<sup>763</sup>

#### *Le sextant marin modifié pour la Coupe Gordon Bennet de 1907*

De La Baume Pluvinel informe les lecteurs de l'*Aérophile* qu'il a été amené à apporter des modifications sur un sextant marin à niveau fabriqué par la maison Ponthus et Therrode (voir

<sup>760</sup> SENOUQUE A, *Op. Cit.*, p. 145.

<sup>761</sup> BALDIT A. et DE BROUCKERE L., « L'ascension de « La Ville De Bruxelles » », *L'Aérophile*, juin 1907, p. 147.

<sup>762</sup> *Ibid.*

<sup>763</sup> *Ibid.*

chapitre 3) afin de préparer le « voyage » de l'ingénieur et photographe américain Edgar Mix<sup>764</sup> et de l'aéronaute français Alfred Leblanc<sup>765</sup> dans la Coupe Gordon-Bennet<sup>766</sup>.

*On prit un sextant ordinaire, le petit modèle de la maison Ponthus et Therrode et l'on munit sa lunette d'un niveau dont la bulle pouvait être vue dans le champ, grâce à un miroir à 45°. (...) On avait eu soin de placer le niveau au-dessus de la lunette, et non pas en-dessous, comme dans l'appareil allemand. (...) Il est très avantageux que les deux mouvements [déplacement de la bulle et de l'étoile] se fassent dans le même sens, et non en sens opposé.*<sup>767</sup>

Il est probable que Mix utilise ce sextant modifié lors de l'ascension du 11 juillet 1908. Mix, Favé, Charles Édouard Guillaume<sup>768</sup> et de La Baume Pluvinel ont pris place à bord du ballon. Mix fait plusieurs points avec son sextant à niveau qu'il compare avec ceux de Favé obtenus avec un astrolabe à palette de son invention<sup>769</sup>, tandis que Guillaume repère les endroits survolés. De La Baume Pluvinel écrit :

*M. Mix et M. Favé ont fait plusieurs déterminations du point ; l'un avec le sextant à niveau ; l'autre, avec l'astrolabe à palettes dont M. Favé est l'inventeur. M. Guillaume reconnaissait les endroits au-dessus desquels se trouvait le ballon au moment où l'on faisait le point et les marquait sur la carte. Les distances entre les points déterminés astronomiquement et les points au-dessus desquels se trouvait réellement le ballon ont été les suivantes :*

*Point A (M. Mix), 10 kilomètres.*

*Point B (M. Favé), 5 kilomètres 5.*

*Point C (M. Favé), 3 kilomètres 5.*

*Point D (M. Favé), 10 kilomètres.*

*Point E (M. Mix), 9 kilomètres.*

*On voit donc, que l'un et l'autre instruments permettent de faire le point à 10 kilomètres près, ce qui est largement suffisant pour savoir si le ballon s'approche des côtes.*<sup>770</sup>

---

<sup>764</sup> Edgar W. Mix (1866-1911).

<sup>765</sup> Alfred Leblanc (1869-1921).

<sup>766</sup> La Coupe Gordon-Bennet est la plus ancienne compétition pour ballon. La première édition a lieu en France en septembre 1906. Mix et Leblanc participent à la deuxième édition qui se déroule aux États-Unis.

<sup>767</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., *Op. Cit.*, pp. 159-160.

<sup>768</sup> Charles Édouard Guillaume (1861-1938).

<sup>769</sup> Nous n'avons pas trouvé d'autres mentions de cet « astrolabe à palette » ni d'un astrolabe construit par Favé. Il est possible qu'il s'agisse de l'astrolabe à prisme inventé par Auguste Claude (voir chapitre 3).

<sup>770</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., « Recherches sur la détermination du « point » », *L'Aérophile*, 15 décembre 1908, p. 504.

La précision du point n'est pas encore très grande, mais elle semble suffire pour les aéronautes pour éviter leur principal péril : se retrouver au-dessus de la mer.

De La Baume Pluvinel ne donne aucune précision sur la technique utilisée par Mix et Favé pour déterminer la position du ballon une fois que les astres ont été observés. Nous savons uniquement que les observations ont été nocturnes puisque l'ascension a eu lieu de 21 h 36 à 4 h 30 le lendemain matin.

*Les procédés de navigation employés par De La Baume Pluvinel (1903) et Senouque (1907)*

De La Baume Pluvinel, ne faisant que des observations diurnes, utilise alors le « procédé de la droite de hauteur ».

Il choisit une méthode qui n'est applicable que dans des cas particuliers car il est parti du principe que « l'aéronaute restait dans un cercle de 200 kilomètres environ autour de Paris »<sup>771</sup>. Or ce choix est tout à fait justifié aux vues des ascensions réalisées à cette époque. En effet, l'ascension de De La Baume Pluvinel, le 20 novembre 1903, est effectuée entre Saint-Cloud et Sens.

Il utilise la technique des cercles de hauteurs approchés par une droite de hauteur mais en la simplifiant énormément par rapport au procédé des marins : « considérons, en particulier, le petit cercle qui passe par le centre de la carte : ce petit cercle sera représenté sur la carte par une ligne qui, étant donné le système de projection de la carte, est très sensiblement une ligne droite. C'est ce que j'appellerai la ligne de hauteur centrale »<sup>772</sup>. De La Baume Pluvinel ne donne aucune information sur le type de carte utilisée, ce qui aurait pourtant été intéressant pour connaître la nature de l'erreur d'approximation du cercle de hauteur par une droite. Mais dans tous les cas, cette erreur restera minime. Nous savons simplement que cette carte est découpée et collée sur une planche.

Il fait dix observations de hauteurs du soleil et peut alors tracer les lignes de hauteurs correspondantes. Mais il faudrait deux droites sécantes obtenues pour deux observations simultanées d'astres différents pour connaître la position du ballon ou sa latitude. De La Baume Pluvinel se contente alors de positionner grossièrement son ballon dans une région ce qui semble le satisfaire :

*Si l'on répète les observations une demi-heure ou une heure après, on aura une autre ligne de hauteur dont l'intersection avec la première ne donnera pas, il est vrai, la position de l'aéronaute parce que le ballon s'est déplacé dans l'intervalle des deux*

---

<sup>771</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., « La détermination du point en ballon », *L'Aérophile*, janvier 1904, p. 21.

<sup>772</sup> *Ibid.*



*observations, mais qui fournira des indications sur la région dans laquelle se trouve le ballon.*<sup>773</sup>

Il décrit le procédé qu'il a utilisé pour déterminer la position de son ballon à partir des hauteurs de soleil. Souhaitant obtenir l'orientation de la « ligne de hauteur centrale », il écrit :

*Je l'ai tracée sur un transparent en gélatine mobile autour du centre de la carte. Une table calculée à l'avance, pour le jour où l'on fait l'ascension, donne les orientations de la ligne centrale ainsi que les hauteurs correspondantes pour les diverses heures de la journée. Pour les heures intermédiaires, on fait une interpolation par le calcul ou à l'aide d'une courbe. Si à l'instant considéré, la hauteur du soleil observée est précisément égale à la hauteur du soleil correspondant à la ligne centrale, on saura que l'observateur est situé sur la ligne centrale.*

*Si la hauteur du soleil est supérieure de  $N^\circ$  à la hauteur correspondant à la ligne centrale, on saura que l'observateur est sur un petit cercle de rayon inférieur de  $N^\circ$  à celui de la ligne centrale. Sur la carte, ce petit cercle sera une droite parallèle à la ligne centrale et située à  $N^\circ$  d'elle vers le sud. Si la hauteur du soleil est inférieure de  $N^\circ$  à la hauteur correspondante à la ligne centrale, l'aéronaute se trouverait sur une parallèle à la ligne centrale menée à  $N^\circ$  d'elle vers le Nord.*<sup>774</sup>

Et l'auteur de conclure : « Voici donc un moyen très simple de déterminer une droite sur laquelle se trouve nécessairement l'aéronaute »<sup>775</sup>.

En l'état, il est assez difficile de reproduire aisément la méthode décrite par de La Baume Pluvinel, car l'article ne présente pas de copie des abaques qu'il a utilisés. Il est très probable que cet article fait suite à une communication, comme celle lors de la réunion de la Commission d'aérostation scientifique du 30 novembre 1903, pendant laquelle il pourrait avoir fait une démonstration de son procédé.

Albert Senouque adopte la méthode utilisée par de La Baume Pluvinel en 1903, pour son ascension du 9 avril 1907, mais ne donne pas plus de précisions que son prédécesseur. Il indique simplement :

*Pour déduire le point de l'observation de la hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon, il est nécessaire de faire des calculs assez longs qu'il serait incommode d'effectuer dans la nacelle d'un ballon. Il est préférable d'employer une méthode*

---

<sup>773</sup> Ibid.

<sup>774</sup> Ibid.

<sup>775</sup> Ibid.

*graphique très simple imaginée et appliquée au cours de plusieurs voyages aériens par M. de la Baume Pluvinel.*<sup>776</sup>

Senouque tente également de coupler ses observations de hauteur de soleil avec la méthode proposée par Moureaux. Il s'agit de « déterminer la latitude du ballon en observant l'inclinaison de l'aiguille aimantée »<sup>777</sup>. La technique utilisant une boussole ne répond pas à ses attentes, l'erreur ayant été beaucoup plus grande que ce qu'il avait prévu.

#### *L'Abaque de Kannapell pour la Coupe Gordon-Bennet*

Si de La Baume Pluvinel semble s'être satisfait des résultats obtenus en 1904, il se montre plus exigeant en 1908. En analysant ses ascensions de 1903, il écrit :

*En faisant une deuxième observation de la hauteur du Soleil, une demi-heure après la première, j'obtenais une deuxième courbe de hauteur dont l'intersection avec la première devait m'indiquer la région dans laquelle se trouvait le ballon. Malheureusement les deux courbes se coupaient, le plus souvent, sous un angle très aigu, et leur point d'intersection était très mal déterminé.*<sup>778</sup>

L'évolution de son point de vue s'explique notamment parce que l'ascension préparée en 1908 est différente de celles de 1903 ou de Senouque en 1907. En effet, il ne s'agit plus de faire des ascensions « scientifiques », mais de participer à la Coupe Gordon-Bennet le 21 octobre 1907. De La Baume Pluvinel est amené au début de l'année 1907 « sur la demande de M. Mix, à étudier la manière de faire le point en ballon par des observations de nuit, faites au moyen d'un sextant à niveau »<sup>779</sup>. L'Américain, connaissant les essais de navigation astronomique effectués par de La Baume Pluvinel, s'est adressé à celui qu'il considère le plus à même de lui permettre de remporter la coupe.

De La Baume Pluvinel reste fidèle au sextant à niveau, mais utilise une méthode différente de celle du transparent en gélatine pour obtenir la position du ballon à partir de hauteurs d'astres. En effet, les coordonnées géographiques du lieu où se trouve le ballon sont déterminées en deux temps. La hauteur de la Polaire (si elle n'est « pas trop élevée au-dessus de l'horizon pour être cachée par le ballon »<sup>780</sup>) donne la latitude du lieu par une lecture « dans une table à double entrée dont les arguments seront la hauteur observée, d'une part, et l'heure sidérale, d'autre part »<sup>781</sup>. La longitude du lieu sera obtenue par l'observation de la « hauteur

---

<sup>776</sup> SENOUQUE A., *Op. Cit.*, p. 145.

<sup>777</sup> *Ibid.*

<sup>778</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., « La détermination du point en ballon », *L'Aérophile*, mai 1908, p. 159.

<sup>779</sup> *Ibid.*

<sup>780</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., *Op. Cit.*, p. 160.

<sup>781</sup> *Ibid.*

d'une autre étoile assez éloignée du méridien et assez près de l'équateur »<sup>782</sup>. De La Baume Pluvinel indique qu'il suffit d'utiliser la formule de trigonométrie sphérique

$$\sinh = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos H$$

(avec  $H$  l'angle horaire de l'étoile,  $h$  la hauteur observée,  $\varphi$  la latitude du lieu et  $\delta$  la déclinaison de l'étoile). Et il poursuit :

*Mais tous ces calculs demanderaient trop de temps pour être exécutés à bord d'un ballon, et il est indispensable de réduire, autant que possible, les calculs que devront faire les aéronautes. Aussi était-il tout indiqué de construire des abaques qui permettraient de résoudre, avec une approximation suffisante, l'équation ci-dessus.*<sup>783</sup>

De La Baume Pluvinel présente alors l'un des abaques qu'Alfred Kannapell<sup>784</sup> a construit à sa demande pour le voyage de Leblanc et Mix. Ils sont au nombre de quatre car Mix avait probablement prévu que quatre astres différents pourraient être intéressants à observer. L'article rédigé par de La Baume Pluvinel présente l'un d'eux. Il s'agit de celui correspondant à  $\gamma$  Pégase (Algenib) qui est une étoile de la constellation Pégase visible dans l'hémisphère nord (voir figure 73).

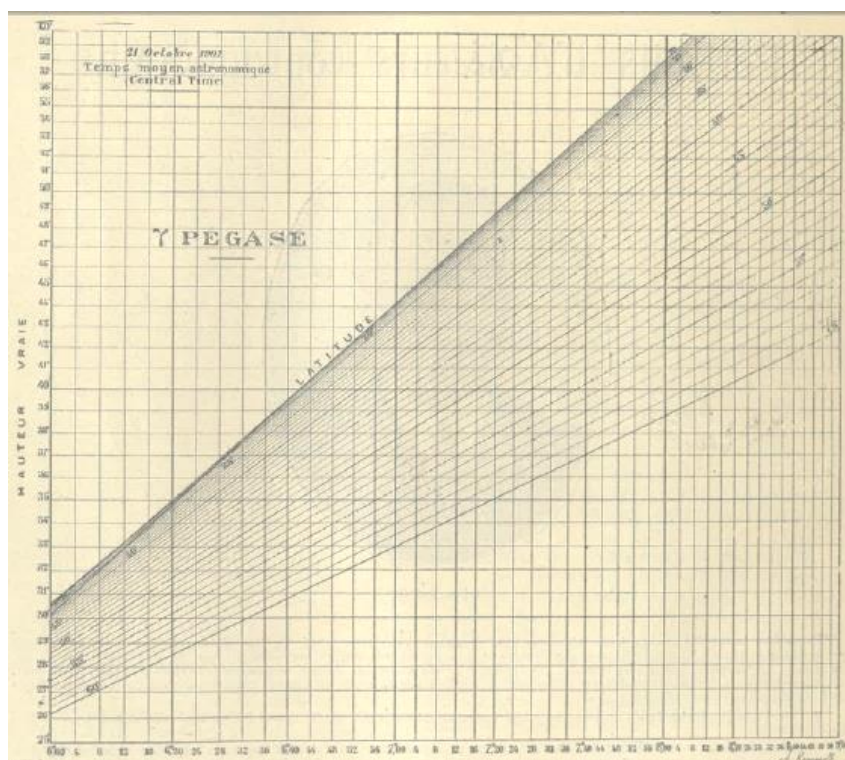


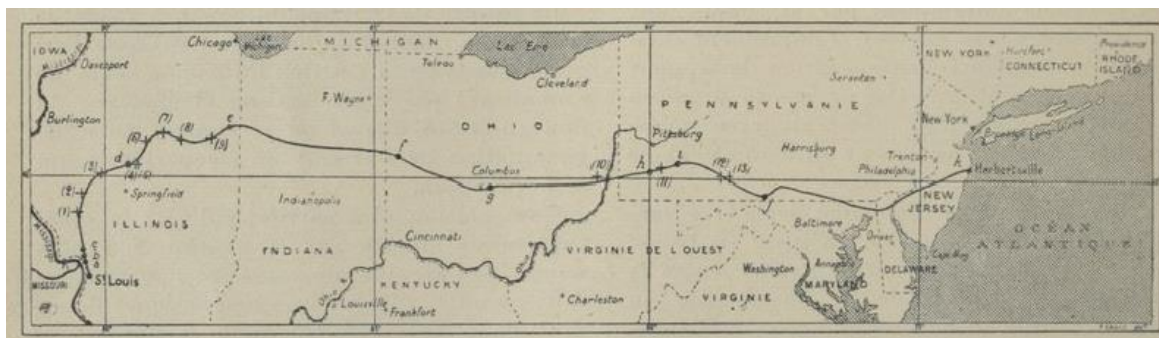
Figure 73 : Abaque pour faire le point en ballon.<sup>785</sup>

<sup>782</sup> *Ibid.*

<sup>783</sup> *Ibid.*

<sup>784</sup> Cet abaque est présent parmi les nomogrammes collectés par Maurice d'Ocagne (voir chapitre 3).

<sup>785</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., *Op. Cit.*, p. 158.



Carte 8 : Voyage de Leblanc et Mix dans la Coupe Gordon-Bennet, avec indication des points déterminés.<sup>786</sup>

De La Baume Pluvinel explique comment Kannapell a construit ses abaques qui « par suite d'un choix judicieux des arguments, (...) ne comportent pas de lignes courbes mais seulement des droites »<sup>787</sup>. Pour cela le constructeur a remplacé la formule

$$\sinh = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos H$$

(avec  $H$  l'angle horaire de l'étoile,  $h$  la hauteur observée,  $\varphi$  la latitude du lieu et  $\delta$  la déclinaison de l'étoile) par la relation :

$$y = a + bx$$

Il considère que deux paramètres sont constants : la déclinaison  $\delta$  de l'étoile observée ( $15^{\circ}14'$  pour  $\gamma$  Pégase) et  $\varphi$  pour tous les lieux qui ont la même latitude. Ainsi, Kannapell obtient la relation

$$y = a + bx \quad \text{en posant} \quad \sinh = y \quad \text{et} \quad \cos H = x.$$

Une même étoile donnera donc un faisceau de droites correspondant chacune à une latitude donnée. Il reste enfin à se servir de l'abaque pour obtenir la longitude en calculant la différence entre l'heure donnée par l'abaque et celle de la montre :

*Pour se servir de l'abaque, on suit la ligne horizontale correspondant à la hauteur observée de l'étoile, jusqu'à son intersection avec l'oblique de la latitude du lieu où l'on se trouve, puis on suit la verticale aboutissant à ce point, et on lit sur l'axe des  $x$  l'angle horaire de l'étoile ou plutôt l'angle horaire augmenté de l'ascension droite de l'étoile, ce qui donne l'heure sidérale. Si la montre indique l'heure moyenne du méridien d'origine, on peut inscrire à la place de l'heure sidérale, l'heure moyenne correspondante pour le jour de l'ascension. La différence entre l'heure donnée par l'abaque et l'heure de la montre indiquera la longitude.*<sup>788</sup>

<sup>786</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., *Op. Cit.*, p. 160.

<sup>787</sup> *Ibid.*

<sup>788</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., *Op. Cit.* p. 160 (et repris par BOURGEOIS R., *Conférence sur le point en ballon*, 1914, p. 5).

Mix s'est longuement exercé lors de la traversée du Havre à New York. De La Baume Pluvinel indique d'ailleurs la qualité du procédé choisi : « en mer, par des temps calmes, M. Mix a pu faire le point avec autant de précision que les officiers du bord »<sup>789</sup>. Bourgeois ajoutera que ce dernier a fait treize déterminations du point lors du voyage aérien, qui ont pu être validées du sol car le temps était clair (« les points déterminés par le calcul sont tous obtenus avec une précision supérieure à 20 km »<sup>790</sup>).

Ce procédé est intéressant pour l'aéronaute s'il se contente d'une précision moyenne. En effet, il suffit alors de se munir d'un nombre restreint d'abaques car le nombre d'étoiles brillantes observables en ballon est lui-même restreint. Et de « quelques nuits d'apprentissage »<sup>791</sup> comme l'assure Mix.

L'entraînement intensif de Mix n'a cependant pas permis aux aéronautes de remporter la Coupe Gordon-Bennet<sup>792</sup>.

### *L'abaque de Baldit*

Baldit, lors de ses ascensions nocturnes d'avril 1907 au-dessus de Bruxelles (avec le ballon *La Ville-de-Bruxelles* le 21 et l'*Aéro-Club IV* le 27), a procédé de façon légèrement différente. Il a d'une part observé la Polaire, et d'autre part Arcturus ou Régulus à l'aide du sextant gyroscopique Fleuriais. En effet, lui aussi considère que la hauteur de la Polaire donne presque immédiatement la latitude du lieu. Il lui reste donc à utiliser la hauteur d'une seconde étoile pour positionner le ballon. Le choix de la seconde étoile n'est pas « indifférent ». Il indique (sans donner plus de précisions) que :

*Des calculs très simples montrent que les deux étoiles : Arcturus et Régulus, que nous avons choisies, permettent (sous nos latitudes et avec une distance de la nacelle au ballon moyenne) une détermination constante du point pendant les trois mois de mars, avril et mai. Si à l'aide de quelques autres étoiles dont les graphiques peuvent être établis assez facilement, on suppose l'année couverte d'un réseau d'observations, on sera en possession d'une méthode pratique et simple pour la détermination du point pendant la nuit. Les seuls documents à emporter sont les deux graphiques relatifs aux étoiles qui sont les plus avantageuses pour l'époque où l'on observe.*<sup>793</sup>

---

<sup>789</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., *Op. Cit.*, p. 161.

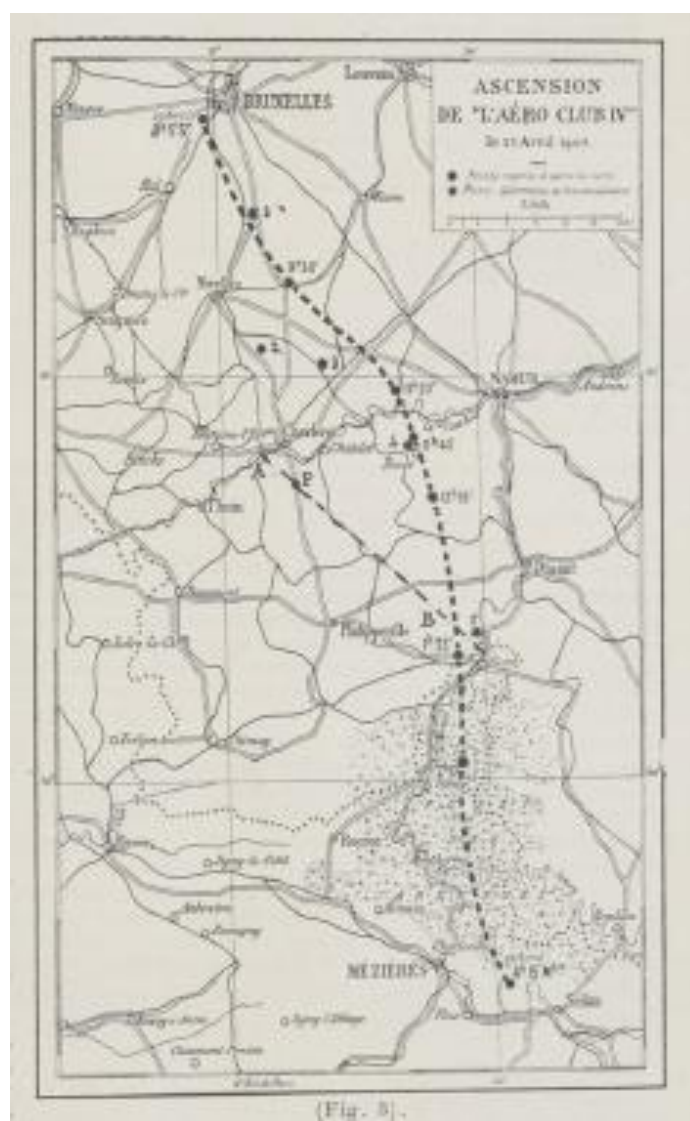
<sup>790</sup> BOURGEOIS R., *Op. Cit.*, p. 5.

<sup>791</sup> LA BAUME PLUVINEL (DE) A., *Op. Cit.*, p. 161.

<sup>792</sup> Ils sont arrivés en deuxième position derrière l'équipage allemand d'Oskar Erbslöh. Ceux-ci n'ont pas donné de précision sur les techniques de navigation aérienne qu'ils ont utilisées autres que celle de s'être renseigné au porte-voix auprès des spectateurs.

<sup>793</sup> BALDIT A. et DE BROUCKERE L., *Op. Cit.*, p. 148.

Dans les abaques établis par Baldit (voir figure 74), la hauteur de l'étoile observée se lit sur l'axe des abscisses ( $x$ ) et la latitude de la Polaire se trouve en ordonnée ( $y$ ). Le point de coordonnées ( $x ; y$ ) se trouve sur une oblique donnant le temps sidéral local (ou plutôt « l'angle au pôle de l'étoile, quantité à laquelle il suffit d'ajouter l'ascension droite de l'étoile pour avoir le temps sidéral local. C'est uniquement pour donner à ces diagrammes une durée plus grande que nous les avons établis ainsi »<sup>794</sup>). De plus, l'assistant de l'observateur a noté l'heure du chronomètre à l'instant des deux mesures de hauteur d'astre. La longitude du lieu d'observation se déduit alors par une simple addition.



Carte 9 : Voyage de Baldit et De Brouckère, avec indication des points déterminés et droite de hauteur au 5<sup>e</sup> point.<sup>795</sup>

<sup>794</sup> *Ibid.*

<sup>795</sup> *Ibid.*



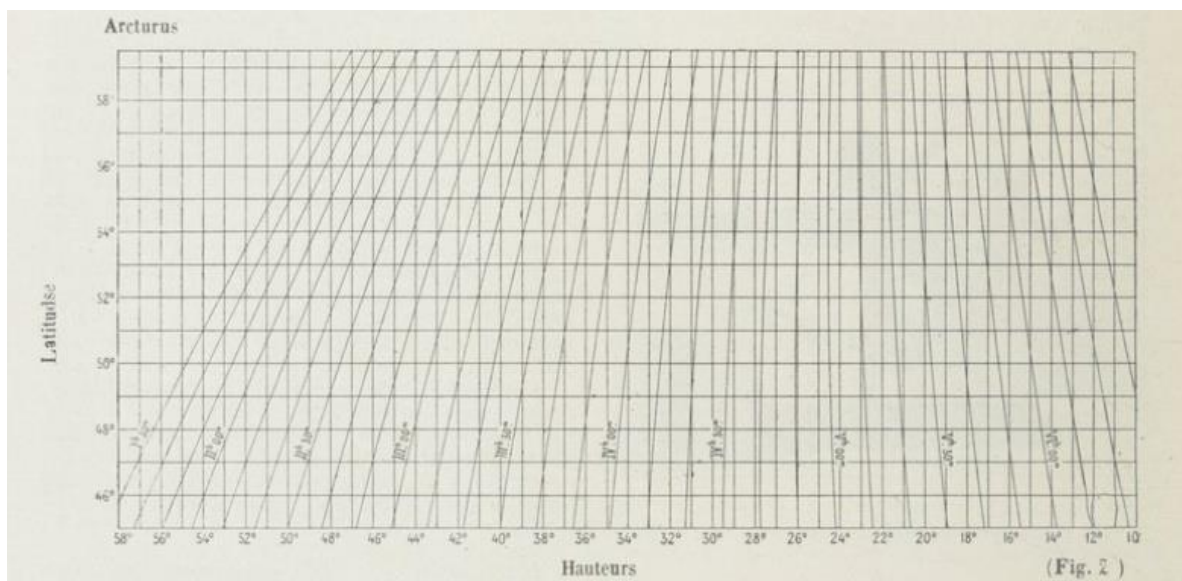


Figure 74 : Diagramme représentant l'heure sidérale locale pour Arcturus.<sup>796</sup>

Baldit a pu effectuer cinq points d'étoiles par ce procédé lors de son ascension du 27 avril 1907 à bord du ballon *Aéro-Club IV* (voir carte 9). Il insiste sur la rapidité de la méthode : « A partir du moment où les hauteurs sont lues sur le sextant, cinq minutes suffisent pour obtenir le résultat d'après le graphique »<sup>797</sup>.

| Heure de Paris                             | Etoile      | Hauteur | Point         |
|--------------------------------------------|-------------|---------|---------------|
| 1 <sup>er</sup> point ... { 8 h. 56' 58"   | Arcturus    | 44° 45' | L = 50° 41' N |
| 8 h. 58' 30"                               | Polaire     | 49° 33' | G = 2° 04' E  |
| 2 <sup>e</sup> point . . { 9 h. 51' 22"    | Arcturus    | 51° 53' | L = 50° 32' N |
| 9 h. 54' 00"                               | Polaire     | 49° 18' | G = 2° 05' E  |
| 3 <sup>e</sup> point . . { 11 h. 04' 56"   | Régulus     | 32° 59' | L = 50° 31' N |
| 11 h. 12' 00"                              | Polaire     | 49° 20' | G = 2° 22' E  |
| 4 <sup>e</sup> point . . . { 12 h. 26' 48" | Régulus     | 20° 18' | L = 50° 25' N |
| 12 h. 30' 00"                              | Polaire     | 49° 15' | G = 2° 22' E  |
| 5 <sup>e</sup> point . . . { 13 h. 31' 15" | Arcturus    | 51° 31' | L = 50° 11' N |
| 13 h. 40' 00"                              | Polaire (1) | 49° 12' | G = 2° 29' E  |

Tableau 8 : Relevé des points d'étoiles effectués par Baldit le 27 avril 1907.<sup>798</sup>

Baldit s'est directement adressé à Favé pour valider sa méthode, puisqu'il écrit :

*Nous sommes heureux de remercier ici ceux qui à des titres divers, ont bien voulu favoriser ces premiers essais : M. Favé secrétaire de la commission du point en ballon à qui nous avons exposé notre méthode et dont les conseils nous ont été précieux.*<sup>799</sup>

<sup>796</sup> *Ibid.*

<sup>797</sup> *Ibid.*

<sup>798</sup> *Ibid.*

<sup>799</sup> BALDIT A. et DE BROUCKERE L., *Op. Cit.*, p. 147.

De Brouckère apporte également sa contribution à l'étude du « point astronomique en ballon » en proposant un abaque afin de contrecarrer l'erreur de détermination de la hauteur de l'astre (voir figure 75) :

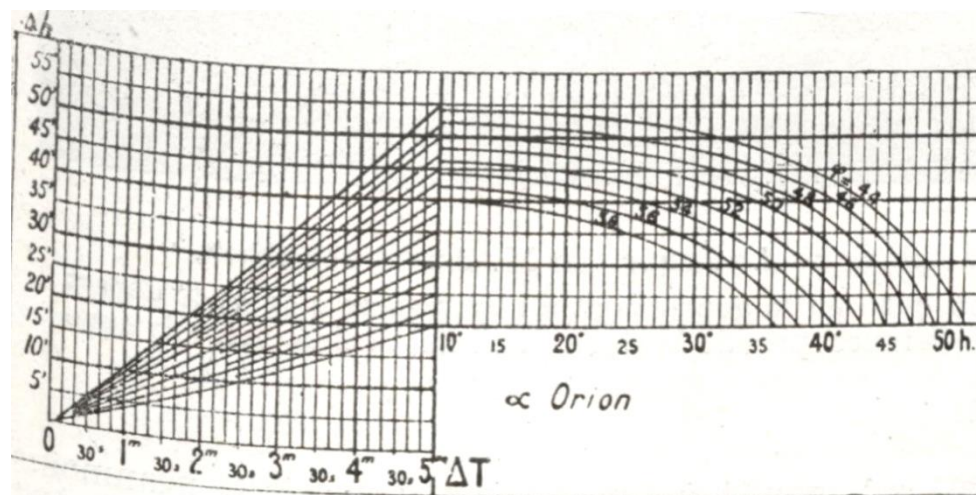


Figure 75 : Abaque pour prendre une moyenne entre plusieurs hauteurs.<sup>800</sup>

Ce diagramme, qu'il conseille de « placer dans un coin de l'abaque donnant la longitude »<sup>801</sup>, illustre bien l'ingéniosité des aéronautes pour faciliter leurs voyages. Mais nous n'avons pas de mode d'emploi de cet abaque et nous ne savons pas s'il a été utilisé lors de la coupe Gordon-Bennet ou ultérieurement.

#### *La réception de la méthode maritime par les aéronautes*

Baldit est également bien au fait des méthodes que les marins utilisent pour faire le point. En effet, il précise qu'il a vérifié son cinquième point d'étoile par la « méthode du parallèle estimé » (voir chapitre 2) qui est encore enseigné aux marins à l'époque. Il écrit :

*Outre la détermination des points telle que nous venons de l'exposer, il serait facile de montrer que les graphiques que nous avons établis permettent de tracer sans calcul la droite de hauteur par la méthode du parallèle estimé. Nous en avons fait une application ultérieure au 5<sup>e</sup> point sur la latitude duquel nous avons eu quelque doute. La droite A, B de la figure (3) représente cette droite dont le tracé concorde tout à fait avec notre situation sur la carte. C'est le point déterminatif de cette droite.*<sup>802</sup>

Et Baldit de conclure son article par :

<sup>800</sup> DE BROUCKERE L., « A propos du « Point astronomique en Ballon » », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> juin 1910, p. 257.

<sup>801</sup> *Ibid.*

<sup>802</sup> BALDIT A. et DE BROUCKERE L., *Op. Cit.*, p. 149.



*Même si la détermination astronomique du point en ballon doit être le cas exceptionnel, le sujet est assez intéressant en lui-même pour retenir l'attention des aéronautes et peut-être les méthodes simplifiées que le besoin suggérera pourront-elles à leur tour rendre à la navigation maritime de grands services.*<sup>803</sup>

Cette remarque est particulièrement pertinente, car nous avons ici un possible transfert des pratiques mathématiques de l'aéronautique à la marine<sup>804</sup>.

Les textes de Senouque, Baldit et de La Baume Pluvinel traitent tous du même sujet : comment se situer lorsqu'on est à bord d'un « plus léger que l'air », et principalement du ballon, à partir d'observations astronomiques. Ces navigateurs aériens reconnaissent les performances de leurs homologues de la marine, mais ils préfèrent tout de même développer leurs propres méthodes astronomiques simplifiées.

En effet, les méthodes maritimes sont difficilement utilisables à bord d'un ballon. Les aéronautes manquent de place dans leur nacelle. Ils manquent également de temps pour faire les calculs. C'est pourquoi ils choisissent des instruments robustes et faciles d'utilisation pour faire les observations et emportent avec eux quelques abaques, construits pour leur usage en ballon, qui leur donneront, sans calculs, une position avec une erreur acceptable.

Le commandant Paul Renard, propose une synthèse des réalisations en matière de navigation aérienne pour l'année 1908.

Il écrit en faisant preuve d'optimisme :

*On s'est aussi préoccupé de trouver des moyens de déterminer la position géographique d'un navire aérien avec exactitude, quand il a perdu de vue la terre ou que l'aéronaute ne peut pas diagnostiquer avec précision la région sous-jacente. On recourt pour cela, comme en mer, à des visées astronomiques, en d'autres termes, on fait le point en ballon. Tant que la navigation aérienne s'est réduite aux ascensions libres, la question ne présentait qu'un intérêt théorique ; il n'en est plus de même aujourd'hui, avec des appareils dirigeables plus lourds ou plus légers que l'air, permettant de faire des voyages vers un but déterminé. La question du point en ballon présentait de sérieuses difficultés théoriques et pratiques ; on peut dire qu'elles sont aujourd'hui résolues et que les futurs navigateurs aériens n'éprouveront aucune difficulté à déterminer leur longitude et latitude.*<sup>805</sup>

---

<sup>803</sup> *Ibid.*

<sup>804</sup> La navigation maritime utilise également des procédés simplifiés, mais nous n'avons pas trouvé de mention d'un transfert effectif de l'aéronautique vers la marine à partir des abaques de Baldit.

<sup>805</sup> RENARD P., « L'année aéronautique », *La Revue hebdomadaire*, 2 janvier 1909, p. 18.

### 3) La synthèse des procédés du « point en ballon » libre et dirigeable (1913-1914)

Les programmes pour l'année 1912-1913 de l'École supérieure d'aéronautique, créée rappelons-le en 1909, comprennent une mention à la navigation aérienne. « Le point en ballon et les cartes aéronautiques » font partie des cours professés cette année<sup>806</sup>.

Le capitaine Henri-Albert Noirel<sup>807</sup> et surtout le général Robert Bourgeois proposent une vision synthétique de la technique. La « Conférence sur le point en ballon », publiée en 1914 est la retranscription de la leçon proposée par Bourgeois à l'École supérieure d'aéronautique. Il est probable que le directeur du Service géographique de l'Armée soit intervenu à l'école dès que le « point en ballon » s'y est trouvé au programme et que son intervention ait été jugée suffisamment intéressante pour l'amener à donner une conférence à l'Aéro-Club de France en janvier 1913.

#### *Les procédés de navigation présentés par Bourgeois en 1913.*

Le général donne une conférence le 14 janvier 1913 devant une assistance nombreuse. Celui qui fait le compte rendu de cette conférence indique :

*L'intérêt avec lequel les auditeurs du général Bourgeois l'ont écouté est la meilleure preuve que la solution du problème du « point » en appareil aérien est une question à l'ordre du jour. Il est certain que les aéronautes, et surtout les pratiquants du ballon sphérique, se rendent de plus en plus compte de la nécessité de savoir à chaque instant au-dessus de quel point de la terre ils se trouvent, sans être obligé de perdre une quantité précieuse de gaz pour descendre au-dessous de la couche de nuages qui leur cachent le sol.*

*Connaissant leur position sur la terre, les aéronautes peuvent éviter de s'engager au-dessus de la mer ou d'un pays étranger, s'il doit en résulter quelque inconvénient pour eux. Les pilotes des ballons dirigeables et des avions doivent aussi pouvoir repérer leur route, car la dérive que le vent leur fait subir peut les entraîner dans une direction tout autre que celle qu'ils veulent suivre.*<sup>808</sup>

Le « point » est toujours d'actualité en 1913 car les besoins ne concernent plus uniquement les ballons libres. Le besoin de « point en dirigeable » est réel, et commence à se faire sentir en avion.

---

<sup>806</sup> Il est probable, mais nous n'en avons pas trouvé mention certaine, que ce soit la première année où cette notion soit abordée car le Conseil de perfectionnement de l'école avait décidé en 1911 que ses élèves diplômés ne porteraient plus le titre d'ingénieur-aéronaute mais celui d'ingénieur des constructions aéronautiques et mécaniques car l'enseignement de l'école ne comporte aucun exercice de pilotage.

<sup>807</sup> Henri-Albert Noirel (1870-1933).

<sup>808</sup> « Le « point » en appareil aérien », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> février 1913, p. 59.

Bourgeois explique ensuite la technique du « point en ballon » qui commence par une mesure d'hauteur d'astre. Il montre d'abord que le sextant du marin n'est pas utilisable, mais que d'autres instruments plus adaptés existent :

*Mais, ne pouvant viser la ligne d'horizon comme on le fait en mer, l'aéronaute ne pourra pas utiliser les sextants des marins. Il devra employer des instruments où l'horizon est indiqué, soit par un niveau à bulle d'air, soit par une ligne perpendiculaire à un pendule.<sup>809</sup>*

Il a lui-même expérimenté un tel appareil muni d'un pendule dès 1892 lors d'une ascension avec le général Gilbert Étienne Defforges. Bourgeois rappelle que deux modèles de sextant à niveau ont été utilisés cette dernière décennie : le « libellen-quadrant » allemand par de La Baume Pluvinel et le sextant marin modifié de la maison Ponthus et Therrode par Mix.

Bourgeois précise également que le calcul des coordonnées du lieu d'observation en appliquant les formules d'astronomie ne doit pas prendre trop de temps. Pour cela il préconise l'utilisation de tables ou de nomogrammes tels que ceux de Kannapell.

#### *Les trois nomogrammes de Noirel (1913)*

Noirel présente le fruit de ses réflexions sur la « point en ballon ou en aéroplane » suite à la conférence que Bourgeois a donnée à l'Aéro-Club de France le 14 janvier 1913. Il complète les propos de Bourgeois par quelques indications précises sur les procédés à utiliser.

Il décrit ainsi succinctement trois nomogrammes basés sur la hauteur d'une étoile, la latitude par la Polaire étant déjà déterminée.

Dans le premier nomogramme, la latitude (repérée par la lettre A sur la figure 76) et l'heure (sidérale du premier méridien) au moment de la mesure (repérée par la lettre B) sont connues. Le graphique permet alors de déterminer l'heure sidérale locale (repérée par la lettre C).

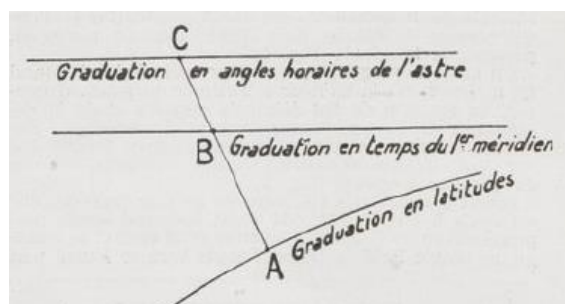


Figure 76 : Premier nomogramme présenté par Noirel.<sup>810</sup>

<sup>809</sup> Ibid.

<sup>810</sup> NOIREL H.-A., *Op. Cit.* p. 107.

Le deuxième nomogramme (voir figure 77) sert lorsque la hauteur et l'azimut du soleil sont connus. Si la déclinaison de l'astre est également connue, il permet de déterminer l'angle horaire du soleil donc « la longitude par comparaison avec l'heure lue sur une montre donnant (...) l'heure du premier méridien »<sup>811</sup>.

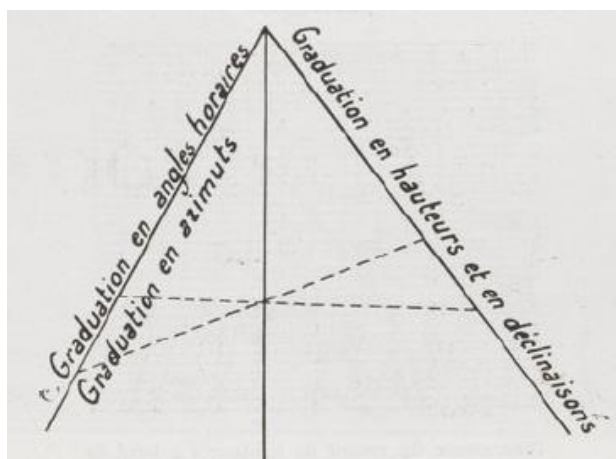


Figure 77 : Deuxième nomogramme présenté par Noirel.<sup>812</sup>

Le troisième nomogramme (voir figure 78) est quant à lui prévu pour résoudre le triangle de position  $PZS$  (où  $S$  indique le soleil) à l'aide de deux manipulations, en le décomposant en deux triangles rectangles  $PSM$  et  $ZSM$ .

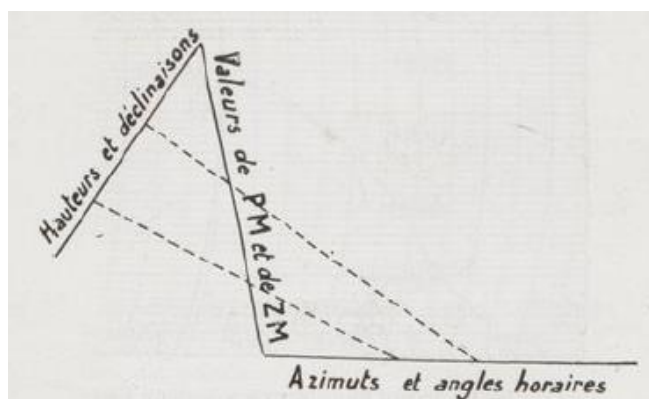


Figure 78 : Troisième nomogramme présenté par Noirel.<sup>813</sup>

Mais Noirel conclut son article en écrivant :

<sup>811</sup> NOIREL H.-A., « Le point en Ballon ou en Aéroplane », *L'Aérophile*, mars 1913, p. 108.

<sup>812</sup> *Ibid.*

<sup>813</sup> *Ibid.*

*Il résulte de tout ce qui précède, que le problème du point en ballon est assez délicat et nécessite un entraînement préalable, parfois assez long, si l'observateur veut être sûrement à l'abri de toute erreur et de toute hésitation.*<sup>814</sup>

Noirel a probablement voulu éclairer l'aéronaute intéressé par la navigation astronomique aérienne, mais ses explications ne sont pas très claires. Il indique que l'observateur devra s'entraîner pour espérer déterminer la position de son ballon. Il faudra probablement qu'il acquière également des connaissances en cosmographie. Or si cette matière est enseignée dans les écoles d'hydrographie et à l'École navale (voir chapitre 2), les cours de cosmographie sont plus difficiles à trouver pour l'aéronaute.

#### *Les méthodes de navigation de Bourgeois (1914)*

Le navigateur aérien pourra trouver, avec la « Conférence sur le point en ballon » de Bourgeois de 1914<sup>815</sup>, une version un peu plus facile d'accès que celle de Noirel, et plus détaillée, mais sans la présentation des nomogrammes.

Bourgeois présente trois procédés qui s'appliquent à l'aéronautique.

Il est d'abord possible de faire le point à l'aide de l'azimut du soleil qui se traite à l'aide de tables ou d'abaques en décomposant le triangle de position en deux triangles rectangles, comme avec le troisième nomogramme de Noirel (voir figure 78). Il considère qu'avec cette technique :

*Les calculs sont faciles et rapides ; du reste, des tables ou des nomogrammes permettent de s'en dispenser et d'appliquer ces formules [de trigonométrie sphérique] avec assez de précision pour les applications pratiques.*<sup>816</sup>

Il cite ensuite la méthode nocturne qu'il indique avoir été utilisée par Mix lors de la coupe Gordon-Bennet, à savoir le « point à l'aide d'une détermination de latitude par la Polaire (solution Kannapell) »<sup>817</sup> (voir paragraphe précédent).

Puis il examine la « méthode des droites de hauteur » qui pour lui « paraît être celle que l'on emploiera le plus fréquemment à l'avenir »<sup>818</sup>. Après avoir donné quelques explications théoriques de cette méthode bien connue des marins, il indique :

*Dans le point à la mer et en dirigeable, comme on connaît, par l'estime, une position approchée du navire assez exacte, on remplace le cercle de hauteur, ou, du*

---

<sup>814</sup> *Ibid.*

<sup>815</sup> BOURGEOIS R., *Conférence sur le point en ballon*, 1914.

<sup>816</sup> BOURGEOIS R., *Op. Cit.*, p. 4.

<sup>817</sup> *Ibid.*

<sup>818</sup> BOURGEOIS R., *Op. Cit.*, p. 5.

*moins, sa portion utile, dans le voisinage du point estimé, par sa tangente, que l'on appelle droite de hauteur. On trace cette droite sur la carte et l'intersection de deux droites donne le point. Le tracé d'une telle droite se fait très facilement.*<sup>819</sup>

Mais Bourgeois sait que la position estimée peut être très incertaine en navigation aérienne. Il précise alors qu'« une solution très élégante et très pratique du tracé des cercles de hauteur, en utilisant les propriétés de la projection stéréographique »<sup>820</sup> a été proposée par Favé et testée lors de l'ascension du 11 juillet 1908<sup>821</sup>. Si les résultats de l'expérience sont encourageants, Favé ne semble pas tout à fait satisfait de son instrument, ce que rapporte Noirel : « il semble toutefois, de l'aveu même de l'inventeur, que l'instrument soit un peu trop sensible aux courants d'air créés par les variations de température les plus faibles »<sup>822</sup>.

Bourgeois apprécie peu le « quadrant à niveau » et le « sextant à niveau » qui « ne semblent pas donner d'aussi bons résultats que le sextant à horizon gyroscopique. Leur seul avantage est d'être un peu plus maniable »<sup>823</sup>. Ses préférences vont à « la boussole amortie » de Favé, que donnerait simultanément la hauteur et l'azimut du soleil et le sextant à horizon gyroscopique » de l'amiral Fleuriat<sup>824</sup>. Nous retrouvons dans ces préférences, comme nous l'avons déjà noté pour la marine, la différence existante entre les tenants d'un résultat où la précision passe avant tout et ceux qui privilégient plutôt la facilité d'utilisation (voir chapitre 2).

Selon Bourgeois, les pilotes de dirigeables maîtrisent des méthodes de navigation aérienne similaires à celles des marins. Il écrit :

*Le problème est aujourd'hui entièrement résolu : les aéronautes pilotes de dirigeables naviguent à l'estime et font le point astronomique comme les marins et par des méthodes tout à fait analogues. Il ne reste à l'étude que les procédés qui permettront de faire le point à l'aide d'observations magnétiques, ou, du moins, d'obtenir, par l'observation de l'inclinaison ou de la composante horizontale, un lieu de la position du navire ; cette solution sera à employer quand la navigation se fera dans la couche de nuages.*

*Ce qui différencie le point en ballon du point à la mer, c'est que le premier doit pouvoir être fait et calculé avec la plus grande rapidité possible.*<sup>825</sup>

---

<sup>819</sup> BOURGEOIS R., *Op. Cit.*, p. 6.

<sup>820</sup> BOURGEOIS R., *Op. Cit.*, p. 7.

<sup>821</sup> Il s'agit peut-être de l'astrolabe à palette cité dans l'article écrit par de La Baume Pluvinel (voir paragraphe précédent).

<sup>822</sup> NOIREL H.-A., *Op. Cit.*, p. 106.

<sup>823</sup> BOURGEOIS R., *Op. Cit.*, p. 9.

<sup>824</sup> *Ibid.*

<sup>825</sup> BOURGEOIS R., *Op. Cit.*, p. 1.

Il indique d'ailleurs que ces méthodes ont été appliquées lors de deux voyages du dirigeable *Adjudant Vincenot*<sup>826</sup>.

Il faut d'abord estimer la position à l'instant  $T'$ , en se basant sur la position connue à l'instant  $T$ . Il convient ensuite de rectifier la position à l'aide d'observations astronomiques. Bourgeois présente d'abord un tracé comparable à celui effectué par les marins : « on prend, comme les marins, pour point rapproché, le pied de la perpendiculaire abaissée de  $A$  [position estimée du dirigeable] sur la droite [de hauteur] (...) »<sup>827</sup>. Puis il cite la méthode utilisant l'intersection de deux droites de hauteur ou la méthode de l'azimut associée à la déclinaison magnétique du point estimé.

Les procédés de détermination du point à bord des ballons, utilisés par de La Baume Pluvinel, Senouque, Baldit ou Favé, sont riches d'informations, mais restent probablement peu suivis d'effets car il s'agit en effet d'ascensions scientifiques pratiquées par des savants. La navigation de Mix peut présenter plus d'intérêt car elle illustre les innovations mises au service d'un exploit sportif ou d'un raid.

Enfin Bourgeois, citant la méthode utilisée à bord de l'*Adjudant Vincenot*, montre que les procédés ont dépassé l'aérostation en 1913 pour s'étendre au monde des dirigeables alors en pleine expansion. L'enseigne de vaisseau Delaunay mentionne également la navigation astronomique à bord des dirigeables dans un article d'octobre 1912 où il écrit : « s'il est impossible à l'heure actuelle de faire le point en aéroplane, la situation est entièrement différente en dirigeable, car l'on y dispose de considérables facilités pour observer et calculer »<sup>828</sup>.

#### 4) Le point en aéroplane

Nous avons remarqué que les performances des aéroplanes sont suffisantes à partir de 1911 pour que certains pilotes pratiquent une navigation à l'estime selon la « méthode maritime » comme la nomme Bellenger (voir paragraphe sur la navigation à l'estime), mais est-il encore trop tôt pour envisager une navigation astronomique ? Bellenger précise à propos de cette méthode : « en aéroplane, on n'a pas encore fait le point ; peut-être y viendra-t-on ; mais pour le reste, la méthode est utilisée telle quelle par les marins devenus aviateurs »<sup>829</sup>. Un transfert existe à cette époque entre la marine et l'aviation au niveau de la navigation à l'estime, mais

---

<sup>826</sup> Il n'y a pas de précisions de dates, mais c'est peut-être lors du voyage d'Albi à Issy-les-Moulineaux le 23 septembre 1913.

<sup>827</sup> BOURGEOIS R., *Op. Cit.*, p. 8.

<sup>828</sup> DELAUNAY A., « L'emploi du dirigeable dans la marine », *La Revue aérienne*, 10 octobre 1912, p. 558. Jules Aristide Achille Delaunay (1884-1916).

<sup>829</sup> BELLENGER G., « La direction en aéroplane », *L'Aérophile*, 15 février 1911, p. 82.

pas encore au niveau de la navigation astronomique. Nous constatons que la situation est inchangée un an et demi plus tard grâce à l'article de Delaunay.

Une légère évolution intervient en 1913 comme le montrent les titres des articles. En effet, l'article publié le 1<sup>er</sup> février à propos de la conférence du 14 janvier 1913 de Bourgeois s'intitule « le « point » en appareil aérien »<sup>830</sup> et celui de Noirel : « Le Point en Ballon ou en Aéroplane »<sup>831</sup> ce qui laisse espérer d'avoir des informations sur la navigation astronomique en aéroplane. Si la navigation astronomique est bien présente, comme nous l'avons montré, elle ne concerne pourtant que les ballons libres et dirigeables. Les quelques lignes y évoquant les aéroplanes ne traitent que de la navigation à l'aide de la boussole.

La petite mention la plus prometteuse est celle que nous lisons en fin de l'article « Un aviateur veut voler de Marseille à Alger » publié dans *Le Journal* du 2 avril 1913. Le correspondant local a interviewé à Marseille les aviateurs Augustin Seguin et Louis Pierron<sup>832</sup> avant leur tentative de traversée de la Méditerranée. Pour ce vol Seguin sera le pilote et Pierron le passager ce qui correspond, comme nous l'avons remarqué avec le « Grand Prix Michelin », à un rôle de navigateur. Le correspondant cite Pierron :

*Notre tentative n'est pas un raid, mais un voyage d'étude. Nous vérifierons les conditions de visibilité des aviateurs en mer ; nous nous rendrons compte de la possibilité de faire le point en aéroplane et, pour cela, j'emporte avec moi tous les instruments nécessaires, sextant, etc.*<sup>833</sup>

Pierron ne pourra pas mettre en pratique ce qu'il avait prévu car les deux aviateurs renoncent à leur traversée du fait d'un problème chez les torpilleurs qui devaient les assister. Il est possible que des expériences de point en aéroplane aient été effectuées avant la Première guerre mondiale, mais nous n'en avons pas trouvé mention.

## Conclusion

La navigation aérienne est jeune à la veille de la Première guerre mondiale. Cette science concerne dans un premier temps les ballons libres (dès le dernier quart du XIX<sup>e</sup> siècle) avant que les dirigeables et les aéroplanes s'en préoccupent vers 1909-1910.

Des aéronautes, tels que Wilfrid de Fonvielle et Georges Besançon, s'impliquent dans le développement de tous les aspects de l'aéronautique naissante dont les méthodes de navigation aérienne. Une presse aéronautique (*L'Aéronaute*, *L'Aérophile*, *La Revue Aérienne*,

---

<sup>830</sup> « Le « point » en appareil aérien », *L'Aérophile*, février 1913, pp. 59-60.

<sup>831</sup> NOIREL H.-A., *Op. Cit.*, pp. 106-108.

<sup>832</sup> Louis Pierron (1880-1918).

<sup>833</sup> « Un aviateur veut voler de Marseille à Alger », *Le Journal*, 2 avril 1913, p. 1.



*L'Aéro*), des sociétés savantes (SFNA, AéCF, etc.) et quelques écoles d'aérostation voient le jour à la fin du XIX<sup>e</sup> et au début du XX<sup>e</sup> siècle sous leur impulsion. Ce sont les principaux vecteurs de la transmission des connaissances pratiques et théoriques en navigation aérienne auxquels il faut rajouter les militaires. En effet, ces derniers, avec comme chefs de file les frères Charles et Paul Renard, s'engagent également en faveur de l'aérostation.

Les recherches sur les moyens de suivre ou de reconnaître une route en aéronef débutent par celles sur le ballon libre puis par celles sur les aéroplanes et les dirigeables.

Quelques instruments de navigation à l'estime sont inventés vers 1870 (compas de Janssen en 1871, planchette imaginée par de Fonvielle en 1870, etc.) pour répondre à la question de la route suivie par le ballon libre. Mais il faut attendre les années 1909-1910 pour qu'une nouvelle génération de compas aériens soit commercialisée. Si la boussole du comte de Fayolle n'est qu'un système astucieux de boussole à main destiné aux ballons libres, celle de Gaston Daloz et le dispositif imaginé par Auguste Baron sont prévus pour être utilisés par les pilotes d'aéroplanes. Les nouveaux compas aériens sont essentiellement construits et commercialisés par des maisons spécialisées dans les instruments scientifiques, issues du monde des enregistreurs et des baromètres ou de l'horlogerie et de l'optique. Les maisons spécialisées dans les instruments nautiques se lancent timidement dans la production de compas aériens (nous avons identifié les compas Vion et peut-être Doignon).

Les besoins en instruments pour se diriger augmentent parallèlement à l'évolution du nombre d'aéroplanes (et de dirigeables dans une moindre mesure). Baron répond par son « anémo-boussole » aux besoins suscités par l'utilisation de plus en plus courante de l'aéroplane (tourisme, envoi postal ou présence militaire dans les contrées lointaines) qu'il anticipe. De même, l'avionneur Deperdussin équipe certains de ses aéroplanes de compas produits par ses établissements.

Les années 1909-1910 voient également se préciser les demandes en cartes spéciales pour l'aéronautique. Mais les aéronautes et les aviateurs doivent longtemps encore se contenter de cartes d'état-major, qu'ils peuvent éventuellement adapter à leurs besoins en les annotant et en les découpant. À la veille de la Première guerre mondiale, les cartes spécifiquement destinées aux aviateurs et aéronautes, que l'AéCF fait publier, sont loin de recouvrir entièrement la France, et ce ne sont pas des cartes en projection de Mercator alors que nombre de marins ont vanté les avantages que pourraient procurer de telles cartes si elles étaient adaptées à l'aéronautique.

Si la navigation à l'estime concerne tous les moyens de locomotion aériens en 1914, la navigation astronomique n'a pas encore été pratiquée en aéroplane. En revanche, plusieurs

essais de « point en ballon », d'abord libre puis dirigeable, sont réalisés. Ce qui fait écrire au général Bourgeois en 1914 que « les aéronautes pilotes de dirigeables naviguent à l'estime et font le point astronomique comme les marins et par des méthodes tout à fait analogues »<sup>834</sup> Nous avons cependant montré que ces méthodes de navigation astronomiques diffèrent sensiblement. Tout d'abord, les aéronautes doivent choisir des sextants permettant de faire des mesures de hauteur d'astres sans pouvoir utiliser l'horizon. Le sextant Fleuriais, utilisé dans la marine si l'horizon est absent, n'a pas la faveur de tous les aéronautes qui lui préfèrent souvent un instrument moins sensible et plus pratique même s'il est moins précis. D'autre part, si certains auteurs citent bien la « droite de hauteur » dans leur article, je n'ai pas trouvé de mention d'un recours aux tables de logarithmes pour finaliser la détermination du « point en ballon ». Les aéronautes ont eu recours à des abaques, réalisés pour l'ascension prévue, ce qu'évite d'utiliser un marin (voir chapitre 3).

Nous avons cependant montré qu'il existe déjà de nombreux liens entre la marine et l'aéronautique. Des marins publient des articles dans différentes revues spécialisées ou non afin de mettre en avant les éléments de la navigation maritime qui pourraient être adaptés à la navigation aérienne. Mais surtout, les premiers « marins du ciel » se forment au contact de leurs homologues de l'Armée et des civils dans les écoles des constructeurs, leur permettant en retour de prendre connaissance des pratiques maritimes notamment l'utilisation conjointe de la carte et de la boussole pour se diriger.

Pourtant la navigation aérienne n'est pas la préoccupation première des aéronautes et des aviateurs. La presse fabrique des héros dont les exploits sportifs passionnent les lecteurs. La navigation à l'estime et plus encore la navigation astronomique sont une affaire de spécialistes ou d'aéronautes puis d'aviateurs motivés qui voient dans leur emploi un moyen d'optimiser leurs performances.

---

<sup>834</sup> BOURGEOIS R., *Conférence sur le point en ballon*, 1914, p. 1.

## Chapitre 5

### Se diriger en mer et dans les airs. L'impact de la Première guerre mondiale

#### Introduction

Les domaines techniques et scientifiques ont connu des avancées substantielles durant la Première guerre mondiale, notamment au niveau des systèmes de repérage des armes ennemies<sup>835</sup>, en raison de l'investissement massif des savants dans l'effort de guerre<sup>836</sup>. Certains aspects de la navigation, qui rappelons-le sert à se repérer et à se diriger, ne font pas exception, même si ces avancées ne bénéficient pas d'une grande visibilité.

Une double question se pose alors : en quoi les méthodes et connaissances en navigation tant aérienne que maritime ont-elles eu un impact sur la Première guerre mondiale ? Et inversement, les recherches des savants et des ingénieurs pour mettre au point des instruments et des procédés destinés à lutter contre l'ennemi ont-elles bénéficié à la navigation ? Nous répondrons à cette double interrogation selon trois axes.

Dans un premier temps nous l'aborderons selon l'angle de la « navigation électrique ». Car, si cette nouvelle navigation ne naît pas durant la Première guerre mondiale, le compas gyroscopique ou le radiogoniomètre restant du domaine du prototype en France avant 1914, elle vient compléter durablement la navigation à l'estime et la navigation astronomique au début du conflit. En effet, la situation de guerre, où l'argent est disponible pour les recherches et les achats de matériels onéreux, réduit les freins à une utilisation plus généralisée de ces instruments.

L'étude de certains aspects du Service géographique des Armées (SGA) apportera ensuite des réponses à notre interrogation. D'une part, l'activité au sein du SGA des ingénieurs hydrographes recrutés par le général Robert Bourgeois, dont notamment les travaux poursuivis par Louis Favé sur le « point en ballon », mettra en lumière l'expertise de ces marins dans le domaine du repérage. D'autre part, la Première guerre mondiale permettra de développer la technique de la cartographie aérienne, la carte étant un instrument incontournable de la navigation maritime ou aérienne.

---

<sup>835</sup> GALVEZ-BEHAR G., « Le savant, l'inventeur et le politique. Le rôle du sous-secrétariat d'état aux inventions durant la première guerre mondiale », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, vol. 85, n° 1, 2005, pp. 113-112.

<sup>836</sup> AUBIN D. et BRET P., « Introduction », *14/18 Aujourd'hui. Today. Heute*, dossier « Le Sabre et l'Éprouvette. L'invention d'une science de guerre 1914/1939 », 6, mars 2003, p. 44.

Enfin, la navigation aérienne donnera toute sa mesure lorsque les tâches dévolues à l'aéronautique vont se diversifier à la pratique du bombardement. Nous analyserons cette spécialité d'une part dans l'aéronautique militaire, d'autre part dans l'aéronautique maritime en distinguant la pratique à bord des dirigeables de celle à bord des avions.

### A) La « navigation électrique » inventée avant la Première guerre mondiale et développée durant le conflit

L'électricité est présente à bord des navires de guerre peu de temps après l'invention de la dynamo, qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique, à la fin des années 1860 où elle est d'abord utilisée pour l'éclairage<sup>837</sup>. D'autres usages sont rapidement envisagés suite aux travaux d'ingénieurs et de scientifiques. L'électricité a notamment permis de développer deux nouveaux instruments de navigation : le compas gyroscopique et le radiogoniomètre.

#### 1) Le compas gyroscopique

Le compas gyroscopique, ou gyrocompas, est l'une des applications pratiques du phénomène mis en lumière par le physicien français Léon Foucault<sup>838</sup> vers 1850, à savoir qu'un disque tournant à grande vitesse garde la même orientation en direction des étoiles. En 1917, il existe plusieurs applications maritimes du gyroscope dont le sextant gyroscopique Fleuriais (voir chapitre 3) qui est en rotation non entretenue, et le compas gyroscopique dont la rotation est entretenue électriquement à bord des navires.

#### *Le compas gyroscopique par Foucault pour mettre en évidence la rotation terrestre (1852)*

Le compas gyroscopique existe depuis déjà une soixantaine d'années à la veille de la Première guerre mondiale. En effet, Foucault invente, en 1852, le compas gyroscopique, lancé par une manivelle (et non électrique), en voulant mettre en évidence la rotation de la terre (voir figure 79)<sup>839</sup>. En 1851, Foucault a montré le mouvement de rotation de la terre grâce aux oscillations d'un pendule suspendu sous la coupole du Panthéon. Mais il décide de construire un dispositif pour illustrer plus aisément cette rotation selon le principe qu'il présente en juillet 1852 à l'Académie des Sciences

*Quand un corps tournant sur un de ses axes principaux est librement suspendu par son centre de gravité, il donne à la surface de la Terre les déviations apparentes (...) ; mais si, au lieu de laisser ce corps libre pirouetter en tous sens, on assujettit son*

---

<sup>837</sup> AUBUSSON DE CAVARLAY, E. *Cours d'électricité professé à l'école d'application du génie maritime*, Paris, Augustin Challamel, 1899, p. 345.

<sup>838</sup> Léon Foucault (1819-1868).

<sup>839</sup> Voir TOBIN W. (traduction LEQUEUX J), *Léon Foucault, le miroir et le pendule*, Paris, EDP sciences, 2002.

*axe de rotation à ne pouvoir tourner qu'autour d'un axe fixe à la surface de la Terre, on fait naître une force qui tend à ramener l'axe du corps tournant dans la direction la plus voisine possible de celle de l'axe du monde, et à disposer les deux rotations dans le même sens. Ces évolutions des corps animés d'une rotation rapide donnent ainsi de nouveaux signes très-prompts et très-apparents du mouvement de la Terre.*<sup>840</sup>

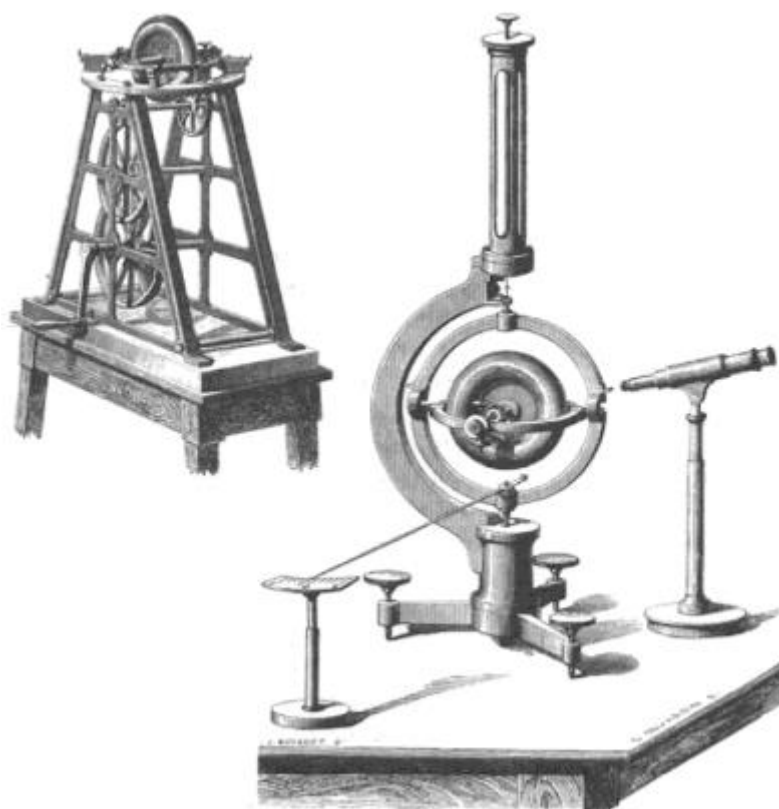


**Figure 79 : Appareil à manivelle et engrenage servant à lancer le rotor et gyroscope de Foucault lorsque le tore est placé sur son support à la Cardan.**<sup>841</sup>

Foucault n'est pas le seul à avoir compris que l'appareil qu'il nomme « gyroscope » va mettre en évidence le mouvement terrestre, mais il a la priorité de publication et surtout de la réalisation d'un dispositif expérimental<sup>842</sup>. Il fait appel à Pierre Dumoulin-Froment, constructeur d'instruments de précision, pour fabriquer l'appareil qu'il a imaginé. La vitesse du rotor, obtenue par l'appareil à manivelle et engrenage est si élevée (150 à 200 tours par seconde) qu'elle lui permet de tourner entre 8 et 10 minutes ce qui est suffisant pour observer la rotation

<sup>840</sup> FOUCAULT L., « Sur les phénomènes d'orientation des corps tournants entraînés par un axe fixe à la surface de la Terre- Nouveaux signes sensibles aux mouvement diurne », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, juillet 1852, p. 424.

<sup>841</sup> TOBIN W. (traduction LEQUEUX J), *Op. Cit.*, p. 162.

<sup>842</sup> TOBIN W. (traduction LEQUEUX J), *Op. Cit.*, p. 164.

terrestre, soit au travers de la lunette soit directement sur l'aiguille graduée (voir figure 79 à droite).

### *Les premiers compas gyroscopiques destinés à la marine*

Pour une utilisation comme compas à bord du navire, il faut être capable de fournir une vitesse de rotation très élevée au rotor afin de rendre le gyroscope insensible au roulis et au tangage<sup>843</sup>

Quelques prototypes destinés à la marine sont ensuite réalisés à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Ainsi le capitaine et ingénieur français Arthur-Constantin Krebs<sup>844</sup> invente un compas gyroscopique électrique qui équipe le sous-marin *Gymnote* en 1889. Mais cet instrument n'est pas encore suffisamment performant pour que son utilisation soit généralisée, car il n'est pas fixé à une monture lui permettant de flotter sans frottement.

C'est en prévision d'une expédition polaire en sous-marin, que le Dr Hermann Anschütz-Kaempfe<sup>845</sup>, de Kiel en Allemagne, cherche à mettre au point un appareil répondant à ses attentes et à celle de la marine allemande<sup>846</sup>. Celle-ci souhaite acquérir une boussole, autre que le compas Thomson (voir chapitre 3), utilisable sur les navires métalliques. Anschütz-Kaempfe dépose un premier brevet, le 27 mars 1904, pour un compas gyroscopique, fruit de deux années de recherches, alors que l'utilisation d'un tel appareil sur un navire est considérée comme impossible par des physiciens comme Oscar Martienssens de Siemens<sup>847</sup>. Ce compas gyroscopique, initialement prévu pour un sous-marin, est finalement expérimenté en 1908, après quelques améliorations, à bord du *Deutschland*, un navire de l'armée impériale allemande. L'expérimentation dure quatre semaines et donne toute satisfaction avec une navigation « assurée à 1° près »<sup>848</sup>. L'instrument, fabriqué et commercialisé par la société Anschütz, ayant prouvé sa valeur, se retrouve ensuite sur plusieurs navires de guerre (voir figure 80). La société Plath, basée à Hambourg en Allemagne, s'intéresse à l'instrument de Anschütz-Kaempfe. Elle devient, en 1912, l'agent de la société Anschütz pour le marché de la marine marchande et propose en 1913 le premier gyrocompas installé sur un navire commercial.

---

<sup>843</sup> JUHEL P., *Histoire de la boussole*, France, éditions Quaé, p. 125.

<sup>844</sup> Arthur-Constantin Krebs (1850-1935).

<sup>845</sup> Hermann Anschütz-Kaempfe (1872-1931).

<sup>846</sup> BROELMANN J., « Hermann Anschütz-Kaempfe - Richtungsweiser ohne Spuren », *Deutsches Schifffahrtsarchiv*, n°25, Bremerhaven 2002, p. 42.

<sup>847</sup> BROELMANN J., *Op. Cit.*, p. 45.

<sup>848</sup> *Revue Maritime*, janvier 1909, p. 608.

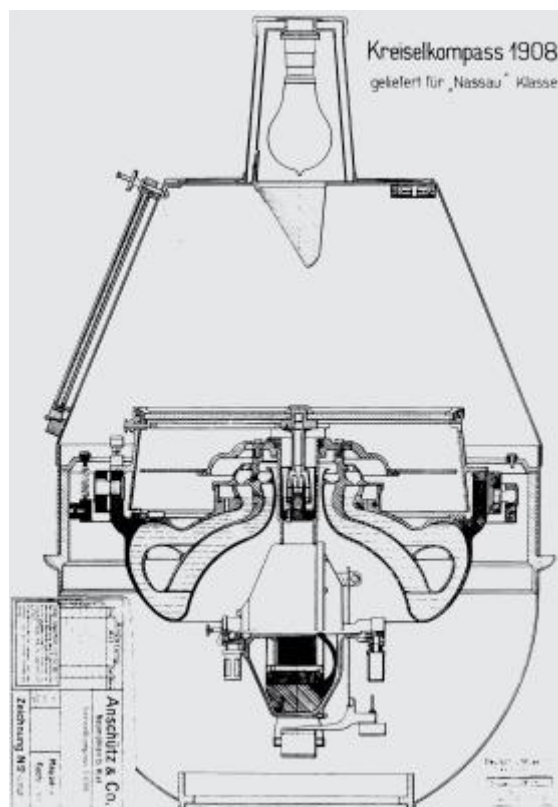


Figure 80 : Boussole du modèle Anschütz-Kaempfe à rotor unique en 1908.<sup>849</sup>

L'américain Elmer Ambrose Sperry<sup>850</sup> fait de son côté breveter un premier gyrocompas en 1908. Ce compas, tout comme le compas allemand, est basé sur les principes mis en lumière par Foucault. Cependant l'instrument de Sperry est très différent de celui d'Anschütz-Kaempfe, comme le fait remarquer Edouard W. Bogaert, en 1920 (« La préoccupation de M. Elmer A. Sperry paraît avoir été surtout de produire un instrument d'une construction mécanique plus robuste »<sup>851</sup>). Cet instrument, commercialisé par la Sperry Gyroscope Company qu'il vient de fonder, est testé à bord d'un navire marchand (le *Princess Anne*) et d'un navire militaire (le *US Delaware*) en 1911. La marine militaire passe commande de compas gyroscopiques suite à ces tests réussis<sup>852</sup>. En 1912, deux compas sont à l'essai sur l'*Utah* et le *North-Dakota* mais le prix de l'unité est élevé (41 600 francs) ce qui amène le secrétaire de la marine américaine à demander un crédit supplémentaire de 624 000 francs pour l'achat de quinze « compas de combat »<sup>853</sup>.

<sup>849</sup> BROELMANN J., *Op. Cit.*, p. 49.

<sup>850</sup> Elmer Ambrose Sperry (1860-1930).

<sup>851</sup> BOGAERT E. W., « Les compas gyroscopiques, suite et fin », *Ciel et Terre*, vol. 36, 1920, p. 157.

<sup>852</sup> Sur l'invention du gyrocompas par Sperry, voir : HUGHES T. P., *Elmer Sperry: Inventor and Engineer*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1993.

<sup>853</sup> *Revue Maritime*, avril 1912, p. 116.

Il existe à la veille de la Première guerre mondiale deux compas gyroscopiques opérationnels, l'un allemand, l'autre américain, ayant été approuvés par les marines de leur pays. Certes des Français se sont penchés sur la question, comme l'enseigne de vaisseau Pierre Lemaire<sup>854</sup> qui, suite à un doctorat ès sciences, imagine un appareil qui est breveté par la maison Doignon (voir chapitre 4), mais c'est le modèle proposé par les Américains qui est utilisé à bord des navires français durant la Première guerre mondiale. Il est possible que le prix de l'instrument ou ses modes de commercialisation aient influencé le choix de la Marine française, mais je n'en ai pas trouvé d'indice. Bien que le professeur d'hydrographie Alfred Lucas cite en 1917, dans la *Revue de la marine marchande*, les trois modèles de gyrocompas : Sperry, Lemaire et Anschütz, il ne décrit que le premier qui est « actuellement employé à bord de quelques navires de la Flotte où il a donné de bons résultats »<sup>855</sup>. Il considère que les principaux inconvénients des différents modèles de compas gyroscopiques sont leur prix élevé et leur durée d'utilisation limitée, de ce fait ils ne sont pas encore adaptés à tous les navires.

*Il coûte beaucoup plus cher qu'un compas Thomson, il consomme, pour son fonctionnement, de l'énergie électrique, sa durée est limitée. Son emploi n'est donc réalisé que sur les navires pour lesquels un compas Thomson compensé n'offre pas de garanties suffisantes : navires de très fort tonnage, blockhaus des cuirassés, sous-marins.*<sup>856</sup>

Rappelons que Dunoyer a conçu en 1908 un compas gyroscopique que cite d'ailleurs « Sailor » en 1910 (voir chapitre 4). Cet appareil ne semble pas avoir été utilisé par la marine française ; en revanche il aurait servi de base pour un modèle réalisé par la société américaine Pioneer et été utilisé par l'aviation américaine avant la Première guerre mondiale<sup>857</sup>.

### *Fonctionnement du compas gyroscopique*

Penchons-nous maintenant sur le fonctionnement du gyrocompas dans sa version allemande ou américaine.

Le compas gyroscopique, dans ces deux versions, est constitué d'un gyroscope (une toupie tournant à grande vitesse) monté sur un cardan lui permettant de s'incliner dans toutes les directions. Comme le gyroscope indique toujours la même direction, un lestage du cardan le transformera théoriquement et de manière simplifiée en compas. Mais le lestage ne fixant la

---

<sup>854</sup> Pierre Marie Joseph Lemaire (1882- ?).

<sup>855</sup> LUCAS A., « Des Phénomènes Gyroscopiques et de leurs principales applications à la navigation », *Revue de la marine marchande*, octobre 1917, p. 59.

<sup>856</sup> LUCAS A., *Op. Cit.*, p. 58.

<sup>857</sup> Information donnée par André Gillet dans GILLET A., *Une histoire du point en mer*, 2000, p. 15.



direction que sur le plan horizontal, il faut attendre un certain temps pour que le gyroscope aligne son axe de rotation avec celui de la terre pour indiquer le nord (voir figure 81 pour le compas américain).

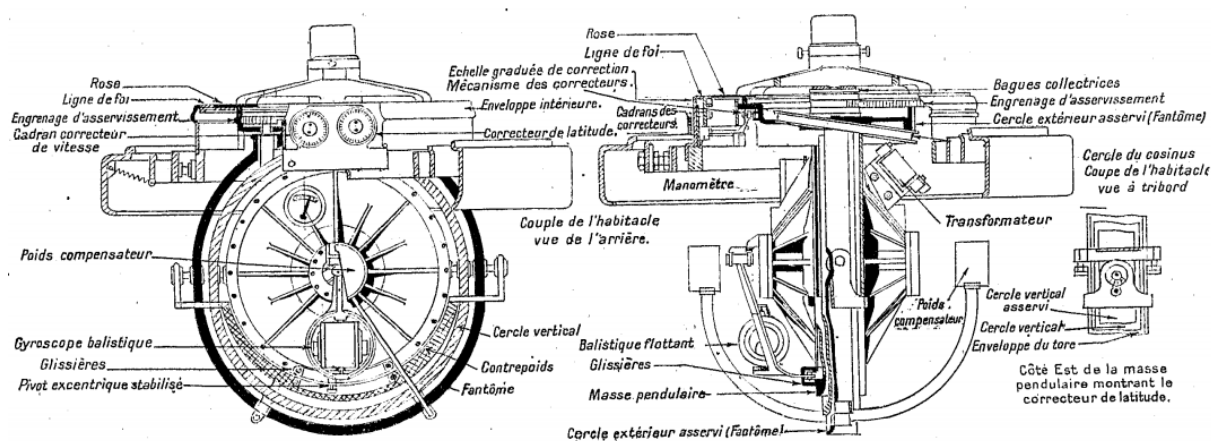


Figure 81 : Habitable du compas gyroscopique Sperry.<sup>858</sup>

Les qualités du compas gyroscopique Sperry sont triples. Premièrement, le temps de mise en fonctionnement est évalué à « deux heures environ après le lancement, [où] il indique la direction Nord-Sud vraie, à une petite déviation près, due à la vitesse du bâtiment et facile à calculer. »<sup>859</sup>. Deuxièmement les mouvements du navire n'exercent que peu d'action sur l'instrument s'ils ne sont pas brusques<sup>860</sup>. Et troisièmement, il est indépendant des phénomènes magnétiques.

Ces avantages, qui font envisager la généralisation de l'emploi du gyroscope comme une révolution en navigation<sup>861</sup>, ne doivent pas faire oublier qu'il s'agit d'un instrument de précision nécessitant un entretien méticuleux et donc un personnel formé à cette fin. De ce fait, ils ne sont utilisés, durant la Première guerre mondiale, qu'à bord des bateaux de très fort tonnage et des sous-marins, bâtiments où la compensation d'un compas Thomson ordinaire ne garantit pas un cap fiable<sup>862</sup>.

<sup>858</sup> MARGUET F., « Les applications du gyroscope dans la marine », *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 1917, p. 237.

<sup>859</sup> LUCAS A., *Op. Cit.*, p. 58.

<sup>860</sup> Le problème des changements brusques de direction va nécessiter une adaptation du procédé dans les avions.

<sup>861</sup> MARGUET F., *Op. Cit.*, p. 241.

<sup>862</sup> LUCAS A., « Des Phénomènes Gyroscopique et de leurs principales applications à la navigation », *Revue de la marine marchande*, août-septembre 1917, p. 505.

## 2) Le radiogoniomètre

Un second nouvel instrument de navigation est en cours de développement avant la Première guerre mondiale. Lui aussi utilise l'électricité, mais il n'est pas autonome contrairement au gyrocompas. Il s'agit du radiogoniomètre ou radiocompas qui est une application des ondes hertziennes de la TSF à la navigation.

Goniométrie signifiant mesure des angles, la radiogoniométrie est, dès lors, la « mesure des angles par l'emploi du rayonnement électrique »<sup>863</sup>.

La radiogoniométrie permet aux navires et à certains aéronefs, comme nous allons le préciser, de faire le point en recherchant leur position exacte ou d'être repérés, ce qui fut sa principale application durant le conflit. Le procédé repose sur un ensemble constitué d'un émetteur d'ondes appelé « radiophare » et d'un « récepteur de télégraphie sans fil à cadre, permettant de déterminer la direction d'arrivée des ondes »<sup>864</sup> appelé « radiogoniomètre » ou « radiocompas ». L'ensemble radiophare-radiogoniomètre peut être monté de deux façons différentes : l'émetteur est à bord et le récepteur est à terre ou l'inverse. Dans le premier cas, le navire demande sa position par TSF au poste radiogoniométrique. Dans le second, c'est le personnel du navire qui détermine directement « grâce à son cadre, la direction par rapport à lui de ces phares hertziens »<sup>865</sup>.

### *Études et essais de radiogoniométrie avant la Première guerre mondiale*

L'ingénieur français, André Blondel<sup>866</sup> s'intéresse à ce problème alors qu'il est attaché au Service des phares. Il écrit avoir été chargé « d'étudier les applications possibles des ondes hertziennes à la signalisation maritime »<sup>867</sup>, dès 1897, par le directeur du service Léon Bourdelles. À cette occasion, il contribue à la création de radiophares et à l'appareil de relèvement des signaux correspondant qui se nommait alors « cadre d'orientation ». Il dépose également quelques brevets. Les moyens du Service des phares étant limités tant en hommes qu'en matériel, Blondel est associé au capitaine Gustave Ferrié du Service de télégraphie militaire pour développer ce domaine d'application de la TSF.

---

<sup>863</sup> LATOUR B., « La télégraphie sans fil au service de la navigation », *La Croix*, 17 décembre 1919, NP.

<sup>864</sup> BLONDEL A., « Les radiophares », *Annales des ponts et chaussées. 1ère partie. Mémoires et documents relatifs à l'art des constructions et au service de l'ingénieur*, A100, T2, 1930, p. 227.

<sup>865</sup> FRANÇOIS L., « Les progrès de la T.S.F. en France pendant la guerre », *La science et la vie*, Août-septembre 1920, p. 256.

<sup>866</sup> André Blondel (1863-1938). En dehors de la radioélectricité et des radiophares, André Blondel s'est également distingué en électrotechnique. Pour une étude de ses travaux dans ce domaine, voir GINOUX J.-M., *Analyse mathématique des phénomènes oscillatoires non linéaires : le carrefour français (1880-1940)*, thèse de doctorat de l'université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, 2011, pp. 69-74.

<sup>867</sup> BLONDEL A., *Op. Cit.*, p. 236.

Ferrié est chargé depuis 1900 par Charles de Freycinet, le ministre de la Guerre, de développer la TSF militaire française mais son budget est également modeste d'autant que certains spécialistes ne voient dans ce procédé qu'un « amusement scientifique sans lendemain »<sup>868</sup>.

Cette association de deux domaines peu dotés aboutit tout de même à une série d'essais dès 1902, dont les premiers relèvements de radiogoniométrie en 1907-1908. Ces relèvements sont exécutés à La Rochelle à bord du baliseur *Léonce Reynaud*, « au moyen de cadres à plusieurs spires et du détecteur électrolytique Ferrié »<sup>869</sup>. Pour ces premiers essais, les ingénieurs utilisent des cadres fixes de grandes dimensions (4 mètres × 8 mètres) et font tourner le navire. Les essais sont jugés satisfaisants puisque les relèvements sont obtenus avec une précision de 5 à 10°. Toutefois, la portée n'était que de 600 à 700 mètres. Les essais réalisés ensuite, conjointement par les deux services à terre au fort de Palaiseau en 1913, sont encore plus encourageants. L'utilisation d'un cadre mobile de très grandes dimensions (12 mètres × 12 mètres) et d'un poste à galène permet d'atteindre une portée de 2 à 3 kilomètres. De plus, dès 1912, le Service des phares fait installer trois radiophares à Ouessant (voir figure 82), à Sein et au bateau-feu du Havre, ce dont se félicite le sénateur Louis Pichon qui en demandait l'installation depuis plusieurs années<sup>870</sup>. L'installation de ces radiophares s'inscrit dans une volonté d'améliorer la sécurité maritime suite à l'émotion suscitée par le naufrage du *Titanic*<sup>871</sup>.



Figure 82 : Antenne du radiophare d'Ouessant en 1912.<sup>872</sup>

<sup>868</sup> AMOUDRY M., « Le Général Ferrié (1868-1932), un soldat au service de la radioélectricité », *Bulletin de la Sabix*, n° 48, 2011, p. 31.

<sup>869</sup> *Ibid.*

<sup>870</sup> 734 500 francs sont alloués dans ce but durant la séance du 16 juin 1911 au Sénat.

<sup>871</sup> AMOUDRY M., *Op. Cit.*, p. 34.

<sup>872</sup> BLONDEL A., *Op. Cit.*, p. 276 bis.

Parallèlement, l'ingénieur italien Ettore Bellini<sup>873</sup> et le commandant de la marine royale italienne Alessandro Tosi<sup>874</sup> travaillent eux aussi sur l'utilisation des ondes hertziennes pour se diriger. Bellini, qui fut assistant puis collaborateur de Guglielmo Marconi<sup>875</sup>, l'un des inventeurs de la TSF, est envoyé en France en 1906 avec Tosi pour effectuer des essais avec l'accord du gouvernement français. Trois postes de TSF expérimentaux sont installés au Havre, à Barfleur et à Dieppe à cette occasion. Ils font ensuite breveter en 1908 un goniomètre appelé « système Bellini-Tosi ». Les Italiens n'utilisent pas de radiogoniomètre à cadre contrairement aux Français, mais un « ensemble de quatre antennes agissant par induction sur un appareil à bobine fixe et mobile »<sup>876</sup> (voir figure 83). Ou encore, comme l'indique Bellini en 1915, d'un double cadre fixe de grande dimension<sup>877</sup>.

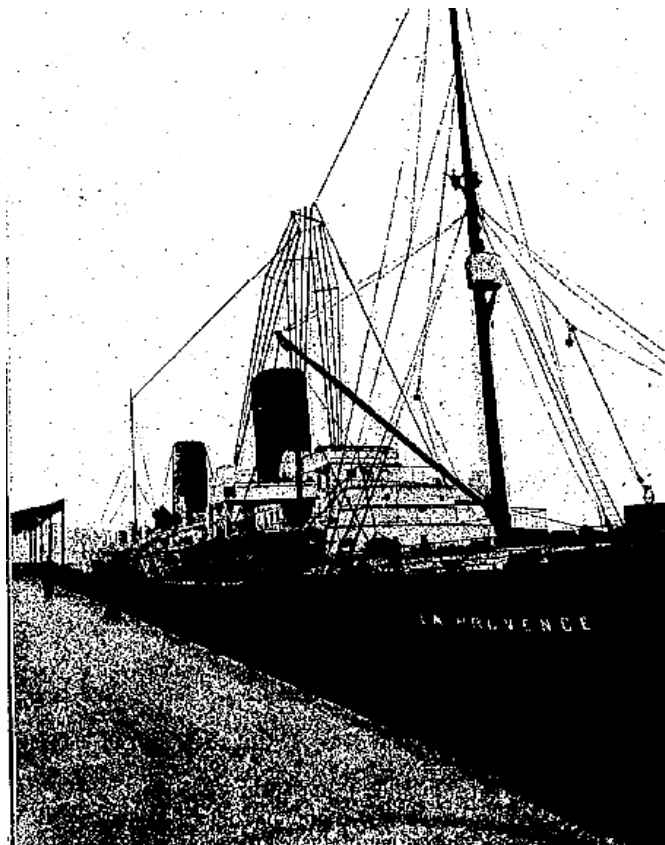


**Figure 83 : Paquebot *La Provence* muni d'un système d'antennes Bellini-Tosi ayant permis de faire des relèvements avec le poste de Boulogne-sur-Mer.<sup>878</sup>**

<sup>873</sup> Ettore Bellini (1876-1943).

<sup>874</sup> Alessandro Tosi (1866-1936).

<sup>875</sup> Guglielmo Marconi (1874-1937).

<sup>876</sup> BLONDEL A., *Op. Cit.*, p. 237.

<sup>877</sup> BELLINI E., « Avec le radiocompas on peut déterminer l'emplacement des postes de T.S.F. », *La science et la vie*, octobre 1915. pp. 517-525.

<sup>878</sup> LESTONAT R., « La protection contre la brume par les radiocompas et les radiophares », *Navigaztte*, 10 novembre 1910, p. 1.

Les expériences italiennes ont une visibilité assez importante dans la presse spécialisée et généraliste française, d'autant que les portées de leur procédé sont sensiblement plus grandes qu'avec les cadres français. En effet, *La Navigazette* relaie, en 1910, la réception d'un signal à bord d'un navire à 50 milles du poste émetteur par le « compas azimutal hertzien Bellini-Tosi »<sup>879</sup>.

Raymond Lestonnat évoque également, dans son article de 1910, le problème récurrent de l'opposition entre les tenants d'un procédé pratique mais imparfait et ceux qui ne s'en satisfont pas :

*En terminant nous émettons le vœu que l'administration des Ponts et Chaussées ne s'attarde pas à la recherche de l'idéal et qu'elle se souvienne qu'en navigation comme en toute chose, le mieux est souvent l'ennemi du bien.*<sup>880</sup>

Les navires français semblent donc prêts à être équipés d'un matériel de radionavigation leur permettant de se diriger et d'atterrir notamment par temps de brume.

Dans la réalité, il existe deux obstacles à l'utilisation des premiers radiophares. Tout d'abord, il y a un problème de longueur d'ondes. En effet, selon Blondel :

*les longueurs d'ondes qui leur avaient été attribuées par la Commission Internationale de Londres, de 125 à 150 mètres, étaient beaucoup trop courtes pour cette application, et il a fallu des démarches persévérantes pour obtenir la longueur de 1 000 mètres qui permet d'éviter l'influence néfaste des courants induits dans les coques et les parties métalliques de la mâture.*<sup>881</sup>

Ensuite, la portée est insuffisante car les récepteurs de cette époque ne sont pas assez sensibles. Les progrès réalisés dans le domaine de la TSF durant la Première guerre mondiale ont changé la donne.

### *La radiogoniométrie durant la Première guerre mondiale*

Trois éléments ont permis ces progrès. Premièrement, une équipe de savants et d'ingénieurs efficaces s'est constituée sous la direction du général Ferrié. Deuxièmement, un budget suffisant pour tenter toutes les expériences envisagées par les savants lui a été alloué et enfin une expérimentation immédiate et à grande échelle des prototypes a été effectuée.

Il était temps car la France est en retard sur ses adversaires (mais aussi sur ses alliés) en termes d'équipements, en raison du manque d'intérêt des militaires avant la guerre pour la TSF.

---

<sup>879</sup> LESTONNAT R., « L'atterrissage en temps de brume », *Navigazette*, 1<sup>er</sup> décembre 1910, p. 2.

<sup>880</sup> LESTONNAT R., *Op. Cit.*, p. 2.

<sup>881</sup> BLONDEL A., *Op. Cit.*, p. 237.

Les installations de la tour Eiffel, qui émet des signaux pour les militaires depuis 1903, sont renforcées et deux puissants émetteurs sont installés à Lyon. De plus, dès le 4 août 1914, 12 000 hommes et 150 officiers du huitième régiment du Génie sont versés dans la télégraphie militaire alors que Ferrié fonde l'Établissement central du matériel de radiotélégraphie militaire<sup>882</sup>.

Les savants, comme dans d'autres domaines de recherche<sup>883</sup>, vont apporter leur expertise scientifique au sein d'un groupe stimulant. L'équipe de la Tour Eiffel autour du capitaine Brenot (Maurice de Broglie, Laut, Lucien Levy, Ditte) ou celle de Lyon autour du professeur Abraham et du capitaine Perri (Marius Latour, Biguet, Émile Girardot) mettent au point des amplificateurs basse fréquence, des récepteurs de bord pour avion, la transmission de la voix humaine par radio, la construction en série de lampes d'émission triode TM, les réseaux d'écoute et de la goniométrie chargés de situer la source des émissions ennemies, le premier récepteur hétérodyne, etc.

La radiogoniométrie obtient de bien meilleurs résultats en termes de distances de réception qu'avant-guerre avec l'invention de la lampe à trois électrodes. Grâce à ces lampes amplificatrices, « les portées ont été augmentées dans des proportions inespérées »<sup>884</sup>. Trois types d'amplificateurs ont été d'ailleurs conçus dont « l'amplificateur à haute fréquence » utilisé en radiogoniométrie. Avec ces puissants amplificateurs, de petits cadres de 1,50 mètre à 2 mètres de côté permettent de recevoir les postes lointains et notamment l'Amérique.

Dès lors, deux procédés peuvent être utilisés par les navires du fait de l'augmentation de la portée. Dans le premier, le navire émet un signal avec un poste de TSF ordinaire. Les postes goniométriques à terre, qu'ils soient Bellini-Tosi ou à cadre unique tournant, mesurent l'angle que fait le nord avec la droite qui les joint au navire et communiquent la mesure en retour, par TSF au navire. Les navires connaissant la position du poste sur la carte repèrent ainsi leur position. Dans le second, le navire possède un cadre mobile sur lequel il reçoit les signaux de plusieurs postes à terre, les phares hertziens en orientant le cadre de manière à obtenir le signal le plus fort. Il détermine alors lui-même sa direction par rapport aux phares dont il connaît la position sur la carte. Dans ce second procédé, il doit corriger l'erreur due au déplacement du navire entre les mesures. Théoriquement, deux relèvements sont suffisants pour que le navire

---

<sup>882</sup> LEFEBURE A., CNAM, AIHTI « La TSF militaire au service de la Grande Guerre », *Réseaux*, vol. 4, n° 17, 1986, p. 38.

<sup>883</sup> AUBIN D. « Les rôles du savant en guerre : l'exemple de l'astrophysicien Nordmann », FRIDENSON P. et GRISET P., *L'industrie dans la Grande Guerre : Colloque des 15 et 16 novembre 2016*, Paris, Institut de la gestion publique et du développement économique, 2018, pp. 201-206. <http://books.openedition.org/igpde/4957>, consulté le 13 août 2018.

<sup>884</sup> FRANÇOIS L., « Les progrès de la T.S.F. en France pendant la guerre », *La science et la vie*, Avril-mai 1920, p. 114.

trouve alors sa position. Le radiogoniomètre à terre semble avoir eu les faveurs de la marine de guerre alors que la marine marchande, surtout après le conflit, se serait tournée vers le radiogoniomètre à bord<sup>885</sup>.

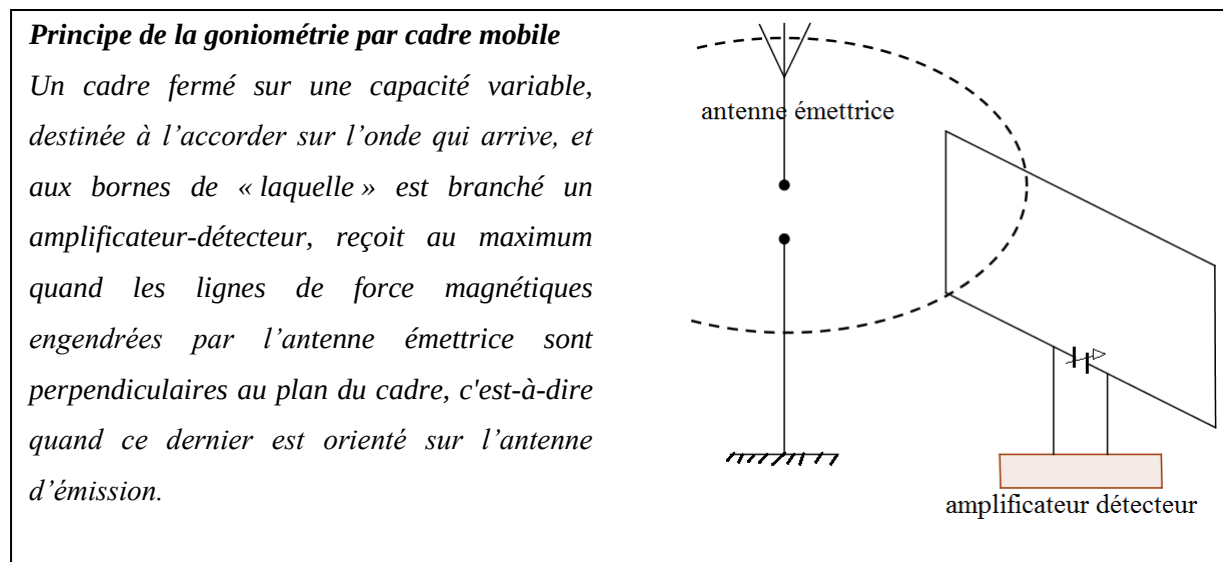


Figure 84 : Reproduction du principe de la goniométrie par cadre mobile présenté par Louis François.<sup>886</sup>

Ces procédés sont également adaptés aux navires aériens (dirigeables ou grands avions). La radiogoniométrie est d'ailleurs utilisée par l'Allemagne pour diriger ses zeppelins durant la Première guerre mondiale ce que révèle notamment *Le Matin* à ses lecteurs en 1917<sup>887</sup>. Les postes goniométriques français, s'ils ne servent pas à diriger les navires aériens français, sont toutefois utilisés pour repérer les dirigeables allemands et les descendre.

La France n'a pas pu utiliser la radiogoniométrie au début du conflit car la section technique du Génie, pourtant chargée d'expérimenter les deux radiogoniomètres Bellini-Tosi achetés en 1914, ne s'en est pas occupée. Mais elle dispose de chaines radiogoniométriques à partir de 1915 qui lui servent à contrecarrer les raids des zeppelins. Les Français comme les Britanniques brouillent les signaux TSF utilisés par les Allemands. Ainsi, au cours du raid du 19 octobre 1917, Ferrié fait arrêter le fonctionnement de la station de la tour Eiffel sur laquelle s'étaient fixés les Allemands pour le remplacer par celui de Lyon-La-Doua, au fonctionnement identique. Les zeppelins sont alors déroutés, l'un finissant sa course près de Sisteron et un autre

<sup>885</sup> FRANÇOIS L., *Op. Cit.*, pp. 255-256.

<sup>886</sup> FRANÇOIS L., « Les progrès de la T.S.F. en France pendant la guerre », *La science et la vie*, Août-septembre 1920, p. 254.

<sup>887</sup> NORDMANN Ch., « Zeppelins et T.S.F. », *Le Matin*, 2 novembre 1917, p. 1.

se perdant en Méditerranée<sup>888</sup>. Jean Boursin raconte que cette « supercherie » organisée par Ferrié « fut la fin des raids par Zeppelins, aucune nouvelle tentative ne fut faite par ceux qui restaient dans les hangars ennemis »<sup>889</sup>.

Le Service géographique des Armées (SGA) est contacté par le Service de la radiotélégraphie militaire à la fin 1917 afin de prévoir une utilisation de relevés radiogoniométriques. En effet, le service de radiotélégraphie qui étudie

*l'emploi de radiogoniomètres à bord des avions pour permettre à ceux-ci de se placer par relèvement sur des postes d'émission connus demande au Service Géographique de chercher de son côté les meilleurs procédés à appliquer pour tirer parti des données ainsi obtenues et la précision dont ils sont susceptibles.*<sup>890</sup>

L'étude de l'utilisation de la radiogoniométrie n'est qu'un des aspects des nombreuses missions et défis que doit relever le SGA durant la Première guerre mondiale.

## B) Les apports du Service géographique des Armées à la navigation durant le conflit

Le Service géographique des Armées, créé en 1887, a pour mission principale d'établir des cartes. Cette mission principale est complétée par des missions annexes en lien avec celle-ci. La géographie est un domaine dont l'importance est capitale durant la Première guerre mondiale<sup>891</sup>. Pourtant, les autorités militaires imaginent, en août 1914, que la mission du SGA se bornera « à un simple ravitaillement en cartes »<sup>892</sup>. Or « les cartes dont dispose l'armée française – et les autres – ne sont guère différentes de celles que déroulait Bonaparte »<sup>893</sup>. Ces cartes vont se révéler rapidement inadaptées aux tirs d'artillerie, lorsque le front se fige en octobre 1914, car l'échelle est trop petite.

Les « groupes de canevas de tir » initialement appelés « groupes d'exécution des canevas d'ensemble de tir » sont créés pour répondre aux nouvelles demandes. Ces groupes, composés d'une trentaine d'hommes, sont chargés d'effectuer les relevés spéciaux nécessaires à l'artillerie sur une grande échelle. Ils créent une carte appelée « plan directeur » qui envisage

---

<sup>888</sup> RIBADEAU-DUMAS L., « La guerre électronique en 1914-1918 : deux faits marquants », *La guerre électronique en France au XX<sup>e</sup> siècle*, actes du colloque organisé le 20 avril 2000 à l'École militaire, pp. 16-17.

<sup>889</sup> BOURSIN J., « Ferrié, un génial organisateur », *Poste 85*, 1932. Reproduit dans LEFEBURE A., *Op. Cit.*, p. 39.

<sup>890</sup> SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE, *Rapport sur les travaux exécutés du 1<sup>er</sup> août 1914 au 31 décembre 1919*, Paris, Imprimerie du Service géographique de l'armée, 1936, pp. 228-229.

<sup>891</sup> Voir BOULANGER Ph., *La géographie militaire française (1871-1939)*, Paris, Economica, 2002. NOIREL H.-A., *Les cartes et la topographie de guerre*, Centre d'Etudes tactiques d'Artillerie de Metz, avril 1921.

<sup>892</sup> SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE, *Op. Cit.*, p. 3.

<sup>893</sup> « 14-18, ou la géographie des désastres », *IGN Magazine*, n° 74 avril-mai-juin 2014, p. 10.





## 1) L'activité des ingénieurs hydrographes du SGA

Le SGA fait principalement appel aux officiers des différents corps de l'Armée mais quelques ingénieurs hydrographes de la Marine y entrent dès 1914. En effet, la plupart des personnels du SGA rejoignent leur corps ou l'état-major auquel ils sont affectés à partir du 2 août 1914, lorsque la mobilisation est décrétée. Le général Bourgeois<sup>896</sup> qui a été maintenu au poste de directeur du service, a l'idée de demander au ministre de la Marine le concours des ingénieurs hydrographes, formés à l'École polytechnique, pour combler le vide occasionné par le départ de nombreux officiers. Le passage par l'École polytechnique semble avoir été l'une des raisons qui ont poussé Bourgeois à faire appel à ces ingénieurs car il s'agit d'une filière de recrutement qui sera très utilisée par le SGA<sup>897</sup>, le passage par la Marine et leur expertise du dessin des cartes étant alors une valeur ajoutée<sup>898</sup>. De ce fait, 9 ingénieurs hydrographes sont mis à la disposition du Service géographique dès le 20 août. Finalement, 15 ingénieurs hydrographes de la marine en activité, un professeur d'hydrographie et un enseigne de vaisseau sont détachés pour rejoindre les services (voir tableau 15). Louis Favé, à la retraite, demande également à entrer au Service géographique dès mars 1915. Il est intégré d'abord à titre gracieux puis est considéré comme mobilisé. Il peut alors poursuivre ses travaux, dont ceux qui sont adaptés de la navigation.

| NOM                                             | Grade                                             | Activité au SGA                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Driencourt Ludovic<br>(1858-1940)               | IH en chef 1 <sup>re</sup><br>Classe.             | Direction du Service central du repérage.<br>Chef de la section géodésie.                                                                                     |
| Fichot Eugène<br>(1867-1938)                    | IH 1 <sup>re</sup> Classe.                        | Commandant du groupe de canevas de tir de la 4 <sup>e</sup><br>Armée (septembre 1915 - octobre 1916).                                                         |
| De Vanssay De<br>Blavous Antoine<br>(1869-1947) | IH Principal.<br>En chef 2 <sup>e</sup><br>Classe | Commandant du groupe de canevas de tir de la 10 <sup>e</sup><br>Armée (17 novembre 1914 - 4 novembre 1918).                                                   |
| Lesage Gaston Émile<br>(1873-1961)              | IH Principal.                                     | Directeur de l'annexe à Clermont-Ferrand<br>jusqu'au 11 septembre 1915.                                                                                       |
| Cot Donatien<br>(1873-1922)                     | IH Principal.                                     | Groupe de canevas de tir de la 5 <sup>e</sup> Armée.<br>Commandant du groupe de canevas de tir de la 8 <sup>e</sup><br>Armée (septembre 1916 - juillet 1918). |
| Courtier André<br>(1877-1958)                   | IH 1 <sup>re</sup> Classe.<br>Principal.          | Commandant du groupe de canevas de tir de la 2 <sup>e</sup><br>Armée (16 avril 1917 - janvier 1919).                                                          |

<sup>896</sup> SCHIAVON M., *Itinéraires de la précision : Géodésiens, artilleurs, savants et fabricants d'instruments de précision en France (1807-1930)*, Nancy, Presses Universitaires de Nancy - éditions universitaires de Lorraine, 2014.

<sup>897</sup> GINSBURGER N., « *La guerre la plus terrible des érosions* » *cultures de guerre et géographes universitaires Allemagne-France-Etats-Unis (1914-1921)*, Thèse soutenue le 30 novembre 2010, p. 280.

<sup>898</sup> SCHIAVON M., « Des savants-officiers entre science, armée, État et industrie de précision : les géodésiens du Service géographique de l'armée, 1887-1920 », in *Le sabre et l'éprouvette. L'invention d'une science de guerre 1914/1939*, Paris, Agnès Viénot, 2003, p. 67.

|                                           |                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Roussilhe Henri<br>(1879-1945)            | IH 1 <sup>re</sup> Classe.<br>Principal.                                                                                            | Groupe de canevas de tir de la 2 <sup>e</sup> Armée<br>Commandant du groupe de canevas de tir de la 1 <sup>re</sup> Armée (21 février 1916 - 1 <sup>er</sup> mai 1917).                                                                                                                                                            |
| Volmat Joseph<br>(1882-1964)              | IH 1 <sup>re</sup> Classe.                                                                                                          | Groupe de canevas de tir de la 5 <sup>e</sup> Armée.<br>Direction des groupes de canevas de tir à partir du 1 <sup>er</sup> décembre 1917.                                                                                                                                                                                         |
| Ricard Lucien<br>(1880-1963)              | IH 1 <sup>re</sup> Classe.<br>Principal.                                                                                            | Groupe de canevas de tir de la 2 <sup>e</sup> Armée.<br>Groupe de canevas de tir de la 3 <sup>e</sup> Armée.<br>Groupe de canevas de tir de la 9 <sup>e</sup> Armée.<br>Groupe de canevas de tir de la 10 <sup>e</sup> Armée.<br>Instructeur de cours d'officier orienteurs d'artillerie du Camp de Mailly (janvier-février 1916). |
| Pelissier Léon<br>(1882-1979)             | IH 1 <sup>re</sup> Classe.                                                                                                          | Groupe de canevas de tir de la 4 <sup>e</sup> Armée.<br>Commandant du groupe de canevas de tir de la 8 <sup>e</sup> Armée (juillet 1918 - février 1919).<br>Commandant du groupe de canevas de tir de la 10 <sup>ème</sup> Armée (juin 1919 – novembre 1919).                                                                      |
| Villain Charles<br>(1883-1964)            | IH 1 <sup>re</sup> Classe.                                                                                                          | Groupe de canevas de tir de la 4 <sup>e</sup> Armée.<br>Groupe de canevas de tir de la 6 <sup>e</sup> Armée.<br>Groupe de canevas de tir de la 10 <sup>e</sup> Armée.<br>Commandant du groupe de canevas de tir de la 10 <sup>e</sup> Armée (décembre 1918 – juin 1919).                                                           |
| Cathenod Henri<br>(1886-1957)             | IH 2 <sup>e</sup> Classe.<br>Puis 1 <sup>re</sup> Classe.                                                                           | Groupe de canevas de tir de la 5 <sup>e</sup> Armée.<br>Groupe de canevas de tir de la 7 <sup>e</sup> Armée.<br>Instructeur de cours d'officier orienteurs d'artillerie à Nettancourt (hiver 1916 -1917).                                                                                                                          |
| Dagallier Jean<br>François<br>(1889-1959) | IH 2 <sup>e</sup> Classe.<br>1 <sup>re</sup> Classe.                                                                                | Groupe de canevas de tir de la 10 <sup>e</sup> Armée.<br>Direction des groupes de Canevas de tir à partir du 28 juillet 1917.                                                                                                                                                                                                      |
| Boutan Jacques<br>(1886-1959)             | IH 2 <sup>e</sup> Classe.                                                                                                           | Groupe de canevas de tir de la 3 <sup>e</sup> Armée.                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Marti Pierre<br>(1891-1938)               | IH 2 <sup>e</sup> Classe.                                                                                                           | Instructeur de cours d'officier orienteurs d'artillerie du Camp de Mailly (janvier-février 1916).<br>Instructeur de cours d'officier orienteurs d'artillerie à Sézanne (1917).                                                                                                                                                     |
| Favé Louis<br>(1853-1922)                 | IH 1 <sup>re</sup> Classe<br>(retraité).                                                                                            | A partir de mars 1915 (à titre gracieux puis mobilisé).<br>Direction du Service central du repérage (adjoint).<br>Direction du laboratoire d'optique à partir d'octobre 1918.                                                                                                                                                      |
| Mercier                                   | Professeur<br>d'hydrographie<br>(2 <sup>e</sup> puis 1 <sup>re</sup><br>classe).<br>Assimilé à LV<br>puis capitaine<br>de corvette. | Groupe de canevas de tir de la 1 <sup>re</sup> Armée.<br>Commandant du groupe de canevas de tir de la 3 <sup>e</sup> Armée (septembre 1917 - février 1919).                                                                                                                                                                        |

|                                             |             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ardon Pierre Isaac<br>Robert<br>(1884-19 ?) | EV puis LV. | Groupe de canevas de tir de la 2 <sup>e</sup> Armée.<br>Groupe de canevas de tir de la 5 <sup>e</sup> Armée.<br>Groupe de canevas de tir de la 8 <sup>e</sup> Armée.<br>Instructeur de cours d'officier orienteurs<br>d'artillerie du Camp de Mailly (janvier-février<br>1916).<br>Instructeur de cours d'officier orienteurs<br>d'artillerie à Neufchâteau (hiver 1916-1917).<br>Instructeur de cours d'officier orienteurs<br>d'artillerie destiné aux officiers l'armée<br>américaine à Valdahon (août 1917). |
|---------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tableau 15 : Liste des ingénieurs hydrographes, du professeur d'hydrographie et de l'enseigne de vaisseau ayant rejoint le SGA durant le conflit.**<sup>899</sup>

La mission du Service central des sections de repérage<sup>900</sup>, à la tête duquel Bourgeois a placé Driencourt en qui il a toute confiance<sup>901</sup>, et celles des services qui lui sont liés sont essentielles (voir organigramme 1). Issus du monde maritime, les ingénieurs hydrographes ainsi que Mercier et Ardon, ont apporté une expertise reconnue, notamment au niveau de leur connaissance des instruments de navigation, permettant de calculer des angles, et de leurs méthodes de calcul. Cette reconnaissance s'illustre notamment par le fait que presque tous les groupes de canevas de tir ont été commandés, à un moment donné, par l'un d'entre eux. Nous pouvons également relever qu'il est demandé à certains d'entre eux, ainsi qu'au lieutenant de vaisseau Marti, de partager leurs connaissances en devenant instructeurs dans des cours d'officiers orienteurs d'artillerie, dès 1916. Ces cours, qui ont pour objectif de créer une réserve d'orienteurs, semblent avoir essentiellement concerné les officiers d'artillerie lourde et ceux de l'artillerie de campagne afin de les entraîner à la préparation du tir, au moyen de la « planchette » et du goniomètre-boussole. Je n'ai pas trouvé de mention d'aviateur y ayant pris part, ce transfert de connaissances issues de la marine ne leur étant probablement pas destiné.

#### *Travaux sur le « point en ballon » du SGA*

Le SGA poursuit également de nombreux travaux en lien avec la navigation au sein de la section de géodésie (réduite au Bureau des calculs) du Service géographique à l'Intérieur (voir organigramme 1). Le lieutenant-colonel Maurice d'Ocagne (voir chapitre 3) remplit les fonctions de chef de la section pendant quelques mois avant de rejoindre, dans un premier

<sup>899</sup> Tableau établi à partir des informations présentes dans SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE, *Op. Cit.*

<sup>900</sup> Notamment le repérage par le son. Voir AUBIN D. « Les rôles du savant en guerre : l'exemple de l'astrophysicien Nordmann », *Op. Cit.*

<sup>901</sup> La position dominante de Driencourt aurait parfois posé problème notamment pour la diffusion d'inventions sur le repérage par le son. Voir SCHIAVON M., « Des savants-officiers entre science, armée, État et industrie de précision : les géodésiens du Service géographique de l'armée, 1887-1920 », *Op. Cit.*, p. 69.

temps, le groupe de canevas de tir de la 3<sup>e</sup> Armée fin novembre 1914. Puis Driencourt est régulièrement consulté pour les questions techniques durant les deux années pendant lesquelles la section est sans chef. Il est finalement chargé de la direction complète de la section à partir de 1917 en plus de sa fonction de chef du Service central de repérage qu'il exerce depuis février 1915. Favé, qui a rejoint la section de géodésie, lui apporte son concours sur les questions de repérage « (point en ballon, calculs de trajectoires, préparation de tables, etc.) »<sup>902</sup>.

L'étude du « point en ballon », déjà bien avancée avant-guerre (voir chapitre 4), est reprise par Driencourt et Favé en mars 1916. Cette étude se divise en trois parties.

Il s'agit dans un premier temps de déterminer les instruments les mieux adaptés à la mesure des hauteurs d'astres à bord d'un ballon et d'en faire construire en nombre suffisant. Les commandants de dirigeables consultés préfèrent les quadrants à niveau plutôt que les sextants à niveau, ou les sextants gyroscopiques qui sont pourtant plus précis. L'opinion des commandants est corroborée par la découverte d'un sextant à niveau dans l'épave d'un dirigeable allemand abattu fin 1914. Le SGA passe commande de 12 quadrants à niveau à la maison Ponthus et Thérode en mars 1916. Mais Favé reprend ses recherches entamées en 1907 sur un autre type de quadrant à niveau (dans lequel « l'observateur établit la coïncidence de l'astre avec un repère lumineux sans avoir à s'occuper de la position de la bulle du niveau dans le plan du limbe »<sup>903</sup>) car Driencourt et lui-même ne sont pas entièrement satisfaits des instruments commandés. Un instrument est prêt quelques mois plus tard qu'ils testent, avec succès, à bord du dirigeable *Fleurus* le 22 septembre 1916.

L'étude porte ensuite sur les méthodes à utiliser. Ils décident de privilégier la méthode graphique pour résoudre le problème du point. Favé a cherché à mettre au point un procédé simplifiant le travail du navigateur basé sur la méthode des courbes de hauteur où « le point estimé variable [est remplacé] par un point fixe situé au centre de la région dans laquelle naviguent les ballons et [est basé] sur l'emploi de la projection stéréographique »<sup>904</sup>. Le procédé est interprété, vers 1910, avec succès par le docteur allemand Alfred Brill<sup>905</sup> qui perfectionne le procédé de Favé en inventant un abaque mécanique. Les autorités militaires en trouvent d'ailleurs un exemplaire dans le dirigeable allemand abattu fin 1914. Favé, après avoir étudié le système allemand retrouvé à bord du dirigeable, décide de mécaniser son procédé en mettant au point la « règle courbe » qu'il fait construire par la maison Ponthus (voir figure 85). La règle

---

<sup>902</sup> SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE, *Op. Cit.*, p. 222.

<sup>903</sup> SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE, *Op. Cit.*, p. 225.

<sup>904</sup> SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE, *Op. Cit.*, p. 226. Favé aurait initié ces travaux dès 1901 mais nous n'en avons pas trouvé de trace.

<sup>905</sup> Alfred Brill (1885-1949).

est associée à un ensemble de tables comparables à celles établies par Brill, mais plus complètes, calculées par le professeur astronome et mathématicien Henri Andoyer<sup>906</sup>. Nous trouvons d'ailleurs ici un exemple de l'implication des mathématiciens français dans l'effort de guerre<sup>907</sup>.

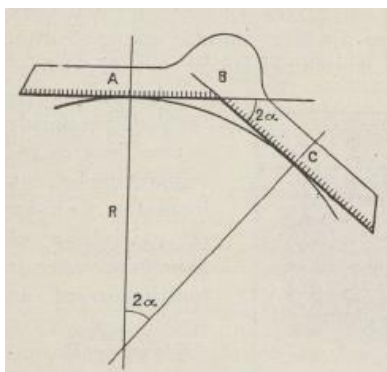


Figure 85 : Schéma de la règle courbe stéréographique de Favé.<sup>908</sup>

Reste enfin à former les équipages. L'instruction spéciale sur le « point en ballon » est donnée, en mars 1916, à deux groupes dans lesquels sont répartis les six commandants de dirigeables (capitaines Caussin, Joux, Leroy, Paquigon, Prêcheur, Tixier) par Driencourt dans des conférences suivies d'exercices pratiques. Ces conférences sont par la suite publiées et mises à jour<sup>909</sup>.

Driencourt et Favé ont apporté une solution en six mois au problème du « point en ballon » qui est basé sur l'utilisation du quadrant à niveau et de la règle de Favé. En septembre 1916, l'ensemble des dirigeables et des ballons sont pourvus des instruments nécessaires à la détermination du point en ballon et sont formés à leur emploi par le SGA.

## 2) La cartographie aérienne

Au début du conflit, les aéronefs servent essentiellement pour la reconnaissance aérienne, pour la cartographie mais aussi plus directement pour le renseignement<sup>910</sup>. De ce fait, une grande partie des ballons dirigeables et des avions est regroupée dans le service d'exploration

<sup>906</sup> Henri Andoyer (1862-1929). ANDOYER H. *Table donnant en fonction de l'angle horaire, la hauteur vraie et l'azimut d'un astre compris entre le parallèle Nord et Sud de 30° pour la latitude 37° Nord*, Paris, Imprimerie nationale, 1916 et ANDOYER H. *Table donnant en fonction de l'angle horaire, la hauteur vraie et l'azimut d'un astre compris entre le parallèle Nord et Sud de 30° pour la latitude 50° Nord*, Paris, Imprimerie nationale, 1916.

<sup>907</sup> Voir AUBIN D., GISPERT H., GOLDSTEIN C., « The Total War of Paris Mathematicians », 2013. <hal-00830377v2> in AUBIN D., GOLDSTEIN H., *The War of Guns and Mathematics: Mathematical Practices and Communities in France and Its Western Allies around World War I*, *History of Mathematics* (vol. 42), USA, American Mathematical Society, 2014.

<sup>908</sup> MARGUET F., « Le point en ballon », *L'Aéronautique*, mars 1922, p. 81.

<sup>909</sup> Nous n'avons pas encore trouvé d'exemplaire de ces conférences.

<sup>910</sup> VILLATOUX M.-C., « Le renseignement photographique dans la manœuvre. L'exemple de la Grande Guerre », *Revue historique des armées*, n° 261, 2010.

dépendant du Grand quartier général. Six escadrilles et les dirigeables sont répartis dans des « centres d'informations »<sup>911</sup> basés près de la frontière Est pour observer les Allemands. Mais l'utilisation de la photographie aérienne n'est pas immédiate dans le camp français. En 1914, la France ne prévoit d'utiliser la photographie qu'à bord des ballons captifs sphériques qui seront rapidement remplacés par les « saucisses » (ballons caquot) en s'inspirant du modèle allemand<sup>912</sup>. Les sections de photographie aérienne, une par armée, ne sont créées que le premier décembre 1914. Chaque section est alors constituée d'un officier, d'un sous-officier dessinateur et de deux photographes. Ces sections sont ensuite augmentées dès septembre 1915, à raison d'une par corps d'armée. Et la dernière année de guerre, il y avait une section directement attachée à l'état-major, une section par corps d'armée, une section par groupe de bombardement, une section par division flottante et une section pour les escadrilles de grande reconnaissance, la section d'arrière rassemblant alors toutes les informations provenant des autres sections<sup>913</sup>.

L'utilisation de photographies aériennes à des fins de cartographie est l'un des aspects, même s'il n'est pas le plus courant, des missions confiées aux sections. Ce domaine est notamment étudié par la Commission d'études pratiques d'artilleries de siège à Toul et par les groupes de canevas de tir aux armées sous l'impulsion du général Bourgeois (voir chapitre 4). Pour reprendre Emmanuel de Martonne dans son ouvrage de 1948, *Géographie aérienne*, deux aspects coexistent dans la cartographie aérienne. Il y a « la carte par l'avion » et « la carte pour l'avion »<sup>914</sup>. Les autorités n'ont toutefois pas attendu la Première guerre mondiale pour se pencher sur le problème de la carte aéronautique destinée à être utilisée par les pilotes (voir chapitre 4) mais les essais d'avant-guerre ne sont pas encore totalement aboutis. Georges Houard, secrétaire général de la Ligue du cerf-volant, propose d'ailleurs en 1917 que la photographie aérienne, utilisée pour établir des cartes destinées aux troupes au sol, serve également aux cartes pour les aéronefs<sup>915</sup>.

---

<sup>911</sup> CHABAT-BEYLOT A., GALLIEN P. (dir.), « Archives de l'aéronautique militaire de la Première Guerre mondiale. Répertoire numérique détaillé de la série A (1914-1919) et guide des sources », Vincennes, SHD, 2008 cité par MARIET V., « Rochefort dans la Grande Guerre. L'aérostation et les ballons de la marine », Master Histoire RIHMA, 2015-2016, p. 27.

<sup>912</sup> Voir DENIS A., « L'aérostation pendant la grande guerre » sur la page [http://albindenis.free.fr/Site\\_escadrille/Aerostation\\_Regiments.htm](http://albindenis.free.fr/Site_escadrille/Aerostation_Regiments.htm), consulté le 13 août 2018.

<sup>913</sup> MOUCHET V., « La photographie aérienne pendant la guerre 1914-1918 », *Bulletin mensuel de l'Association de Anciens Élèves de l'École centrale lyonnaise*, n°173 juillet 1922, pp. 3-16.

<sup>914</sup> MARTONNE (DE) E., *Géographie aérienne*, Paris, Albin Michel, 1948.

<sup>915</sup> HOUARD G., « La cartographie aérienne », *La Science et la vie*, juin-juillet 1917, pp. 37-48.

### *Les débuts de la photographie aérienne en cartographie et topographie*

L'idée d'utiliser la photographie aérienne pour réaliser des cartes est présente dès les années 1850 avec le récit imaginaire : *Exposition universelle de 1855, une dernière annexe au Palais de l'industrie* d'Antoine Andraud<sup>916</sup>, et surtout le brevet de Nadar pour « un nouveau système de photographie aérostatique » daté du 23 octobre 1858, qui est basé sur la « perpendicularité de l'appareil »<sup>917</sup>. Les essais de Nadar ne sont pas concluants, notamment en raison du « collodion humide », utilisé par les photographes de l'époque, qui donne un résultat flou et inutilisable. Le procédé au « gélantino-bromure d'argent » ouvre de nouvelles perspectives à partir des années 1880. Gaston Tissandier essaye en 1885 de réaliser des photographies aériennes en vue d'une utilisation en cartographie, mais il écrit :

*Après ces nombreuses tentatives, il restait encore à démontrer que les épreuves obtenues en ballon peuvent être aussi nettes que celles qui sont exécutées à terre dans les conditions ordinaires et à résoudre en un mot d'une façon complète le problème de la photographie en ballon libre.*<sup>918</sup>

Si les qualités de la photographie de Tissandier intitulée « l'île Saint-Louis » sont reconnues au point que *Bulletin de la Société française de photographie* rappelle « tout le parti que pourra en tirer la Géographie, la Topographie et l'Art militaire »<sup>919</sup>, cette expérimentation est sans suite. En effet, les militaires sont confrontés à un problème d'optique car les prises de vues doivent se faire d'une telle hauteur en ballon (au moins 5 000 mètres), que les objectifs utilisés à l'époque ne sont pas adaptés.

Aimé Laussedat<sup>920</sup>, polytechnicien, astronome, spécialiste français de l'instrumentation, de la géodésie et de la topographie, percevant précocement l'intérêt de la photographie en cartographie, imagine, dès 1845, un procédé pour lever des plans à partir de photographies aériennes devenant ainsi le « père de la photogrammétrie ». La photogrammétrie « consiste à retrouver la position dans l'espace de chaque point de la surface visible d'un sujet photographié à partir de l'analyse de plusieurs photographies prises sous plusieurs angles de vue différents »<sup>921</sup>. Son procédé qui permet de construire une carte à partir de deux photographies d'un même lieu rencontrent peu d'écho en France alors que la méthode est immédiatement

---

<sup>916</sup> ANDRAUD A., *Exposition universelle de 1855, une dernière annexe au Palais de l'industrie, sciences industrielles, beaux-arts, philosophie*, Paris, Guillaumin, 1855.

<sup>917</sup> GERVAIS Th., « Un basculement du regard », *Études photographiques*, 9 mai 2001.

<sup>918</sup> TISSANDIER G., *La Photographie en ballon*, Paris, Gauthier-Villars, 1886, p. VI.

<sup>919</sup> *Bulletin de la Société française de photographie*, juillet 1885, pp. 173-175.

<sup>920</sup> Aimé Laussedat (1819-1907).

<sup>921</sup> DELEVOIE C., DUTAILLY B., MORA P. et VERGNIEUX R., « Un point sur la photogrammétrie », *Archéopages*, juillet 2012.



adoptée dans plusieurs pays (Espagne, Canada, Russie, Autriche). Il est vrai que les cartes d'état-major construites par relevés direct suffisent alors aux autorités militaires.

### *Le système Scheimpflug*

Les Autrichiens qui s'intéressent au procédé lui trouvent une application pratique quelques années plus tard, ce qui donnera une avancée technologique aux Allemands dans le domaine de la photographie aérienne au début de la Première guerre mondiale. Theodor Scheimpflug<sup>922</sup>, diplômé de l'académie de marine et officier de l'armée autrichienne, invente, à partir de 1902, une méthode pour redresser les perspectives et passer ainsi du cliché au plan. Le système Scheimpflug est alors basé sur l'utilisation de deux appareils distincts :

*L'un est destiné à prendre les vues du haut d'un engin aérien ; l'autre a pour but d'assurer le redressement des clichés obtenus par le premier appareil, de façon à corriger tous les défauts de perspective que pourrait causer une horizontalité défectueuse de la plaque impressionnée.*<sup>923</sup>

L'armée française utilise le système Scheimpflug à bord de ballons. L'appareil photographique est situé à l'extérieur de la nacelle (voir figure 86) et prend simultanément huit photographies (voir figure 87). Ces clichés sont traités par la section de topographie au sein du SGA. Ainsi, depuis juillet 1914, MM. Coulon et Dussert sont chargés des travaux de photogrammétrie destinés à compléter le canevas de tir de l'artillerie. Le service fournit alors au canevas de tir trois documents.

*1° une vue photographique du secteur battu par le tir, avec indication des repères ;*

*2° une feuille de renseignements donnant, avec la désignation de ces points de repère, leur distance à la batterie, leur direction et leur angle de site ;*

*3° un calque au 20 000<sup>e</sup>, figurant la position des repères et leur rattachement à la pièce directrice de batterie.*<sup>924</sup>

---

<sup>922</sup> Theodor Scheimpflug (1865-1911).

<sup>923</sup> HOUARD G., *Op. Cit.*, p. 40.

<sup>924</sup> SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE, *Op. Cit.*, p. 233.

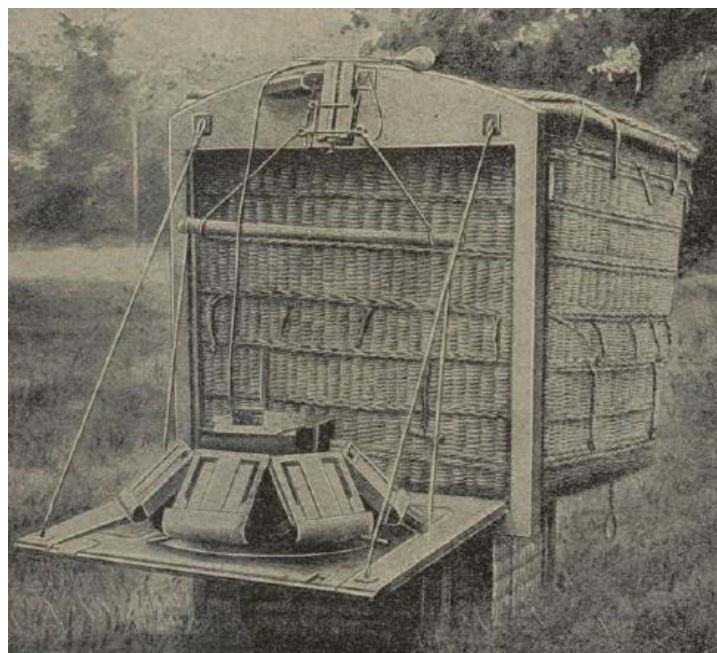


Figure 86 : Exemple d'utilisation de l'appareil Scheimpflug sur un ballon libre.<sup>925</sup>

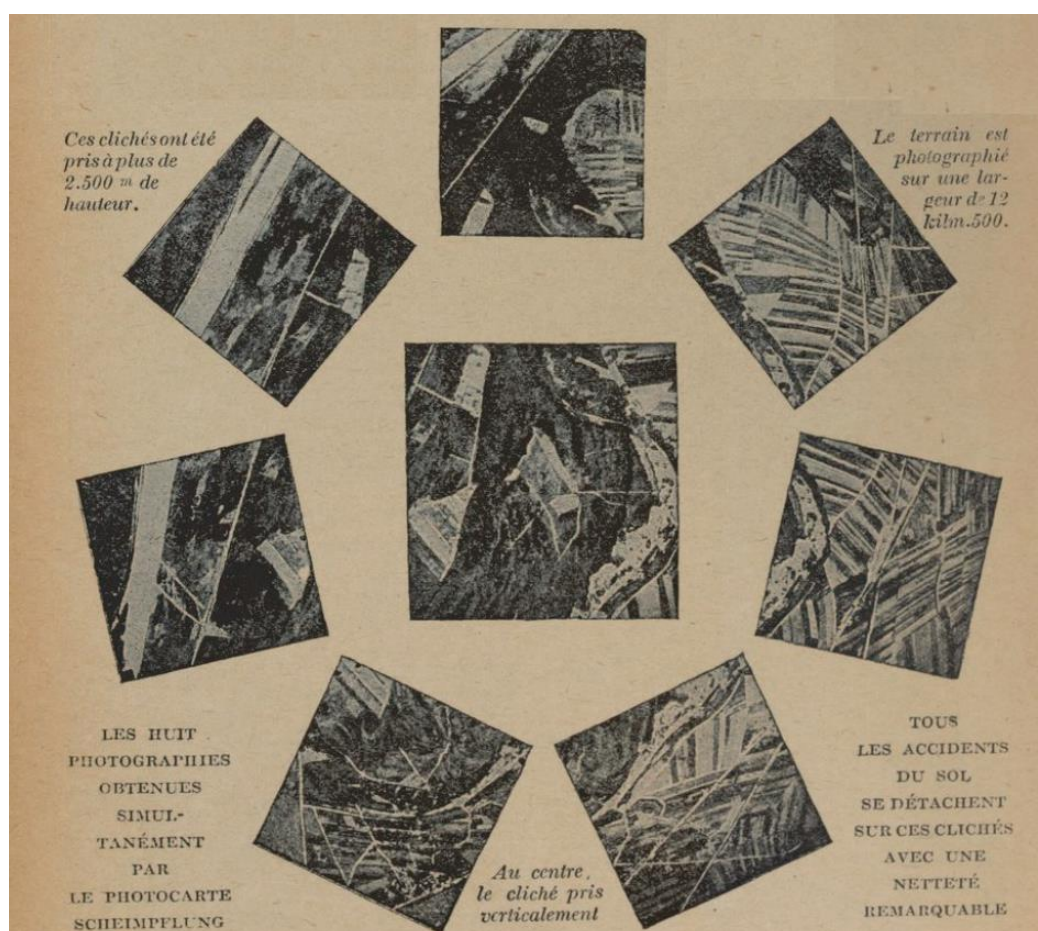


Figure 87 : Les photographies obtenues par le système Scheimpflug.<sup>926</sup>

<sup>925</sup> HOUARD G., *Op. Cit.*, p. 9.

<sup>926</sup> HOUARD G., *Op. Cit.*, p. 40.

### *Le procédé Douhet*

Il est peu probable que les documents établis à l'aide du système Scheimpflug aient été directement utilisés en navigation aérienne car ils donnent des renseignements trop locaux. En revanche, l'armée française teste également un procédé totalement différent qui, lui, peut être avantageusement utilisé pour la navigation aérienne : le « ciné-aéro-phot »<sup>927</sup> du commandant italien Giulio Douhet<sup>928</sup>. Le futur général italien, connu pour avoir été l'un des premiers partisans de l'indépendance des forces aériennes et l'un des initiateurs de la théorie de l'« Air Power » qui prône les bombardements stratégiques<sup>929</sup>, met plus modestement au point un système photographique, un ou deux ans avant le conflit, avec l'ingénieur Suisse demeurant à Turin Ernesto Zollinger<sup>930</sup>. Cet appareil, ne fournit pas de « photo-cartes » mais permet d'établir, rapidement, la photographie d'un itinéraire aérien :

*Sans être rechargé, l'appareil est, en effet, capable de photographier de 1.000 mètres de hauteur, par exemple, une bande de terrain large de 600 mètres et longue de 250 kilomètres.*<sup>931</sup>

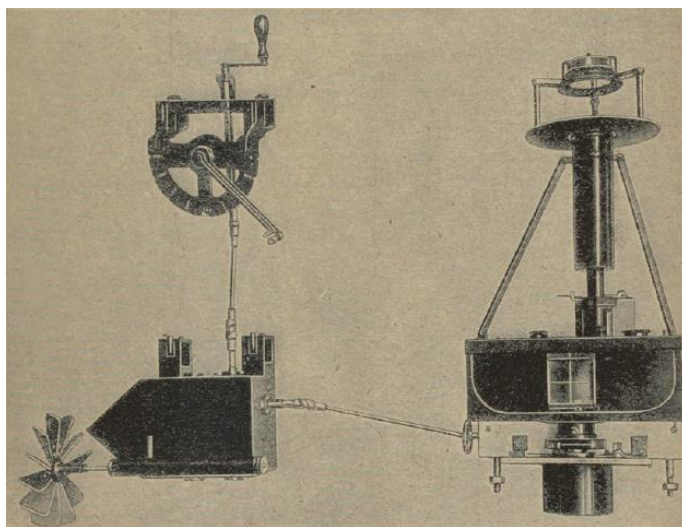


**Figure 88 : Appareil Douhet pour la photographie en aéroplane.**<sup>932</sup>

L'appareil est constitué de deux objectifs, l'un braqué sur le sol et l'autre sur un altimètre et une boussole. Ces deux objectifs sont alors photographiés sur le même cliché. Le film,

<sup>927</sup> HOUARD G., *Op. Cit.*, p. 46.

<sup>928</sup> Giulio Douhet (1869-1930).

<sup>929</sup> LEHMANN É., « Giulio Douhet et la naissance de l'Air Power », *Nacelles*, La Grande Guerre. Regards croisés franco-italiens, Dossier thématique / Thematic Section, mis à jour le : 28/11/2017, URL : <http://revues.univ-tlse2.fr/pum/nacelles/index.php?id=349>, consulté le 13 août 2018.

<sup>930</sup> VILLATOUX M.-C., *Op. Cit.*

<sup>931</sup> HOUARD G., *Op. Cit.*, p. 46.

<sup>932</sup> HOUARD G., *Op. Cit.*, p. 45.

pouvant contenir trois cent photographies, est entraîné automatiquement par le moteur de l'avion.

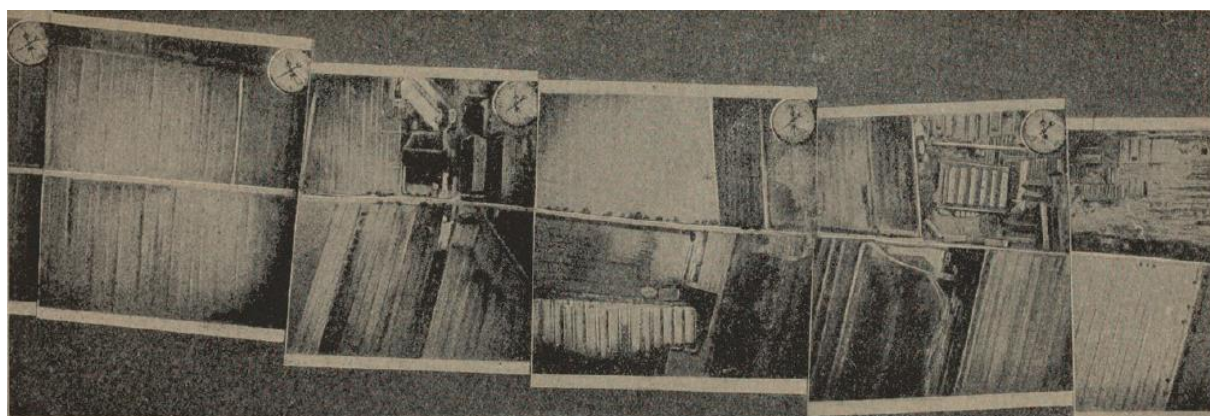


Figure 89 : Fragment d'un film obtenu par l'appareil Douhet après assemblage des photographies successives<sup>933</sup>

Le procédé semble avoir rendu de grands services aux Français durant le conflit. Ainsi Eugène Pépin est notamment envoyé survoler d'urgence Verdun, le 21 février 1916, afin de photographier le front pour renseigner le commandement grâce aux prises de vue « cinématographiques » de son Douhet-Zollinger<sup>934</sup>.

En fait, l'appareil ne concerne pas véritablement l'« aérophoto topographie » puisqu'il ne permet pas d'établir une carte topographique précise. En revanche, il permet de visualiser un itinéraire, ce qui peut être utile pour la préparation d'un raid aérien. Ceci fournit également la preuve de l'utilisation d'un outil de navigation (la boussole) dans la photographie aérienne.

Les groupes de canevas de tir ont finalement employé divers procédés plus ou moins rudimentaires et plus ou moins précis. Toutefois, les clichés, pris essentiellement à partir d'avions, sont largement suffisants pour établir des « plans directeurs ». Il faut pour cela qu'ils soient traités dans le Service géographique aux Armées où les photographies sont identifiées, interprétées et restituées<sup>935</sup>. Mais ces procédés ne sont pas suffisants pour l'établissement d'une carte précise, comme le remarque à posteriori l'ingénieur hydrographe Henri Roussilhe, directeur du Service de la reconstitution foncière et du cadastre au ministère des régions libérées en 1922<sup>936</sup> et rappelons-le, commandant du groupe de canevas de tir de la première armée du 21 février 1916 au premier mai 1917 (voir tableau 15).

<sup>933</sup> HOUARD G., *Op. Cit.*, p. 48.

<sup>934</sup> VILLATOUX M.-C., *Op. Cit.*

<sup>935</sup> SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE, *Op. Cit.*, p. 66.

<sup>936</sup> ROUSSILHE H., « Application de la photographie aérienne aux levés topographiques », *La Géographie*, juin 1922, p. 3.



### C) Impact de la Première guerre mondiale sur la navigation aérienne (le bombardement aérien)

De nouvelles spécialités aéronautiques voient le jour à la fin de 1914 et au début de 1915 dans l'Armée. La « reconnaissance » et le « bombardement », qui concernent à la fois les ballons dirigeables et les avions, sont rapidement organisés alors que la « chasse », qui concerne uniquement les avions, se met en place plus difficilement et plus lentement.

En 1915, deux aspects du bombardement sont pratiqués le jour sur le front terrestre (voir figure 90). Les escadrilles effectuent, soit du bombardement tactique sur le champ de bataille, soit du bombardement stratégique à l'arrière des lignes ennemies en détruisant les usines ou les axes de communication<sup>937</sup>. Les premiers raids suscitent l'enthousiasme de l'état-major et des parlementaires, mais la riposte allemande, dès l'été 1915, oblige les Français à revoir leur stratégie pour abandonner les raids de masse de jour. Les Allemands utilisent en effet des tirs d'artillerie anti-aériens efficaces mais surtout, ils ont mis en service, dès octobre 1915, leur premier avion de chasse, le monoplane *Fokker E1*. Les Français équipent également leurs premiers chasseurs, des *Nieuport*, qui sont toutefois moins performant que ceux des Allemands munis de mitrailleuses synchronisées au moteur.

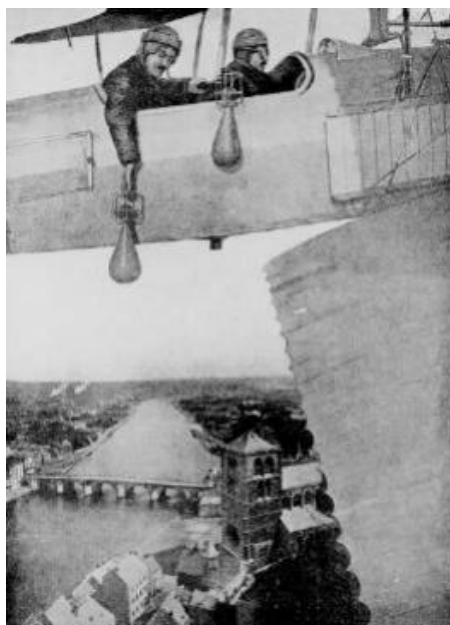


Figure 90 : Première image d'un bombardement aérien en 1915.<sup>938</sup>

---

<sup>937</sup> DUBREIL-VILLATOUX M.-C., « L'aéronautique militaire dans la grande guerre : vers l'institutionnalisation » in *Archives de l'aéronautique militaire de la première guerre mondiale*, Service historique de la Défense, 2008, p. 22.

<sup>938</sup> HARTMANN G., « Les Nieuport de la guerre », sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

Parallèlement, la Marine organise son aéronautique dans le même sens. Ses premières missions concernent la surveillance des côtes italiennes en août 1914, puis celle du canal de Suez au côté des Anglais. L'aviation maritime y réalise des vols de reconnaissance et de bombardement. Le lieutenant de vaisseau Jean de Laborde<sup>939</sup>, commandant du CAM Dunkerque, insiste en juin 1915 sur le fait que « aucun genre de combat aérien ne devrait rester étranger à l'aviation maritime »<sup>940</sup> permettant ainsi la création de l'avion de chasse également dans la Marine.

Que ce soit dans l'Armée ou dans la Marine, l'année 1916 marque, selon de nombreux historiens, un tournant pour l'aéronautique. L'état-major prend conscience, suite aux batailles de Verdun et de la Somme, que la maîtrise de l'espace aérien sera nécessaire pour gagner la guerre. Cet aspect est essentiel sur terre mais aussi en mer lorsque l'Allemagne va déclencher la guerre sous-marine à l'automne 1916.

Quelques textes écrits après-guerre permettent de se faire une idée assez précise de l'état de la navigation aérienne durant le conflit.

#### *Point de vue du lieutenant de vaisseau Rouch et du capitaine Hébrard sur la navigation aérienne*

Le Lieutenant de vaisseau Jules Rouch<sup>941</sup> témoigne sur la manière d'envisager la navigation aérienne en 1916 et ultérieurement, dans l'introduction de son ouvrage écrit en 1921, *Le compas de navigation aérienne* ainsi que dans un article éponyme de *L'Aérophile*, également publié en 1921. Rouch commande une canonnière fluviale en 1915 lorsque le commandant de l'aéronautique aux armées lui demande de compenser les compas de quelques avions de bombardement pour l'armée de Verdun. À cette occasion, il constate que « beaucoup d'aviateurs ne considéraient pas un bon compas comme un instrument indispensable »<sup>942</sup> en raison des vols réduits, toujours au-dessus des terres et par des temps favorables, qu'ils avaient exécutés jusque-là. Le développement de l'aviation de bombardement de nuit a permis, en partie, de contrer cette opinion répandue. Rouch écrit :

*Il a fallu pour combattre et réduire à néant ces idées fausses mais tenaces, d'abord le développement de l'aviation de bombardement qui, de nuit, au-dessus des régions obscures, ne pouvaient exécuter des raids à grande distance sans gouverner au*

---

<sup>939</sup> Jean de Laborde (1878-1977).

<sup>940</sup> SHM Vincennes SSGa 151 « Rapport du lieutenant de vaisseau de Laborde, 7 juin 1915 », cité par LE ROY Th., *Les bretons et l'aéronautique des origines à 1939*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2002, p. 186.

<sup>941</sup> Jules Rouch (1884-1973). École navale (1901).

<sup>942</sup> ROUCH J., *Le compas de navigation aérienne*, Masson, 1921, p. 5.

*compas, puis les voyages au-dessus des mers des dirigeables et des avions pour convoier les navires.*<sup>943</sup>

Le constat de Rouch indique que le niveau de connaissance en navigation des aviateurs était insuffisant, tout au moins avant le développement des bombardements de nuit, à grande distance ou par temps de brume.

De 1915 à 1916, Rouch est en contact direct avec les utilisateurs des compas qu'il compense ce qui étaye son opinion. Mais son nouveau poste, à la tête du Service de météorologie, à partir du 6 novembre 1916, rompt ce contact direct sans pour autant l'éloigner complètement de la navigation.



**Figure 91 : Jules Rouch (à gauche) formant des collaborateurs à la météorologie au sein du Service de météorologie.**<sup>944</sup>

L'utilisation de la météorologie dans l'aéronautique militaire est en effet en pleine réorganisation à partir de 1916. Les compétences en navigation de Rouch sont clairement utiles en météorologie dans ce nouveau schéma d'autant que « le développement de l'aviation de bombardement donna une importance de plus en plus grande aux renseignements météorologiques et aux prévisions du temps à courte échéance »<sup>945</sup>. C'est notamment pour cette raison<sup>946</sup> que le général Ferdinand Foch, lors de la préparation de la bataille de la Somme,

---

<sup>943</sup> *Ibid.*

<sup>944</sup> <http://www.meteofrance.fr/la-meteo-au-temps-de-la-grande-guerre/la-science-meteo-a-l-epoque/meteo-et-armees/la-somme-essor-de-la-meteorologie-militaire>, consulté le 13 août 2018.

<sup>945</sup> *Historique du service météorologique aux armées (mai 1915-avril 1918)* sur la page [http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers\\_rouch\\_jules.htm](http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers_rouch_jules.htm), consulté le 13 août 2018.

<sup>946</sup> Rouch a également participé aux expéditions de Jean-Baptiste Charcot en Antarctique à bord du *Pourquoi-Pas* de 1908 à 1910 en tant que météorologiste.

demande au ministère de la Marine de mettre Rouch à sa disposition afin de réorganiser le Service météorologique du groupe des armées du Nord. Jusqu'ici, l'Armée n'avait pas organisé de service météorologique global<sup>947</sup>. Plusieurs stations isolées existaient dont la station météorologique de l'Armée française engagée (dirigée par Baldit (voir chapitre 4)). Il n'est donc pas certain que Rouch ait encore eu le temps d'évaluer les pratiques des équipages de l'aviation de bombardement entre novembre 1916 et 1918.

Le capitaine Léo Hébrard écrit notamment un article s'intitulant « Le bombardement de nuit et les problèmes de la navigation aérienne »<sup>948</sup> en 1920, pour lequel il indique avoir consulté les notes et souvenirs du commandant Cayla (voir chapitre 4), les documents officiels du Service historique de l'armée ainsi que ses notes personnelles.

Hébrard est pilote-aviateur affecté au GB2 (groupe de bombardement n°2) au sein d'une escadrille de *Caproni* d'avril 1916 à septembre 1917. À ce titre, il a eu lui-même l'occasion de pratiquer la navigation aérienne ce sur quoi nous reviendrons. Selon lui, le bombardement de jour est « la seule branche de l'Aéronautique à employer une méthode de navigation »<sup>949</sup> jusqu'à la fin de l'année 1915.

#### 1) La navigation aérienne en vue de missions de bombardement au sein de l'Armée

##### *La navigation pratiquée par les dirigeables de l'Armée dès le début de la guerre*

Quelques indices permettent de penser qu'une navigation scientifique existait dès le début de la guerre suivant ainsi la remarque de Hébrard sur le bombardement de jour précédemment citée. En particulier, les dirigeables, qui peuvent voler sur de plus grandes distances, et transporter un poids important de bombes, sont utilisés au début du conflit lors de missions de bombardement avant de montrer leurs limites. Or l'équipage des dirigeables durant la guerre comprenait notamment un « pilote de direction » qui « suit la route indiquée et sur le compas »<sup>950</sup> sur les indications du commandant, ce qui indique qu'un compas était bien utilisé lors des navigations sur les grandes distances.

Ainsi, le *Fleurus 1* réalise un raid qui l'amène à 110 km de sa base à Verdun dès les 9 et 10 août 1914.

---

<sup>947</sup> <http://www.meteofrance.fr/la-meteo-au-temps-de-la-grande-guerre/la-science-meteo-a-l-epoque/meteo-et-armees/la-somme-essor-de-la-meteorologie-militaire>, consulté le 13 août 2018. Et article de Pierrick Gaultier, GAULTIER P., *Hommage – Jules Rouch, Père du domaine « Météoc » dans les armées*. <http://www.colsbleus.fr/articles/10616>, consulté le 13 août 2018.

<sup>948</sup> HÉBRARD L., « Le bombardement de nuit et les problèmes de la navigation aérienne », *L'Aéronautique*, 1920, pp. 158-163.

<sup>949</sup> HÉBRARD L., *Op. Cit.*, p. 158.

<sup>950</sup> JACQUOT A., « Les dirigeables à la guerre », *La guerre aérienne illustrée*, 6 mars 1919, p. 157.



| Dirigeable               | Dates         | Durée   | Distance | Altitude maximum | Mission de bombardement effectuée                                                                          |
|--------------------------|---------------|---------|----------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Fleurus 1</i>         | 9-10 août     | 6 h 25  | 240 km   | 2 200 m          | Gare de Kons-Karthus (4 obus de 155)                                                                       |
| <i>Fleurus 1</i>         | 10-11 août    | 10 h 40 | 430 km   | 2 250 m          | Train à Tetersheim (3 projectiles)                                                                         |
| <i>Du Puy de Lôme</i>    | 20 août       | 5 h 50  | 240 km   | 2 500 m          | Bivouacs au nord de Génappe (6 obus de 155) et dans la région de Louvain (3 obus)                          |
| <i>Montgolfier</i>       | 21-22 août    | 8 h 55  | 186 km   | 2 200 m          | Bivouacs Petit-Roeulx (3 obus de 155) et gare de Kosseignies (3 obus de 155)                               |
| <i>Fleurus 1</i>         | 22-23 août    | 5 h 20  | 170 km   | 2 100 m          | Gare de Luxembourg (4 obus de 155)                                                                         |
| <i>Adjudant Vincenot</i> | 23-24 août    | 5 h 57  | 190 km   | 2 300 m          | Bivouacs de la Forêt de Vitremont (1 obus)                                                                 |
| <i>Fleurus 1</i>         | 2 octobre     | 3 h 45  | 200 km   | 2 250 m          | Sur rassemblements signalés d'Heindicourt (projectiles)                                                    |
| <i>Adjudant Vincenot</i> | 9-10 octobre  | 4 h 32  | 120 km   | 2 500 m          | Camp-des-Romains (5 obus et 1 bombe)                                                                       |
| <i>Fleurus 1</i>         | 12-13 octobre | 6 h 12  | 170 km   | 2 300 m          | Hendicourt (4 obus et 2 bombes) et Chamblay (4 obus)                                                       |
| <i>Montgolfier</i>       | 16 octobre    | 12 h 10 | 305 km   | 2 350 m          | Gare de Ternier (22 obus)                                                                                  |
| <i>Conté</i>             | 17-18 octobre | 5 h 50  | 180 km   | 2 520 m          | Gare de Sarrebourg (15 obus), gare de Petit-Eich (6 obus), les trains (1 obus) et gare de Heining (3 obus) |

**Tableau 9 : Missions de bombardement effectuées par les dirigeables de l'Armée en 1914.**<sup>951</sup>

En 1914, l'Armée possède cinq dirigeables souples (*Adjudant Vincenot*, *Fleurus 1*, *Du Puy de Lôme*, *Montgolfier* et *Conté*) à qui elle confie des missions de reconnaissance et de bombardement. Les résultats des bombardements en 1914 sont jugés satisfaisants mais les ballons subissent régulièrement les tirs des artilleurs français, qui ne les reconnaissent pas, aussi sont-ils interdits de vol jusqu'en avril 1915. Ce repos est mis à profit pour perfectionner les équipements. La navigation au compas devient systématique par l'adoption à bord des dirigeables de boussoles à grandes roses et de dérivomètres<sup>952</sup>. Les missions de reconnaissance

<sup>951</sup> Tableau établi à partir des informations données par Albin Denis dans l'article « Les dirigeables français au combat » de la page [http://albindenis.free.fr/Site\\_escadrille/Aerost\\_Dirigeables\\_Combat.htm](http://albindenis.free.fr/Site_escadrille/Aerost_Dirigeables_Combat.htm), consulté le 13 août 2018.

<sup>952</sup> *Ibid.*

sont presque abandonnées lorsque les dirigeables recommencent à voler en avril 1915. Ils effectuent des missions de bombardement sur des objectifs directement choisis par le commandant du dirigeable. Ils poursuivent notamment la nuit les bombardements effectués de jour par l'aviation de bombardement. Les altitudes de vol augmentent et il est demandé aux commandants des dirigeables de privilégier les nuits sans lune pour effectuer leurs missions, ce qui justifie d'autant plus le recours au compas en navigation. Les dégâts de l'artillerie anti-aérienne allemande au sein du parc de dirigeables français (l'*Adjudant Vincenot* est notamment abattu le 1<sup>er</sup> juin 1916 or il effectuait l'essentiel des missions en 1915-1916) et l'utilisation de plus en plus importante de l'aviation pour les bombardements nocturnes rendent les dirigeables obsolètes sur le front terrestre. Comme la Marine a besoin de ballons en mer, l'Armée décide de lui transférer les dirigeables qui lui restent à partir de la fin de l'année 1916. Les marins sont désormais les seuls à posséder des dirigeables même après l'armistice (voir chapitre 7).

#### *La navigation lors des bombardements diurnes au sein des escadrilles*

Les échanges entre la Marine et l'Armée existent également au sein de l'aviation puisque des marins sont mis à la disposition de l'Armée pour commander des unités de bombardement dès l'automne 1914. Ce transfert est essentiel pour notre étude car les officiers de marine apportent leur expertise en matière de navigation à l'aviation, plus encore que lorsque les « marins du ciel » ont été formés par l'Armée à l'aéronautique (voir chapitre 4).



**Figure 92 : Les lieutenants de vaisseau Jean de Laborde (à gauche)<sup>953</sup>, Charles Dutertre (au centre)<sup>954</sup>, Pierre Cayla (à droite)<sup>955</sup>.**

Le lieutenant de vaisseau de Laborde commande l'escadrille VB2 (*Voisin* de bombardement n°2) au sein du GB1 (groupe de bombardement n° 1) en octobre 1914, le

<sup>953</sup> [http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers\\_delaborde\\_jean.htm](http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers_delaborde_jean.htm), consulté le 13 août 2018.

<sup>954</sup> [http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers\\_dutertre\\_charles.htm](http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers_dutertre_charles.htm), consulté le 13 août 2018.

<sup>955</sup> [http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers\\_cayla\\_pierre.htm](http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers_cayla_pierre.htm), consulté le 13 août 2018.

lieutenant de vaisseau Charles Dutertre<sup>956</sup> prend la tête de l'escadrille VB5 (*Voisin* de bombardement n°5) au sein du GB2 en avril 1915, et le lieutenant de vaisseau Cayla (voir chapitre 4) commande le GB1 à partir du 15 juin 1915. Ces officiers vont marquer durablement l'aviation militaire de bombardement en introduisant leurs méthodes de navigation maritime au sein de leurs escadrilles<sup>957</sup>.

Revenons d'ailleurs sur la méthode de navigation employée notamment au sein du GB1 au début du conflit.

Le commandement est amené très tôt à envisager une méthode de navigation pour les raids diurnes. Cette méthode devait permettre de satisfaire quatre points. Premièrement il fallait savoir déterminer l'itinéraire le plus avantageux selon la vitesse et la direction du vent. Deuxièmement, la méthode devait indiquer la quantité de combustibles à emporter pour avoir le meilleur rendement. Troisièmement, il fallait se prémunir contre les ripostes ennemies. Et enfin, la méthode devait permettre d'augmenter la cohésion des équipages, « en suppléant à l'inexpérience de quelques-uns par l'adoption de règles simples pour la direction (marche sous un cap déterminé, fixé à l'avance) »<sup>958</sup>. En effet, les nouveaux pilotes ne bénéficiaient que d'une formation express.

Cayla qui commande le GB1 et le capitaine Louis Dunoyer (voir chapitre 4) alors observateur au GB3 (groupe de bombardement n° 3) jettent les bases de la méthode de navigation, répondant aux demandes du commandement, au sein des groupes de bombardement français et employée au GB1.



Figure 93 : Avions *Voisin* équipant le GB1.<sup>959</sup>

---

<sup>956</sup> Charles Dutertre (1874-1957).

<sup>957</sup> Voir Thierry Le Roy. LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 184.

<sup>958</sup> HÉBRARD L., *Op. Cit.*, p. 158.

<sup>959</sup> HÉBRARD L., *Op. Cit.*, p. 161.

Les avions *Voisin* du GB1 (voir figure 93) sont, pour cela, équipés de compas de route (voir figure 94) correctement installés et compensé selon les principes définis par Dunoyer en France pour les avions terrestres.

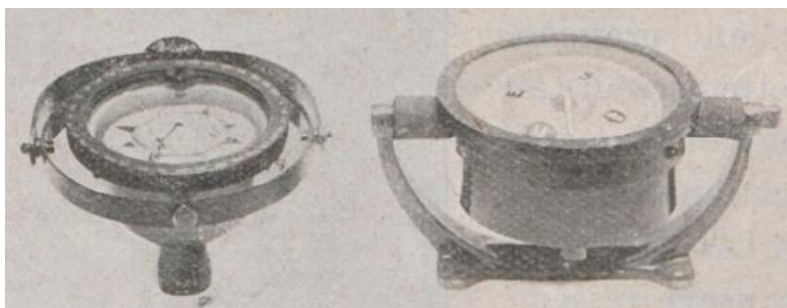


Figure 94 : Types de boussoles employées dans l'aéronautique française au début du conflit.<sup>960</sup>

De plus, les équipages sont munis d'itinéraires préparés à l'avance pour chaque objectif selon la direction et la force des vents rencontrés (voir tableau 17).

| ITINÉRAIRE.                   | DIS-<br>TANCE. | VENT EST : 10 <sup>m</sup> . |                    |                                    | VENT NORD-OUEST : 10 <sup>m</sup> . |                    |                                    | VENT NORD : 10 <sup>m</sup> . |                    |                                    | VENT NUL. |                    |                                    |
|-------------------------------|----------------|------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------|------------------------------------|-----------|--------------------|------------------------------------|
|                               |                | Vitesse.                     | Temps.             | Angle<br>de route<br>au<br>compas. | Vitesse.                            | Temps.             | Angle<br>de route<br>au<br>compas. | Vitesse.                      | Temps.             | Angle<br>de route<br>au<br>compas. | Vitesse.  | Temps.             | Angle<br>de route<br>au<br>compas. |
| <i>Temps pour départ.....</i> |                |                              | <i>h m</i><br>0. 6 |                                    |                                     | <i>h m</i><br>0. 6 |                                    |                               | <i>h m</i><br>0. 6 |                                    |           | <i>h m</i><br>0. 6 |                                    |
| Nancy-Lunéville.....          | 0              | »                            | 1                  | 0                                  | 1                                   | 0                  | 0                                  | 1                             | 0                  | 0                                  | 1         | 0                  | 0                                  |
| Lunéville-Lindre.....         | 34             | 57                           | 0.37               | 53                                 | 44                                  | 0.46               | 45                                 | 50                            | 0.41               | 23                                 | 80        | 0.26               | 40                                 |
| Lindre-Saint-Avoid.....       | 32             | 79                           | 0.24               | 7                                  | 53                                  | 0.37               | 15                                 | 46                            | 0.40               | 349                                | 80        | 0.24               | 350                                |
| Saint-Avoid-Dillingen.....    | 30             | 73                           | 0.25               | 17                                 | 50                                  | 0.36               | 22                                 | 44                            | 0.41               | 0                                  | 80        | 0.22               | 0                                  |
| Dillingen-Saint-Avoid.....    | 30             | 73                           | 0.25               | 162                                | 105                                 | 0.17               | 168                                | 46                            | 0.16               | 180                                | 80        | 0.22               | 180                                |
| Saint-Avoid-Dieulouard.....   | 54             | 112                          | 0.29               | 238                                | 114                                 | 0.29               | 253                                | 93                            | 0.35               | 263                                | 80        | 0.41               | 240                                |
| Dieulouard-Nancy.....         | 20             | 61                           | 0.19               | 142                                | 186                                 | 0.14               | 131                                | 105                           | 0.9                | »                                  | 80        | 0.15               | »                                  |
|                               | 200            |                              | 3.43               |                                    |                                     | 4.05               |                                    |                               | 3.9                |                                    |           | 3.56               |                                    |

Tableau 17 : Exemple d'itinéraire établi d'avance pour l'objectif Dilligen.<sup>961</sup>

Dans ce groupe de bombardement GB1<sup>962</sup>, les angles de route au compas sont déterminés à l'aide d'un rapporteur spécial appelé rapporteur Belliéni<sup>963</sup> (voir figure 95). Il est composé d'un cercle en mica, gradué en degrés pour les caps au compas et de 0 à 40 pour les directions du vent, « des cercles concentriques, de rayons proportionnels aux différentes vitesses propres d'avions, et deux réglettes complétaient le système »<sup>964</sup>.

<sup>960</sup> HÉBRARD L., *Op. Cit.*, p. 159.

<sup>961</sup> HÉBRARD L., *Op. Cit.*, p. 158.

<sup>962</sup> Nous ne savons pas si les autres groupes de bombardement utilisent les mêmes instruments de navigation.

<sup>963</sup> La maison Belliéni est spécialisée dans la fabrication d'appareils photographiques et de jumelles depuis sa création par Henri Belliéni en 1889 à Nancy.

<sup>964</sup> HÉBRARD L., *Op. Cit.*, p. 159.

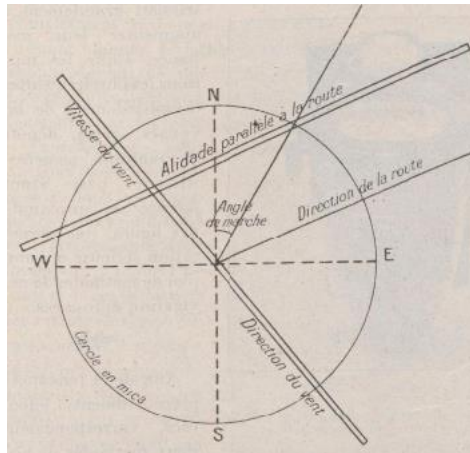


Figure 95 : Disposition schématique du rapporteur pour la préparation des itinéraires.<sup>965</sup>

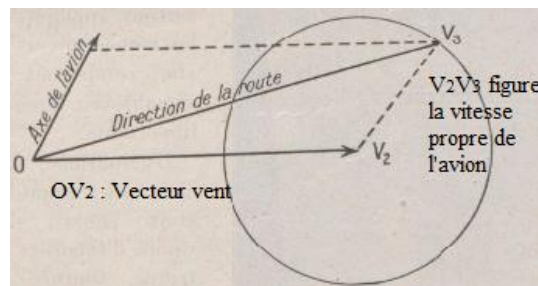


Figure 96 : Construction géométrique réalisée par le rapporteur.  $OV_3$  est la figure résultante.<sup>966</sup>

Dans le même article, Hébrard précise que :

*Cette méthode de navigation convertit bientôt les équipages à l'idée de naviguer au compas, et dans bien des cas elle rallia au port des avions qui sans elle, ne seraient jamais revenus. (...)*

*C'est ainsi que, le 6 septembre 1915, au retour de Sarrebruck, un pilote ramena de 130 km à l'intérieur des lignes ennemies et au-dessus d'importantes mers de nuage, son observateur le capitaine Féquant, tué au cours d'un héroïque combat.*<sup>967</sup>

La méthode de navigation employée pour les bombardements diurnes utilise certes les instruments de navigation associés à des calculs d'angle mais elle est relativement différente de la navigation maritime. Celle employée pour une partie des bombardements de nuit, après la dissolution des groupes de bombardement de jour, s'en rapprochera davantage.

#### *La navigation lors des bombardements nocturnes au sein des escadrilles*

Le commandement décide d'intensifier les entraînements au vol de nuit et le VB101 (Voisin de Bombardement 101) commandée par le capitaine Laurens obtient ses premiers succès donnant

<sup>965</sup> Ibid.

<sup>966</sup> Ibid.

<sup>967</sup> Ibid.

ainsi naissance au bombardement de nuit. D'autres escadrilles de *Voisin* se transforment ensuite pour pratiquer le bombardement de nuit et de nouvelles formations constituées de *Breguet-Michelin* (monomoteurs comme les *Voisins*) et de *Caproni* trimoteurs arrivent sur le front<sup>968</sup>.

Une spécialisation se met rapidement en place : les monomoteurs pour les bombardements à l'arrière-front et les *Caproni* pour les expéditions plus lointaines, associées à des méthodes de navigation très différentes.

La première méthode, destinée aux bombardements de champ de bataille comporte une utilisation importante de la signalisation lumineuse : « l'aérodrome, ou ses alentours immédiats, était pourvu d'une rampe d'éclairage électrique, tournée vers l'ennemi, en direction de l'objectif assigné »<sup>969</sup>. À cela s'ajoutent des feux d'une portée de 30 à 40 km qui jalonnent la route d'aller et de retour ainsi que l'éclairage de terrains auxiliaires disponibles en cas de problèmes. Cette navigation à vue est tout à fait suffisante pour les bombardements de faible portée (40 à 60 km) et ne fait nullement appel à une navigation scientifique.

En revanche, l'emploi de procédés plus scientifiques devient indispensable pour les raids lointains et même utile pour les bombardements de portée moyenne (100 km). Le commandement s'inspire dès 1916 de la méthode mise au point pour les bombardements de jour : utilisation du rapporteur spécial pour établir l'itinéraire, l'altitude de navigation, le cap à tenir, les heures de départ, de retour et de bombardement.

Le témoignage du capitaine Hébrard incite à penser que la navigation au compas est un réel atout pour les groupes de bombardement la pratiquant. Le 27 juillet 1917, le GB2 (alors constituée de l'escadrille VB101 et de trimoteurs *Caproni*) bombarde la gare de Logelbach dans la plaine du Rhin, mais le retour est difficile car la nuit est très noire et la brume s'est levée. Au retour, de nombreux appareils s'égarent aboutissant même à un décès et beaucoup de matériels détruits, toutefois « les rares équipages qui ont rallié le terrain ont pu le faire grâce à l'emploi judicieux des compas »<sup>970</sup>. Deux mois plus tard, le groupe de Hébrard est le seul à réussir sans incidents un aller-retour de 450 km jusqu'à la ville de Stuttgart alors que les conditions sont mauvaises (voir carte 10). Pour cela il a, là encore, recours aux instruments de navigation car il est « convaincu qu'avec de bons instruments, une expédition même lointaine est possible avec une aussi médiocre visibilité »<sup>971</sup>. Hébrard prend encore part à des expéditions nocturnes les 9 et 13 mars 1918, alors que les nuits sont absolument noires, montrant là encore l'efficacité

---

<sup>968</sup> GADAL S., « Le premier plan de bombardement stratégique : « le plan Gorrell » (1917) », *Stratégique*, vol. 102, n° 1, 2013, pp. 205-209.

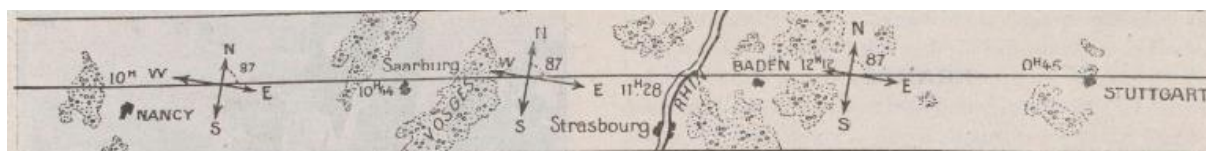
<sup>969</sup> HÉBRARD L., *Op. Cit.*, p. 160.

<sup>970</sup> HÉBRARD L., *Op. Cit.*, p. 162.

<sup>971</sup> *Ibid.*



d'une navigation aux instruments bien préparée. Cette méthode est ensuite régulièrement utilisée par les deux escadrilles *Caproni* sur des parcours de 300 à 400 km derrière le front de Champagne, l'enseigne de vaisseau de réserve Duval apportant son expertise maritime en tant que pilote ou navigateur<sup>972</sup>.



**Carte 10 : Carte schématique établie pour l'exécution d'un bombardement de nuit sur Stuttgart.**<sup>973</sup>

L'exploit du sous-lieutenant Anselme Marchal<sup>974</sup>, en 1916, a également nécessité l'emploi des instruments de navigation. Il avait pour mission de lâcher des tracts sur Berlin dans la nuit du 20 au 21 juin 1916 en partant de Nancy, puis d'aller se poser à l'abri derrière les lignes russes, soit un périple de 1400 km. Il a réussi le lâcher de tract mais a dû se poser en terrain ennemi et a été fait prisonnier. Le raid a nécessité la préparation d'un avion compatible avec une aussi longue distance sans escale et une préparation approfondie de l'itinéraire. Il vole sur un biplan *Nieuport Spécial*, basé sur le modèle XII, dont l'autonomie a été portée à quatorze heures et aurait utilisé une carte de sept mètres de long<sup>975</sup>.

Le recours au compas, comme instrument de navigation, ne semble pourtant pas essentiel pour certains, même pour le bombardement de nuit. En 1917, J. Chevallier écrit un article expliquant au grand public ce qu'est le bombardement de nuit en avion. Il y précise que :

*Contrairement à ce que pensent certaines personnes qui s'imaginent que les aviateurs « de nuit » marchent exclusivement à l'heure et à la boussole, il faut bien se persuader que les bombardiers voient dans la nuit, et s'ils s'aident parfois de la montre et de la boussole, leurs principaux auxiliaires sont la carte et le sol.*

*Les opérations nocturnes sont entreprises par trois degré de visibilité différents : par clair de lune, par nuit claire sans lune et enfin à la tombée du jour.*<sup>976</sup>

L'abbé Moreux<sup>977</sup>, astronome et météorologue français, alors directeur de l'observatoire de Bourges est un peu moins catégorique. Selon lui il y a deux manières possibles de réaliser

<sup>972</sup> Hébrard indique que Duval était pilote et navigateur dans son article de 1920, mais je n'ai pas trouvé mention du terme « navigateur » durant la guerre. Ils étaient regroupés sous le vocable d'« observateur ».

<sup>973</sup> HÉBRARD L., *Op. Cit.*, p. 163.

<sup>974</sup> Anselme Marchal (1882-1921).

<sup>975</sup> VILLATOUX M.-C. et VILLATOUX P., *L'extraordinaire épopée du lieutenant Marchal : pilote de missions spéciales pendant la Grande Guerre*, Paris, Histoire & Collections, 2014.

<sup>976</sup> CHEVALIER J., « Le bombardement de nuit par avion », *La guerre aérienne illustrée*, 12 juillet 1917, p. 548.

<sup>977</sup> Théophile Moreux (1867-1954).

un raid comme celui de Marchal. Selon lui, lorsqu'il s'agit d'atteindre une cible à une centaine de kilomètres, « une carte ordinaire lui dira quel angle il doit faire et conserver dans sa course par rapport à la ligne nord-sud que sa boussole lui permettra de trouver »<sup>978</sup>. En évaluant grossièrement sa vitesse, l'aviateur atteindra approximativement son but qu'il confirmera en recherchant l'éclairage de l'objectif. Il pourra déterminer et suivre sa direction de deux manières pour les longues étapes, comme le Nancy-Berlin de Marchal. D'une part, « à l'aide d'une carte à grande échelle dont se servent les marins, il calcule l'angle qu'il doit conserver au cours de sa route par rapport à la boussole »<sup>979</sup> en se servant naturellement des points de repères (villes, fleuves...) repérés lors de la préparation. D'autre part, le pilote peut choisir un procédé moins scientifique, et c'est ce qu'il fait le plus souvent, en allant de points lumineux en points lumineux c'est-à-dire de ville en ville.

### *Les freins à la généralisation de la navigation scientifique au sein de l'aviation militaire*

Les connaissances en navigation aérienne semblent donc inégalement réparties. Les expériences (bombardement de jour ou de nuit, bombardement à l'arrière du front ou lors d'expéditions lointaines, etc.) des pilotes et des équipages peuvent former une image positive ou négative de la navigation scientifique dans l'aéronautique militaire.

Rouch a repéré quatre freins à la généralisation de l'utilisation du compas durant la Première guerre mondiale.

Tout d'abord, contrairement à ce qui se fait à bord d'un navire, les pilotes ne sont pas entraînés à gouverner au compas. Il préconise qu'il « faudrait pendant l'entraînement des pilotes, consacrer quelques sorties à des exercices de tenue de route au compas »<sup>980</sup> en ajoutant quelques lignes plus loin que « même pour un pilote expérimenté, il est difficile de gouverner à 1 degré près »<sup>981</sup> car les changements de route doivent se faire lentement pour que le compas puisse suivre. Ce problème de formation qui ne se rencontre pas uniquement pour l'utilisation du compas a d'ailleurs été détecté dès les bombardements diurnes mais n'a pas pu être résolu faute de temps.

Les deuxième et troisième arguments avancés par Rouch tiennent à la qualité même des compas. Les premiers instruments de navigation délivrés à l'Aéronautique sont de qualité médiocre ce qui a nui à leur popularité (bien que cette qualité se soit améliorée par la suite). Les compas en usage à bord des avions sont alors des compas de marche de petite dimension

---

<sup>978</sup> Abbé MOREUX Th., « Raids nocturnes d'avions et de dirigeables », *Le petit journal*, 3 août 1916, p. 2.

<sup>979</sup> *Ibid.*

<sup>980</sup> ROUCH J., « Le compas de navigation aérienne », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> au 15 mars 1921, p. 89.

<sup>981</sup> *Ibid.*



ne permettant qu'une approximation grossière. En outre, les compas utilisés par les pilotes étaient souvent en mauvais état et personne ne pensait à les réparer :

*Leur chape et leur pivot étaient usés, les flotteurs étaient crevés, leur liquide se congelait dès que la température baissait en-dessous de zéro, ou bien avait disparu en partie, les roses frottaient contre les glaces des cuvettes à la moindre inclinaison, leur aimantation laissait à désirer, etc.*<sup>982</sup>

D'ailleurs, comme le précise L. Condroyer dans un article de 1919, les bons pivots sont faits avec de l'osmium d'iridium or « la grande consommation de compas faite pendant la guerre eut bientôt épuisé les faibles quantités d'osmium d'iridium utilisable »<sup>983</sup> Il semble finalement difficile pour des pilotes sceptiques d'avoir confiance en de tels outils défectueux. La qualité des compas s'améliore tout de même beaucoup. Le compas anglais Creagh-Osborne<sup>984</sup> (dit compas sphérique) ou le compas A.M.1 de la maison Vion (voir figure 97) qui équipent une partie de la flotte française à la fin du conflit sont suffisamment performants pour permettre une navigation à l'estime sûre.



**Figure 97: Compas de navigation aérienne (compas français A.M.1 de Dunoyer)<sup>985</sup>**

---

<sup>982</sup> ROUCH J., *Op. Cit.*, p. 90.

<sup>983</sup> CONDROYER L., « Le compas de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, 1919, p. 394.

<sup>984</sup> Le capitaine de vaisseau Frank Creagh-Osborne (1867-1943), de la marine anglaise a dessiné presque tous les compas employés par l'aéronautique britannique durant le conflit. ROUCH J., *Le compas de navigation aérienne*, Masson, 1921, p. 23.

<sup>985</sup> HÉBRARD L., *Op. Cit.*, p. 160.

Mais, même s'ils avaient la chance de posséder un compas de qualité et en bon état, il reste un dernier élément à prendre en compte pour pouvoir l'utiliser efficacement. Les pilotes militaires négligeaient le plus souvent de compenser leur instrument. D'ailleurs Rouch précise :

*Les premiers pilotes qui se sont intéressés à cette question ont été rebutés par nos manuels de compas de la marine, où l'étude de la compensation, présentée au point de vue théorique, est assez difficile, fait appel à des notations peu usuelles et est bien faite pour décourager les débutants.*<sup>986</sup>

Ces quelques lignes sont très instructives. Elles prouvent que les militaires ont bien vu que les connaissances des marins en navigation étaient différentes si ce n'est supérieures aux leurs. Mais en même temps, nous apprenons que ces mêmes militaires n'ont pas trouvé les informations qui leur correspondaient dans les ouvrages maritimes à leur disposition. Ceux qui ont persévéré se sont retrouvés devant une tâche difficile et chronophage. Hébrard évalue que pour une escadrille de quinze appareils, munis chacun de deux compas (l'un pour le pilote, l'autre pour l'observateur), « il fallait employer 15 journées complètes d'hiver à ne faire que tours d'horizon »<sup>987</sup> en se basant sur une piste tracée à la chaux sur le terrain.

Finalement, quelques groupes de bombardement de l'Armée ont eu recours, avec succès, à la navigation à l'estime. La navigation astronomique semble ne pas avoir été pratiquée à bord des avions ; en effet, les carlingues des avions, contrairement aux nacelles des dirigeables, ne permettent toujours pas de faire un point d'étoile, comme le souligne Pierre Courbet dans un article de 1916 :

*On ne peut pas demander à un pilote ou à son observateur, marchant à 150 ou 180 kilomètres à l'heure, dans son étroite nacelle [d'avion ?] où il peut à peine se retourner, de prendre des hauteurs de soleil ou d'étoiles et de calculer sa position comme le fait un marin (...)*

*La question se pose différemment en ce qui concerne les dirigeables. (...) Dans les expéditions un peu longues, au moins en pays ennemi, les dirigeables doivent, en raison de leur vulnérabilité, s'élever à une grande hauteur et naviguer au-dessus des nuages.*

*Ils n'ont plus alors à leur disposition pour connaître leur position et pour se diriger, que les procédés astronomiques.*<sup>988</sup>

Laissons là l'Armée et tournons-nous vers l'aéronautique maritime pour y déterminer l'utilisation des procédés scientifiques.

---

<sup>986</sup> *Ibid.*

<sup>987</sup> HÉBRARD L., *Op. Cit.*, p. 161.

<sup>988</sup> COURBET P., « Comment on fait le point en dirigeable », *La Croix*, 22 août 1916, NP.

## 2) La navigation aérienne et l'aéronautique maritime

Il semble aller de soi que les connaissances en navigation dans l'aéronautique maritime soient importantes. En effet, nous avons déjà remarqué que les officiers issus de l'École navale et ayant volé dans l'aéronautique militaire se distinguaient par une navigation à la montre et au compas à la veille du conflit (voir chapitre 4) et qu'ils ont pu transmettre ces méthodes et connaissances dans les unités de bombardement de l'Armée dans lesquelles ils ont été affectés (voir paragraphe précédent). Il faut toutefois prendre en compte les particularités de l'aéronautique maritime dont celle du recrutement des marins volants.

### *Connaissances en navigation du personnel navigant*

Les quelques aviateurs que possède la Marine au début du conflit sont mis à la disposition de l'aviation militaire. Puis l'aéronautique maritime recommence à se développer à partir de 1915 lorsque de nouveaux marins sont formés à l'aviation. En effet, les écoles militaires, où les pilotes de l'aviation maritime débutent leur formation, qui avaient fermé à la déclaration de la guerre, rouvrent en 1915. Cette réouverture permet aux pilotes d'être à nouveau « transformés »<sup>989</sup> sur hydravion à Saint-Raphaël. Quarante-deux pilotes d'hydravions sont ainsi formés en 1915 (dont deux hors marine par l'aéronautique militaire) alors qu'aucun n'avait été formé en 1914<sup>990</sup>. Plusieurs observateurs passent également par un programme de formation. Il s'agit pour eux de s'entraîner au service aérien, à la manœuvre de la mitrailleuse, au lancement des bombes, à l'utilisation de la TSF sur hydravion, à l'utilisation des pigeons, à l'étude des signaux aériens et enfin, ce qui nous intéresse particulièrement, à l'acquisition de notions de navigation aérienne.

Au début du conflit, les chefs de centre s'efforcent de panacher les équipages avec un officier dans la position de pilote ou d'observateur, mais ce n'est pas toujours possible faute d'officiers en nombre suffisant. Le recrutement du personnel volant de ces centres n'a pas obéi à la même logique que pour l'aéronautique militaire. Les officiers de Marine d'active furent très peu nombreux à se porter candidats pour l'aviation en 1914, situation qui ne s'améliore pas en 1916<sup>991</sup>. De ce fait, les hommes d'équipage et les officiers-mariniers représentent la majorité du personnel volant recruté entre août 1914 et décembre 1916, et les officiers sont essentiellement réservistes. En conséquence, l'encadrement des CAM est souvent confié à des

---

<sup>989</sup> Les pilotes ont appris à piloter sur avion dans les écoles militaires puis complètent leur formation sur les hydravions qui constituent une part importante de la flotte de l'aéronautique maritime.

<sup>990</sup> MORAREAU L., FEUILLOY R., COURTINAT J-L., LE ROY Th., ROSSIGNOL J-P., *L'aviation maritime française pendant la grande guerre*, Paris, ARDHAN, 1999, p. 455.

<sup>991</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 200.

enseignes de vaisseau auxiliaires issus de la marine marchande. Il semblerait que les officiers aient toutefois été moins réticents à l'idée de piloter des dirigeables, dont le fonctionnement est proche de celui d'un patrouilleur<sup>992</sup>.

Un recrutement du personnel volant majoritairement non officier a un impact sur le niveau des connaissances en navigation. Un officier passé par l'École navale, de même qu'un officier de marine marchande, connaît à la fois la navigation à l'estime et la navigation astronomique qui demande également un solide bagage en mathématiques (voir chapitre 2), l'officier de marine marchande ayant d'ailleurs souvent plus de pratique que son homologue du même âge de la Marine. En revanche, les autres marins, ayant souvent arrêté très tôt leur scolarité, ont des connaissances réduites en mathématiques et même en navigation<sup>993</sup>.

Ce n'est pas le cas de l'enseigne de vaisseau André Lorfèvre<sup>994</sup>, dont les pratiques de la navigation à l'estime sont reconnues. En effet, il est cité à l'ordre de l'Armée navale par le ministère de la Marine le 14 juillet 1915 pour avoir ramené son appareil « après deux heures de route au compas, en hydroplanant à travers le champ de mines et au milieu des bancs de brume »<sup>995</sup> lors d'une reconnaissance le 6 mai 1915. Il est alors « pilote aviateur » affecté aux escadrilles d'hydravion de bombardement B101 et B102 après avoir obtenu le brevet n°1745 sur *Nieuport* le 30 décembre 1914<sup>996</sup>.



**Figure 98 : Hydro Nieuport (l'hydravion durant les manœuvres navales de 1914).**<sup>997</sup>

<sup>992</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 201.

<sup>993</sup> Thierry Le Roy relève que 35% de l'ensemble des personnels volants originaire de Bretagne s'étaient arrêtés à l'école communale. *Ibid.*

<sup>994</sup> André Lorfèvre (1886-19 ?). École navale (1903).

<sup>995</sup> *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> au 15 août 1915, p. 189.

<sup>996</sup> HARTMANN G., « Les premiers Nieuport à flotteurs », sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

<sup>997</sup> Photographie de presse. Agence Rol. 1914. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b6929968w.item>, consulté le 13 août 2018.

### *Les dirigeables de la Marine à partir de 1916*

L'essentiel de l'aéronautique maritime est constitué d'hydravions et d'avions au début de la Première guerre mondiale. Ainsi, la Marine ne dispose d'aucun dirigeable en 1914, mais l'état-major commence à s'y intéresser en 1915 suite aux attaques des zeppelins allemands et au regard de la production britannique de dirigeables. De plus, l'Armée fait transférer tous ses dirigeables à la Marine, ayant constaté leur vulnérabilité sur le front terrestre. L'aéronautique maritime est en phase de croissance accélérée lorsqu'elle reçoit, en 1916-1917, les dirigeables de l'Armée ayant survécu au front terrestre. La Marine concentre, in fine, l'ensemble des dirigeables français dont les origines sont diverses (voir tableau 18) : quelques unités sont transférées du Royaume-Uni (six vedettes et un patrouilleur), d'autres proviennent de commandes à des constructeurs français (Astra-Torrès, Chalais-Meudon ou Zodiac) et plusieurs appareils sont transférés de l'Armée (huit en 1916 et 1917)<sup>998</sup>.

| Nom                               | Origine     | Livraison à la Marine      | Dernier vol pour la France       | Heures de vol <sup>999</sup> | Caractéristiques                                                                                                                           |
|-----------------------------------|-------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Sea-Scout SS-21</i>            | Britannique | 1 <sup>er</sup> avril 1916 | 12 juin 1916 (accident)          | 38                           | Volume : 1 755 m <sup>3</sup> .<br>2 hommes.<br>Autonomie : entre 5 et 12 heures.<br>1 poste de TSF.                                       |
| <i>Sea-Scout SS-26 VA-1</i>       |             | 28 décembre 1915           | 20 décembre 1916 (accident)      | 642                          |                                                                                                                                            |
| <i>Sea-Scout SS-48 VA-2</i>       |             | 20 juin 1916               | 6 mai 1918 (désarmé)             | 350                          |                                                                                                                                            |
| <i>Sea-Scout SS-49 VA-3</i>       |             | 20 juin 1916               | 20 février 1918 (ballon détruit) | 584                          |                                                                                                                                            |
| <i>Sea-Scout Zéro SSZ-21 VA-4</i> |             | 4 septembre 1917           | 17 juillet 1918 (accident)       | 410                          | Volume : 2 000 m <sup>3</sup> .<br>3 hommes (TSF mitrailleur, pilote, mécanicien).<br>Autonomie : entre 6 et 12 heures.<br>1 poste de TSF. |
| <i>Sea-Scout Zéro SSZ-22 VA-5</i> |             | Septembre 1917             | 26 juin 1917 (désarmé)           | 346                          |                                                                                                                                            |
| <i>Coastal C4 AT-0</i>            |             | 15 avril 1916              | 11 novembre 1918 (désarmé)       | 1178                         |                                                                                                                                            |

<sup>998</sup> FEUILLOY R., *Les dirigeables de la Marine française 1915-1937*, ARDHAN, 2008, p. 20.

<sup>999</sup> Du premier vol dans la Marine jusqu'au dernier vol pour la France.

|       |                   |                   |                                                |                                        |                                                                                                         |
|-------|-------------------|-------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                   |                   |                                                |                                        | pilote, radio, mécanicien).<br>Autonomie : 8 heures à vitesse maximale.<br>1 poste de TSF.              |
| AT-1  | Astra –<br>Torrès | 3 février 1917    | 1 <sup>er</sup> mars 1918 (cédé à l'U.S. Navy) | 642                                    | Volume : 5 200 m <sup>3</sup> .<br>5 hommes.                                                            |
| AT-2  |                   | 17 mai 1917       | 28 juin 1919 (désarmé)                         | 625 dont l'essentiel pendant la guerre |                                                                                                         |
| AT-3  |                   | 7 juin 1917       | 13 mai 1918 (accidenté)                        | 554                                    |                                                                                                         |
| AT-4  |                   | 19 avril 1917     | 15 janvier 1920 (désarmé)                      | 937                                    |                                                                                                         |
| AT-5  |                   | 23 septembre 1917 | 30 janvier 1918 (perdu en mer)                 | 114                                    | Volume : 6 700 m <sup>3</sup> .<br>5 hommes.<br>Autonomie : entre 13 h 30 et 27 heures.                 |
| AT-6  |                   | 19 octobre 1917   | 10 juillet 1919 (accidenté)                    | 1068                                   |                                                                                                         |
| AT-7  |                   | 13 novembre 1917  | 28 décembre 1918 (accidenté)                   | 655                                    |                                                                                                         |
| AT-8  |                   | Décembre 1917     | 21 octobre 1918 (disparu)                      | 950                                    |                                                                                                         |
| AT-9  |                   | 25 janvier 1918   | 30 avril 1920 (détruit)                        | 641                                    | Volume : 8 300 m <sup>3</sup> .<br>5 hommes.<br>Autonomie : entre 18 et 36 heures.<br>1 poste de radio. |
| AT-10 |                   | 15 avril 1918     | 14 septembre 1925                              | 839                                    |                                                                                                         |
| AT-11 |                   | 17 avril 1918     | 21 octobre 1918 (détruit)                      | 116                                    |                                                                                                         |
| AT-12 |                   | 12 août 1918      | 07 juin 1924 (désarmé)                         | 150                                    |                                                                                                         |
| AT-13 |                   | Août 1918         | 28 août 1918 (cédé à l'U.S. Navy)              | 200                                    |                                                                                                         |
| AT-14 |                   | 2 octobre 1918    | 12 juillet 1928 (désarmé)                      | 510                                    |                                                                                                         |

|                                                |                |                                                  |                                       |                        |                                                                                                        |
|------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Fleurus I</i>                               | Chalais-Meudon | Juillet 1917<br>(transféré depuis l'Armée)       | 21 mai 1918<br>(détruit)              | 253                    | Volume : 6 700 m <sup>3</sup> .<br>360 km de rayon d'action.<br>1 poste de TSF.                        |
| <i>Lorraine</i><br>Ex <i>Fleurus II</i>        |                | Avril 1917<br>(transféré depuis l'Armée)         | 12 août 1918<br>(détruit)             | 148                    | Volume : 10 500 m <sup>3</sup> .<br>Autonomie : entre 23 et 46 heures.<br>6 hommes.<br>1 poste de TSF. |
| <i>Tunisie</i><br>Ex <i>Fleurus III</i>        |                | Juillet 1916<br>(transféré depuis l'Armée)       | 26 septembre 1918<br>(désarmé)        | 45 (en Afrique)        |                                                                                                        |
| <i>CM-T</i>                                    |                | Janvier 1916<br>(transféré depuis l'Armée)       | 12 mai 1916<br>(perdu en mer)         | 30                     | Volume : 5 600 m <sup>3</sup> .<br>5 hommes.<br>1 poste de TSF.                                        |
| <i>Capitaine Caussin</i>                       |                | 15 juin 1917<br>(transféré depuis l'Armée)       | 11 novembre 1918 (cédé à l'U.S. Navy) | 304                    |                                                                                                        |
| <i>CM-1</i>                                    |                | 27 septembre 1917                                | 23 novembre 1918<br>(désarmé)         | 54.                    | Volume : 6 000 m <sup>3</sup> .<br>Autonomie : entre 10 et 20 heures.<br>6 hommes.<br>1 poste de TSF.  |
| <i>CM-2</i>                                    |                | 2 janvier 1918                                   | 6 septembre 1920<br>(désarmé)         | De 434 à 450           |                                                                                                        |
| <i>CM-3</i>                                    |                | 10 avril 1918                                    | 11 novembre 1918<br>(désarmé)         | 481                    |                                                                                                        |
| <i>CM-4</i>                                    |                | 2 mai 1918                                       | 18 avril 1919<br>(désarmé)            | 403                    |                                                                                                        |
| <i>Montgolfier</i>                             | Clément-Bayard | Juillet 1917<br>(transféré depuis l'Armée)       | 10 juin 1918                          | 294                    | Volume : 7 000 m <sup>3</sup> .<br>360 km de rayon d'action.                                           |
| <i>Zodiac « Grain de café »</i><br><i>VZ-0</i> | Zodiac         | Août 1916 (don du propriétaire des cafés Caïffa) | 23 novembre 1916                      | 98                     | Volume : 2 150 m <sup>3</sup> .<br>3 hommes.<br>Autonomie : entre 8 et 16 heures.<br>1 poste de TSF.   |
| <i>Arlandes</i>                                |                | Mars 1917<br>(transféré depuis l'Armée)          | 25 septembre 1917<br>(désarmé)        | 564 (en 77 ascensions) | Volume : 14 200 m <sup>3</sup> .<br>6 hommes.<br>Autonomie : entre 30 et 60 heures.                    |

|                       |  |                                                                                                                         |                                                                             |                                                                                         |                                                                                                                                  |
|-----------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |  |                                                                                                                         |                                                                             |                                                                                         | 1 900 à 2 500 km de rayon d'action.<br>1 poste de TSF.                                                                           |
| <i>Champagne</i>      |  | Mars 1917<br>(transféré depuis l'Armée)                                                                                 | 23 décembre 1917<br>(désarmé)                                               | 255                                                                                     | Volume : 16 000 m³.<br>6 hommes.<br>Autonomie : entre 30 et 60 heures.<br>1 900 à 2 500 km de rayon d'action.<br>1 poste de TSF. |
| <i>Vedette VZ-1</i>   |  | 7 mai 1917                                                                                                              | 28 octobre 1918<br>(désarmé)                                                | 491                                                                                     | Volume : 2 750 m³.<br>3 hommes.                                                                                                  |
| <i>Vedette VZ-2</i>   |  | 15 mai 1917                                                                                                             | 4 février 1925<br>(désarmé)                                                 | 692 sur deux périodes (de mai 1917 au 30 novembre 1918 et de mai 1924 à février 1925)   | Autonomie : entre 9h45 et 19h30.<br>1 poste de TSF.                                                                              |
| <i>Vedette VZ-3</i>   |  | 2 juillet 1917                                                                                                          | 23 mai 1923<br>(après une période américaine de mars 1918 à septembre 1918) | 440 sur deux périodes (de juillet 1917 à février 1918 et du 13 mai 1923 au 20 mai 1923) |                                                                                                                                  |
| <i>Vedette VZ-4</i>   |  | 7 août 1917                                                                                                             | 25 avril 1923<br>(accidenté)                                                | Environ 200                                                                             |                                                                                                                                  |
| <i>VZ-5 belge V-1</i> |  | 21 juillet 1917<br>(prêté par la Belgique à la France avant d'être définitivement cédé à la France le 17 novembre 1918) | 17 mars 1922<br>(désarmé)                                                   | 350                                                                                     | Volume : 3 000 m³.<br>3 hommes.<br>Autonomie : entre 9 h 45 et 19 h 30.<br>700 à 930 km de rayon d'action.<br>1 poste de TSF.    |
| <i>Escorteur ZD-1</i> |  | 12 novembre 1917                                                                                                        | 16 avril 1919<br>(accidenté)                                                | Entre 224 et 300                                                                        | Volume : 6 200 m³.<br>5 hommes.                                                                                                  |
| <i>Escorteur ZD-2</i> |  | 19 décembre 1917                                                                                                        | 3 avril 1918                                                                | 96                                                                                      | Autonomie : entre 15 h 30 et 31 heures.                                                                                          |
| <i>Escorteur ZD-3</i> |  | 18 février 1918                                                                                                         | 19 août 1921<br>(dégonflé)                                                  | 700                                                                                     |                                                                                                                                  |



|                                     |  |                                                       |                                                       |                           |                                                                                                                                         |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Escorteur ZD-4</i>               |  | 12 mars 1918                                          | 8 juillet 1927 (désarmé)                              | Probablement plus de 1000 | 1 050 à 1 400 km de rayon d'action.<br>1 poste de TSF.                                                                                  |
| <i>Escorteur ZD-5</i>               |  | 20 avril 1918                                         | 9 septembre 1919 (stocké)                             | 139 en 23 ascensions      |                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-6</i>                 |  | 18 avril 1918                                         | 22 juin 1919                                          | 225                       | Volume : 2 800 m <sup>3</sup> .<br>3 hommes.<br>Autonomie : entre 9 et 18 heures.<br>630 à 880 km de rayon d'action.<br>1 poste de TSF. |
| <i>Vedette VZ-7</i>                 |  | 2 juin 1918                                           | 8 juin 1918 (cédé à l'U.S. Navy)                      | 7                         |                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-8 V-2</i>             |  | 14 juin 1918                                          | Janvier 1926 (désarmé)                                | 216                       |                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-9 Transaérien VII</i> |  | 13 juillet 1918                                       | 11 novembre 1918 (désarmé mais loué en 1919 à la CGT) | 122 pour la Marine        |                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-10</i>                |  | 29 août 1918                                          | 27 août 1925 (désarmé)                                | Entre 373 et 400          |                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-11 V-3</i>            |  | Janvier 1918 mais aucune activité signalée avant 1926 | 24 février 1930 (désarmé)                             | 123                       |                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-12 V-4</i>            |  | Juin 1918                                             | 5 juin 1925 (désarmé)                                 | 175                       |                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-14</i>                |  | Juillet 1918 mais aucune activité signalée avant 1923 | 1 <sup>er</sup> décembre 1925 (désarmé)               | Probablement plus que 100 |                                                                                                                                         |

**Tableau 18 : Liste des dirigeables ayant volé au sein de la Marine française durant la Première guerre mondiale.**<sup>1000</sup>

Parallèlement, le personnel navigant s'étoffe, passant de quatre officiers de Marine pilotes de dirigeable en 1914 (les lieutenants de vaisseau Louis Sablé<sup>1001</sup>, Georges Faivre<sup>1002</sup>, Maurice Thierry<sup>1003</sup> et Étienne Paquier<sup>1004</sup>) à un service des dirigeables englobant 2 657 hommes, soit un quart de l'aéronautique maritime à l'armistice. En 1916, les pilotes de dirigeables, les pilotes de direction, ainsi que les autres spécialistes des ballons dirigeables sont

<sup>1000</sup> Tableau établi à partir des informations présentes dans FEUILLOY R., *Op. Cit.*, pp. 35-244. Les dirigeables non grisés ont continué à voler pour la France après la Première guerre mondiale.

<sup>1001</sup> Louis Sablé (1881-1959).

<sup>1002</sup> Georges Faivre (1869-1951).

<sup>1003</sup> Maurice Thierry (1881-1966).

<sup>1004</sup> Étienne Paquier (1881-1915).

formés à Saint-Cyr sur la base du génie par l'Armée. Il faut attendre novembre 1917 pour que cette formation, toujours à Saint-Cyr, passe sous l'autorité de la Marine.<sup>1005</sup>

La Marine disposera au total de 52 dirigeables durant la Première guerre mondiale qui seront utilisés pour la recherche, l'attaque et le bombardement des sous-marins ainsi que le repérage et la destruction des mines ou pour l'accompagnement et la protection des convois, mais à des fréquences très différentes comme l'illustrent leurs heures de vol (voir tableau 18).

La pratique de la navigation est aussi peu commode que dans les carlingues d'avions lorsque la nacelle est petite comme dans la petite vedette anglaise *Sea-Scout* SS-26, qui réutilise d'ailleurs une cellule d'avion (voir figure 99) ou même dans les vedettes Zodiac pourtant un peu plus longues.



**Figure 99 : Nacelle du SS-26 en vol autour du Havre de juillet à octobre 1916 (M. David).<sup>1006</sup>**

En revanche, la nacelle des Astra-Torrès longue de 15,50 m (pour les AT-1 à 4) et large de 1,70 m possède un poste de commandement adapté à la navigation. En effet, en plus des instruments spécifiquement dédiés au pilotage, le pilote de direction a sous les yeux un compas

---

<sup>1005</sup> LE ROY Th., « Le personnel de l'aérostation maritime française (1917-1919) », *Revue historique des armées*, 252 | 2008.

<sup>1006</sup> FEUILLOY R., *Les dirigeables de la marine française (1915-1937)*, Paris, ARDHAN, 2008, p. 40.

liquide, une montre et une tablette de lecture de carte ainsi que des rangements<sup>1007</sup> (voir figure 100).

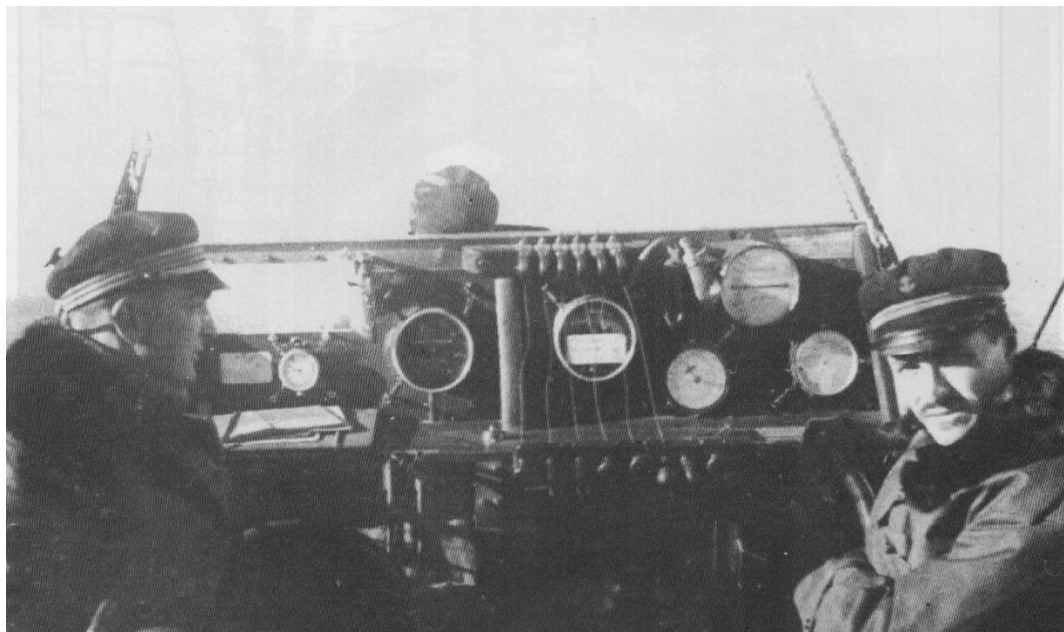


Figure 100 : Nacelle de l'AT-4. Poste de direction visible à gauche.<sup>1008</sup>

L'habitabilité de la nacelle de la *Tunisie* permet également d'y pratiquer la navigation tout comme l'avait fait l'Armée lorsque le dirigeable se nommait le *Fleurus III* (voir figure 101).

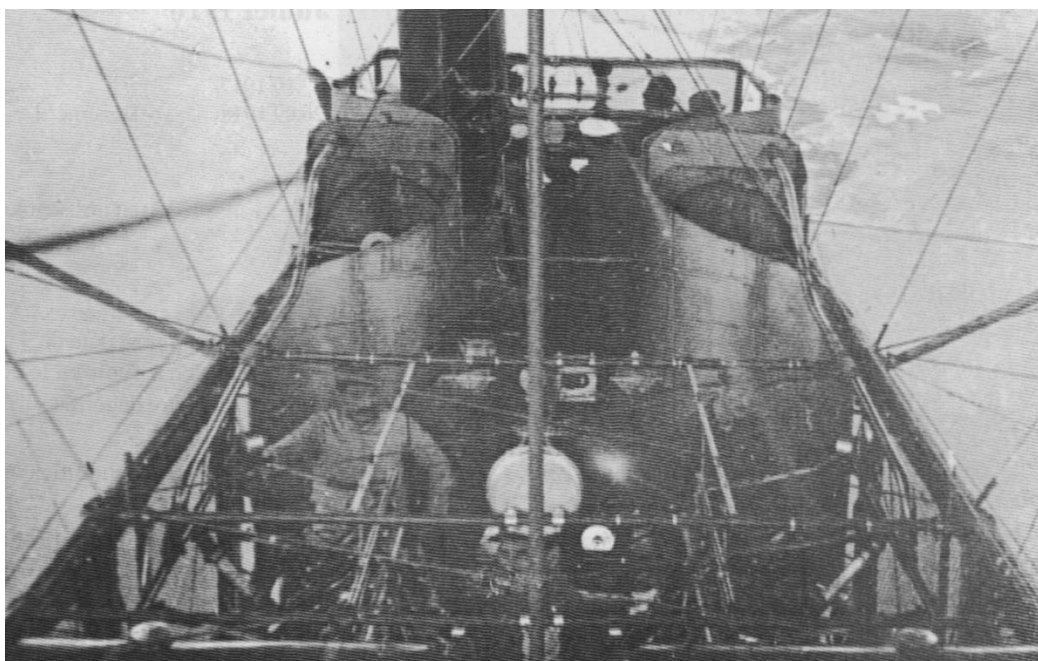


Figure 101 : Nacelle de la *Tunisie* en 1916 à Sidi-Ahmed.<sup>1009</sup>

<sup>1007</sup> FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 59.

<sup>1008</sup> FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 72. La photographie est prise à Rochefort le 27 novembre 1919.

<sup>1009</sup> FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 118.

### *Charles Bertin, un professeur d'hydrographie dans l'aéronautique maritime*

Un officier de marine marchande réserviste mérite d'être signalé : il s'agit du professeur d'hydrographie Charles Bertin (voir chapitre 1, 3, 6 et 8). Sa carrière de pilote militaire débute en juin 1916 lorsqu'il est breveté à Chartres.

Il est d'abord chef d'escadrille en tant qu'ingénieur hydrographe principal à Saint-Pol du 28 août 1916 à décembre 1916<sup>1010</sup> (Saint-Pol étant l'une des faces de la double implantation du centre de Dunkerque). L'escadrille était chargée du bombardement terrestre des installations militaires allemandes en Belgique et plus particulièrement des trois ports militaires d'Ostende, de Zeebrugge et de Bruges ainsi que des installations militaires des villes de Guistelle (aérodrome), Westende, Middlekerque et l'artillerie de la forêt d'Houthulst<sup>1011</sup>.

Bertin quitte l'escadrille en décembre 1916 pour maladie, mais se retrouve en Afrique du Nord dès le début d'année 1917. Son transfert est probablement dû au quatrième plan préparé par le Service central en ce début d'année ; plan axé sur un accroissement notable des moyens en Afrique du Nord. Bertin est tout d'abord « transformé » sur hydravion autour de janvier 1917 à Saint-Raphaël avant de passer quelques mois à Bizerte (Tunisie). Lorsque le centre d'aviation maritime de Sousse (Tunisie) est créé en juillet 1917, il en est nommé commandant et le reste jusqu'en novembre de la même année<sup>1012</sup>. L'activité principale du centre consiste en la protection des convois côtiers et quelques missions de reconnaissance de manière à lutter contre la grande offensive sous-marine allemande.

Nous n'avons pas trouvé mention de professeurs d'hydrographie autres que Bertin ayant fait la guerre dans l'aviation maritime. Il est probable que ses aptitudes en navigation et sa qualité d'enseignant ont influencé le fonctionnement du CAM de Sousse mais nous n'en avons pas trouvé de trace. En revanche, son passage par l'aviation maritime lui a donné envie de destiner également aux aviateurs les tables de navigation, sur lesquelles il travaille depuis au moins 1911 (voir chapitre 3 et 8).

### *La formation en navigation à partir de 1917*

Bertin n'est naturellement pas le seul marin à subir les conséquences de plans du début 1917. L'amiral Lacaze, ministre de la Marine, décide en septembre 1916 de réorganiser complètement l'aéronautique maritime.

---

<sup>1010</sup> MORAREAU L., FEUILLOY R., COURTINAT J-L., LE ROY Th., ROSSIGNOL J-P., *Op. Cit.*, p.71.

<sup>1011</sup> MORAREAU L., FEUILLOY R., COURTINAT J-L., LE ROY Th., ROSSIGNOL J-P., *Op. Cit.*, p. 68.

<sup>1012</sup> MORAREAU L., FEUILLOY R., COURTINAT J-L., LE ROY Th., ROSSIGNOL J-P., *Op. Cit.*, p. 213.

Les écoles bénéficient également de cette réorganisation en devenant plus strictes sur les critères de recrutement dont celui sur l'âge (les aviateurs doivent avoir moins de 28 ans). La grande majorité des élèves sélectionnés apprennent d'abord le pilotage sur hydravion au CAM Hourtin. Ils passent ensuite à Saint-Raphaël, comme les observateurs, où les pilotes et les observateurs sont notamment formés au bombardement, et plus important pour nous, à la navigation. Ils finissent ensuite leur formation à Cazaux. Mais là encore, les officiers sont en minorité, les quartiers-mâtres représentant l'essentiel du personnel volant. Le passage par les écoles permet pour eux de compléter leurs connaissances en navigation s'il le faut.

## Conclusion

La Première guerre mondiale impacte la navigation à plusieurs niveaux.

Cette période a été propice au développement d'une nouvelle navigation : la « navigation électrique » basée sur un système autonome (le compas gyroscopique) ou sur un système en deux parties, l'une à bord du navire ou de l'aéronef et l'autre à terre (le radiogoniomètre). Si cette nouvelle technique n'effleure que l'aéronautique en France (le radiogoniomètre ayant servi à détecter les zeppelins allemands), les navires vont pouvoir être équipés de ces deux types d'instruments, améliorant ainsi la sécurité en mer, et les enseignants vont inclure cette nouvelle notion dans leurs cours (voir chapitre 6). Il est toutefois possible que le conflit ait ralenti la diffusion de cette nouvelle navigation, déjà bien présente en Allemagne avant 1914, en raison du secret imposé par la guerre.

Les marins ont également pu transmettre et appliquer leurs connaissances en matière de navigation auprès des militaires. Ainsi, l'expertise des ingénieurs hydrographes a été utilisée par le SGA dans les groupes de canevas de tir, au Service du repérage, et pour instruire les officiers orienteurs d'artillerie. De plus, les marins-aviateurs ont été mis à la disposition de l'Armée au début du conflit, où leurs méthodes de navigation ont été diffusées pour les raids de bombardement à longue distance. Ces échanges n'ont pas toujours abouti complètement, car de nombreux militaires ne font pas confiance aux compas pour se diriger, mais d'autres ont été convaincus de leur utilité et en font la promotion.

L'aéronautique maritime s'organise et prend de l'importance durant le conflit, détenant notamment l'ensemble de la flotte de dirigeables français à partir de 1917. Les officiers de marine peuvent y mettre en pratique leur haut niveau de connaissances en navigation. Cependant l'essentiel du personnel volant de l'aéronautique maritime est constitué de quartiers-mâtres. Mais leur niveau en navigation à l'estime est tout de même suffisant (éventuellement

complété sur les bancs de l'école à Saint-Raphaël) pour l'essentiel des tâches dévolues à l'aéronautique maritime.

Enfin, la navigation va pouvoir bénéficier des travaux du SGA en matière de cartographie aérienne même si les cartes établies par le service ne lui sont pas destinées. En effet, naviguer correctement nécessite l'utilisation de cartes à différentes échelles. Celles mises au point durant la guerre vont rapidement améliorer le transport du courrier et des marchandises, tâche que l'Armée va assurer après l'armistice dans une France partiellement dévastée (voir chapitre 7).

## Partie 3

### L'essor d'une navigation aérienne (1919-1940)

## Préambule

À l'issue du conflit, la France dispose de 11 836 avions (dont 4 398 de première ligne) et 37 dirigeables servis par 150 000 hommes dont 12 000 pilotes<sup>1013</sup>. Elle possède 1 264 hydravions, avions embarqués ou de défense côtière servis par 200 officiers et 11 000 matelots appartenant à l'aéronautique maritime<sup>1014</sup>. L'aéronautique a dépassé la mission d'observation qui lui était dévolue en 1914 pour devenir une arme à part entière (bombardement, chasse). Elle a connu de grandes avancées en bénéficiant d'immenses crédits afin de répondre aux attentes guerrières<sup>1015</sup>. Mais l'enthousiasme de certains, face aux « progrès » engendrés par la guerre, est à nuancer. Rien ne dit que la puissance des moteurs et la finesse des cellules n'auraient pas été améliorées dans les mêmes proportions sur cinq années de paix plutôt que sur cinq années de guerre<sup>1016</sup>. De plus, la formation de grands pilotes et navigateurs durant le conflit compense-t-elle la perte de nombreux grands pilotes d'avant-guerre (Garros, Pégoud, Brindejonc-des-Moulinais, etc.) ?

Or les attentes au niveau de l'aéronautique sont importantes, notamment en raison du prestige et de la puissance qu'elle a acquise. Il va falloir adapter une arme de guerre aux différentes activités humaines en temps de paix. C'est également le cas dans d'autres domaines, mais l'aéronautique va être parmi les premiers à se ressaisir en faisant preuve de frénésie dès 1919<sup>1017</sup>. La Conférence de la Paix, qui débute le 18 janvier 1919, et qui organise les négociations de paix entre les vainqueurs et les vaincus de la Première guerre mondiale, a des répercussions à la fois du côté militaire et du côté civil en aéronautique.

### *Les années 1920 du côté militaire*

La Première guerre mondiale a permis le développement de plusieurs techniques de navigation du côté de la France et de ses alliés, mais il faut attendre au moins la fin du conflit pour que les Français accèdent à celles mises au point par les Allemands. L'article 202 du traité de Versailles du 28 juin 1919, qui est élaboré lors de la Conférence de la Paix entre l'Allemagne et les Alliés organise les réquisitions. Il prévoit la livraison aux gouvernements alliés des aéronefs (avions, hydravions, ballons dirigeables) ainsi que du matériel (instruments de bord, appareils de télégraphie sans fil, appareils photographiques ou cinématographiques utilisés par l'aéronautique).

---

<sup>1013</sup> LEGRAND C. et J. (Dir.), *Chronique de l'aviation*, 2000, p. 155.

<sup>1014</sup> CHAMBE R., *Histoire de l'aviation*, 1948, p. 245.

<sup>1015</sup> En 1932 on estimait que près de 40 milliards de francs-or avaient été alloués à l'aéronautique par l'ensemble des belligérants entre 1914 et 1918. DOLLFUS C. et BOUCHÉ H., *Histoire de l'aéronautique*, L'Illustration, 1938, p. 355.

<sup>1016</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 250.

<sup>1017</sup> *Ibid.*



Le comte Joachim du Plessis relate l'expédition internationale à laquelle participe son fils le lieutenant de vaisseau Jean du Plessis<sup>1018</sup>, futur commandant du dirigeable *Dixmude*, afin de récupérer le matériel allemand confisqué, dont l'un des trois dirigeables rigides destinés à la France<sup>1019</sup>. Dans sa correspondance, empreinte d'un fort nationalisme, le lieutenant de vaisseau du Plessis relate à sa famille les péripéties de cette réquisition. Celle-ci débute le 13 janvier 1920 lorsqu'il quitte Paris afin d'assurer le désarmement de l'Allemagne et la livraison du matériel aéronautique. Le dirigeable retrouve les airs en juillet 1923 après différentes mésaventures dues à des problèmes de stockage. Il bat des records de distance et de durée en septembre avant de s'abimer en mer fin décembre 1923 (voir chapitre 7). La catastrophe, qui a fait cinquante morts, a un fort retentissement sur l'opinion publique et sonne la fin de l'usage des grands dirigeables dans les forces armées françaises.

Un second aspect en termes de navigation découle de la fin du conflit. L'aéronautique au sein de l'Armée et de la Marine doit, comme les autres armes, s'adapter aux réorganisations parfois brutales dues au retour de la paix. De nombreux militaires et marins volants habitués aux montées d'adrénaline des combats ne trouvent plus leur compte dans l'Armée et dans la Marine, d'autres, encore plus nombreux, sont démobilisés et doivent se reconverter<sup>1020</sup>. Du Plessis écrit à son père en février 1919, « oui, je songe de plus en plus à quitter la marine pour les choses de l'air. L'Aéro-Club de France s'occupe de la création d'une ligne Paris-New York ; d'une ligne Marseille-Dakar-Pernambouc et Marseille-Bizerte-Beyrouth-Constantinople »<sup>1021</sup>. L'aviation marchande naissante se révèle apparemment une opportunité pour continuer à effectuer un nombre important d'heures de vol et des parcours conséquents, encore faut-il satisfaire aux exigences des nouvelles autorités aériennes.

Il n'est toutefois pas nécessaire de quitter le giron de l'Armée ou la Marine pour satisfaire son goût de l'aventure. Quelques élus, des « traceurs de route »<sup>1022</sup>, parcourent le ciel durant neuf ans de 1919 à 1928. Le lieutenant Henry Roget<sup>1023</sup> ouvre le bal le 3 avril 1919 en reliant sans escale Paris à Rome sur un *Breguet-14*. Il relie trois semaines plus tard Paris à Kénitra, au Maroc, à bord du même avion mais accompagné du navigateur François Coli<sup>1024</sup> qui est un officier d'artillerie passé dans l'aviation et ancien officier de la marine marchande.

---

<sup>1018</sup> Jean du Plessis de Grenédan (1892-1923).

<sup>1019</sup> PLESSIS (DU) J., *La vie héroïque de Jean Du Plessis*, Plon, 1924.

<sup>1020</sup> LE ROY Th., *Les bretons et l'aéronautique des origines à 1939*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2002, p. 268.

<sup>1021</sup> PLESSIS (DU) J., *Op. Cit.*, p. 215.

<sup>1022</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 253.

<sup>1023</sup> Henry Roget (1893-1921).

<sup>1024</sup> François Coli (1881-1927).

L'aviation maritime n'est pas en reste puisque le lieutenant de vaisseau Henri Lefranc<sup>1025</sup> reconnaît le Sénégal du 12 au 25 avril 1919 à bord d'un hydravion *Donnet-Denhaut*. Ces exemples illustrent les efforts de l'aviation militaire et maritime française pour « défricher »<sup>1026</sup> l'Afrique, et également l'Asie, au début des années 1920 (voir chapitre 7), ouvrant ainsi la voie aux lignes commerciales.



**Figure 102 : Le lieutenant Henry Roget (à gauche)<sup>1027</sup>, le capitaine François Coli (au centre)<sup>1028</sup>, le lieutenant de vaisseau Henri Lefranc (à droite).<sup>1029</sup>**

Mais n'oublions pas que des théâtres de guerre existent durant les années 1920. Ainsi, la France participe à la guerre du Rif au Maroc de 1925 à 1926. Cette guerre coloniale oppose les rebelles Rifains à l'armée espagnole dès juillet 1921. La France, craignant pour son empire colonial, intervient en 1925. Les particularités géographiques du Rif poussent les Français à recourir massivement à l'aviation<sup>1030</sup>. Pour de nombreux pilotes, c'est la première fois qu'ils se trouvent face au feu car ils ont été formés après la fin de la Première guerre mondiale. Les compétences des aviateurs de l'aviation maritime face à ceux de l'Armée vont être mises en lumière à cette occasion (voir chapitre 6).

<sup>1025</sup> Henri Lefranc (1878-1923).

<sup>1026</sup> Le terme de « défricheur » commence à être employé dans la presse aéronautique dans les années 1930. Madeleine Poulaine qualifie le colonel André Wateau de « défricheur de la première heure » dans un article paru dans *Les Ailes* en 1932. POULAIN M., « Le colonel Wateau », *Les Ailes*, 30 juin 1932, p. 8. Voir sur ce point TISON S. (dir.) et LUCBERT F. (dir.), « Introduction », in *L'imaginaire de l'aviation pionnière : Contribution à l'histoire des représentations de la conquête aérienne, 1903-1927*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2016.

<sup>1027</sup> MORTANE J., « L'As des raids lointains. Les impressions du Lieutenant Roget », *La Vie aérienne*, 10 juillet 1919, p. 442.

<sup>1028</sup> « Roget et Coli avant le raid Paris-Maroc », *Le Miroir*, 8 juin 1919, p. 10.

<sup>1029</sup> DOLLFUS Ch. et BOUCHÉ H., *Op. Cit.*, p. 363.

<sup>1030</sup> KRUGLER G., « La puissance aérienne dans la guerre du Rif », *Revue historique des armées*, 268 | 2012.

### *Les réglementations de la navigation aérienne civile dans les années 1920*

L'aviation civile s'organise également à partir de 1919. La France entend garder le rôle majeur qu'elle avait initié avant le conflit.

La France avait souhaité éviter les conflits résultant des survols et surtout des atterrissages d'aéronefs sur des territoires étrangers en réglementant la navigation aérienne dès 1908. En effet, entre avril et novembre 1908, pas moins de dix ballons allemands avaient traversé la frontière et trente-cinq aviateurs dont la moitié d'officiers allemands avaient atterri en France<sup>1031</sup>. Suite à ces incidents, la France avait réussi à convoquer une Conférence internationale à Paris entre le 8 mai et le 28 juin 1910 afin de trouver des solutions pour gérer ce genre de problèmes. Cette conférence, qui est considérée comme le premier effort pour créer des lois réglementant la navigation aérienne, n'aboutit pas. En effet, les participants ne réussissent pas à se mettre d'accord sur les conditions de survol de leur territoire et surtout, la Première guerre mondiale met fin aux efforts de coopération internationale. Toutefois, les textes qui ont été rédigés en 1910 vont servir de bases à ceux de 1919.

Les négociations pour réglementer la navigation aérienne reprennent à Paris en 1919. Georges Clémenceau insiste pour qu'un volet traitant de la navigation aérienne soit étudié lors de la Conférence de la Paix<sup>1032</sup>. Ses efforts aboutissent à la Convention de Paris du 13 octobre 1919 et à la Commission internationale de la navigation aérienne (CINA)<sup>1033</sup>. Il s'agit d'organiser tout ce qui concerne la navigation aérienne internationale tant au niveau technique qu'opérationnel, en reprenant et en retravaillant les textes élaborés lors de la conférence de Paris de 1910. Quatorze pays ratifient et appliquent la Convention constituée de quarante-trois articles regroupés en neuf chapitres et huit annexes. La Convention est rédigée afin de « favoriser le développement par l'air des communications internationales dans un but pacifique » en posant « certains principes et certaines règles propres à éviter des controverses »<sup>1034</sup>. L'aéronautique s'organise pour servir la paix.

Plusieurs articles et annexes sont en lien avec la pratique scientifique de la navigation aérienne. L'article 12 et l'annexe E concernent les brevets de pilote ou de navigateur (voir chapitre 6). L'annexe F prévoit la création de cartes aéronautiques répondant à une réglementation internationale (voir chapitre 6).

---

<sup>1031</sup> MILDE M., *International air law and ICAO*, Eleven international publishing, 2008, p. 8.

<sup>1032</sup> FERRY V., « Le premier service de la navigation aérienne, le SNAé », in *Le temps de ingénieurs de la navigation aérienne – Mémoires techniques 1945-1985*, DGAC, Collection mémoire de l'aviation civile, p. 42.

<sup>1033</sup> FERRY V., *Des formations aéronautiques. Du pingouin au jet. 1911-1960*, éditions du Gerfaut, 2008, p. 13.

<sup>1034</sup> Introduction de la convention de Paris du 13 octobre 1919 avec protocole additionnel du 1<sup>er</sup> mai 1920.

La CINA est chargée de faire appliquer les articles et les annexes de la Convention sous l'autorité de la Société des Nations. Elle peut se réunir pour faire adopter des modifications et des annexes.

L'aviation civile ne s'organise pas seulement au plan international. Au plan national, Clémenceau, alors président du Conseil et ministre de la Guerre, crée un organisme chargé à la fois de l'organisation de l'aéronautique civile et de l'aéronautique militaire. Cet organisme, l'Organisme de coordination générale de l'aéronautique (OCGAé), créé le 29 juin 1919, travaille sous la tutelle du ministère de la Guerre. Trois services lui sont rattachés dont le Service technique de l'aéronautique (STAé) et le Service de la navigation aérienne (SNAé), créés le 7 septembre 1919<sup>1035</sup>.

L'aviation civile se sépare par la suite de l'aviation militaire lorsqu'elle rejoint le ministère des travaux publics, doté d'un sous-secrétariat d'état à l'aéronautique, en 1920<sup>1036</sup>.

Les missions du SNAé sont variées. Il gère à la fois l'installation des aérodromes, l'organisation des communications radioélectriques, le contrôle des documents administratifs, mais aussi les autorisations de trafic, la préparation des contrats d'exploitation, les accords internationaux et même le respect des horaires. De nombreux textes fondateurs voient le jour cette même année 1920. La délivrance des brevets et licences du personnel navigant fait notamment partie de ces textes touchant au fonctionnement même de l'aviation civile dont les brevets de navigateur aérien (voir chapitre 6). L'ensemble des informations touchant l'aviation civile sera publié dans le *Bulletin de la Navigation aérienne (BNAé)*. Ce bulletin, qui est l'organe officiel du SNAé, paraît tous les mois à partir de 1920. Il accompagne notamment la mise en place des brevets de navigateurs aériens. Ces brevets, initiés en 1920, n'entreront toutefois en application qu'en 1930.

---

<sup>1035</sup> LAUROUA P., *L'aviation civile. Une administration dans Paris. 1919-2009*, Collection mémoire de l'aviation civile, 2012, p. 12.

<sup>1036</sup> L'OCGAé est supprimé le 5 juin 1920 lors du transfert de l'aviation militaire au ministère des travaux publics, mais sans que les missions du SNAé soient modifiées. FERRY V., « Le premier service de la navigation aérienne, le SNAé », in *Le temps de ingénieurs de la navigation aérienne – Mémoires techniques 1945-1985*, DGAC, Collection mémoire de l'aviation civile, p. 43.



Extrait 7 : En-tête des deux premiers numéros du BNAé.<sup>1037</sup>

La parution du BNAé se poursuit même après le transfert de l'aéronautique au ministère du Commerce et de l'Industrie en 1926, ce transfert s'accompagnant d'une diminution des compétences du SNAé au profit des chambres de commerce. La parution du bulletin se poursuit après la création du premier ministère de l'Air en 1928 et la disparition du SNAé en 1930 (voir chapitre 8).

Le SNAé s'occupe également des nombreuses compagnies aériennes qui fleurissent durant la décennie. Les débuts des lignes sont difficiles, même si ceux qui les ont ouvertes croient en leur projet. Le manque de fiabilité des avions, réformés de la Première guerre mondiale, n'encourage pas les passagers à prendre ce type de transport. Aussi l'aviation commerciale des débuts doit son salut à la poste. Pierre Latécoère<sup>1038</sup> va investir massivement dans les lignes postales aériennes dès la fin de l'année 1918 en couplant des tronçons effectués en avion avec des tronçons effectués par bateau. Sa compagnie donnera naissance à la mythique Aéropostale en 1927 (voir chapitre 7). D'autres compagnies, moins médiatisées, occupent également l'espace aérien au nom de la France. Toutes nécessitent des subventions car le domaine est déficitaire. Différents regroupements s'organisent tout au long de la décennie, incités par l'État. Crise économique oblige, ils aboutissent, en 1933, à la création d'une unique compagnie : Air France (voir chapitre 8).

### *La rationalisation de l'aéronautique durant les années 1930*

Le public se passionne toujours autant pour les exploits aériens à la fin des années 1920 et durant les années 1930. Il s'enthousiasme pour les grands raids et les « défrichages » de lignes en espérant tout de même que les Français soient les premiers face à leurs concurrents étrangers. Ainsi, la première manche de la bataille de l'Atlantique Nord est gagnée par l'Américain Charles Lindbergh lorsqu'il effectue la traversée New York-Paris le 21 mai 1927. Mais les

<sup>1037</sup> BNAé n°1 et 2, mars-avril-mai 1920.

<sup>1038</sup> Pierre Latécoère (1883-1943). Il fonde la Compagnie des Lignes Latécoère en 1919.

Français, Dieudonné Costes<sup>1039</sup> (pilote) et Maurice Bellonte<sup>1040</sup> (navigateur), remportent la seconde manche lorsqu'ils effectuent la traversée Paris-New York le 1<sup>er</sup> septembre 1930, en utilisant pour la première fois une carte de navigation aérienne mise au point par l'ingénieur maritime Louis Kahn<sup>1041</sup> (voir chapitre 8).

Cet engouement cache pourtant mal les difficultés de l'industrie aéronautique française trop dépendante des subventions de l'État et peu innovante. Il faut que l'aéronautique française de rationalise, suivant en cela les traces des États-Unis et de la Grande-Bretagne.

Le ministère de l'Air est créé en 1928 suite au décès de Maurice Bokanowski, ministre du Commerce, chargé de l'Industrie, des P.T.T. et de l'Aéronautique, dont l'avion s'écrase à Toul le 2 septembre 1928. André Laurent-Eynac<sup>1042</sup> prend la tête du premier ministère de l'Air (du 14 septembre 1928 au 12 décembre 1930) lors de sa création le 14 septembre 1928. Cet ancien pilote d'observation puis de bombardement durant la Première guerre mondiale était l'un des principaux partisans de la création de ce ministère qui a été longuement débattue de 1920 à 1928. Sa nomination comme ministre ne surprend pas ses contemporains car il a été sous-secrétaire d'état à l'aéronautique et aux transports aériens dans sept ministères de janvier 1921 à juillet 1926<sup>1043</sup>.

Ce ministère est créé pour chapeauter « tout ce qui vole » en France et aux colonies, que ce soit dans les domaines du civil, du militaire ou de la Marine, branches de l'aéronautique jusque-là réparties entre quatre ministères. En plus des directions purement militaires, le ministère est constitué d'une Direction générale technique dirigée par l'ingénieur Albert Caquot<sup>1044</sup>, d'une Direction générale de l'aéronautique nationale dirigée par le général Bertrand Pujo<sup>1045</sup>, d'une Direction de l'aéronautique marchande (dont le Service de navigation aérienne transformé en une Inspection technique de l'aéronautique marchande, subdivisée en un Service du contrôle technique et un Service de transmission) dirigée par l'officier pilote et ingénieur Félix Camerman<sup>1046</sup>, de l'Office général météorologique dirigé par le général Émile Delcambre, d'une Direction du contrôle, du budget et de la comptabilité<sup>1047</sup>. Le SNAé devient alors une Inspection technique de l'aéronautique marchande regroupant à la fois un Service de contrôle

---

<sup>1039</sup> Dieudonné Costes (1892-1973).

<sup>1040</sup> Maurice Bellonte (1896-1984).

<sup>1041</sup> Louis Kahn (1895-1967).

<sup>1042</sup> Victor, Laurent Eynac dit André Laurent-Eynac (1886-1970).

<sup>1043</sup> CHADEAU E., « Laurent-Eynac et l'aéronautique », *Cahiers de la Haute-Loire*, 1982, p.195-210.

<sup>1044</sup> Albert Caquot (1881-1976).

<sup>1045</sup> Bertrand Pujo (1878-1964).

<sup>1046</sup> Félix Camerman (1884-1963). Premier officier breveté pilote de l'AéCF en mars 1910.

<sup>1047</sup> LAUROUA P., *L'aviation civile. Une administration dans Paris. 1919-2009*, Collection mémoire de l'aviation civile, 2012, p. 14.

technique et un Service de transmission, avant de disparaître en 1930<sup>1048</sup>. Le SNAé est alors remplacé par trois établissements régionaux (Paris, Marseille et Alger) (voir chapitre 8).

Albert Caquot au poste de directeur général technique et industriel depuis le 18 octobre 1928 (poste qu'il conserve jusqu'en 1934), commence par créer l'École nationale supérieure de l'aéronautique le 21 mai 1930, à partir de L'École supérieure d'aéronautique et de constructions mécaniques, elle-même créée en 1909. L'école forme des ingénieurs dans les différents domaines de la construction aéronautique. Elle va intervenir dans la politique dite des « prototypes » instituée par l'État en 1928 par laquelle elle espère combler son retard technique<sup>1049</sup>, mais également dans la construction d'instruments de navigation aérienne, d'où l'existence de cours spécifiques en navigation aérienne pour les élèves de cette école (voir chapitre 6).

Paul Painlevé<sup>1050</sup> (en décembre 1930) puis Jacques-Louis Dumesnil<sup>1051</sup> (un mois plus tard) succèdent à Laurent-Eynac à la direction du ministère de l'Air. Mais les dissensions sont telles que l'aéronautique est à nouveau divisée entre le ministère des Travaux publics, le ministère de la Marine marchande et le ministère de la Défense nationale de février à juin 1932. Le ministère de l'Air retrouve son intégrité à compter de juin 1932 ainsi que Painlevé à sa tête.

| Ministre              | De              | À               |
|-----------------------|-----------------|-----------------|
| Pierre Cot            | 31 janvier 1933 | 9 février 1934  |
| Général Victor Denain | 9 février 1934  | 24 janvier 1936 |
| Marcel Déat           | 24 janvier 1936 | 4 juin 1936     |
| Pierre Cot            | 4 juin 1936     | 18 janvier 1938 |
| Guy La Chambre        | 18 janvier 1938 | 21 mars 1940    |
| André Laurent-Eynac   | 21 mars 1940    | 16 juin 1940    |
| Général Bertrand Pujo | 16 juin 1940    | 30 juillet 1940 |

**Tableau 19 : Ministres ayant succédé à Paul Painlevé au ministère de l'Air sous la III<sup>e</sup> République.**

Les compagnies aériennes sont poussées à se regrouper par le ministère de l'Air ce qui aboutit à la création d'Air France en 1933. La compagnie Air France est officiellement créée le 7 octobre 1933 selon la volonté du ministre Pierre Cot de rationaliser la politique de subvention à l'aéronautique marchande en France. Cette création s'effectue en trois étapes. Elle

<sup>1048</sup> FERRY V., « Le premier service de la navigation aérienne, le SNAé », *Le temps des ingénieurs de la navigation aérienne – mémoires techniques 1945-1985*, DGAC, Collection mémoire de l'aviation civile, p. 46.

<sup>1049</sup> KERISEL J. et KERISEL Th., « 1928-1940 Deux retours à l'aviation », *Bulletin de la Sabix*, n° 28, 2001, pp. 35-40. KERISEL J., *Albert Caquot, 1871-1976 : Savant, soldat et bâtisseur*, Paris, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, 2001. Et page consacrée à Albert Caquot sur le site de l'École polytechnique.

<sup>1050</sup> Paul Painlevé (1863-1933).

<sup>1051</sup> Jacques-Louis Dumesnil (1882-1956).

est née de la fusion de quatre compagnies (Air Orient, Air Union, la Compagnie internationale de la navigation aérienne (CIDNA) et la Société générale de transport aérien - Farman (SGTA)), qui se regroupent le 17 mai 1933 pour constituer la Société centrale pour l'exploitation des lignes aériennes (SCLEA). Cette société récupère également, le 31 mai 1933, les actifs de la Compagnie générale aéropostale, qui était en dépôt de bilan depuis 1931. La nouvelle société est dissoute le 30 août 1933 pour renaître sous forme de société mixte, du nom d'Air France, dans laquelle l'état détient 25% du capital mais s'engage à assurer l'équilibre financier à hauteur de 60% sous forme de subventions.



Figure 103 : Affiche d'Air France en 1933.<sup>1052</sup>

De même, l'aviation militaire bénéficie d'une meilleure organisation au cours des années 1930. Ainsi, l'Armée de l'air est créée en 1933<sup>1053</sup>, suivie d'une réorganisation de quelques écoles (l'École de l'air est créée le 3 juin 1933 parallèlement à l'École militaire et d'application de l'armée de l'air (voir chapitre 6)).

<sup>1052</sup> DRANSY. Sur le site <https://gallica.bnf>.

<sup>1053</sup> L'Armée de l'air est officiellement créée par décret le 1<sup>er</sup> avril 1933, mais le texte fixant son organisation et ses règlements n'est adopté que le 2 juillet 1934.



## Chapitre 6

### Une formation qui s'adapte à de nouveaux besoins et à de nouvelles attentes (1919-1940)

#### Introduction

La marine tant marchande que militaire est très organisée. Les marins doivent être titulaires de diplômes et de brevets pour accéder aux différents postes de commandement. Les connaissances en navigation (à l'estime ou astronomique) représentent une part importante de leurs contenus (voir chapitre 2).

L'aéronautique n'a pas attendu la fin de la Première guerre mondiale pour mettre en place une réglementation. Ainsi, les premiers brevets de pilotes de ballon libre et d'aéroplane sont délivrés par l'AéCF respectivement en 1901 et en 1910, et un brevet de pilote militaire est créé en 1911 (voir chapitre 4). Il faut toutefois attendre avril 1917 pour que soient créés les brevets de pilotes et les certificats de volants de l'aéronautique maritime. Mais une nouvelle classe de brevets, les brevets de navigateur aérien, voit le jour dès la fin du conflit (suite à la Conférence de la Paix débutée en janvier 1919). Ces brevets se mettent en place progressivement durant les années 1920 et sont totalement formalisés au milieu des années 1930.

L'existence de ces brevets soulève quelques questions. Pourquoi l'obtention de tels brevets devient-elle nécessaire dans l'aéronautique ? Qui va passer ces brevets ? Les militaires, les marins volants, les civils ? Le contenu de ces brevets est-il en lien avec les connaissances évaluées lors des examens passés par les marins ? Et surtout, comment les aéronautes et les aviateurs vont-ils se former pour passer ces brevets ?

En 1919, des aéronautes et les aviateurs sont déjà compétents en navigation aérienne, soit en raison de leur formation maritime, soit par leur expérience acquise durant la guerre au sein d'unités de bombardement et d'observation (voir chapitre 5). Les brevets de navigateur aérien, obtenus sans passer d'examen, vont sanctionner ces compétences selon des modalités que nous préciserons. Ces aviateurs et aéronautes, qui maîtrisent la navigation aérienne, brevetés navigateur aérien ou non, auront à cœur de faire partager leurs connaissances.

En 1920-1921, ils participent à des conférences (Thierry), rédigent des leçons (Duval, Hébrard, Villain) publiées dans deux nouvelles revues aéronautiques (*Bulletin de la Navigation*

aérienne (BNAé) et l'Aéronautique), permettant ainsi aux navigateurs de s'autoformer, ou ils animent les premiers cours proposés par le SNAé.

Le SNAé propose les premiers cours de navigation aérienne (en janvier 1921) à destination des civils comme des militaires. Il est suivi dans cette démarche par des écoles militaires (en 1925 au Centre d'étude de l'aéronautique et peut-être même dès sa création en mai 1921) et l'École navale (en 1925 pour les élèves de l'École navale comme pour les élèves du Cours supérieur de navigation aérienne de Brest) qui incluent cette matière dans leur enseignement.

L'étude des cinq écrits suivants (voir tableau 20) permet d'appréhender la formation en navigation aérienne sur la période 1919-1928, période où l'aéronautique est « au service de la paix »<sup>1054</sup>.

| Années de parution                                                 | Titre                                                                 | Auteurs                                              | Nombre de pages et format                                                        | Nature de la publication                                                                   | Public visé                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1920.                                                              | <i>Méthodes générales de navigation aérienne</i>                      | Thierry Maurice (capitaine de corvette)              | 32 p.                                                                            | Compte rendu de conférence publié par le SNAé.                                             | Exposé destiné à faire connaître les meilleures méthodes de navigation aérienne. Pas d'indication du public visé. |
| 1921 (de janvier à mars).                                          | <i>Emploi des cartes en Navigation aérienne</i>                       | Villain Charles (Ingénieur hydrographe de la marine) | 51 p.                                                                            | Publié sur trois mois dans le <i>Bulletin de la Navigation aérienne</i> .                  | Pas d'indication, mais le contenu vise les candidats au Brevet élémentaire de navigateur aérien.                  |
| 1921 (de février à décembre). 1922 pour la première édition. 1928. | <i>Traité pratique de Navigation aérienne</i>                         | Duval André-B. et Hébrard Léo                        | 60 p. In. 4 (pour le livre de 1922). 196 p. In. 8 à partir de l'édition de 1928. | Publié sur 11 mois dans la revue <i>L'Aéronautique</i> . Livre édité par Gauthier-Villars. | Pas d'indication, mais le contenu vise les candidats au Brevet élémentaire de navigateur aérien.                  |
| Vers 1927.                                                         | <i>Cours de navigation aérienne de l'École de Perfectionnement de</i> | Sans nom                                             | 321 p. In. 4                                                                     | Polycopié par le ministère de la Guerre, direction de l'aéronautique.                      | Pas d'indication, mais le contenu vise les candidats au Brevet supérieur de                                       |

<sup>1054</sup> CHAMBE R., *Histoire de l'aviation*, Flammarion, 1948, p. 249.

|       |                                     |                      |                 |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------|-------------------------------------|----------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       | <i>Navigation de Brest</i>          |                      |                 |                                                                  | navigateur aérien.                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1928. | <i>Cours de Navigation aérienne</i> | Dévé Max (capitaine) | 124 p.<br>In. 4 | Typo-Litho de l'École militaire de l'aéronautique de Versailles. | Un avertissement précise : « Le professeur spécifiera à chaque catégorie de stagiaires ou d'élèves si ces parties sont exigibles ou non aux examens correspondants » <sup>1055</sup> . Le contenu correspond au Brevet supérieur de navigateur aérien. |

Tableau 20 : Quatre écrits parus de 1920 à 1928.

La création du ministère de l'Air, le 14 septembre 1928, permet de regrouper les compétences aéronautiques jusque-là dispersées dans différents départements (Colonie, Commerce, Guerre, Marine, Travaux publics). Les écrits, publiés de 1930 à 1943 (voir tableau 21) ont gagné en maturité.

| Années de parution | Titre                                    | Auteurs          | Nombre de pages et format | Nature de la publication                                                                         | Public visé                                                                                                                                                                                       |
|--------------------|------------------------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1930 et 1935       | <i>Leçons sur la navigation aérienne</i> | Franck P.        | 143 p.<br>In. 4           | Cours de l'École nationale supérieure de l'aéronautique                                          | Destiné à donner des notions de navigation aux ingénieurs en charge de la fabrication d'instruments.                                                                                              |
| 1930 et 1939       | <i>Eléments de navigation aérienne</i>   | Hamel Georges R. | 123 p.<br>In. 16          | Imprimé à Paris pour la Librairie des sciences aéronautiques fondée en 1905 par F.-Louis Vivien. | Pour les pilotes, les chefs de bord, les radios et tous les aviateurs civils et militaires (indications données dans la préface de l'édition de 1939). Les notions étudiées restent élémentaires. |

<sup>1055</sup> DÉVÉ M., *Cours de Navigation aérienne*, Typo-Litho de l'École militaire de l'aéronautique de Versailles. 1928, p. 3.

|              |                                                        |                                                 |                  |                                                                               |                                                                                                                                                                                   |
|--------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1935 et 1940 | <i>Traité pratique de Navigation aérienne</i>          | Duval André-B. et Hébrard Léo                   | 196 p.<br>In. 8  | Livre édité par Gauthier-Villars                                              | Pas d'indication, mais le contenu vise les candidats au Brevet élémentaire de navigateur aérien.                                                                                  |
| 1935 et 1938 | <i>La navigation aérienne simplifiée</i>               | Autheville (d') Francis (capitaine de corvette) | 99 p.<br>In. 8.  | Édité par les Berger-Levrault.                                                | S'adresse aux pilotes faisant également office de navigateur. Le contenu reste élémentaire.                                                                                       |
| 1936         | <i>Les compas d'aviation</i>                           | Gaujour Robert (capitaine)                      | 172 p.<br>In. 16 | Édité par les éditeurs militaires Charles-Lavauzelle.                         | À l'usage des candidats chefs de bord de l'armée de l'Air et des candidats aux divers brevets de navigation aérienne.                                                             |
| 1937         | <i>Théorie succincte de la navigation astronomique</i> | Daviot Louis, Schnerb P., Bastien André         | 26 p.<br>In. 4   | Publications scientifiques et techniques du ministère de l'air.               | Destiné « à n'importe quel navigateur aérien instruit » <sup>1056</sup>                                                                                                           |
| 1938         | <i>La navigation aérienne (cours élémentaire)</i>      | Genty Robert                                    | 95 p.<br>In. 8   | Publié par la Librairie Desforges (Paris)                                     | Cours pour préparer le brevet élémentaire de navigateur aérien. Il s'adresse aux élèves issus de l'« Aviation populaire » qui vient d'être créée par le ministre de l'Air P. Cot. |
| 1939         | <i>Cours élémentaire de navigation aérienne</i>        | Balafré (capitaine)                             | 43 p.<br>32 cm   | Publication interne de l'école de Cazaux, division de tir et de bombardement. | Pas d'indication, mais le niveau des connaissances le destine au Brevet élémentaire de navigateur aérien.                                                                         |
| 1940         | <i>Cours de navigation aérienne</i>                    | Goudet (capitaine)                              | 233 p.<br>In. 4  | Publication interne de l'École de l'air de Versailles.                        | À destination des sous-officiers élèves-officiers de l'armée de l'Air. Le contenu reste élémentaire.                                                                              |

<sup>1056</sup> DAVIOT L., SCHNERB P., BASTIEN A., *Théorie succincte de la navigation astronomique*, Publications scientifiques et techniques du ministère de l'air, 1937, p. 1.

|      |                                     |                          |                 |                    |                                                                                                                                                                                                                   |
|------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1943 | <i>Cours de navigation aérienne</i> | Comet Paul et Saldo Élie | 471 p.<br>In. 8 | Cours d’Air France | Il est indiqué que « Ce cours de navigation aérienne représente l’ensemble des leçons qui furent exposées aux stagiaires du Centre de Perfectionnement d’Air France pendant l’hiver 1940-1941 » <sup>1057</sup> . |
|------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Tableau 21 : 10 écrits parus de 1930 à 1943.

## A) La navigation aérienne à l’époque où l’aéronautique est « au service de la paix » (1919-1928)

### 1) La mise en place progressive de brevets dans l’aviation marchande

#### *La Convention de 1919 (avec protocole additionnel en 1920)*

Nous avons relevé deux axes dans les articles et annexes de la Convention de 1919 en lien avec la navigation aérienne : d’une part ceux concernant les brevets de pilote ou de navigateur (article 12 et annexe E) et d’autre part ceux prévoyant la création de cartes aéronautiques répondant à une réglementation internationale (annexe F).

La navigation aérienne constitue naturellement l’essentiel des connaissances validées par les brevets de navigateur, mais les brevets de pilotes correspondent également un niveau de connaissances minimal à acquérir en navigation aérienne. En effet, il est prévu que les pilotes d’avion ou d’hydravion souhaitant servir dans les transports publics soient évalués, lors d’épreuves pratiques, sur une épreuve d’endurance (au moins trois-cents kilomètres au-dessus de la terre ou de la mer avec retour au point de départ) et sur un vol de nuit (d’au minimum trente minutes). Les candidats doivent également être interrogés, lors d’un examen théorique sur des connaissances dites « spéciales » portant notamment sur la lecture des cartes, l’orientation, et la détermination du point<sup>1058</sup>.

<sup>1057</sup> COMET P. et SALDO E., *Cours de navigation aérienne*, Cours d’Air-France, 1943, p. 3.

<sup>1058</sup> Annexe E section I de la convention de Paris du 13 octobre 1919 avec protocole additionnel du 1<sup>er</sup> mai 1920.

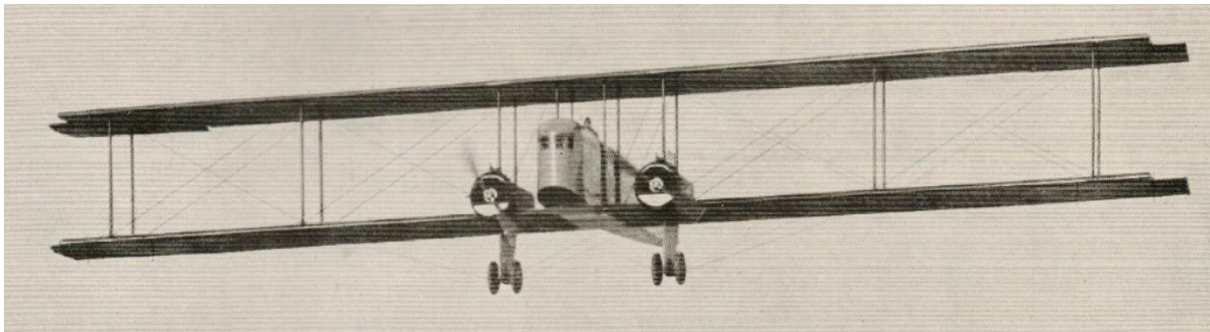


Figure 104 : Bimoteur Goliath, avion de bombardement Farman F-60 adapté au transport public à partir de 1919.<sup>1059</sup>

Les connaissances exigées pour les différents brevets de pilote de dirigeables contiennent également quelques notions de navigation. C'est déjà le cas pour le brevet de troisième classe<sup>1060</sup> qui devrait être indispensable pour qui désire commander un dirigeable de moins de 6 000 mètres cubes de capacité. L'examen théorique porte sur des connaissances dites cette fois-ci « générales », à savoir : la navigation élémentaire, l'usage de la boussole et la « manière de faire le point ». Le candidat pourra mettre en pratique ces connaissances lors des épreuves pratiques puisqu'il devra effectuer plusieurs ascensions de jour comme de nuit ainsi qu'un trajet d'au moins cent kilomètres sur un itinéraire prévu à l'avance<sup>1061</sup>.

Il est toutefois difficile de quantifier le niveau des connaissances en navigation aérienne évalué pour acquérir ces brevets, et ce d'autant plus qu'il ne s'agit en 1919 et 1920 que d'un texte préparé par des commissions et non encore mis en application.

L'annexe E section IV prévoit certes le programme d'évaluation du brevet de navigateur (voir extrait 9), mais il y aura plusieurs modifications avant sa mise en place effective une quinzaine d'années plus tard en France.

#### SECTION IV.

##### BREVET DE NAVIGATEUR.

Tout aéronef affecté à un service de transports publics, ayant plus de dix passagers à bord et devant faire un voyage continu au-dessus des terres, entre deux points distants de plus de 500 kilomètres l'un de l'autre, ou bien un voyage de nuit, ou encore un voyage sur mer entre deux points distants de plus de 200 kilomètres l'un de l'autre, doit avoir à bord un officier navigateur, titulaire d'un brevet qui lui aura été délivré à la suite d'un examen pratique et théorique portant sur les matières suivantes :

##### 1. *Astronomie pratique :*

Mouvements vrais et mouvements apparents des corps célestes. Différents aspects de la voûte céleste.

Angle horaire, temps moyen, temps vrai, temps astronomique.

Forme et dimensions de la terre.

Globes et cartes célestes.

Méthodes pour déterminer la latitude, la longitude, le temps et l'azimut.

<sup>1059</sup> DOLLFUS C. et BOUCHÉ H., *Histoire de l'aéronautique*, L'Illustration, 1938, p. 357.

<sup>1060</sup> Il existe trois classes de brevet pour pouvoir piloter un dirigeable : les brevets de troisième, deuxième et première classe. Le brevet de troisième classe est le moins exigeant.

<sup>1061</sup> Annexe E section III de la convention de Paris du 13 octobre 1919 avec protocole additionnel du 1<sup>er</sup> mai 1920.

## 2. *Navigation* :

Cartes terrestres et cartes marines ; leur lecture.  
Boussoles ; variation, inclinaison ; méridien magnétique.  
Itinéraires ; détermination du cap du compas et ses corrections.  
Compensation des boussoles (technique et pratique).  
Calcul de l'azimut.  
Navigation à l'estime ; calcul de la vitesse relative ; dérive ; tables de correction.  
Chronomètres ; corrections et comparaisons.  
Sextants ; leur réglage.  
Connaissance du temps ou « Nautical Almanac ».  
Détermination du point à l'aide d'azimuts et de hauteurs d'étoiles.  
Navigation suivant l'arc de grand cercle.  
Instruments de navigation aérienne.

## 3. *Connaissances générales* :

Règlements internationaux de navigation aérienne et maritime.  
Législation aérienne internationale.  
Connaissance pratique de la météorologie et usage des cartes météorologiques.

Extrait 8: Programme de l'examen du brevet de navigateur prévu par la convention de Paris de 1919<sup>1062</sup>.

L'idée d'instituer un brevet de navigateur aboutit finalement à l'existence de deux classes de brevet de navigateur aérien dont le rôle est de « diriger la route à suivre par l'aéronef à bord duquel il se trouve »<sup>1063</sup>. Ces deux brevets, l'élémentaire et le supérieur, peuvent être obtenus à l'issue d'examens techniques et d'épreuves pratiques à condition de justifier d'un certain temps de vol comme membre d'équipage ou directement par équivalence. Plusieurs arrêtés en précisent les modalités durant la quinzaine d'années nécessaire à la mise en place de ces brevets (de 1920 à 1936). Des informations précises quant aux sujets à l'examen sont déjà données à trois reprises dans les *BNAé*, s'étalant du n°7 d'octobre 1920 au n°72 de mars 1926<sup>1064</sup>.

### *Pourquoi faut-il passer un brevet de navigation ?*

La présence d'un navigateur sera théoriquement obligatoire à bord des avions de transports publics à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1927, en exécution des décisions de la Commission internationale de la navigation aérienne (CINA)<sup>1065</sup>. Cependant, cette disposition est reportée une première fois au 1<sup>er</sup> janvier 1928<sup>1066</sup>, puis au 1<sup>er</sup> janvier 1930<sup>1067</sup>.

Déjà en 1922 il était écrit :

*Tout aéronef affecté à un service de transports publics, ayant plus de dix passagers à bord et devant faire un voyage continu au-dessus des terres, entre deux*

<sup>1062</sup> Annexe E section IV de la convention de Paris du 13 octobre 1919 avec protocole additionnel du 1<sup>er</sup> mai 1920.

<sup>1063</sup> *BNAé* n°72, mars 1926 p. 1139.

<sup>1064</sup> L'arrêté du 18 septembre 1920 (dans le *BNAé* n°7 d'octobre 1920), l'instruction du 7 décembre 1922 (dans le *BNAé* n°34 de janvier 1923), l'arrêté du 10 février 1926 (dans le *BNAé* n°72 de mars 1926).

<sup>1065</sup> *BNAé* n°78, septembre 1926 p. 1288.

<sup>1066</sup> *BNAé* n°82, janvier 1927 p. 1356.

<sup>1067</sup> *BNAé* n°110, mai 1929 p. 1802.

*points distants de plus de 500 kilomètres l'un de l'autre, ou bien un voyage de nuit, ou encore un voyage sur mer entre deux points distants de plus de 200 kilomètres l'un de l'autre doit avoir à bord un officier navigateur, titulaire d'un brevet qui lui aura été délivré à la suite d'un examen pratique et théorique (...)*<sup>1068</sup>.

Et les autorités sont encore plus précises en 1926 (il s'agit des dispositions qui doivent entrer en vigueur au 1<sup>er</sup> janvier 1927) :

*La présence d'un navigateur titulaire du brevet élémentaire est imposée à bord d'un aéronef de transport public :*

*a) Pour tout voyage de plus de 160 kilomètres effectué au-dessus des régions habitées.*

*b) Pour tout voyage de plus de 160 kilomètres et de moins de 500 kilomètres effectué au-dessus de la haute mer et des régions inhabitées.*

*c) Pour tout voyage de plus de 25 kilomètres et de moins de 500 kilomètres effectué de nuit.*

*d) Pour toute ascension effectuée par un dirigeable de moins de 20 000 mètres cubes.*

*La présence d'un navigateur titulaire du brevet supérieur est imposée à bord d'un aéronef de transport public :*

*a) Pour tout voyage de plus de 500 kilomètres effectué de nuit au-dessus de la haute mer et des régions inhabitées.*

*b) Pour toute ascension effectuée par un dirigeable de plus de 20 000 mètres cubes.*

*Le pilote peut cumuler les fonctions de pilote et celles de navigateur (brevet élémentaire) ;*

*a) Pour tout voyage effectué au-dessus des régions habitées, quel qu'en soit le parcours.*

*b) Pour tout voyage de moins de 500 kilomètres effectué au dessus de la haute mer et des régions inhabitées*

*c) Pour tout voyage inférieur à 500 kilomètres effectué de nuit au-dessus des routes convenablement balisées et reconnues telles par les autorités compétentes.*

*Pour tout voyage effectué dans les conditions autres que celles définies ci-dessus aux paragraphes a, b et c, le pilote ne peut cumuler ses fonctions de pilote avec celles*

---

<sup>1068</sup> BNAé n°28, juillet 1922 p. 489.



*de navigateur que s'il y a à bord un second pilote pouvant, le cas échéant, prendre en main les gouvernes.*<sup>1069</sup>

Les ambitions commerciales de plusieurs compagnies de transport aérien naissantes (six à l'été 1919), encouragées voire subventionnées par l'État (voir chapitre 7), rendent nécessaires de telles dispositions. Les autorités anticipent, dès 1922 dans les textes, l'amélioration des performances des avions principalement en termes de distances. Mais les premières liaisons commerciales entreraient déjà dans les conditions d'application de ces textes. En effet, le pilote Lucien Bossoutrot<sup>1070</sup> effectue le premier vol commercial entre Paris et Londres (plus de 340 kilomètres), pour la Société des lignes Farman, le 8 février 1919 en transportant douze passagers militaires à bord d'un *Farman Goliath F-60*, initiant par là un service régulier entre les deux capitales (voir figure 105). Le *Farman F-60*, qui est la version aménagée pour le transport de passagers du bombardier F60 utilisé pendant la Première guerre mondiale, et a un rayon d'action de 400 km, sera utilisé par différentes compagnies (CGEA, Air Union, Air France) jusqu'au début des années 1930. Il nécessitera donc d'avoir à son bord au moins un navigateur ayant le Brevet élémentaire dès l'entrée en application des arrêtés.



Figure 105 : Premier départ d'un avion Farman Goliath F-60 sur la ligne Paris-Londres.<sup>1071</sup>

<sup>1069</sup> *BNAé* n°72, mars 1926, p. 1139. Informations données suite à l'arrêté du 10 février 1926.

<sup>1070</sup> Lucien Bossoutrot (1890-1958).

<sup>1071</sup> Photographie Safara. CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 251.

### *Conditions d'accès par équivalence*

Les deux brevets peuvent s'acquérir en passant un examen ou par équivalence. Les conditions d'obtention du brevet par équivalence se révèlent intéressantes à plus d'un titre.

Premièrement, elles révèlent l'existence d'accords internationaux sur ce sujet. En effet, en 1920 et 1923, il est noté dans les textes que le brevet élémentaire français est équivalent au brevet élémentaire anglais de 4<sup>e</sup> classe<sup>1072</sup> et à partir de 1926 il devient équivalent au brevet de 2<sup>e</sup> classe de la CINA<sup>1073</sup>. De plus, le brevet supérieur français est dans un premier temps équivalent au brevet anglais supérieur ou de première classe puis également en 1926 au brevet de navigateur de 1<sup>re</sup> classe de la CINA. Ceci permet d'établir l'existence de ces accords et également que l'Angleterre a probablement été plus prompte à s'organiser en termes de navigation que la France.

Deuxièmement, les compétences en navigation des marins sont reconnues. En effet, dès 1920, il est écrit :

*Les titulaires du brevet supérieur d'aéronautique de la marine ont droit au brevet élémentaire de navigateur aérien. (...) Les enseignes de vaisseau de 1<sup>re</sup> classe ayant accompli le stage réglementaire à l'Ecole d'application et un total de deux années de service effectif à la mer, les capitaines et les lieutenants au long cours, ont droit au brevet supérieur de navigateur aérien, à la condition qu'ils remplissent les conditions d'heures de vol imposées aux candidats à ce brevet.*<sup>1074</sup>

Les aviateurs de l'aéronautique maritime, ayant le Brevet supérieur d'aéronautique de la marine, peuvent ainsi demander le Brevet élémentaire de navigateur aérien. Ils peuvent demander le Brevet supérieur s'ils ont, en outre, le grade d'enseigne de vaisseau, ou sont capitaine au long cours ou lieutenant au long cours (ou titulaires du brevet de capitaine de la marine marchande française à partir de 1926<sup>1075</sup>) Ces mêmes officiers peuvent demander le Brevet supérieur sans avoir le Brevet supérieur d'aéronautique de la marine mais avec un brevet civil de l'AéCF.

Une troisième catégorie de candidats, issus de l'aviation de guerre, peut obtenir les brevets par équivalence en 1920. Pour le Brevet élémentaire :

*En outre, pendant les deux premières années d'application de l'arrêté visé ci-dessus, pourront obtenir d'office ce brevet, (...) les officiers ayant commandé une*

---

<sup>1072</sup> BNAé n°7, octobre 1920, p. 110. Et BNAé n°34, janvier 1923, p. 580.

<sup>1073</sup> BNAé n°72, mars 1926, p. 1152.

<sup>1074</sup> BNAé n°7, octobre 1920, p. 110.

<sup>1075</sup> BNAé n°72, mars 1926, p. 1152.

*escadrille au moins trois mois dans la zone des armées, ainsi que les chefs de bord ayant effectué au moins 10 bombardements de nuit ou missions de nuit, à 50 kilomètres dans les lignes ennemies.*<sup>1076</sup>

Et, dans les mêmes conditions d'années d'application, pour le Brevet supérieur :

1. *Les pilotes de dirigeables militaires ou civils ayant, à la date de cet arrêté, effectué comme commandant de dirigeable un voyage entre deux points de plus de 800 kilomètres ou un voyage en circuit fermé de plus de 800 kilomètres éloignant le ballon de plus de 250 kilomètres de son port d'attache ;*

2. *Les navigateurs aériens civils ou militaires ayant comme navigateur, soit accompli au cours de la guerre une mission sans escale ou bombardement les éloignant de plus de 700 kilomètres sans escale de leur base, soit effectué avant la date de l'arrêté, un voyage ou raid de plus de 3 000 kilomètres.*<sup>1077</sup>

Le SNAé reconnaît ainsi les compétences acquises de manière empirique durant la Première guerre mondiale et lors de raids effectués avant 1920 pour les pilotes ou navigateurs ayant opéré de nuit et sur d'assez grandes distances.

Une dernière catégorie d'aviateurs est encore dispensée d'examens. Il s'agit des officiers d'aviation ayant obtenu le certificat d'aptitude aux fonctions d'instructeur de navigation aérienne (arrêté du 19 mai 1927<sup>1078</sup>).

#### *Pour ceux qui passent l'épreuve*

Les candidats qui se présentent à l'examen passent plusieurs épreuves ayant des coefficients différents et notées sur 20. Une note inférieure à 7 est éliminatoire et la moyenne doit être supérieure ou égale à 14.

Il n'y a pas à proprement parler d'épreuve de mathématiques pour le Brevet élémentaire, mais les mathématiques serviront lors de l'épreuve de « navigation » (coefficient 3 sur 10). En revanche, pour le Brevet supérieur, les mathématiques sont présentes, encore une fois comme outil, dans l'épreuve « astronomie et navigation » (coefficient 5 sur 12) mais aussi dans une épreuve spécifique « mathématiques et aéronautique générale » (coefficient 2 sur 12). L'évaluation de mathématiques porte sur « divers éléments de calculs de la route et de la distance »<sup>1079</sup>. Les candidats doivent connaître la trigonométrie plane et la trigonométrie sphérique ainsi que des éléments de géométrie sphérique, plus l'usage de la règle à calcul et des

---

<sup>1076</sup> BNAé n°7, octobre 1920 p. 110.

<sup>1077</sup> Ibid.

<sup>1078</sup> BNAé n°194, mai 1936 p. 5309.

<sup>1079</sup> BNAé n°133, avril 1931 p. 3200.

tables de logarithmes. Ils seront également interrogés en cinématique sur les mouvements rectilignes, la vitesse, l'accélération, la composition des vitesses, les corps solides, la translation, la rotation ainsi que la vitesse angulaire.

### *Les résultats*

En 1928, les examens techniques de navigateur peuvent être passés dans au moins deux lieux : les métropolitains peuvent se présenter à Paris au SNAé (2, Boulevard Victor, Bastion 8) pour le Brevet supérieur les 23, 24 et 25 avril et pour une session de repêchage du Brevet élémentaire du 3 au 8 décembre. Il est également possible de se présenter au Brevet élémentaire à Casablanca<sup>1080</sup> à partir du 27 novembre. Il est possible que cette organisation existât dès 1923 mais nous n'en avons pas trouvé la trace.

Le BNAé présente dans son numéro de juin 1924 la liste des candidats ayant obtenu le Brevet élémentaire et le Brevet supérieur pour les quatre premières sessions de l'examen (1921, 1922, 1923, 1924) (voir extrait 9 et tableau 22) :

| <b>BREVETS DE NAVIGATEURS AÉRIENS</b>                                                                                                                             |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Les résultats des examens pour l'obtention des brevets élémentaires ou supérieur de navigateur aérien, sont les suivants :                                        |  |
| <b>ANNÉE 1921 — PREMIÈRE SESSION</b>                                                                                                                              |  |
| <i>Brevet élémentaire :</i>                                                                                                                                       |  |
| MM. Bajac, Bellot, Gastou, Joliot, Landry, Lanquine, Larmier, Libert, Morin, Renault d'Oultr Seilles. — Roly, Val.                                                |  |
| <i>Brevet supérieur :</i>                                                                                                                                         |  |
| MM. Lanquine, Larmier.                                                                                                                                            |  |
| <b>ANNÉE 1922 — DEUXIÈME SESSION</b>                                                                                                                              |  |
| <i>Brevet élémentaire :</i>                                                                                                                                       |  |
| MM. Chalambel, Delage, Guidon, Labouchère, Lefèvre, Lenoir, Melin, Mignot, Pointis, Ronyé, Seignette, Vermersch.                                                  |  |
| <i>Brevet supérieur :</i>                                                                                                                                         |  |
| MM. Guidon, Lefèvre, Seignette, Vermersch.                                                                                                                        |  |
| <b>ANNÉE 1923 — TROISIÈME SESSION</b>                                                                                                                             |  |
| <i>Brevet élémentaire :</i>                                                                                                                                       |  |
| MM. Beauregard, Bellonte, Camplan, Crampel, Hamel, Lauhet, Leconte, Le Men, Lucas, Mérat, Noguès, Raynaud, Richard, Thuau.                                        |  |
| <i>Brevet supérieur :</i> Pas de candidat.                                                                                                                        |  |
| <b>ANNÉE 1924. — QUATRIÈME SESSION</b>                                                                                                                            |  |
| <i>Brevet élémentaire :</i>                                                                                                                                       |  |
| MM. Bienaimé, Cailleux, Clément, Clément Émile, Codos, Corsin, Coste, Delisle, Deneallin, François, Hanin, Lejay, de Marolles, Portal, Salmon, Valot, Wachenheim. |  |
| <i>Brevet supérieur :</i>                                                                                                                                         |  |
| MM. Hamel, Libert, Melin, Merat, Renault d'Oultr Seille.                                                                                                          |  |

Extrait 9 : Liste des premiers brevets de navigateur aérien.<sup>1081</sup>

|                    | 1921                                                 | 1922                                                 | 1923               | 1924                                  |
|--------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Brevet élémentaire | 11                                                   | 12                                                   | 14 (dont Bellonte) | 18 (dont Codos, Costes et Wackenheim) |
| Brevet supérieur   | 2 (ayant obtenu le Brevet élémentaire la même année) | 4 (ayant obtenu le Brevet élémentaire la même année) | Pas de candidats   | 7                                     |

Tableau 22 : Synthèse établie à partir de ces premiers brevetés.<sup>1082</sup>

<sup>1080</sup> Le Maroc est alors sous protectorat français (depuis 1912) et la ville de Casablanca abrite une importante communauté européenne dont des Français pouvant être intéressés par l'obtention d'un brevet de navigateur.

<sup>1081</sup> BNAé, p. 832.

<sup>1082</sup> Tableau établi à partir du BNAé, n°51, juin 1924, p. 832.

Nous savons également que Max Dévé a obtenu le Brevet supérieur en 1926. Il faut encore attendre une dizaine d'année pour que deux navigatrices françaises (voir chapitre 8), Suzanne Kohn<sup>1083</sup> et Louise Morel de Foucaucourt<sup>1084</sup>, soient titulaires du Brevet supérieur (respectivement en novembre 1936 et en 1938).

### *Formation*

Les candidats peuvent se former à ces épreuves théoriques de trois manières différentes. Ils peuvent préparer l'épreuve sans suivre de cours en se basant sur les ouvrages de marine, ou sur une nouvelle catégorie de manuels destinés spécifiquement à la navigation aérienne. Les candidats peuvent également suivre les cours du soir proposés par le SNAé sur Paris. Enfin, les militaires peuvent acquérir ces connaissances dans quelques écoles (voir paragraphe correspondant) et même pour les meilleurs d'entre eux (ainsi que pour les meilleurs civils) se perfectionner auprès des marins de l'École de perfectionnement de navigation de Brest.

#### 2) Des écrits pour les marins à la disposition du navigateur aérien.

Le navigateur aérien trouve, comme avant-guerre, une partie des informations nécessaires pour préparer les brevets de navigateur aérien, dans les ouvrages destinés à la marine. Mais, comme nous l'avons écrit dans le chapitre 5, ces ouvrages ne sont pas toujours d'un abord facile pour le navigateur aérien et de plus, ils ne traitent pas certains points spécifiques à l'aéronautique. Nous allons donc étudier l'offre éditoriale maritime d'après-guerre en recherchant les nouveautés par rapport à celle d'avant-guerre.

### *Les cours de l'École navale*

Frédéric Marguet est toujours professeur d'astronomie et de navigation à l'École navale lorsqu'il propose une nouvelle édition de son *Cours de navigation et de compas* en 1921 (voir chapitre 1). Il a suivi l'École sur son nouveau site. Le transfert à terre, préparé avant-guerre, a bien eu lieu, mais le conflit n'a pas permis de l'effectuer dans de bonnes conditions. L'École s'installe donc à terre en 1914 mais de manière provisoire<sup>1085</sup>. Elle utilise à Brest des locaux occupés jusqu'alors par les flottilles de Laninon. Marguet forme une nouvelle génération d'officiers de marine au travers de conférences et par le biais d'une deuxième édition de son

---

<sup>1083</sup> Suzanne Kohn (1895-1945).

<sup>1084</sup> Louise Morel de Foucaucourt (189 ?-1939).

<sup>1085</sup> Installation provisoire qui dure jusqu'en 1936, année où seront construits de nouveaux locaux à Saint-Pierre Quilbignon. COCHOIS J-B., *Le Versailles de la mer : histoire de l'École navale à terre*, Guingamp, éditions de Plomée, 2000.

cours. Cette nouvelle édition, bien que revue, n'est pas fondamentalement différente de celle de 1913, les révisions y étant minimales.

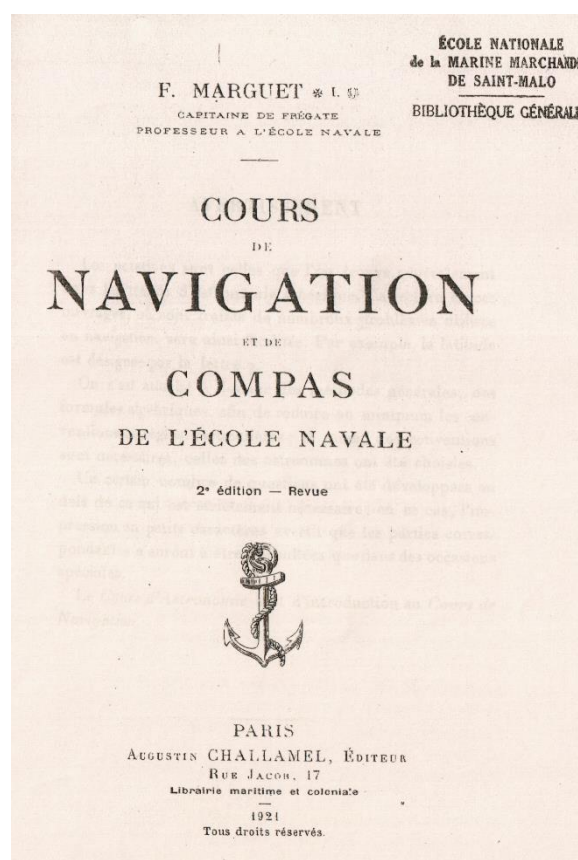


Figure 106 : Page de garde du *Cours de navigation et de compas de l'École Navale* de Marguet.<sup>1086</sup>

Quelques précisions relatives aux cartes de Hilleret, destinées à la navigation orthodromique, ont été ajoutées dans cette version. De plus, le cours présente un petit paragraphe sur les cartes des régions polaires, mais la typographie choisie (une police plus petite) indique que ce point est donné pour information sans faire partie des connaissances exigées des élèves de l'École navale.

Un autre point, lui aussi donné pour information, pourrait intéresser le navigateur aérien. L'édition de 1921 comprend cinq pages sur le gyroscope Fleuriais dans le paragraphe « horizons artificiels » (contre une demi-page en 1913), reprenant les articles publiés par l'amiral Fleuriais dans la *Revue Maritime* en 1886 et 1892 et Favé en 1910 (voir chapitre 3). Marguet ne commente pas son choix d'augmenter les explications sur le gyroscope Fleuriais, mais j'y vois deux raisons. D'une part, les articles de référence sont un peu anciens en 1921 donc difficiles à trouver pour le lecteur intéressé. D'autre part, le principe du gyroscope

<sup>1086</sup> MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École Navale*, 1921.

Fleuriais fait partie du programme de cours de navigation de première année de lieutenant de vaisseau dès 1912, mais il faut attendre la mise sur le marché d'un plus grand nombre de ces appareils pour que l'utilisation en devienne effective.

Dans le paragraphe « détermination des coordonnées horizontales », Marguet cite les nouvelles tables de Bertin (voir chapitre 8), pour déterminer l'azimut par l'heure : « les tables récentes, de très petit volume quoique très étendues, de *Bertin*, qui résultent de la décomposition du triangle de position en triangles rectangles »<sup>1087</sup>. Le paragraphe contient également quelques schémas modifiés et quelques paragraphes réécrits mais sans introduction de nouvelles idées.

Le paragraphe sur « le chronomètre » présente quelques modifications : des ajouts pour la partie sur le « signal horaire » et un paragraphe remanié pour la « conduite de chronomètres à bord ». Mais là encore, les changements ne sont pas fondamentaux.

Pour le « problème du point », après avoir expliqué la méthode générale sur plusieurs pages comme en 1913, Marguet propose, pour information dans la version de 1921, une méthode simplifiée : « la méthode de Lalande ». Peut-être la modification de son texte initial tient-elle compte ici de la pratique de marins qu'il aurait côtoyés depuis 1913. En outre, il simplifie considérablement la partie sur « la distance de la courbe de hauteur à son cercle osculateur » et remanie quelques parties historiques, notamment celle concernant la découverte de la droite de hauteur par Sumner (voir chapitre 2).

Finalement, le cours de Marguet ne reflète guère les progrès en matière de « navigation électrique » que nous avons relevés (voir chapitre 5). Et le navigateur aérien qui n'avait pas trouvé d'explications suffisamment accessibles dans le cours de 1913, n'en trouve probablement pas non plus dans celui de 1921.

Les cours de l'École navale n'ayant pas progressé au niveau de l'accessibilité ni même du contenu, le navigateur aérien peut se tourner vers ceux de la marine marchande qui sont, rappelons-le, en général adaptés à un public ayant des connaissances de base moins grandes.

### *Les réformes d'après-guerre dans les écoles d'hydrographie*

Plus encore que l'École navale, les écoles d'hydrographie subissent de nouvelles réformes de profondeur après-guerre. Revenons sur cette évolution pour comprendre les nouveautés contenues dans les livres de cours des écoles d'hydrographie et le public auxquels s'adressent les auteurs.

En 1919, Étienne Clémentel qui, rappelons-le, est alors Ministre du Commerce, des Postes et des Télégraphes, des Transports maritimes et de la Marine marchande, note

---

<sup>1087</sup> MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École Navale*, 1921, p. 111.

l'amélioration du fonctionnement des écoles suite aux décrets du 30 août 1908 et du 8 août 1913 (voir chapitre 1). Mais il souhaite aller encore plus loin afin que « le futur capitaine puisse assurer non seulement la conduite, mais aussi la direction générale de tous les services d'un grand navire »<sup>1088</sup>. C'est d'ailleurs dans ce but que Clémentel propose de « créer des centres d'enseignement maritime fortement organisés », en limitant notamment le nombre d'écoles d'hydrographie et en changeant leur « vieille dénomination » pour celle d'École nationale de navigation.

L'État aurait pu continuer à délivrer les cinq diplômes et brevets d'officier de pont, présentés dans le décret du 30 août 1908 (voir chapitre 1). Pour Alphonse Rio, capitaine au long cours, député du Morbihan et secrétaire de la Commission de la marine marchande, « la grande guerre ayant prouvé la valeur de l'enseignement maritime, ainsi que celle des brevetés de la marine marchande, rien ne justifiait un changement »<sup>1089</sup>. Il n'en fut rien. Clémentel écrit que sa réforme a également pour but de « ramener au minimum le nombre des brevets de commandement de la Marine marchande ». Pourtant, les modifications de décret du 19 mars 1919 et du 2 novembre 1920 aboutissent à la coexistence de douze diplômes et brevets différents avec les éventuels problèmes de transition que nous pouvons imaginer. Il est à noter que plusieurs de ces diplômes sont comparables (ils sont sur la même ligne du tableau 23 avec le même numéro), mais certains, portant le même nom, sont soumis à des conditions différentes (les brevets de lieutenant au long cours régime 1913 et 1919 diffèrent du brevet de lieutenant au long cours régime 1920).

| Régimes                        |                                    |                                      |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1913                           | 1919                               | 1920                                 |
| 1 Brevet de CLC (BS)           |                                    |                                      |
| 2 Brevet de CLC ordinaire      | 2 Brevet de CLC                    | 2 Brevet de CLC                      |
| 3 Brevet de maître au cabotage | 7 Brevet de capitaine au cabotage  | 9 Brevet de capitaine de la MM       |
| 4 Brevet de lieutenant au LC   | 4 Brevet de lieutenant au LC       | 10 Brevet de lieutenant au LC        |
| 5 Diplôme d'élève de la MM     | 8 Brevet d'élève-officier de la MM | 11 Diplôme d'élève-officier de la MM |
| 6 Brevet de patron au bornage  | 6 Brevet de patron au bornage      | 12 Diplôme de patron au bornage      |

CLC : capitaine au long cours ; BS : brevet supérieur ; LC : long cours ; MM : marine marchande.

**Tableau 23 : Comparaison entre les différents diplômes et brevets obtenus à partir des décrets de 1913, 1919 et 1920.**

<sup>1088</sup> Décret du 19 mars 1919 relatif à l'« Organisation générale de l'enseignement maritime » (pour cette citation et les suivantes).

<sup>1089</sup> RIO A., « La récente réforme de l'Enseignement Maritime par M. Buisson fut en réalité une désorganisation de plus », *Le journal de la Marine Marchande*, n° 53 du 8 avril 1920, p. 337.



Le tableau 23 nous éclaire sur la complexité des différents titres des capitaines de l'époque. Cette complexité est accentuée par le fait que les candidats ne peuvent se présenter aux épreuves qu'à partir d'un certain âge, mais surtout, doivent justifier d'un certain nombre de mois de navigation<sup>1090</sup>.

Cependant, une transition entre les différents régimes est prévue. Par exemple, l'échelonnement des compositions des épreuves écrites des examens de la session de novembre 1921 à Saint-Malo permet à un même candidat de se présenter « aux trois examens d'élève de la marine marchande 1920, d'élève-officier 1919 et de lieutenant au long cours pourvu toutefois qu'il réalise les conditions exigées »<sup>1091</sup>.

Le plan d'épreuves de 1921 indique que les élèves-officiers passaient une épreuve de trois heures de composition française, suivie d'une épreuve de trois heures de calculs nautiques le premier jour (à l'exclusion des élèves-officiers 1920). Le deuxième jour était réservé le matin à l'anglais (d'une à deux heures d'épreuves selon le régime) et l'après-midi aux calculs nautiques des élèves-officiers 1920. Les élèves officiers passaient une épreuve de composition scientifique (régime 1920) ou de composition scientifique et technique (régime 1919) de trois heures. Enfin, les lieutenants au long cours passaient durant trois heures une épreuve de « rapport » au matin du quatrième jour. Et tous finissaient l'après-midi du quatrième jour par trois heures d'épreuve de composition technique<sup>1092</sup>.

La complexité des épreuves, due à une multiplication des brevets et diplômes, est notable. D'ailleurs l'arrêté du 2 novembre 1920 précise :

*Un arrêté du sous-secrétaire d'Etat des ports, de la marine marchande et des pêches, déterminera les conditions dans lesquelles les élèves des écoles nationales de navigation maritime qui se trouvent actuellement en deuxième année d'étude pourront opter soit pour le régime du présent décret, soit pour le régime du décret du 20 mars 1919.*

Nous pouvons imaginer les difficultés auxquelles doivent faire face les professeurs-directeurs d'hydrographie. Ils doivent enseigner les matières de la manière la plus appropriée et probablement conseiller leurs élèves dans ce capharnaüm de décrets.

---

<sup>1090</sup> Par exemple, dans le titre II du décret du 20 mars 1919 : pour se présenter à l'examen d'application du brevet de capitaine au long cours, « il faut être âgé, avant l'ouverture des épreuves de vingt-quatre ans révolus, justifier de soixante mois de navigation active et professionnelle accomplie depuis l'âge de seize ans, dont trente-six mois au moins au long cours et vingt-quatre mois de fonctions comme officier ».

<sup>1091</sup> *Ouest-Éclair*, 26 octobre 1921, p. 6.

<sup>1092</sup> *Ibid.* Les compositions scientifiques et techniques portent sur les matières au programme notamment les mathématiques, la mécanique, l'électricité, la chimie, la théorie du navire, les machines, etc.

Cette situation chaotique serait notamment la conséquence d'une mauvaise préparation de la réforme de 1919 qui a abouti à une nouvelle réforme en 1920. Rio, président de la Commission de l'enseignement maritime à l'origine de la réforme de 1920, critique, le 8 avril 1920, la réforme de 1919. Il la considérait comme élaborée sur « une base purement aristocratique »<sup>1093</sup>. Il écrit à ce propos<sup>1094</sup> :

*La réorganisation de 1919 se caractérise par trois grandes erreurs : économique sociale et professionnelle. Elle est née dans l'esprit d'hommes de valeur juridique incontestable, d'administrateurs de premier ordre, mais ne connaissant rien à l'art de la navigation.*

L'inspecteur général d'hydrographie Georges Massenet (voir chapitre 1), également membre de la Commission, écrit quelques mois plus tard dans le même journal, que la réforme de 1920 exclut toujours l'accès aux grades de la marine marchande aux professionnels de la mer. Mais il écrit également :

*Nous restons convaincus que l'organisation de l'enseignement maritime de 1920 constitue une amélioration sensible, mais qu'on serait arrivé à un meilleur résultat au point de vue de la valeur de l'enseignement même et des dépenses incombant à l'Etat et aux particuliers, si l'on avait mieux réparti entre les différentes administrations les trois phases de l'enseignement maritime.*<sup>1095</sup>

Bien que le rôle des professeurs d'hydrographie reste le même, à savoir former les futurs cadres de la marine marchande, cette période de flou n'a pas été sans incidence sur le recrutement de ces enseignants. Rio parle même de « crise ». Il écrit : « dans le cours de l'année 1920, on a tenté, inutilement d'ouvrir des examens pour six places de professeur d'hydrographie [le 26 février 1920]. Les candidats ne se sont pas présentés [donc l'examen est annulé le 1<sup>er</sup> avril 1920] »<sup>1096</sup>. Pourtant, la création, dans certaines écoles de navigation, d'un emploi de secrétaire général chargé, sous l'autorité du directeur, du service intérieur<sup>1097</sup> allège un peu les obligations du professeur-directeur d'hydrographie.

---

<sup>1093</sup> La réforme prévoyait notamment, selon Rio, la réduction du nombre d'écoles d'hydrographes à trois ouvertes au Havre, Nantes et Marseille, ce qui n'était pas applicable.

<sup>1094</sup> RIO A., *Op.cit.*

<sup>1095</sup> MASSENET G., « La récente réforme de l'enseignement », *Le journal de la Marine Marchande*, n° 94 de janvier 1921, p. 53.

<sup>1096</sup> RIO A. « L'abandon de la réforme de l'enseignement maritime », *Le journal de la Marine Marchande*, n° 83 du 4 novembre 1920, p. 337.

<sup>1097</sup> Décret du 19 mars 1920.

### *Les cours de la marine marchande*

De nouveaux cours de navigation, proposés par Massenet, l'un des acteurs de la réforme, semblent les bienvenus pour accompagner ces réformes tant pour les élèves que pour les enseignants.

Massenet s'associe à l'inspecteur d'hydrographie Jules Vallerey pour proposer, en 1920, une deuxième édition d'un manuel, en un tome de 310 pages, à l'usage des capitaines au cabotage et des officiers de la marine marchande, s'intitulant *Cosmographie et navigation*. Il s'associe également avec le professeur d'hydrographie de première classe W. Hardant pour proposer, en 1921, *Éléments d'astronomie nautique* qui est un ouvrage de 390 pages destiné, du moins selon le titre, à l'usage des capitaines et des lieutenants au long cours ainsi qu'aux élèves officiers de la marine marchande. Cet ouvrage est suivi en 1923 du *Traité de navigation* en deux tomes, de respectivement 431 et 451 pages, à destination du même public.

Recherchons deux types d'informations dans ces ouvrages. Celles tenant compte des progrès dus à la Première guerre mondiale et celles pouvant servir à un navigateur aérien, ou au futur navigateur aérien, soucieux d'utiliser des méthodes « scientifiques ».

Le manuel, coécrit avec l'inspecteur d'hydrographie Vallerey dans sa version de 1920, a été légèrement remanié (tout comme l'a été l'ouvrage de Marguet) afin de présenter aux élèves les nouveaux instruments de navigation maritime. Le manuel comprend les notions classiques aux programmes des examens sans aller au-delà, mais les auteurs étoffent le paragraphe de ce qu'ils nomment la « télégraphie sans fil dirigée ». Ils restent toutefois prudents quant à son utilisation puisqu'ils écrivent : « il suffirait donc à un navire muni d'un appareil de ce genre [un cadre goniométrique], de venir d'un bord ou de l'autre jusqu'à la réception maximum pour déterminer la direction du poste émetteur »<sup>1098</sup>. Mais ces précautions n'empêchent pas les auteurs de décrire le *compas azimuthal hertzien* de Bellini et Tosi (voir chapitre 5) et même de consacrer un appendice illustré à l'usage du radiogoniomètre (voir et figure 107 et extrait 10) :

---

<sup>1098</sup> MASSENET G., VALLEREY J., *Cosmographie et navigation*, Augustin Challamel, Paris, 1920, p. 136.

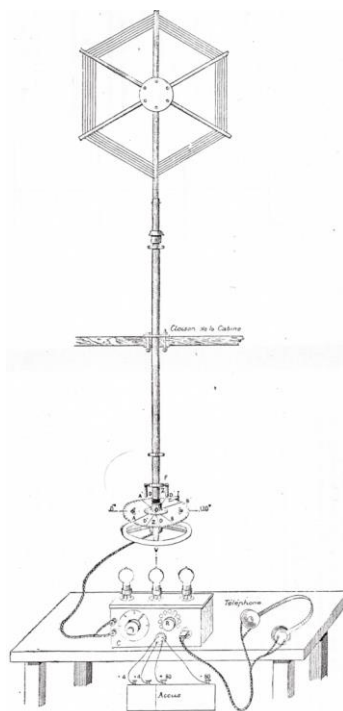


Figure 107 : Schéma d'un radiogoniomètre.<sup>1099</sup>

### **Usage du radiogoniomètre**

*Le diamètre 0°-180° du cadran coïncide avec la ligne de foi du compas ou lui est parallèle suivant que l'appareil est placé ou non dans l'axe du navire. Quand l'index I est sur le diamètre 0-180°, le plan du cadre passe par ce diamètre.*

*Pour prendre un relèvement : allumer les lampes de réception en manœuvrant le rhéostat R, s'accorder sur la longueur d'onde, à recevoir à l'aide du condensateur C, desserrer le frein F. Faire tourner le cadre au moyen du volant V jusqu'à ce que l'on entende l'émission cherchée.*

*Parfaire l'accord du condensateur.*

*Noter les deux extinctions A, B.*

*Faire tourner le cadre de 180°.*

*Noter les deux extinctions A', B'.*

*Prendre la bissectrice de l'angle AOB, soit OD.*

*Prendre la bissectrice de l'angle A'OB', soit OD'. Le relèvement cherché est donné par la bissectrice de l'angle ODD', soit OZ.*

*Serrer le frein et éteindre les lampes.*

Extrait 10 : Usage du radiogoniomètre.<sup>1100</sup>

<sup>1099</sup> MASSENET G., VALLEREY J., *Op. Cit.*, p. 305.

<sup>1100</sup> MASSENET G., VALLEREY J., *Op. Cit.*, p. 306. L'ouvrage contient le mot « bissectrice » et non « bissextre ».

Cet extrait illustre parfaitement le souhait des auteurs d'écrire un manuel pratique et facile d'accès pour les élèves.

Il n'est toutefois pas certain que ce paragraphe sur le radiogoniomètre, retienne l'attention du navigateur aérien. En effet, le manuel reste destiné au marin et il est peu probable que le navigateur rencontre un radiogoniomètre de ces dimensions à bord d'un avion ; mais cet appareil pourrait éventuellement être présent à bord d'un dirigeable.

L'ouvrage de Massenet et Vallerey ne présente finalement que peu d'intérêt pour le navigateur aérien, en dehors d'une découverte ou d'un rappel des principes de base de la navigation à l'estime. En est-il de même pour les ouvrages coécrits par Massenet et Hardant et publiés en 1921 et 1923 ?

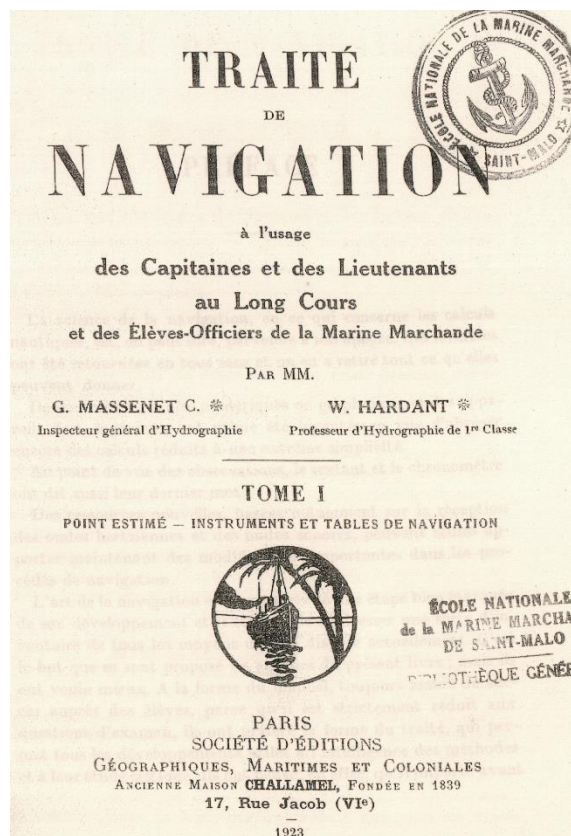


Figure 108 : Page de garde du traité de navigation de Massenet et Hardant.<sup>1101</sup>

La préface de leur *Traité de navigation*, rédigée par Rio, met l'accent sur la modernité de l'ouvrage. Selon lui, la « science de la navigation, en ce qui concerne les calculs nautiques, est (...) parvenue à son apogée »<sup>1102</sup>, tant au niveau des outils de calcul (tables numériques ou

<sup>1101</sup> MASSENET G., HARDANT W., *Traité de navigation, Tome I*, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, Paris, 1923, NP.

<sup>1102</sup> MASSENET G., HARDANT W., *Op. Cit.*, NP.

graphiques et appareils de calcul) que des instruments d'observations (sextant et chronomètre). De ce fait, « des ressources nouvelles, basées notamment sur la réception des ondes hertziennes et des ondes sonores, peuvent seules apporter maintenant les modifications importantes dans les procédés de navigation »<sup>1103</sup>. Nous retrouvons ici la distinction que nous avons établie entre les navigations à l'estime et astronomique, d'une part, qui ont atteint une phase de maturité avant-guerre et la « navigation électrique », d'autre part, qui est en phase de croissance y compris dans les années 1920-1930.

Rio relève que les auteurs ont préféré écrire un traité afin de dresser « une sorte d'inventaire des moyens dont [on] dispose actuellement »<sup>1104</sup> plutôt qu'un manuel « strictement réduit aux questions d'examen »<sup>1105</sup>. Le lecteur peut donc s'attendre à trouver, dans ce traité, plus que le strict nécessaire pour passer les examens de capitaine et lieutenant au long cours ainsi que les notions destinées aux élèves officiers de la marine marchande.

Un tel ouvrage pourrait, dans ce format, convenir également au navigateur aérien puisque :

*Le nouveau traité, qui se différencie encore des traités existants par la description et l'étude des procédés les plus modernes, entre autres les applications de la radiogoniométrie, se recommande donc à l'attention de tous les navigateurs.*<sup>1106</sup>

Le traité est en effet très riche et reprend toutes les notions de navigation connues avant-guerre. Les auteurs proposent quelques paragraphes concernant les éléments de navigation imaginés à la veille de la Première guerre mondiale et plus ou moins développés durant celle-ci. Massenet et Hardant ne font qu'une présentation très succincte de la radiogoniométrie mais consacrent plusieurs pages aux horizons artificiels et aux horizons gyroscopiques. Le traité fait également la part belle aux cartes spéciales pour la navigation orthodromique (voir chapitre 3). La carte de Hilleret est la plus commentée, mais quatre pages sont tout de même réservées à la carte de Gernez. Cette dernière, utilisant la projection gnomonique sur un plan tangent aux pôles, avait été présentée à l'Académie des sciences en 1913, mais il a fallu attendre la fin du conflit<sup>1107</sup> pour la voir détaillée dans les ouvrages de cours. Les deux cartes permettent notamment d'obtenir graphiquement une approximation de la distance orthodromique entre deux points, route particulièrement adaptée aux navires modernes et engins aériens.

---

<sup>1103</sup> *Ibid.*

<sup>1104</sup> *Ibid.*

<sup>1105</sup> *Ibid.*

<sup>1106</sup> *Ibid.*

<sup>1107</sup> Nous ne savons pas si la carte de Gernez a été utilisée pendant la Première guerre mondiale.

Si le lecteur du traité peut y trouver des informations nouvelles, il y découvrira avant tout un inventaire des méthodes de navigation maritimes pratiquées depuis au moins le dernier quart du XIX<sup>e</sup> siècle. Les auteurs se sont appuyés sur de nombreux exemples pour rendre les notions de navigation abordables avec un bagage scientifique de fin d'études secondaires. Un lecteur rebuté tout de même par la difficulté pourrait se tourner vers le *Nouveau manuel du caboteur et du Capitaine de la Marine Marchande* de G. Lavieuvville, directeur de l'École libre d'hydrographie de Dieppe, édité pour la septième fois en 1922.

#### *De nouveaux ouvrages pour les marins (1925-1928)*

Quelques nouveaux ouvrages destinés aux élèves de l'École navale, aux Écoles nationales de navigation et aux écoles privées d'enseignement maritime sont publiés dans la deuxième moitié des années 1920. Les navigateurs peuvent bien entendu toujours y accéder. Il ne nous semble toutefois pas utile de revenir sur le contenu de ces cours car il y a peu d'éléments nouveaux qui pourraient indiquer une différence notable avec ceux que nous avons déjà présentés.

Deux auteurs de ces nouveaux ouvrages se distinguent au regard de leur implication dans la navigation aérienne.

Charles Bertin publie un *Cours de navigation* en 1925 (suivi d'une seconde édition en 1928) dans le cadre de l'École du génie civil dirigée par Julien Galopin (voir paragraphe sur les autres formations en navigation aérienne disponibles dans les années 1930). Ce cours est complété par un *Cours de complément de navigation pour lieutenants au long cours* publié également en 1928. Nous pouvons nous étonner qu'il ne soit aucunement fait mention de navigation aérienne dans le *Cours de navigation* alors que Bertin est également l'auteur de plusieurs tables de navigation particulièrement appréciées dans l'aéronautique (voir chapitre 8) qu'il publie de 1919 à 1939. Ces tables sont d'ailleurs présentées en détail dans le cours de complément mais toujours sans mentionner la navigation aérienne.

Charles Cornet<sup>1108</sup>, qui succède à Bertin à la direction de l'École nationale de navigation de Saint-Malo de 1922 à 1925, publie, quant à lui, un cours intitulé *Cosmographie et Navigation* en 1925. Son cours, très complet mais entièrement dédié à la préparation des examens, ne contient pas non plus de référence à la navigation aérienne. Cornet assurera pourtant un cours de navigation aérienne dans l'école de Galopin quelques années plus tard<sup>1109</sup>.

---

<sup>1108</sup> Charles Cornet (1882-19 ?). École navale (promotion 1900).

<sup>1109</sup> Un *Cours de navigation aérienne* manuscrit par Cornet est publié en 1948 sous la direction de Galopin.

Ces ouvrages restent cependant destinés aux marins et laisseraient de nombreuses interrogations au navigateur aérien qui se contenterait de leur lecture pour préparer les brevets de navigateur.

Comme nous allons le montrer, le SNAé propose plusieurs alternatives à la consultation des ouvrages de navigation maritime pour se former en navigation aérienne.

### 3) Les formations initiées par le SNAé

Avant de proposer des formations plus formalisées, le SNAé organise des conférences sur la navigation aérienne puis en fait publier un compte rendu. C'est dans ce cadre qu'est publié le fascicule s'intitulant *Méthodes générales de navigation aérienne* qui est le compte rendu de la conférence donnée par le capitaine de corvette et pilote de dirigeable Maurice Thierry (voir chapitre 5), le 17 décembre 1919.



Figure 109 : Lieutenant de vaisseau Maurice Thierry en 1916.<sup>1110</sup>

#### *Le compte rendu de la conférence de Thierry*

Thierry prévient qu'il ne s'agit pas dans cette conférence d'un cours, mais qu'il souhaite faire connaître les meilleures méthodes de navigation pour des aéronefs aux rayons d'action de plus en plus étendus au travers de celle-ci.

---

<sup>1110</sup> FEUILLOY R., *Les dirigeables de la Marine française 1915-1937*, ARDHAN, 2008, p. 470.



Il débute en comparant la navigation aérienne à la navigation maritime, ce qui était prévisible puisque qu'il est un officier de Marine formé à l'École navale (promotion 1899). Il considère que la navigation aérienne n'a pas besoin d'une aussi grande précision que la navigation maritime, mais qu'il faut cependant tendre vers la meilleure position possible afin que « la traversée soit bien conduite »<sup>1111</sup> en économisant le temps et le combustible. Cet objectif ne peut être atteint, selon lui, qu'en appliquant les méthodes générales de navigation utilisées dans la marine.

Thierry présente la navigation à l'estime en traitant de la navigation loxodromique sur les cartes en projection de Mercator et de la navigation orthodromique sur les cartes de Hilleret (voir chapitre 3), mais il ne donne aucune précision sur les cartes aéronautiques.

### *La navigation astronomique en aéronef*

Thierry s'attarde longuement sur la navigation astronomique. Il considère que la détermination de la position à partir des astres est possible à bord des aéronefs, bien qu'un peu plus complexe qu'à bord des navires. Il définit dans un premier temps les bases de cette navigation : courbe, cercle et droite de hauteur. Selon lui, la méthode Marcq (voir chapitre 2) est applicable à bord de tous les aéronefs, même s'il reconnaît ses inconvénients (calculs longs et source d'erreur). Il évoque ensuite une méthode mise au point par le lieutenant-colonel Lamotte du Service géographique des Armées basée sur des tables spéciales, mais il s'intéresse surtout aux procédés utilisant la projection stéréographique dont les travaux de l'ingénieur hydrographe Louis Favé (voir chapitre 3 et chapitre 5).

Selon Thierry, Favé a opté pour la projection stéréographique car les cercles de hauteur y sont représentés par une forme simple, à savoir un cercle, et les angles sur la sphère sont conservés sur la carte. Comme, de plus, la région qui avoisine le point central est déformée au minimum, « Favé a choisi une carte représentant la région dans laquelle se déplace l'aéronef sur une ouverture de 15° soit 1700 kilomètres »<sup>1112</sup>. Thierry compare les caractéristiques du procédé de Favé avec celles du procédé développé durant la guerre par le docteur allemand Alfred Brill, ce dernier prenant une ouverture deux fois plus petite que Favé (7,5°). La projection (projection azimutale) choisie par Brill est légèrement différente de celle de Favé, mais peut être considérée comme identique dans la limite de la précision graphique.

---

<sup>1111</sup> THIERRY M., *Méthodes générales de navigation aérienne*, Compte rendu de conférence publié par le SNAé, 1920, p. 3.

<sup>1112</sup> THIERRY M., *Op. Cit.*, p. 15.

Toujours selon Thierry, ces procédés mécaniques de Brill ou de Favé sont faciles d'utilisation et très commodes. Ils sont pratiques, principalement pour les « pilotes de sphérique »<sup>1113</sup> qui ne peuvent pas faire le point Marcq faute d'une estime suffisamment précise ou de place dans la nacelle pour faire des recherches sur une table logarithmique ou à l'aide d'un graphique. Thierry considère toutefois que les dimensions des engins devraient devenir suffisamment grandes, avec la multiplication des long-courriers, pour que les navigateurs privilégient la « vieille méthode Marcq »<sup>1114</sup> des marins, le procédé de Favé et Brill étant réservé pour le cas d'une trop grande incertitude sur l'estime. Le lecteur ne peut cependant pas se baser sur le contenu du compte rendu de la conférence de Thierry pour comprendre le procédé. Il pourrait se tourner vers la notice de Villain publiée par le SNAé dans le *Bulletin de la Navigation Aérienne* n°10 de mars 1921, pour combler cette lacune (voir § suivant).

La radiogoniométrie en navigation aérienne, qui a connu quelques développements intéressants durant la Première guerre mondiale (voir chapitre 5), pourrait être considérée comme une alternative valable à la navigation astronomique. Thierry propose d'ailleurs quelques informations sur la radiogoniométrie, mais il n'expose que succinctement les principes des relèvements radiogoniométriques ainsi que la difficulté à l'utiliser avec les cartes en projection de Mercator, qui devront être remplacées par les cartes de Hilleret (car les ondes suivent une orthodromie). Il ne s'étend pas davantage sur la radiogoniométrie car le problème de la détermination du point à l'aide de tels relèvements n'est pas suffisamment résolu en 1919. Il reste donc convaincu que les navigateurs devront avoir recours encore longtemps à la navigation astronomique et doivent se former en ce sens.

### *Les instruments de navigation*

Plusieurs pages du compte rendu de la conférence sont également réservés aux instruments. Thierry y présente ceux courants en navigation maritime et utilisables en navigation aérienne.

Le compte rendu de Thierry débute avec un paragraphe traitant des instruments par le compas, mais ne cite que le compas liquide. En effet, il relève que le compas liquide Doignon de 0,14 mètres (voir chapitre 4) a donné satisfaction sur les dirigeables de la Marine et considère en conséquence que son utilisation peut être étendue aux grands avions.

Thierry profite du paragraphe pour rappeler que si la compensation n'a pas été nécessaire sur les dirigeables *Astra-Torrès* de la Marine (voir chapitre 5), dont la nacelle est à

---

<sup>1113</sup> THIERRY M., *Op. Cit.*, p. 16.

<sup>1114</sup> *Ibid.*

ossature bois, elle reste indispensable sur les navires aériens dont les masses métalliques sont proches des compas.

Il aborde ensuite les instruments de la navigation astronomique en commençant par le chronomètre puis en traitant des sextants. Le chronomètre doit être choisi en priorité parmi ceux de type « compteur » ou « montre de torpilleur ». Mais il n'explique pas en quoi ces chronomètres donnent de meilleurs résultats que d'autres.



Figure 110 : Compteur (à gauche) et montre d'artilleur (à droite) commercialisés par la maison Leroy et Cie.<sup>1115</sup>

Il explicite davantage ses préférences en termes de sextants. Il présente dans un premier temps le sextant ordinaire (marin), qui peut être utilisé dans certains cas « lorsque l'horizon de la mer est visible et suffisamment net »<sup>1116</sup>. Il conseille de généraliser son utilisation en descendant suffisamment bas au-dessus de la mer lors des traversées maritimes.

Ensuite, il explique que les sextants et quadrants à niveau peuvent être avantageusement utilisés. Si une partie de ces sextants, dans laquelle une bulle d'air donne la verticale apparente, n'est utilisable qu'à bord d'aéronefs ayant des accélérations faibles, comme les dirigeables, celui développé par Favé semble, pour Thierry, plus intéressant (voir chapitre 5). Favé a cherché

<sup>1115</sup> La maison Leroy et Cie spécialisée dans l'horlogerie depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle remporte plusieurs concours lui permettant de commercialiser des montres et chronomètres de marine à partir de 1889. Le compteur et la montre d'artilleur de la figure 110 sont proposés dans un catalogue de la maison vers 1911-1912. L. LEROY & Cie, *Chronomètres et montres de marine*, SD.

<sup>1116</sup> THIERRY M., *Op. Cit.*, p. 19.

à remédier aux problèmes de la plupart des sextants à bulle fabriqués pour les marins en travaillant sur trois points. Le niveau de son « quadrant à niveau sphérique » est sphérique (comme le nom l'indique) et non tubulaire ce qui simplifie son utilisation. La visée est facilitée par l'absence de lunette. Et enfin, « le dispositif d'observation de nuit est des mieux compris »<sup>1117</sup>. Mais il déplore que le quadrant à niveau sphérique de Favé ait « été jusqu'ici peu employé à bord des aéronefs »<sup>1118</sup>.

Thierry conclut son paragraphe en traitant des sextants gyroscopiques. Celui de Fleuriais pourrait, selon lui, être intéressant à bord des grands dirigeables rigides dont il prévoit l'utilisation pour les grandes lignes aériennes (voir chapitre 7). Il cite également celui du lieutenant de vaisseau Edmond Derrien<sup>1119</sup> qui lui paraît prometteur bien qu'il n'ait pas encore été testé.



**Figure 111 : Sextant gyroscopique Derrien-Bonneau.<sup>1120</sup>**

L'ouvrage de Thierry est certes destiné au navigateur aérien, mais il reste encore très proche de la navigation maritime. Thierry semble vouloir convaincre ses auditeurs et lecteurs que les pratiques maritimes dans leur plus haut degré de technicité qu'est la navigation astronomique sont parfaitement transposables à bord des aéronefs, pour peu que ceux-ci soient de dimensions suffisantes. La conférence n'étant toutefois qu'une introduction à la navigation

---

<sup>1117</sup> THIERRY M., *Op. Cit.*, p. 20.

<sup>1118</sup> *Ibid.*

<sup>1119</sup> Edmond Derrien (1882-1946).

<sup>1120</sup> IFLAND P., « Taking the Stars », Krieger Publishing Company, 1998 p. 160-161. Le sextant aurait été testé en novembre 1920. Photographie issue de la page <http://catalogs.marinersmuseum.org/object/CL26254>, consulté le 13 août 2018.

aérienne, il conviendrait d'avoir accès aux cours qu'il a dispensé<sup>1121</sup> pour pouvoir tirer des conclusions plus certaines sur ses intentions.

Le SNAé fait publier quelques mois plus tard un ensemble d'articles sur les bases de la navigation aérienne.

### *La notice de Villain*

Le *Bulletin de la Navigation Aérienne* propose, en 1921, un cours rédigé par Charles Villain, ingénieur hydrographe de la marine (voir chapitre 5). Ce cours de 51 pages publié en janvier, février et mars 1921 s'intitule *Emploi des cartes en Navigation aérienne*. Il s'agit de la première « notice » commandée par le SNAé afin que les candidats aux brevets de navigateurs et les pilotes s'instruisent par eux-mêmes « en attendant la création d'un enseignement aéronautique »<sup>1122</sup>. Avec cette notice, Villain propose de résumer

*Les différents procédés permettant de déterminer la route à suivre pour se rendre d'un point à un autre en utilisant la carte, ainsi que ceux donnant, par une construction graphique, la position estimée de l'aéronef (point estimé).*<sup>1123</sup>

Il se réfère parfois explicitement à la navigation maritime, mais son cours est construit pour des navigateurs aériens et les méthodes maritimes choisies sont les plus simples possibles. Il écrit dans le paragraphe sur le « cap magnétique, cap au compas, ligne de foi » :

*L'étude du premier procédé, le plus précis, sort du cadre de cette notice. Le second, employé dans la marine par les capitaines au cabotage, est celui auquel il faudra recourir.*<sup>1124</sup>

Le cours présente tout d'abord succinctement quelques généralités sur la navigation avant de consacrer un chapitre à la navigation au compas. Il traite rapidement la théorie pour privilégier la résolution de problèmes en envisageant différentes situations possibles. Ainsi, le premier problème qui est de « mesurer une route vraie ou un cap vrai » est traité, d'une part si la carte est en projection de Mercator (cartes générales et cartes marines), et d'autre part, avec la carte internationale au millionième suivant en cela l'annexe F de la Convention de 1919.

---

<sup>1121</sup> Hébrard et Duval se réfèrent au « remarquable cours de navigation aérienne » de Thierry, mais nous n'avons pas retrouvé de trace écrite de ce cours. HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, février 1921, p. 81.

<sup>1122</sup> VILLAIN Ch., « Emploi des cartes en Navigation aérienne », *BNAé* n°10, janvier 1921, p. 175.

<sup>1123</sup> *Ibid.*

<sup>1124</sup> VILLAIN Ch., *Op. Cit.*, p. 184.

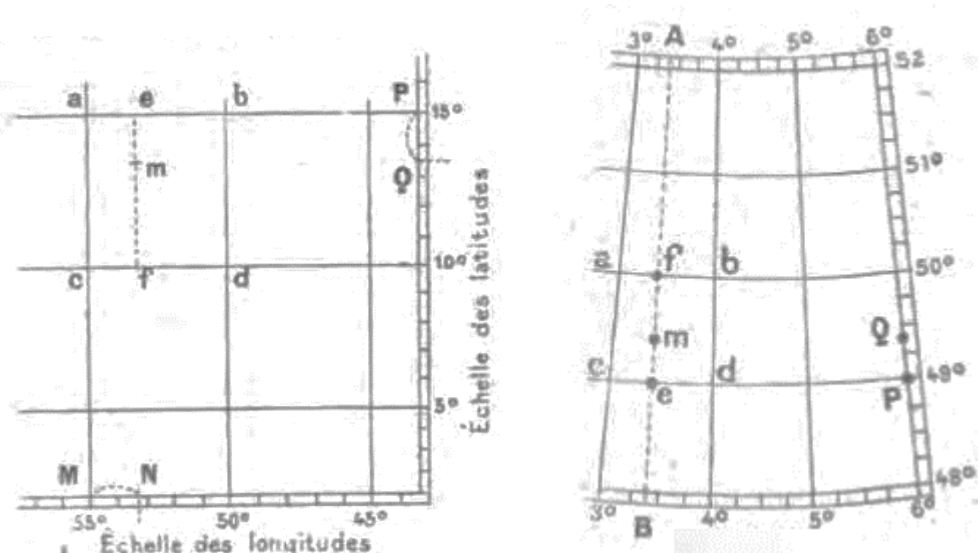


Figure 112 : Exemple de report de latitude et de la longitude d'un point sur une carte en projection de Mercator (à gauche) et une carte au millionième (à droite).<sup>1125</sup>

La CINA s'est penchée sur l'élaboration de cartes aéronautiques de deux types, les « cartes générales » et les « cartes normales ». Elle reprend les règles établies lors des conférences internationales de Londres de 1909 et de Paris de 1913 pour construire les « cartes du monde au millionième ». Il est précisé que les longueurs, distances, altitudes et profondeur devront y être données en mètre, libre à chaque pays d'y ajouter une unité supplémentaire. La projection de Mercator, où un degré de longitude est représenté par une longueur de trois centimètres, est choisie pour la carte générale. La carte normale est à l'échelle du 200 000<sup>e</sup> (excepté pour les pays clairsemés où elle pourra être au 500 000<sup>e</sup> ou au 1 000 000<sup>e</sup>). Toutes ces cartes ont le méridien de Greenwich comme méridien origine<sup>1126</sup>.

Villain s'intéresse aux cartes en projection de Mercator et aux cartes au millionième respectivement dans les chapitre trois et quatre. Il commence par décrire les caractéristiques de chacune de ces cartes avant d'explicitier leur utilisation pour résoudre cinq problèmes (voir tableau 24). Mais, si ces problèmes peuvent être résolus par l'utilisation de l'une ou l'autre des cartes, Villain considère qu'il est plus judicieux de privilégier celle en projection de Mercator pour le cinquième problème (le problème du point estimé). En effet, « la carte du monde au millionième exige, pour la détermination du point estimé, des constructions graphiques longues et compliquées »<sup>1127</sup>, cependant aucune précision n'est apportée sur ces constructions.

<sup>1125</sup> VILLAIN Ch., « Emploi des cartes en Navigation aérienne », *BNAé* n°11, février 1921, pp. 206 et 209.

<sup>1126</sup> Annexe F section I de la convention de Paris du 13 octobre 1919 avec protocole additionnel du 1<sup>er</sup> mai 1920.

<sup>1127</sup> VILLAIN Ch., « Emploi des cartes en Navigation aérienne », *BNAé* n°12, mars 1921, p. 221.

|   |                                                                                                                                                              |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Porter un point par sa longitude et sa latitude.                                                                                                             |
| 2 | Trouver la latitude et la longitude d'un point de la carte.                                                                                                  |
| 3 | Tracer la route à faire entre deux points marqués sur la carte.                                                                                              |
| 4 | Trouver la distance entre deux points placés sur la carte (en milles pour la carte en projection de Mercator et en kilomètres pour celle au millionième).    |
| 5 | L'aéronef partant d'un point dont la position est connue a fait diverses routes à des caps au compas et à des vitesses connues ; trouver le point d'arrivée. |

Tableau 24 : Les cinq problèmes traités dans la notice de Villain.<sup>1128</sup>

Villain traite enfin de la navigation par arc de grand cercle. Il remarque que le navigateur doit être capable de déterminer la route la plus courte entre deux points afin de diminuer les longues traversées dès qu'elles sont de plus de 600 milles et particulièrement si elles sont de plus de 70° de latitude. Il expose pour cela en détail le procédé de Favé, contrairement à Thierry (voir paragraphe précédent) qui ne l'avait qu'introduit. En effet, pour lui, ce procédé est à privilégier plutôt que la carte de Hilleret en raison de sa facilité d'emploi.

### *Le calque Favé*

Examinons les explications de Villain afin de comprendre les particularités de ce procédé graphique, tout en gardant à l'esprit qu'il n'est pas complètement finalisé en mars 1921.

Selon Villain, Favé est parti du constat que :

*Tout grand cercle de la sphère est représenté sur une carte en projection de Mercator par une courbe en forme de sinussoïde, coupant l'équateur en deux points distants de 180°.*<sup>1129</sup>

Il considère sur la sphère une série de grands cercles coupant l'équateur aux mêmes points et dont les angles avec l'équateur varient par intervalles de deux degrés.

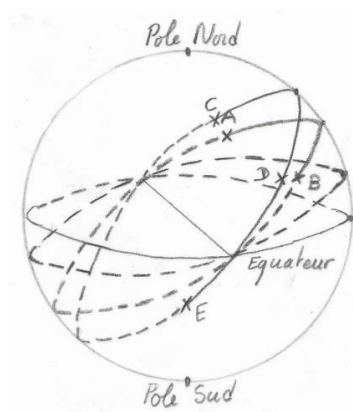


Figure 113 : Arcs de grand cercle sur la sphère.<sup>1130</sup>

<sup>1128</sup> Tableau établi par mes soins à partir de la notice de Villain. VILLAIN Ch., « Emploi des cartes en Navigation aérienne », BNAé n°11, février 1921, pp. 206-210.

<sup>1129</sup> VILLAIN Ch., « Emploi des cartes en Navigation aérienne », BNAé n°12, mars 1921, p. 222.

<sup>1130</sup> Figure construite par mes soins. Les points A, B, C, D et E de la figure 113 correspondent aux mêmes points de la figure 114.

Favé établit ainsi, sur un calque, une série de courbes correspondant à ces grands cercles. Ce calque, limité en 1921 aux parallèles 78°N et 74°S, est adapté au planisphère. Le problème de la petite échelle du planisphère est soulevé par Villain qui indique qu'au-dessus des terres, il faudra avoir recours à un planisphère de grandes dimensions divisé en plusieurs feuilles accompagnées d'un calque mieux adapté (calque couvrant 90° de longitude et 73° de latitude).

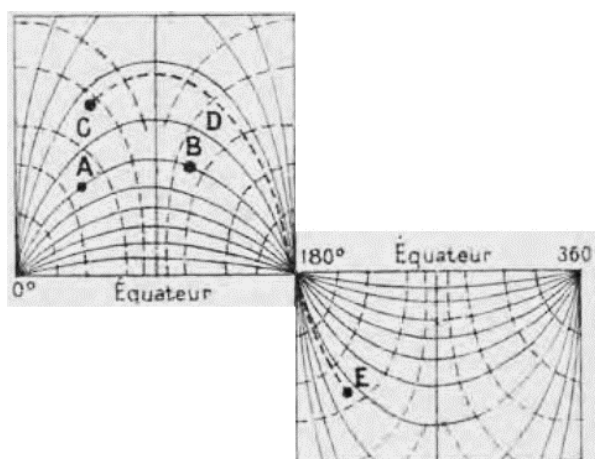


Figure 114 : Canevas du calque Favé présenté par Villain.<sup>1131</sup>

Ces calques sont constitués de deux séries de courbes. La première série en traits noirs (traits pleins sur les figures de Villain) correspond aux tracés sur la carte de Mercator des arcs de grand cercle cotés de 90° pour l'équateur à 0° pour les pôles. La seconde, en traits rouges (traits en pointillés sur les figures de Villain), permet de lire les distances orthodromiques en degrés entre deux points. Ces distances sont cotées de deux degrés en deux degrés sur le calque à petite échelle et de degré en degré sur le calque à grande échelle.

Après avoir décrit la voie qu'a suivie Favé pour construire ses calques, examinons son utilisation. Villain propose trois explications.

Il commence par présenter le principe général d'utilisation. Il faut placer le calque sur le planisphère et le faire glisser sur l'équateur jusqu'à ce qu'une même courbe passe par le point de départ et le point d'arrivée (comme pour les points A et B sur la figure 114) ou sur une même courbe tracée à vue entre deux courbes (comme pour les points C, D et E sur la figure 114).

Cette méthode est certes efficace, mais elle nécessite un tâtonnement qui peut déplaire au navigateur en quête de précision. Villain propose donc une deuxième explication basée sur un exemple précis. Il construit la courbe correspondant à l'arc de grand cercle joignant Paris à Pétrograd<sup>1132</sup>. Dans un premier temps, le navigateur peut se contenter de placer grossièrement

<sup>1131</sup> VILLAIN Ch., *Op. Cit.*, p. 222

<sup>1132</sup> Nom de la ville de Saint-Pétersbourg de 1914 à 1924.



le calque sur la carte en faisant coïncider « les droites équatoriales du calque et du planisphère »<sup>1133</sup>. Ce qui donne la figure suivante proposée par Villain (voir figure 115).

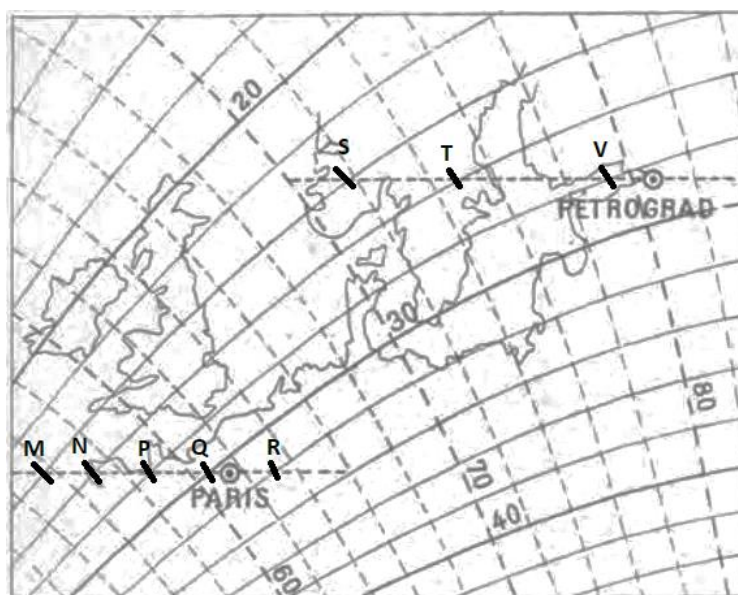


Figure 115 : Calque de Favé sur le planisphère avant le réglage.<sup>1134</sup>

Il convient ensuite de mesurer la distance entre chacune de ces villes et les différentes courbes noires (ici en traits pleins) à partir de leurs parallèles (sur le planisphère). Ces distances sont reportées sur un schéma annexe construit pour la circonstance en conservant la direction des lignes (voir figure 116). À partir d'une droite verticale AB, les arcs de grand cercle sont figurés sur des droites horizontales parallèles et équidistantes (ici de 24 jusqu'à 32). Les distances mesurées sont matérialisées sur ce même schéma par les points M, N, P, Q et R pour Paris et S, T et V pour Pétrograd.

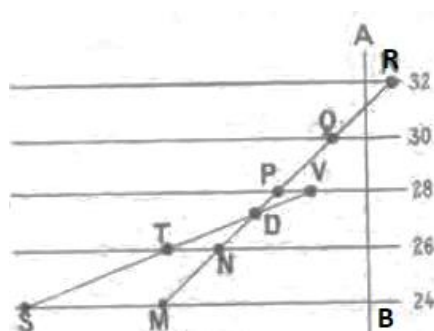


Figure 116 : Schéma permettant de déterminer la cote de l'arc de grand cercle passant par Paris et Pétrograd.<sup>1135</sup>

<sup>1133</sup> VILLAIN Ch., *Op. Cit.*, p. 223.

<sup>1134</sup> *Ibid.* Les points M, N, P, Q, R, S, T, V ne sont pas présents sur le document original mais ont été ajoutés par mes soins.

<sup>1135</sup> *Ibid.* Le point B a été ajouté et le point R rectifié par mes soins.

Nous observons que les droites *MNPQR* et *STV* se coupent au point *D* dont la cote est 27,7. Paris et Pétrograd se trouvent donc sur l'arc de grand cercle de cote 27,7. Il suffit de faire glisser le calque de la distance entre le point *D* et la droite *AB* en respectant la direction (ici vers la gauche). Ce qui donne la figure suivante (voir figure 117) :

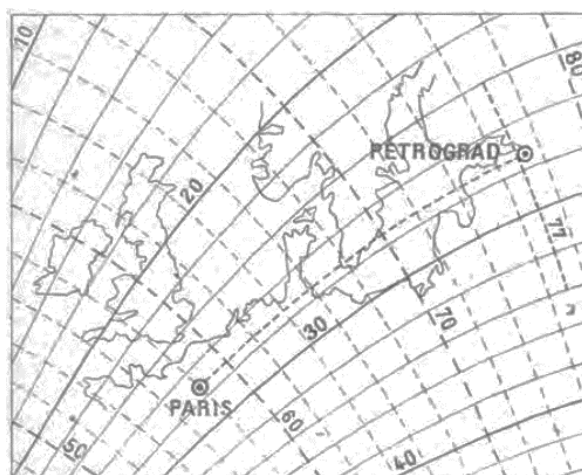


Figure 117 : Calque de Favé sur le planisphère après le réglage.<sup>1136</sup>

La troisième explication donnée par Villain concerne l'utilisation du réseau de courbes rouges (ici en pointillés) pour obtenir une distance. La lecture des cotes rouges en degrés se fait à vue. Ainsi, par exemple, la cote de Paris est 58° alors que celle de Pétrograd est de 77,2° approximativement. La distance en degré entre ces villes est de  $77,2^\circ - 58^\circ = 19,2^\circ$ , ce qui donne  $19,2 \times 60 = 1\,152$  milles. Pour convertir en kilomètres, il suffit d'utiliser la double graduation (milles et kilomètres) de l'échelle horizontale du calque.

Le navigateur peut également utiliser la courbe qu'il vient de déterminer pour organiser une navigation mixte. À l'aide d'un compas, il peut pointer les intersections entre la représentation de l'arc de grand cercle du calque et des points remarquables de la carte en projection de Mercator. Les points ainsi obtenus seront reliés par des segments correspondants à de petites loxodromies proches de l'orthodromie.

Villain conclut son cycle d'articles en proposant deux tables de conversion qu'il juge utiles pour le navigateur aérien. La première permet de convertir les milles en kilomètres, ce qui semble tout à fait judicieux pour des aviateurs ayant plus l'habitude d'utiliser des cartes d'état-major graduées en kilomètres que celles en projection de Mercator (marine ou normale) graduées en miles. La seconde table permet de passer d'un cap compté de 0 à 360° à un cap

<sup>1136</sup> *Ibid.*

donné en quadrant, ce qui peut être particulièrement utile pour l'utilisation du compas. Par exemple, on lit sur cette table qu'un cap de 231° correspond au cap S. 51 W (voir extrait 11).

| 1<br>NOMBRE<br>de<br>degrés<br>des caps<br>par<br>quadrant | 2<br>NOMBRE DE DEGRÉS<br>DES CAPS DE 0° A 360°<br>—<br>Quadrants |       |       |       | 1<br>NOMBRE<br>de<br>degrés<br>des caps<br>par<br>quadrant | 2<br>NOMBRE DE DEGRÉS<br>DES CAPS DE 0° A 360°<br>—<br>Quadrants |       |       |       |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                                            | N. E.                                                            | S. E. | S. W. | N. W. |                                                            | N. E.                                                            | S. E. | S. W. | N. W. |
|                                                            |                                                                  |       |       |       |                                                            |                                                                  |       |       |       |
| 0                                                          | 0                                                                | 180   | 180   | 360   | 45                                                         | 45                                                               | 135   | 225   | 315   |
| 1                                                          | 1                                                                | 179   | 181   | 359   | 46                                                         | 46                                                               | 134   | 226   | 314   |
| 2                                                          | 2                                                                | 178   | 182   | 358   | 47                                                         | 47                                                               | 133   | 227   | 313   |
| 3                                                          | 3                                                                | 177   | 183   | 357   | 48                                                         | 48                                                               | 132   | 228   | 312   |
| 4                                                          | 4                                                                | 176   | 184   | 356   | 49                                                         | 49                                                               | 131   | 229   | 311   |
| 5                                                          | 5                                                                | 175   | 185   | 355   | 50                                                         | 50                                                               | 130   | 230   | 310   |
| 6                                                          | 6                                                                | 174   | 186   | 354   | 51                                                         | 51                                                               | 129   | 231   | 309   |
| 7                                                          | 7                                                                | 173   | 187   | 353   | 52                                                         | 52                                                               | 128   | 232   | 308   |
| 8                                                          | 8                                                                | 172   | 188   | 352   | 53                                                         | 53                                                               | 127   | 233   | 307   |
| 9                                                          | 9                                                                | 171   | 189   | 351   | 54                                                         | 54                                                               | 126   | 234   | 306   |
| 10                                                         | 10                                                               | 170   | 190   | 350   | 55                                                         | 55                                                               | 125   | 235   | 305   |
| 11                                                         | 11                                                               | 169   | 191   | 349   | 56                                                         | 56                                                               | 124   | 236   | 304   |
| 12                                                         | 12                                                               | 168   | 192   | 348   | 57                                                         | 57                                                               | 123   | 237   | 303   |
| 13                                                         | 13                                                               | 167   | 193   | 347   | 58                                                         | 58                                                               | 122   | 238   | 302   |
| 14                                                         | 14                                                               | 166   | 194   | 346   | 59                                                         | 59                                                               | 121   | 239   | 301   |

Extrait 11 : Extrait de la table de conversion des caps ou relèvements comptés par quadrant en caps ou relèvements comptés de 0 à 360° à partir du Nord et par l'Est.<sup>1137</sup>

L'ensemble des informations contenues dans la notice permet d'effectuer une navigation à l'estime efficace grâce à l'utilisation raisonnée du compas et des cartes prévues pour la marine ou l'aéronautique. La notice de Villain permet de préparer le Brevet élémentaire de navigateur aérien mais n'est pas suffisante pour le Brevet supérieur de navigateur aérien qui nécessite des connaissances approfondies en navigation astronomique.

### *Les cours du soir du SNAé*

Le SNAé met en place un cours du soir de navigation aérienne afin de préparer les candidats aux épreuves des brevets dès janvier 1921<sup>1138</sup>. Ces cours ne sont pas ouverts à tous puisqu'il y a des conditions d'admission. Parmi celles-ci, nous trouvons :

*Posséder le baccalauréat C ou D, ou passer un examen d'entrée qui précisera s'ils [les candidats] possèdent en mathématiques (trigonométrie plane et sphérique,*

<sup>1137</sup> VILLAIN Ch., *Op. Cit.*, p. 225.

<sup>1138</sup> BNAé n°11, février 1921, p. 203.

*géométrie sphérique, cinématique statique, dynamique et optique) les connaissances suffisantes pour pouvoir suivre les cours d'astronomie et de navigation professés.*<sup>1139</sup>

Ces conditions d'admission indiquent que les organisateurs s'attendent à donner des cours à des élèves ayant un niveau en mathématiques de fin de secondaire, même pour préparer le Brevet élémentaire.

Les cours sont initialement (1921) proposés à l'École supérieure d'aéronautique (92, rue de Clignancourt) les mardis, jeudis et vendredis après-midi sur une période de trois mois pour le Brevet élémentaire et de cinq mois pour le Brevet supérieur.

Le BNAé de décembre 1924 expose les modalités d'organisation pour l'année 1924-1925. Les leçons ne sont plus proposées à l'École supérieure d'aéronautique mais des cours (gratuits) sont dispensés à l'AéCF (35 rue François-1<sup>er</sup>) presque tous les soirs, de début décembre à fin février ou mars, à partir de 20 h 30. Les cours des mardis et vendredis de début décembre à mi-février sont réservés au Brevet élémentaire et ceux du lundi et du jeudi de début décembre à fin mars sont pour ceux qui préparent le Brevet supérieur avec une alternance des matières enseignées<sup>1140</sup>.

Les mêmes modalités, à savoir vingt séances pour le Brevet élémentaire et trente séances pour le Brevet supérieur, sont reconduites à partir de décembre 1925. Cette organisation a peut-être été choisie pour permettre de préparer conjointement les deux brevets, ce qui peut s'avérer utile notamment pour les militaires qui peuvent être amenés à se déplacer en France et à l'étranger à tout moment.

Le SNAé propose également à la vente sept ouvrages qu'il a fait éditer en 1923 pour les cours de navigateur aérien. Ces ouvrages sont disponibles directement auprès du service ou peuvent être commandés (voir tableau 25).

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Brevet élémentaire :<ul style="list-style-type: none"><li>○ Cours de réglementation aérienne</li><li>○ Cours de navigation aérienne</li><li>○ Cours d'aéronautique générale.</li></ul></li><li>• Brevet supérieur :<ul style="list-style-type: none"><li>○ Cours de navigation orthodromique</li><li>○ Cours d'astronomie</li><li>○ Cours de mathématiques</li><li>○ Cours d'électricité</li></ul></li></ul> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tableau 25 : Ouvrages proposés à la vente par la SNAé pour la préparation des brevets de navigateur<sup>1141</sup>.**

<sup>1139</sup> BNAé n°9, décembre 1920, p. 211.

<sup>1140</sup> BNAé n°57, décembre 1924, p. 904.

<sup>1141</sup> BNAé n°34, janvier 1923 p. 584. Nous n'avons pas trouvé d'exemplaire de ces cours, ni de mention d'auteurs ou d'éditeurs.

Pour assurer les cours, le SNAé fait appel à des enseignants dont les qualités de navigateur aérien sont reconnues. Ainsi, l'enseigne de vaisseau de réserve André-B. Duval, qui a publié un ouvrage de référence en navigation aérienne<sup>1142</sup> (voir paragraphe suivant), intervient comme professeur de navigation pour les deux brevets au moins à partir de décembre 1924<sup>1143</sup>.

Les cours se présentent un peu différemment la 4<sup>e</sup> année. Le Brevet élémentaire se prépare du 13 octobre 1926 au mardi 14 décembre 1926 les mercredis et vendredis toujours à 20 h 30, puis le Brevet supérieur du 15 décembre 1926 au 6 avril 1927, là aussi les mercredis et vendredis<sup>1144</sup>. Cette nouvelle organisation, qui permet une préparation progressive des deux brevets sur six mois a peut-être été demandée par les élèves et les professeurs.

Les cours ne sont pas uniquement théoriques, puisque les élèves peuvent faire leurs exercices pratiques d'observation sur les terrasses de l'*Intransigeant*, « qui domine tout un quartier de Paris » tous les samedis après-midi au printemps de l'année 1928, là encore sous la direction de Duval<sup>1145</sup>.



**Figure 118 : Elèves du cours de navigation de l'AéCF s'exerçant à « relever » le soleil au sextant.<sup>1146</sup>**

<sup>1142</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Traité pratique de navigation aérienne*, Paris, Gauthier-Villars, 1<sup>re</sup> éd., 1922 ; 2<sup>e</sup> éd., 1928 ; 3<sup>e</sup> éd. revue et augmentée, 1935 ; 4<sup>e</sup> éd. revue et mise à jour, 1940.

<sup>1143</sup> *BNAé* n°69, décembre 1925 p. 1092. Duval intervient au moins jusqu'en 1928.

<sup>1144</sup> *BNAé* n°78, septembre 1926 p. 1288.

<sup>1145</sup> *L'Intransigeant*, 30 mars 1928, p. 6.

<sup>1146</sup> *L'Intransigeant*, 12 avril 1928, p. 5.

La préparation des brevets à l'AéCF se poursuit au moins jusqu'en 1929<sup>1147</sup>.

Duval ne dispense pas uniquement des cours pour le SNAé, il a également coécrit le *Traité pratique de navigation aérienne*. En effet, Léo Hébrard et André-B. Duval ont constaté durant la Première guerre mondiale que les ouvrages pour marins n'étaient pas satisfaisants pour les aéronautes et les aviateurs. Ils ont de ce fait entrepris, dès 1919, de remédier à ce manque en publiant un manuel qui traversera toute la période de l'entre-deux-guerres en étant édité quatre fois (1922, 1928, 1935 et 1940).

#### 4) Le premier manuel de navigation aérienne : le *Traité pratique de navigation aérienne* de Hébrard et Duval

Un manuel, écrit par Hébrard et Duval et publié dans un premier temps en plusieurs articles dans la revue *L'Aéronautique* (éditée par Gauthier-Villars) à partir du numéro de février 1921, est édité en un volume par Gauthier-Villars dès 1922. Cet ouvrage, dans ses nombreuses rééditions corrigées, apporte de nouvelles réponses aux questions des navigateurs aériens, notamment à ceux préparant les brevets de navigateur aérien.

Ce *Traité pratique de navigation aérienne* est destiné aux « camarades, militaires ou civils, ainsi qu'à tous ceux qui s'intéressent à l'aéronautique »<sup>1148</sup>. Il est le fruit de la réflexion des deux auteurs depuis 1919, mais bien que la rédaction en ait été finie au premier semestre 1920, ils n'ont pas réussi à le faire imprimer cette année.

Avant d'étudier le contenu du cours, il est essentiel de remarquer que les auteurs viennent de deux armes différentes. Rappelons que Hébrard est un officier dans l'Armée (capitaine au 21<sup>e</sup> régiment d'aéronautique) alors que Duval est un marin (lieutenant de vaisseau de réserve). Cette double origine et leurs activités durant la guerre leurs ont permis de déterminer quels éléments de la navigation maritime peuvent servir en navigation aérienne et lesquels ne peuvent pas être appliqués. D'ailleurs, en janvier 1921, la revue annonce la publication prochaine du cours et présente les deux auteurs en précisant qu'ils « ont tant fait, dès la guerre, pour que soient adaptées à la Navigation Aérienne les méthodes qui ont fait leurs preuves dans la Navigation Maritime »<sup>1149</sup>. C'est peut-être pour cette raison que la direction de *L'Aéronautique* leur offre de le publier sur une année, dans une rubrique nouvelle intitulée « Navigation aérienne ». Ce choix éditorial s'explique aussi probablement par la participation régulière des deux auteurs à la revue et à l'intérêt que peut présenter un tel sujet pour les

---

<sup>1147</sup> *L'Intransigeant*, 21 octobre 1929, p. 4.

<sup>1148</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, février 1921, p. 81.

<sup>1149</sup> *Ibid.*

lecteurs. En effet, la rubrique est « créée pour rendre service à tous ceux qui organisent, mettent en œuvre, pratiquent la navigation aérienne »<sup>1150</sup>.

Durant onze mois, de février 1921 à décembre 1921, la revue réserve huit pages à la rubrique et principalement au cours de Hébrard et Duval (leur cours occupant trois à huit pages par mois). Un espace y est également destiné aux études relatives aux lignes aériennes en exploitation ainsi qu'aux monographies consacrées aux appareils de navigation et aux instruments de bord. La rubrique « Navigation aérienne » évolue ensuite en « navigation marchande » à compter de janvier 1922. Le cours est in fine publié en 60 pages de deux colonnes chacune.

La publication d'un tel cours s'inscrit parfaitement dans la ligne éditoriale de la revue. En effet l'esprit qui prévaut à la conception de l'*Aéronautique* est annoncé dans un « avertissement » lors du premier numéro de la revue (juin 1919).

*Elle se propose d'être, au point de vue tactique, technique et documentaire, un organe d'instruction et de propagande, de dégager la pensée directrice qui a présidé à l'effort aérien de la France et le dirige vers ses destinées, de créer enfin une atmosphère, une mentalité favorable à son succès.*

*Son champ d'action très vaste s'étend aux branches les plus diverses du monde de l'air : aviations militaire, civile, coloniale et maritime, aérostation, D.C.A.*

*(...)*

*Elle n'est ni l'organe d'une doctrine ni le reflet d'un service officiel. Pour donner à la nouvelle publication une unité de composition et une garantie, l'éditeur puisera aux sources les plus sûres la documentation du texte et s'est d'ores et déjà assuré le concours de collaborateurs dont le nom fait autorité dans l'Aéronautique.*<sup>1151</sup>

Le *Traité pratique de Navigation aérienne* correspond à l'intention, mise en avant par l'éditorial, d'instruire le public et d'accompagner les progrès en faisant appel à des auteurs renommés dans le monde aéronautique. L'« avertissement » met également en avant l'indépendance de la revue ce qui n'est pas le cas pour le *Bulletin de la Navigation Aérienne* qui est l'organe officiel du SNAé. Notons cependant que Duval collabore à la fois à l'*Aéronautique* et au SNAé (voir paragraphe précédent).

---

<sup>1150</sup> *L'Aéronautique*, janvier 1921, p. 322.

<sup>1151</sup> *L'Aéronautique*, juin 1919, pp. 1-2.

## Contenu du traité

Commençons par examiner le sommaire de l'ensemble de la publication afin d'appréhender le travail de synthèse des auteurs (voir tableau 26).

| Chapitre                                               | Contenu                                                                                                                                                                          | Mois de publication                             | Pages                                                |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| CHAPITRE I.<br>Règles générales de navigation aérienne | But de la navigation.<br>Routes employées en navigation aérienne.<br>Cartes employées en navigation aérienne.<br>Usage des cartes.                                               | Février 1921                                    | pp. 81-86                                            |
| CHAPITRE II.<br>Compas                                 | Description du compas.<br>Qualités d'un compas.<br>Tenue d'un cap au compas.<br>Régulation.<br>Compensation pratique.                                                            | Mars 1921<br>Avril 1921                         | pp. 121-125<br>pp. 161-163                           |
| CHAPITRE III.<br>Navigation estimée                    | Influence du vent sur l'estime.<br>Angle de dérive.<br>Résolution du point estimé.<br>Mesure en vol des éléments de l'estime.                                                    | Mai 1921<br>Juin 1921                           | pp. 201-205<br>pp. 241-244                           |
| CHAPITRE IV.<br>Navigation observée                    | Point observé.<br>Observation directe du sol.<br>Utilisation des repères éloignés vus.<br>Balisage.<br>Utilisation des repères éloignés entendus.<br>Observations astronomiques. | Juillet 1921<br>Août 1921                       | pp. 281-285<br>pp. 321-325                           |
| CHAPITRE V.<br>Instruments de bord et de navigation    | Appareils servant à la navigation estimée.<br>Instruments servant à la navigation observée.<br>Instruments de navigation. Astronomique.                                          | Septembre 1921<br>Octobre 1921<br>Novembre 1921 | pp. 361-365<br>pp. 401-408<br>pp. 453-454 et 459-461 |
| CHAPITRE VI.<br>Pratique de la Navigation              | Météorologie.<br>Notions sur les règles de circulation aérienne et les abordages.<br>Navigation d'un hydravion posé sur mer.                                                     | Décembre 1921                                   | pp. 509-516                                          |

**Tableau 26 : Sommaire du *Traité pratique de Navigation aérienne* de Duval et Hébrard publié de février à décembre 1921.**<sup>1152</sup>

Ce sommaire illustre parfaitement le travail de synthèse des auteurs. En effet, ils présentent à la fois les bases de la navigation, ce qui peut être trouvé dans n'importe quel cours pour les marins, mais aussi ce qui fait la spécificité de la navigation aérienne, en rédigeant des parties qu'ils doivent créer de toute pièce.

La direction de *L'Aéronautique* avait présenté le traité, en janvier 1921, comme un cours car il peut servir de base pour passer les brevets de navigateur. Les lecteurs qui n'auraient pas trouvé leur compte dans les ouvrages destinés aux marins, trop longs, trop compliqués (voir

<sup>1152</sup> Sommaire que nous avons construit alors qu'il n'est pas présent dans la première version de 1921.



chapitre 5) ont, entre leurs mains, sous forme de feuilleton, un ensemble de chapitres se rapprochant dans son contenu et sa forme du *Résumé pratique de navigation* de Cousin (voir chapitre 2). Les paragraphes sont courts, bien illustrés, mais peut-être parfois un peu sommaires pour un lecteur curieux.

Hébrard et Duval reprennent les grandes lignes des cours pour les marins en distinguant la navigation à l'estime de la navigation astronomique mais cette deuxième catégorie est englobée dans ce qu'ils nomment la « navigation observée ». Ils consacrent d'ailleurs autant de lignes à la radiogoniométrie qu'au point astronomique (environ deux pages et demi pour chacune des deux notions) dans cette navigation observée.

Une partie importante du traité est consacrée aux instruments. Tout d'abord, le premier chapitre traite des cartes. Ensuite, le deuxième chapitre s'intéresse à un instrument de mesure dont l'opportunité d'utilisation a été âprement discutée durant la guerre : le compas. Enfin, le cinquième chapitre est entièrement dédié aux instruments de bord et de navigation. Les auteurs y font un état des lieux des instruments utilisés vers 1920 mais préviennent le lecteur que ce chapitre ne peut être considéré comme clos. Ils écrivent :

*Ce chapitre V est forcément inachevé, car, lorsque ces pages paraîtront, de nouveaux instruments auront été créés. Bientôt le choix sera difficile à faire parmi tant d'appareils se ressemblant plus ou moins.*<sup>1153</sup>

Nous avons repéré une autre catégorie d'instruments de navigation dans les ouvrages pour marins : les tables et nomogrammes ou abaqués. Les auteurs présentent ici quelques abaqués parmi les instruments mais ne s'intéressent pas aux tables.

Étudions maintenant plus précisément le contenu en mettant en valeur ce qui fait la spécificité de ce premier cours de navigation aérienne par rapport à un cours de navigation maritime.

### *Les cartes*

Les auteurs débutent le chapitre traitant des cartes de manière classique. Ils présentent la carte de Mercator après avoir introduit l'orthodromie et la loxodromie ainsi que les coordonnées géographiques. Viennent ensuite des cartes spécifiquement destinées à la navigation aérienne. Les auteurs introduisent les deux cartes réglementaires suite à la Conférence internationale du 13 octobre 1919 : la carte générale et la carte normale.

---

<sup>1153</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, novembre 1921, p. 461.

Les cartes générales aéronautiques, qui sont des cartes de navigation pure, sont des projections de Mercator à peu près à l'échelle du 1/2 500 000<sup>1154</sup>. Ces cartes présentent cependant un problème d'unité car elles ne sont graduées qu'en milles marins. Les auteurs émettent le souhait que « les cartes de Mercator employées en aéronautique soient graduées en mille marins et en kilomètres, les vitesses se comptant actuellement en kilomètre-heure et les cartes aéronautiques étant graduées en kilomètres »<sup>1155</sup>. Les auteurs ne consacrent que quelques lignes à ces cartes, mais étofferont leur paragraphe dans les éditions suivantes.

Les cartes normales, qui sont des cartes de repérage au sol, sont proches de celle de l'*Aéro-Club* au 1/200 000<sup>e</sup>. Chaque feuille, embrassant 1° en longitude et 1° en latitude, doit être associée à la carte générale lors de la navigation :

*Pour l'utiliser en navigation aérienne, on tracera la route loxodromique sur la carte générale, puis on reportera sur les diverses cartes normales les points exacts par où elle passe, à raison d'au moins deux points par feuille, et l'on joindra par des droites les points ainsi obtenus.*<sup>1156</sup>

Les auteurs sont conscients de l'intérêt de la navigation orthodromique, notamment pour réaliser une économie de carburant mais aussi pour l'utilisation de la radiogoniométrie. En conséquence, ils présentent la carte utilisée dans ce cas par les marins : la carte de Hilleret. Mais ils avertissent que ces cartes, déjà peu employées dans la marine, ne seront que peu utilisées en dehors des grands raids. En effet, les avantages de la navigation orthodromique sur la navigation loxodromique ne leur semblent appréciables qu'au-delà de 1 000 km de trajet sans escale, ce qui est rarement le cas vers 1921. Ils citent également le procédé mis au point par Favé en 1921 (voir paragraphe précédent), à savoir un système de calque à appliquer directement sur la carte générale. Le procédé est encore trop nouveau pour que les auteurs le détaillent, mais ils lui consacreront plus de place dans les éditions suivantes<sup>1157</sup>.

Hébrard et Duval notent que le navigateur aérien peut également utiliser d'autres cartes telles que la « Carte du monde au millionième » et les plans des terrains d'atterrissage. Ils citent également les « Cartes Hébrard » que Hébrard a imaginées avec le lieutenant Robbe en 1917. Ces cartes destinées aux bombardements de nuit contiennent les repères visibles en vol de nuit.

---

<sup>1154</sup> Les auteurs avaient noté une échelle au 1/200 000 (car 1 degré de longitude est représenté par une longueur de 3 cm) mais l'ont rectifiée dans les éditions suivantes.

<sup>1155</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, février 1921, p. 84.

<sup>1156</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 84.

<sup>1157</sup> La version publiée dans *L'Aéronautique* comprend uniquement une note de bas de page de 12 lignes sans schéma (HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 85) alors que la version publiée en 1940 traite le calque Favé sur un paragraphe d'une page (HÉBRARD L. et DUVAL A.-B., *Traité pratique de navigation aérienne*, Paris, Gauthier-Villars, 4<sup>e</sup> éd. revue et mise à jour, 1940, pp. 16-17).

Les auteurs concluent en émettant un souhait. Ils voudraient que le papier utilisé pour les cartes aériennes soit de la même qualité que celui utilisé dans la marine afin de pouvoir y tracer les routes en crayonnant et en gommant. Cette remarque peut paraître surprenante. Il semblerait que les cartes pour marins soient éditées sur du papier résistant aux frottements et dans une certaine mesure à l'humidité alors que les concepteurs de cartes aéronautiques n'aient pas imaginé que les navigateurs aériens seraient confrontés aux mêmes conditions. Les auteurs écrivent :

*Les cartes servent à tracer les routes et à porter les positions de l'aéronef. On doit donc les crayonner, les gommer et, lorsqu'elles sont usées, les remplacer. Il est à souhaiter que l'on emploie un papier analogue à celui des cartes marines, pratiquement inusable.*

*Cette dépense, quelque importante qu'elle paraisse, est insignifiante à côté des frais généraux de marche d'un avion. Il est utile, à ce sujet, de rappeler que bien des sinistres maritimes, survenus il y a une trentaine d'année, n'ont eu d'autre causes que l'économie mal comprise de certains capitaines qui, pour ne pas user les cartes, n'y portaient ni routes, ni points, ni relèvements.*<sup>1158</sup>

Avoir évoqué la sécurité que peut apporter une bonne utilisation des cartes n'a pas été suffisant pour inciter les fabricants de cartes à améliorer leurs produits. En effet, les quelques lignes citées précédemment sont encore présentes dans l'édition de 1940<sup>1159</sup>.

Hébrard et Duval introduisent ensuite le compas, en indiquant qu'il est indispensable pour suivre la loxodromie qui sera tracée sur la carte générale. La pratique de cet instrument leur semble inévitable : ils lui consacrent d'ailleurs une part importante du cours au travers d'un chapitre de huit pages.

### *Le compas*

La guerre a apporté des améliorations techniques au compas. En 1919, Hébrard et Duval se basent à la fois sur leurs expériences, mais aussi sur le matériel qu'ils peuvent observer. Ils ont à leur disposition des compas anglais et le compas français *AM1*, mais également des compas allemands comme le compas *Bamberg*, ce qui les amène à proposer la disposition schématique suivante (voir figure 119) :

---

<sup>1158</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, février 1921, p. 85.

<sup>1159</sup> HÉBRARD L. et DUVAL A.-B., *Traité pratique de navigation aérienne*, Paris, Gauthier-Villars, 4<sup>e</sup> éd. revue et mise à jour, 1940, p. 20.

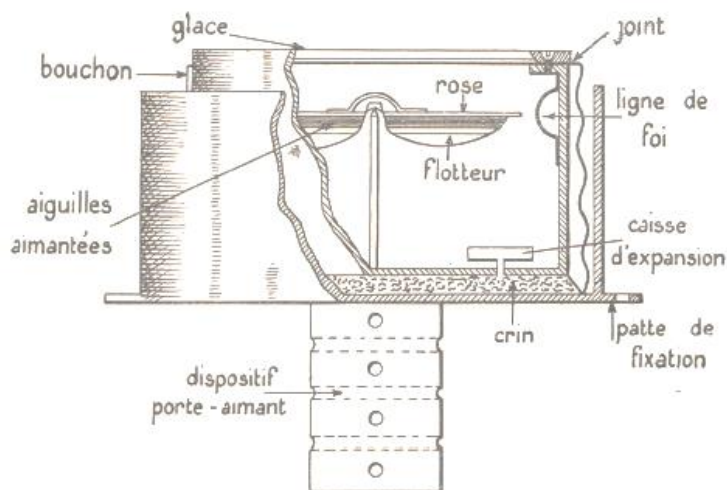


Figure 119 : Disposition schématique d'un compas de navigation aérienne.<sup>1160</sup>

Les auteurs s'attachent à comparer les compas utilisés dans les aéronefs et ceux utilisés à bord des navires. Ils écrivent qu'« à bord des aéronefs, l'expérience a montré que, tout comme sur les torpilleurs, les compas secs ne résistent pas aux vibrations et aux chocs. Aussi n'a-t-on adopté pour l'aéronautique que les compas à liquide »<sup>1161</sup>. Et toujours en comparant la marine et l'aéronautique, ils préviennent le lecteur que l'utilisation pratique de l'instrument nécessite de la persévérance :

*Il est évident que bien gouverner au compas est le résultat d'un léger apprentissage. C'est faute de s'être soumis à un entraînement préalable que beaucoup de pilotes accusent le compas de s'affoler. Ils lui reprochent les embardées qu'ils font. Par mauvais temps, la tenue d'un cap au compas est délicate ; il en est de même à bord des navires. D'ailleurs un bon timonier est parfois assez long à former, en marine. Les pilotes ne devront donc pas se décourager s'ils n'obtiennent pas des résultats parfaits du premier coup.*<sup>1162</sup>

Ces références aux pratiques maritimes sont assez courantes dans l'ouvrage, mais il est intéressant de noter que les auteurs remanieront leur texte pour les faire disparaître dans les éditions de 1935 et 1940. Il semblerait donc que Hébrard et Duval se libèrent progressivement de la tutelle des marins sur la navigation aérienne ou tout au moins qu'il n'y a plus lieu de s'y référer constamment pour présenter une notion.

Tout comme pour les ouvrages destinés aux marins, plusieurs pages sont réservées à la régulation et à la compensation d'un compas. Nous avons noté qu'il existait deux méthodes

<sup>1160</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, mars 1921, p. 122.

<sup>1161</sup> *Ibid.*

<sup>1162</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 123.

pour construire la courbe de déviation : soit dans un repère orthogonal, soit le diagramme de Napier (voir chapitre 3). Hébrard et Duval se contentent de présenter la première méthode (voir figure 120), suivant en cela les enseignements à l'École navale.

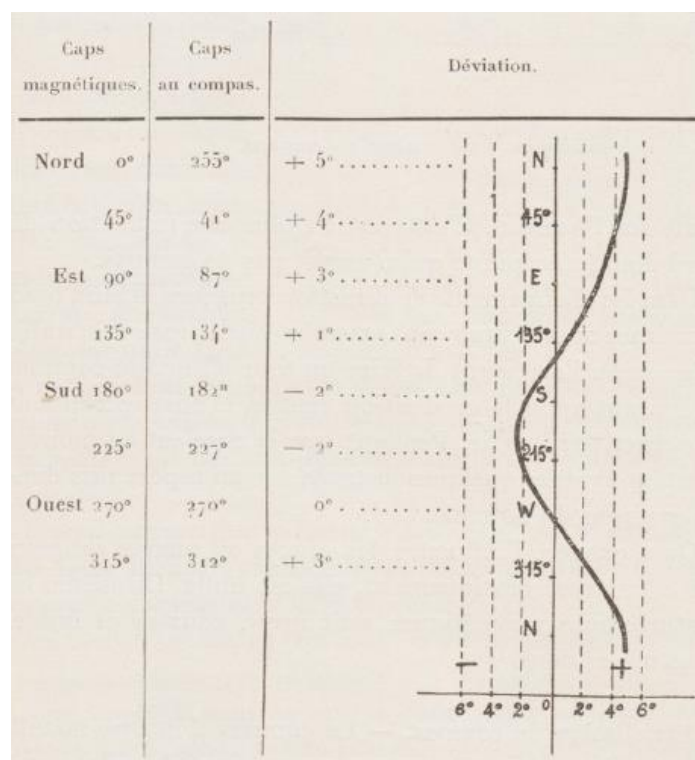


Figure 120 : Tableau et courbe des déviations naturelles.<sup>1163</sup>

### Les instruments

En plus des cartes et du compas, Hébrard et Duval consacrent plusieurs pages uniquement aux instruments de navigation (19 pages) sur trois mois de septembre à novembre 1921 (voir tableau 27). Ce listage des instruments n'est pas courant dans les ouvrages de cours destinés à la marine que nous avons étudiés car il existe des ouvrages particuliers spécifiquement prévus pour leur étude comme le *Manuel d'instruments nautiques* de Guyou paru en 1907 (voir chapitre 3).

Hébrard et Duval justifient leur choix en se référant à leurs expériences durant la guerre. Ils ont en effet remarqué que beaucoup de leurs camarades avaient une opinion tranchée sur les instruments de bord et sur les instruments de navigation. Soit l'instrument était au mieux inutile et au pire nuisible, soit le pilote lui faisait une confiance aveugle sans que l'une ou l'autre position soit étayée par un raisonnement ou même l'expérience. Hébrard et Duval insistent sur

<sup>1163</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 124.

le fait qu'« un instrument n'a de valeur que par celui qui l'utilise »<sup>1164</sup>. Ils souhaitent ainsi, par la description des divers instruments, que le lecteur puisse évaluer les avantages et les inconvénients de tel ou tel instrument et surtout qu'il ne le découvre pas le jour où il en aurait besoin dans des circonstances fâcheuses.

Les auteurs classent les divers instruments selon leur destination (navigation estimée, navigation observée, navigation astronomique), ce que nous avons regroupé dans le tableau suivant en évaluant leur degré d'utilisation (voir tableau 27).

## NAVIGATION ESTIMÉE

| <i>Instrument</i>                                          | <i>Degré d'utilisation</i>                                                                           |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Compas                                                     | Instrument de base.                                                                                  |
| Montre                                                     | Indispensable.                                                                                       |
| Journal de bord                                            | Imposé par les règlements.                                                                           |
| Indicateur de vitesse (Ogilvie, Badin, Estéré ou Pensuiti) | Délicat et à vérifier fréquemment, mais utile (source de nombreuses controverses entre pilotes).     |
| Altimètre                                                  | Pas à proprement parler un instrument de navigation.                                                 |
| Indicateur de virage                                       | Auxiliaire éventuel du compas pour décrire une loxodromie parfaite.                                  |
| Indicateur de pente                                        | Pas à proprement parler un instrument de navigation.                                                 |
| Niveaux gyroscopiques                                      | Indicateurs de pente précis uniquement si le pivot est en parfait état.                              |
| Clinomètre Badin                                           | Peuvent servir comme indicateur de pente longitudinale.                                              |
| Gyroclinomètre Le Prieur                                   | Antérieur au clinomètre Badin. Parfois difficile d'utilisation.                                      |
| Loch aérien                                                | Peut rendre de grands services à bord des dirigeables pour les longues traversées.                   |
| Cercle calculateur de dérive                               | Abaque pour déterminer les éléments inconnus de l'estime.                                            |
| Estimètre                                                  | Abaque pour déterminer les problèmes courants de l'estime.                                           |
| Cercle Leroy                                               | Abaque pour déterminer les problèmes de l'estime avec vent.                                          |
| Cercle abaque Cayla                                        | Abaque mécanique.                                                                                    |
| Indicateur jalonneur de route Dunoyer                      | Appareil ingénieux mais nécessitant de la réflexion et peu pratique dans les avions de cette époque. |

<sup>1164</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, septembre 1921, p. 361.

|                              |                                                                                                                                         |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cinéma dérivomètre type STAé | Simple et robuste pour mesurer la dérive et la vitesse absolue, mais obligeant à percer un large trou dans le plancher de la carlingue. |
| Navigraphe Le Prieur         | Pour mesurer la dérive et la vitesse absolue ainsi que la direction du vent. Un peu complexe à première vue mais simple à l'usage.      |
| Dérivomètre Wimperis         | Antérieur au navigraphe Le Prieur. Utilisé dans les hydravions et les dirigeables de l'Amirauté Britannique.                            |
| Viseur Cayère-Montagne       | Imaginé en 1917 comme viseur de bombardement, mais pouvant servir à la mesure de la dérive.                                             |

## NAVIGATION OBSERVÉE NON ASTRONOMIQUE

| <i>Instrument</i>                                  | <i>Degré d'utilisation</i>                                    |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Dérivomètre Christmas                              | Monté sur le porte-carte à rouleau.                           |
| Alidade de relèvement                              | Pour prendre les relèvements par rapport à la rose du compas. |
| Alidade à prisme pour compas de relèvement Dunoyer | Plus précis que l'instrument précédent.                       |
| Taximètre                                          | Remplace le compas de relèvement.                             |
| Taximètre graphique                                | Diminue les erreurs de relèvement.                            |

## NAVIGATION OBSERVÉE ASTRONOMIQUE

| <i>Instrument</i>                              | <i>Degré d'utilisation</i>                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sextant marin                                  | Peut s'utiliser à terre pour les aéronefs effectuant une longue traversée au-dessus d'un pays désertique. Peut s'utiliser en mer en amerrissant ou en se maintenant quelques mètres au-dessus de l'eau. |
| Sextant gyroscopique Derrien-Bonneau-Le Prieur | Fabrication pas encore totalement mise au point, mais les résultats sont encourageants. L'emploi reste délicat.                                                                                         |
| Sextants à bulle Favé                          | Pour faire le point en ballon libre.                                                                                                                                                                    |
| Sextant Baker                                  | D'un usage délicat.                                                                                                                                                                                     |

**Tableau 27 : Les instruments de bord et de navigation<sup>1165</sup>**

Les différents instruments cités par les auteurs sont de natures très diverses, mais ils illustrent l'importance à accorder aux trois types de navigation. Il est clair que la navigation estimée est la navigation de base surtout associée à la navigation observée (non astronomique). En revanche, étudier la navigation astronomique n'est pas indispensable en l'état actuel des

<sup>1165</sup> Tableau établi à partir du cours de Hébrard et Duval de 1921.

techniques, d'autant plus qu'ils expliquent pourquoi l'utilisation en vol du sextant marin est impossible :

*A bord des navires, les marins utilisent le sextant (...) on corrige l'angle lu sur l'instrument, d'une certaine quantité, fonction de la hauteur de l'œil au-dessus du niveau de la mer (dépression de l'horizon visuel) et de la réfraction atmosphérique. Malheureusement, cette méthode est inapplicable aux aéronefs, car d'une part l'altitude n'étant jamais exactement connue, la correction de dépression serait erronée et, d'autre part, l'horizon aperçu est en général une ligne brumeuse, située à la limite de la visibilité et non l'horizon visuel. Force est donc de recourir aux horizons artificiels.*<sup>1166</sup>

Nous avons listé les instruments cités par Hébrard et Duval, dans l'ordre d'apparition dans le traité, en les regroupant par type de navigation, reste à préciser ce à quoi ces différentes catégories de navigation font référence. Nous remarquerons également que les auteurs n'ont pas pris en compte la navigation électrique dans ce paragraphe consacré aux instruments.

#### *La navigation estimée*

Selon Hébrard et Duval, la navigation estimée est

*L'ensemble des procédés qui permettent de suivre une route déterminée et de connaître la position de l'aéronef, sans voir le sol, ni utiliser des procédés astronomiques ou radiogoniométriques.*<sup>1167</sup>

Un élément prend alors une importance capitale dans la navigation aérienne estimée. Il s'agit du vent et de son « influence sur la dérive »<sup>1168</sup>. Les auteurs tiennent à faire la distinction entre la dérive des navires et celle des aéronefs. Ils écrivent :

*On a l'habitude de comparer la dérive des aéronefs à celle des navires et d'appliquer par assimilation les procédés qui servent à la mesurer et à la corriger sur mer. C'est inexact, car la dérive des bateaux de surface, quand le sillage est oblique par rapport au cap, est due au vent frappant la partie non immergée, tandis que l'aéronef, plongé dans un même milieu, se déplace dans l'air selon son axe de marche.*<sup>1169</sup>

Cette remarque indique qu'il faut rester vigilant quant aux procédés qui peuvent être transposés de la marine à l'aéronautique. Cette transposition n'est pas possible dans le cas de

---

<sup>1166</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, novembre 1921, p. 459.

<sup>1167</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, mai 1921, p. 201.

<sup>1168</sup> *Ibid.*

<sup>1169</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 202.



la dérive. Il faut appliquer des règles de calcul différentes (éventuellement proche de celles pratiquées pour les sous-marins). Si  $V$  est la « vitesse propre » de l'aéronef et  $v$  la vitesse du vent, cela signifie que l'aéronef se déplace à la vitesse  $V$  dans l'air qui se déplace lui-même à la vitesse  $v$  par rapport au sol. La vitesse  $V'$  qui est la résultante de  $V$  et  $v$  est alors la « vitesse absolue » de l'aéronef. Les vitesses  $V$ ,  $v$  et  $V'$  forment le « triangle des vitesses » qui est à la base de toute navigation à l'estime par vent.

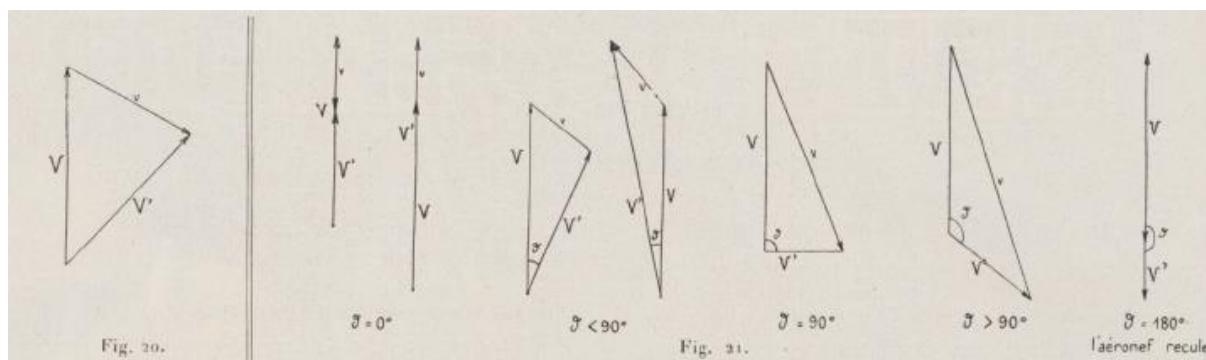


Figure 121 : Triangle des vitesses et exemples d'angles de dérive  $\theta$ .<sup>1170</sup>

Pour déterminer le cap à suivre, il conviendra alors dans un premier temps de résoudre le triangle des vitesses dont on connaît un angle (la différence entre la direction du vent et la route vraie) et deux côtés ( $v$  la vitesse du vent et  $V$  la vitesse propre). Il peut être résolu par une construction graphique ou à l'aide d'instruments de navigation.

Les auteurs, après avoir expliqué le procédé pour résoudre le triangle des vitesses, donnent des indications sur la résolution du point estimé. Ils reprennent pour cela les informations disponibles dans tous les ouvrages de navigation maritime. Hébrard et Duval concluent en rappelant que « bien que la navigation à l'estime soit la seule possible sans voir le sol, elle sert de base à toute navigation méthodique »<sup>1171</sup>. Ils espèrent ainsi faire comprendre que, même si le pilote peut observer le sol, il faut qu'il poursuive la navigation à l'estime, mais qu'il pourra la conforter par les repères observés au sol.

### *La navigation observée*

Hébrard et Duval définissent de manière originale ce qu'on appelle « faire le point ». Pour eux, toute navigation observée, qui permet de corriger l'erreur de l'estime, permet de faire le point. Cette définition leur permet d'inclure de nouveaux procédés, tels que l'« utilisation de repères

<sup>1170</sup>*Ibid.*

<sup>1171</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 205.

éloignés entendus par T.S.F. »<sup>1172</sup>, à l'observation directe du sol et à l'utilisation de « repères éloignés vus », les observations astronomiques étant étudiées succinctement en dernier dans le chapitre IV (voir tableau 26). Ils établissent alors un lien avec la géométrie en écrivant que « le point est déterminé par l'intersection sur la carte de deux ou plusieurs lignes appelées *lieux de la position de l'aéronef* »<sup>1173</sup>.

Dans le cas d'une observation directe du sol, qui est une spécificité de la navigation aérienne, ces lignes peuvent être une rivière ou la lisière d'une forêt. Mais les auteurs insistent encore une fois sur la différence qui existe entre le repérage de ces lignes et l'observation continue du sol pour se diriger :

*En tout cas, il ne faut pas confondre ce procédé de « faire le point » avec la comparaison continue du sol et de la carte, qui n'est que trop employée jusqu'ici, comme procédé de navigation.*<sup>1174</sup>

Nous retrouvons ici un avertissement régulièrement donné par ceux qui pratiquent la navigation aérienne à savoir qu'il faut faire la distinction entre se diriger en s'accommodant des éléments caractéristiques du paysage survolé et naviguer scientifiquement.

Une part importante de leur chapitre sur la navigation observée est consacrée à l'utilisation de « repères éloignés vus », ce qui est également une pratique courante dans les manuels pour les marins. Ils expliquent tout d'abord comment relever un angle au compas ou prendre en compte un alignement de repères afin d'obtenir des cercles ou des droites qui sont les lieux d'où sont vus les objets repérés.

### *La navigation à l'aide des phares aériens*

Le paragraphe sur les phares est ensuite longuement développé. Hébrard et Duval rappellent qu'il est plus difficile de se repérer de nuit que de jour. Le navigateur aérien peut certes se repérer grâce aux lumières des villes, mais ces repères peuvent être trompeurs. Les phares, qu'ils soient maritimes ou aéronautiques, sont plus sûrs pour naviguer. Les phares aéronautiques qui sont « destinés à éclairer depuis l'horizon jusqu'au zénith »<sup>1175</sup> sont naturellement parfaitement adaptés à la navigation aérienne. Mais les phares maritimes, bien qu'ils soient construits en principe pour être visibles de la surface de la mer, peuvent être utilisés par le navigateur aérien dès que l'aéronef n'est pas trop élevé. Les auteurs indiquent également

---

<sup>1172</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, juillet 1921, p. 281.

<sup>1173</sup> *Ibid.*

<sup>1174</sup> *Ibid.*

<sup>1175</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 284.

que ces deux balisages (aéronautique et maritime) sont en cours de développement vers 1920. Ils écrivent notamment :

*En aéronautique, nous aurons, d'ici peu, des phares à grande puissance, placés aux endroits où ils seront le plus visibles et le plus utile pour les aéronefs.*<sup>1176</sup>

Ou encore à propos des phares maritimes :

*Il est probable que, peu à peu, ces phares seront modifiés pour éclairer vers le zénith ; de plus certains d'entre eux qui sont masqués du côté de la terre vont être démasqués.*<sup>1177</sup>

Cette attente de moyens d'orientation visuels est légitimée par les liaisons de plus en plus nombreuses en avions entre les différentes villes françaises mais également les capitales européennes dès le début dès 1919 (voir chapitre 7).

### *La navigation à l'aide de la radiogoniométrie en 1920*

La radiogoniométrie est présentée longuement dans le chapitre sur la navigation observée. Il s'agit naturellement ici de traduire les émissions d'ondes en lieux géométriques. Comme nous l'avons déjà écrit (voir chapitre 5), les relèvements goniométriques sont basés sur l'utilisation d'un poste émetteur et d'un poste récepteur sous forme de cadre fixe ou mobile. Hébrard et Duval précisent qu'« on procède par extinction du son ; à ce moment une droite tracée, perpendiculairement au plan du cadre, donne sur la carte un lieu de la position du poste entendu »<sup>1178</sup>.

L'une des difficultés du procédé repose sur la nature de la ligne joignant les deux postes à savoir un arc de grand cercle. De ce fait, les cartes en projection de Mercator ne sont adaptées que pour des postes peu distants (moins de 200 km) lorsque l'orthodromie peut être assimilée à la loxodromie. Le procédé que vient d'inventer Favé (le calque Favé) est rapidement exposé. Il permettrait de tracer, beaucoup plus simplement et sans calcul, l'arc de grand cercle considéré directement sur la carte de Mercator.

*Par le parallèle Le de la latitude estimée on recherche la courbe qui coupe ce parallèle selon le relèvement obtenu C. On fait alors glisser le calque jusqu'à ce que cette courbe passe par le point du poste émetteur E.*

---

<sup>1176</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 285.

<sup>1177</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 284.

<sup>1178</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, août 1921, p. 321.

*Il suffit alors de tracer, sous forme d'une droite R, la portion de courbe voisine du point estimé.<sup>1179</sup>*

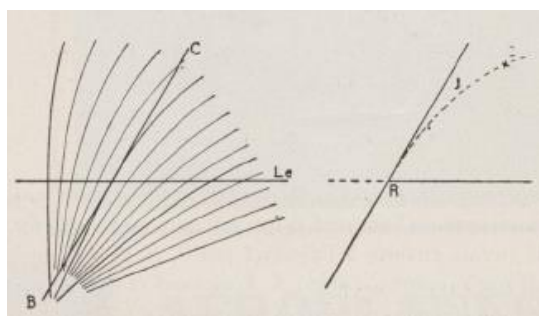


**Figure 122 : Illustration du procédé Favé.<sup>1180</sup>**

Ces explications sont sans doute insuffisantes et nécessitent probablement des éclaircissements lors d'une utilisation effective du procédé, par exemple en se référant aux explications données par Villain dans le *BNAé* (voir paragraphe précédent).

Mais le transfert d'un arc de grand cercle sur une carte de Mercator n'est pas le seul problème soulevé par la forme des ondes hertziennes. En effet, si la ligne a le plus souvent la forme d'un arc de grand cercle, il existe des anomalies locales ou temporaires. Le navigateur aérien doit donc rester prudent quant à la validité des relèvements radiogoniométriques car la loi qui régit ces anomalies n'est pas connue. Hébard et Duval lui conseillent de vérifier régulièrement la position obtenue par radiogoniométrie à l'aide d'autres procédés.

Une autre difficulté du procédé radiogoniométrique est plus technique. Faut-il utiliser un cadre fixe ou mobile ? Faut-il que le récepteur soit à terre ou à bord de l'aéronef ? Les auteurs comparent les différentes possibilités en présentant les avantages et les inconvénients de l'une par rapport à l'autre. Ils reviennent, dans l'édition de 1921, sur les mésaventures des zeppelins qui ont privilégié le cadre à terre (voir chapitre 5) :

*Ce procédé est le plus précis de tous. Malheureusement, il est long et nécessite une discipline de procédure presque impossible à réaliser dès que plusieurs aéronefs naviguent ensemble dans la même région. C'est le procédé qu'employaient les Zeppelins en temps de guerre. Son manque de discrétion a causé la perte de plusieurs d'entre eux.<sup>1181</sup>*

<sup>1179</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 322. Ce procédé qui n'est qu'évoqué en 1921 sera plus développé dans les éditions suivantes.

<sup>1180</sup> *Ibid.*

<sup>1181</sup> *Ibid.*

### *La navigation aérienne astronomique*

Les auteurs consacrent encore quelques colonnes au procédé radiogoniométrique, mais indiquent qu'approfondir davantage la question sort du cadre de l'ouvrage. Ils précisent également ne pas trop vouloir développer la partie destinée à la navigation astronomique car ils souhaitent montrer « combien son emploi en navigation aérienne reste subordonné à l'instrument de mesure [sextant] qui n'est pas encore assez au point pour être d'un usage courant »<sup>1182</sup>.

Hébrard et Duval donnent quelques informations succinctes sur le cercle de hauteur et la droite de hauteur. Elles ne sont toutefois pas suffisantes pour qu'un navigateur puisse les appliquer concrètement. Les auteurs les donnent simplement « pour mémoire »<sup>1183</sup>, à charge au navigateur curieux d'approfondir la notion de navigation astronomique ailleurs, c'est-à-dire, à cette époque, dans les ouvrages pour les marins. Nous pouvons noter toutefois quelques pratiques spécifiques à l'aéronautique relevées par Hébrard et Duval. Ils indiquent que la droite de hauteur se détermine habituellement à l'aide des logarithmes mais que cette méthode de calcul, qui permet des résultats précis, « offre des inconvénients majeurs (perte de temps, difficultés de calculer à cause du manque de confortable) »<sup>1184</sup>. Ils conseillent au navigateur aérien de se pencher sur le nouveau procédé mis au point par Favé (procédé Favé-Brill) pour faire un point plus rapidement.

La précision sur l'existence de procédés tels que celui de Favé, permet de comprendre pourquoi l'ouvrage ne comprend pas de références aux différentes tables de calculs nautiques, les navigateurs aériens leur préférant des procédés graphiques ou mécaniques. Relevons qu'il s'agit là d'une différence notable entre un ouvrage destiné à la navigation maritime et un ouvrage pour la navigation aérienne, particularité qui se retrouvera dans les écrits diffusés ultérieurement.

### *Le rôle du navigateur*

Hébrard et Duval concluent leur ouvrage par un dernier chapitre sur la pratique effective de la navigation. Ils en profitent pour exprimer leur avis sur la composition d'un équipage. Selon eux, l'homme est plus important que l'instrument, mais encore faut-il qu'il soit disponible pour déterminer la route à suivre. Ils préconisent que le navigateur soit distinct du pilote, ce qui est déjà le cas sur les gros avions de transport public. L'idéal étant de disposer de deux hommes

---

<sup>1182</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 323.

<sup>1183</sup> *Ibid.*

<sup>1184</sup> *Ibid.*

tour à tour pilote et navigateur. Selon eux le rôle du mécanicien devrait évoluer car en vol son rôle est inutile. De ce fait ils demandent :

*Que sur les avions transportant un mécanicien, celui-ci remplisse le rôle de navigateur. C'est facile ; tous les mécaniciens de transport public que nous avons approchés se sont intéressés aux questions de navigation et montraient des dispositions telles qu'en peu de mois ils deviendraient d'excellents navigateurs.*<sup>1185</sup>

Cet appel est entendu par des mécaniciens qui passeront le brevet de navigateur, mais pas obligatoirement par les compagnies qui continueront de prévoir des équipages constitués d'un pilote, d'un mécanicien puis également d'un radio qui pourra déterminer la position de l'aéronef grâce à la TSF. Ainsi la compagnie fondée par Latécoère utilise, durant de nombreuses années à partir de 1918, des *Breguet-14* où prennent place uniquement un pilote et un mécanicien (voir chapitre 7) et nous n'avons pas trouvé de mention de brevet de navigateur passé par ces mécaniciens.

Le traité, publié sur l'année 1921 par la revue *L'Aéronautique*, a visiblement convenu aux lecteurs puisqu'il a été suivi dès 1922 par un manuel édité par Gauthier-Villars (qui édite également la revue). Ce manuel reprend intégralement le contenu publié dans la revue alors que la deuxième édition, de 1928, sera déjà légèrement remaniée.

### *L'édition de 1928*

Les auteurs retravaillent légèrement le contenu et la forme de leur traité (qui est en in-8 au lieu d'in-4) dans l'édition de 1928, pour tenir compte de l'évolution des pratiques. Certains instruments disparaissent de la nouvelle édition. Ainsi, seuls le sextant marin et le sextant Favé sont conservés dans la rubrique sextant.

Hébrard et Duval qui, dans les deux premières moutures, conseillaient aux lecteurs désirant des informations complémentaires de se tourner vers les cours de Thierry, les orientent dorénavant, en plus, vers « les cours institués à l'école de perfectionnement de l'Aéronautique »<sup>1186</sup>.

Les auteurs déploraient en 1921 et 1922 que les cartes de Mercator ne possédaient pas de double échelle mille marins et kilomètres. Ce n'est plus un problème en 1928 puisqu'ils indiquent :

---

<sup>1185</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, décembre 1921, p. 509.

<sup>1186</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Traité pratique de navigation aérienne*, Gauthier-Villars, 2<sup>e</sup> éd., 1928, p. X.

*Les cartes de Mercator employées en aéronautique sont graduées en mille marins et en kilomètres, les vitesses se comptant actuellement en kilomètres-heures et les autres cartes aéronautiques étant graduées en kilomètres. Les échelles kilométriques sont placées en index dans la marge.*<sup>1187</sup>

Il n'y a finalement que très peu de modifications entre les publications de 1921-1922 et celle de 1928. Cette particularité peut indiquer que la navigation aérienne a elle-même connu peu d'évolution dans les années 1920.

## 5) Les formations pour les militaires

Certains militaires ayant constaté, d'une part la création de cours de navigation aérienne pour les pilotes civils par le SNAé, et d'autre part l'absence de telles formations dans l'aéronautique militaire, appellent de leurs vœux la création d'un cours qui leur serait destiné. Ainsi le capitaine Jean Dagnaux<sup>1188</sup> écrit en 1922 dans *La revue de l'Aéronautique Militaire* :

*Aussi la nécessité de la création d'un cours de navigation aérienne se fait-elle sentir. Il serait destiné non seulement à former des navigateurs, mais aussi et surtout, tout au moins dans ses débuts, à vaincre les préjugés et la méfiance qui entourent les instruments et les méthodes de navigation, à leur substituer une confiance absolue par la démonstration et à répandre dans l'aviation militaire le goût de leur étude.*<sup>1189</sup>

Pour Dagnaux, la nécessité de tels cours est évidente pour au moins deux autres raisons, en dehors d'une simple connaissance des procédés à appliquer en missions lointaines. D'une part, en cas de nouveau conflit, les militaires ne peuvent pas être ignorants de la navigation scientifique que maîtriseront les pilotes civils qui viendront servir sous leurs ordres ou à leurs côtés. D'autre part, il faudrait que l'aéronautique militaire occupe une place comparable à celle qu'a la marine militaire dans la marine, « celle d'une élite professionnelle, peut-être moins rompue à la pratique (...) mais toujours au courant de toutes les recherches et à la tête de tous les progrès »<sup>1190</sup>. Ici Dagnaux semble craindre la suprématie des civils dans l'aéronautique, mais c'est loin d'être le cas en 1922 puisque les militaires sont omniprésents dans la création de l'aviation commerciale (voir chapitre 7)<sup>1191</sup>.

---

<sup>1187</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Op. Cit.*, p. 13.

<sup>1188</sup> Jean Dagnaux (1891-1940).

<sup>1189</sup> DAGNAUX J., « Les méthodes de navigation aérienne, leur emploi dans l'aéronautique militaire, la nécessité et les conséquences de leur diffusion », *La Revue de l'Aéronautique Militaire*, janvier-février 1922, in *Navigation*, n° 191, juillet 2000, p.92.

<sup>1190</sup> DAGNAUX J., *Op. Cit.*, p.91.

<sup>1191</sup> MARKOVIC S., « Le rôle de l'Etat dans la naissance de l'aviation commerciale française (1918-1933) », *Revue belge de philologie et d'histoire*, tome 78, fasc. 3-4, 2000. Histoire médiévale, moderne et contemporaine - Middeleeuwse, moderne enhedendaagse geschiedenis. pp. 969-991.

### *L'École militaire et d'application de l'aéronautique*

Une école est créée finalement à Versailles en décembre 1925. L'École militaire et d'application de l'aéronautique, installée dans les « petites écuries » du château de Versailles succède au Centre d'études de l'aéronautique. Ce Centre d'études est fondé par le général Joseph Barès<sup>1192</sup>, qui avait auparavant présidé aux travaux de la commission internationale de désarmement aérien et est institué par l'instruction provisoire du 30 mai 1921. Un cours de navigation aérienne était déjà proposé au Centre d'études de l'aéronautique avec notamment comme professeurs les lieutenants de vaisseau Sales et Robert Battet<sup>1193</sup>. Les cours de l'École militaire et d'application de l'aéronautique sont ensuite réorganisés. L'école y propose une formation sur deux ans à des élèves issus du grade de sous-officiers ainsi qu'à de jeunes sous-lieutenants issus de l'École spéciale militaire de Saint-Cyr et de l'École polytechnique<sup>1194</sup>.

Max Dévé<sup>1195</sup> donne un cours de navigation aérienne à l'École militaire et d'application de l'aéronautique à des élèves et à des stagiaires de 1927 à 1934 (voir paragraphe suivant). Il se tourne vers l'aéronautique militaire durant la guerre<sup>1196</sup>. Il passe ensuite son Brevet de pilote militaire en 1921 et obtient le Brevet supérieur de navigateur en 1926 après être passé par le Cours supérieur de navigation aérienne de Brest proposé aux militaires par la Marine (voir paragraphe suivant)). Dévé a l'occasion de mettre en pratique ses cours lors de plusieurs raids dont le Paris-Nouméa en 1932 (voir chapitre 8)<sup>1197</sup>.



**Figure 123 : Portrait de Max Dévé.**<sup>1198</sup>

<sup>1192</sup> Joseph Barès (1872-1954).

<sup>1193</sup> Les lieutenants de vaisseau Sales et Battet reçoivent un témoignage officiel de satisfaction en novembre 1925 « pour les résultats remarquables qu'ils ont obtenus comme professeur du cours de navigation aérienne ». *Ouest-Éclair*, 25 novembre 1925, p. 7. Robert Battet (1893-1950).

<sup>1194</sup> GRIGAUT C. (G<sup>al</sup>), « L'École de l'air », *Revue historique des armées*, HS n°1, 1969, p. 152.

<sup>1195</sup> Max Dévé (1893-1976). École navale (admissible en 1914).

<sup>1196</sup> Il est un officier d'artillerie puis un observateur aérien.

<sup>1197</sup> DÉVÉ M., « Première liaison aérienne France-Nouvelle-Calédonie Paris-Nouméa », *Revue du S.G.A.C.*, 1972, pp. 95-120.

<sup>1198</sup> Photographie de la page [https://fr.wikipedia.org/wiki/Max\\_D%C3%A9v%C3%A9](https://fr.wikipedia.org/wiki/Max_D%C3%A9v%C3%A9), consulté le 13 août 2018.



Le tableau suivant (voir tableau 28) est la retranscription du programme d'étude d'un groupe de commandants, stagiaires à l'École militaire et d'application de l'aéronautique, du 5 au 21 juillet 1927 :

| Jours      | Heures                            | Matin                                                                                                                                                                                                                                                                | Heures                                            | Soir                                                                                                                                                                                    |
|------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mardi 5    | 9h15 à 10h15<br><br>10h30 à 11h30 | Organisation de l'aéronautique en temps de paix et en temps de guerre. Sa mobilisation<br><br>L <sup>t</sup> C <sup>i</sup> Berger<br><br>Le moteur d'avion - Tendances actuelles - Amélioration du rendement - Moteurs nouveaux<br><br>C <sup>ne</sup> Leparmentier | 13h30                                             | Visite d'une usine de moteurs<br><br>C <sup>ne</sup> Leparmentier                                                                                                                       |
| Mercredi 6 | 9h15 à 10h15<br><br>10h30 à 11h30 | L'aviation d'observation (1 <sup>e</sup> conférence)<br><br>C <sup>dt</sup> Escudier<br><br>La construction des avions - Matériaux - Perfectionnements d'avions nouveaux et à l'étude.<br><br>L <sup>t</sup> Tilly                                                   | 13h30                                             | Visite d'une usine d'avions<br><br>L <sup>t</sup> Tilly                                                                                                                                 |
| Jeudi 7    | 9h15 à 10h15<br><br>10h30 à 11h30 | L'aviation de chasse<br><br>C <sup>dt</sup> Petit<br><br>L'aviation d'observation (1 <sup>e</sup> conférence)<br><br>C <sup>dt</sup> Escudier                                                                                                                        | 13h30                                             | Visite du S.T.Aé à Villacoublay et à Issy-les-Moulineaux<br><br>C <sup>ne</sup> Leparmentier et L <sup>t</sup> Tilly                                                                    |
| Vendredi 8 | 9h15 à 11h30                      | Exercice sur la carte (1 <sup>e</sup> séance)<br><br>L <sup>t</sup> C <sup>i</sup> Berger<br>Et professeurs                                                                                                                                                          | 13h30 à 15h<br><br>15h15 à 16h15<br>16h30 à 17h30 | Visite des divisions de l'École.<br><br>Technique<br><br>Ing <sup>r</sup> en chef Etévé<br><br>Photo<br><br>L <sup>t</sup> Lespert<br><br>Radio<br><br>C <sup>dt</sup> Dufeu de Laroque |
| Samedi 9   | 9h15 à 10h15<br><br>10h30 à 11h30 | La D.C.A. son emploi<br><br>C <sup>ne</sup> Belz<br><br>La mobilisation industrielle<br><br>Ing <sup>r</sup> Blanchet                                                                                                                                                |                                                   |                                                                                                                                                                                         |
| Lundi 11   | 9h15 à 10h15<br><br>10h30 à 11h30 | La navigation aérienne (1 <sup>ère</sup> conférence)<br><br>C <sup>ne</sup> Dévé<br><br>Tactique navale. L'aéronautique dans la guerre navale<br><br>C <sup>ne</sup> de Frégate Fournier                                                                             | 13h30 à 16h                                       | Visite aux Mortemets, matériel d'aérostation, son emploi<br><br>C <sup>dt</sup> Néant                                                                                                   |
| Mardi 12   | 9h15 à 10h15<br><br>10h30 à 11h30 | L'aviation de bombardement<br><br>C <sup>dt</sup> Petit<br><br>La photographie aérienne<br><br>C <sup>ne</sup> Seive                                                                                                                                                 | 13h30                                             | Visite du port-aérien du Bourget<br><br>1° Navigation aérienne<br><br>C <sup>ne</sup> Dévé<br><br>2° Service médical<br><br>M <sup>or</sup> Mouchard                                    |

|             |                                               |                                                                                                                                                                                             |                                    |                                                                                                                                                           |
|-------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mercredi 13 | 9h15 à<br>10h15<br>10h30 à<br>11h30           | La météorologie et l'aviation<br>C <sup>ne</sup> Bureau<br>Rôle du commandant de groupe en ce qui concerne<br>la surveillance technique du matériel<br>C <sup>dt</sup> Magnin               | 13h30                              | Visite de Chalais-Meudon<br>C <sup>ne</sup> Leparmentier                                                                                                  |
| Jeudi 14    |                                               |                                                                                                                                                                                             |                                    |                                                                                                                                                           |
| Vendredi 15 | 9h15 à<br>11h30                               | Exercice sur la carte (2 <sup>e</sup> séance)<br>L <sup>t</sup> C <sup>l</sup> Berger<br>Et professeurs                                                                                     | 13h30                              | Visite de l'E.S.A. n°2<br>C <sup>ne</sup> Domino                                                                                                          |
| Samedi 16   | 9h15 à<br>10h15<br>10h30 à<br>11h30           | Le commandement du régiment d'aviation<br>(1 <sup>re</sup> causerie)<br>L <sup>t</sup> C <sup>l</sup> Berger<br>L'aviation au Maroc<br>C <sup>ne</sup> Bouscat                              |                                    |                                                                                                                                                           |
|             |                                               |                                                                                                                                                                                             |                                    |                                                                                                                                                           |
| Lundi 18    | 9h15 à<br>10h15<br>10h30 à<br>11h30           | Etude de la préparation d'un voyage au point de<br>vue de 1° la météorologie, 2° la navigation<br>aérienne<br>C <sup>ne</sup> Dévé<br>Les aviations étrangères<br>C <sup>ne</sup> Rousselet | 13h30 à<br>15h<br>15h30 à<br>17h30 | Visite de la météorologie au fort<br>de St Cyr<br>C <sup>dt</sup> Petit – M. Durr<br>Visite du M.G.A.4 et de<br>l'E.S.A.3<br>C <sup>ne</sup> Domino       |
| Mardi 19    | 9h15 à<br>11h30                               | Exercice sur la carte (3 <sup>e</sup> séance)<br>L <sup>t</sup> C <sup>l</sup> Berger<br>Et professeurs                                                                                     | 13h30 à<br>14h30<br>14h45          | Le commandement du régiment<br>d'aviation (1 <sup>re</sup> causerie)<br>L <sup>t</sup> C <sup>l</sup> Berger<br>Mise en route des stagiaires sur<br>Tours |
| Mercredi 20 | Exercice sur la carte et sur le terrain Tours |                                                                                                                                                                                             |                                    |                                                                                                                                                           |
| Jeudi 21    | Exercice sur la carte et sur le terrain Tours |                                                                                                                                                                                             |                                    |                                                                                                                                                           |

**Tableau 28 : Rectificatif au Tableau de Travail du Cycle d'instruction des commandants du 5 au 21 juillet 1927 inclus.**<sup>1199</sup>

Parmi les 25 heures de conférences, données aux « petites écuries », six heures concernent des exercices sur la carte et deux heures sont des leçons de navigation aérienne données par Dévé. Il revient l'après-midi du mardi 12 juillet pour une visite du port aérien du Bourget. Enfin, les deux dernières journées sont consacrées à la pratique, dont les exercices sur la carte.

La part de la navigation aérienne est donc relativement importante même si les notions abordées restent d'un niveau modeste. En effet, Dévé indique dans une note à propos de la navigation astronomique de son *Cours de Navigation aérienne* : « Nous ne donnons ici qu'un

<sup>1199</sup> Retranscription du tableau de travail à partir des archives de la famille Dévé.

aperçu des méthodes, cette question sortant du cadre du Cours est réservée aux « Cours de perfectionnement de navigation aérienne » de Brest »<sup>1200</sup> (cours qu'il a d'ailleurs lui-même suivi). Il invite cependant ses élèves (probablement plus que les stagiaires) à se documenter sur la navigation astronomique. S'il explique que faire le point astronomique est quasi impossible en 1928, du fait de l'imprécision de prise des hauteurs d'astres, il remarque que cette méthode peut être appliquée si l'équipage est perdu dans le désert ou en mer<sup>1201</sup>.

## 6) Les formations maritimes de pilotes

L'aéronautique maritime s'est progressivement développée depuis 1910 (voir chapitre 4). Différents décrets réorganisent les services en 1921 et 1924, en restaurant le Service central de l'aéronautique maritime après la suppression de la Direction générale de la guerre sous-marine le 1<sup>er</sup> décembre 1918. Suite au décret du 4 novembre 1924, le Service central de l'aéronautique maritime comprend une division militaire, incorporée à l'État-major général et une division technique et administrative qui relève directement du ministre de la Marine<sup>1202</sup>. La Marine coopère avec les militaires durant les années 1920 même si des tensions existent.

Les militaires ont remarqué les qualités de navigateur des pilotes de l'aéronautique maritime lors de la guerre du Rif (1925-1926<sup>1203</sup>) et l'intérêt que peut présenter leur formation. Une nouvelle conception de l'utilisation de l'aviation voit le jour durant ce conflit en raison notamment de la complexité géographique de la région et de l'organisation armée des Rifains<sup>1204</sup>. L'aéronautique militaire sur place est renforcée par l'arrivée de deux escadrilles de bombardiers de l'aviation maritime en septembre 1925. Les marins sont en effet sollicités pour remédier notamment aux carences des équipages militaires en matière de navigation lors des bombardements à longue distance<sup>1205</sup>. La préparation des vols, faite de « calculs minutieux », par les officiers de l'aviation maritime de la 5B2 contraste avec la pratique des vols à vue des pilotes du 37<sup>e</sup> régiment du colonel Armengaud<sup>1206</sup>. Les succès obtenus grâce à une navigation aérienne pratiquée par des marins démontrent l'importance pour tous les aviateurs d'en maîtriser les bases. Le ministre de la Guerre demande alors au ministère de la Marine d'ouvrir

---

<sup>1200</sup> DÉVÉ M., *Cours de Navigation aérienne*, Typo-Litho de l'École militaire de l'aéronautique de Versailles. 1928, p. 100.

<sup>1201</sup> DÉVÉ M., *Op. Cit.*, p. 104.

<sup>1202</sup> FEUILLOY R., « L'aéronautique navale » in *Les Français du ciel*, ROBINEAU L (Dir.), Le cherche midi, 2005, p. 602.

<sup>1203</sup> Pour la participation française.

<sup>1204</sup> KRUGLER G., « La puissance aérienne dans la guerre du Rif », *Revue historique des armées*, 268 | 2012.

<sup>1205</sup> LE ROY Th., *Les bretons et l'aéronautique des origines à 1939*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2002, p. 324.

<sup>1206</sup> *Ibid.* Voir MORAREAU L., « L'escadrille 5B2 au Maroc », *Les cahiers de l'ARDHAN n°16*, ARDHAN, 2008.

le Cours supérieur de navigation aérienne de Brest aux militaires, mais aussi aux pilotes civils des compagnies aériennes qui commencent à se développer<sup>1207</sup>.

### *Formations aéronautiques des marins*

L'Aéronautique militaire a longtemps (à partir de 1911) formé les pilotes de l'aviation maritime (voir chapitre 4) et continue de le faire dans l'entre-deux-guerres. Mais la Marine utilise en majorité des hydravions, contrairement à l'armée, donc les marins volants doivent recevoir une formation complémentaire ou même spécifique.

Contrairement à ce qui s'est passé durant la Première guerre mondiale, quelques jeunes gens s'engagent dans la Marine afin de voler, surtout à partir du milieu des années 1920<sup>1208</sup>. Plusieurs spécialités peuvent être concernées par la pratique de la navigation aérienne. En effet, les pilotes d'hydravions et d'avions terrestres, les pilotes de l'aérostation mais aussi les observateurs, les spécialistes en photographie aérienne et les radiotélégraphistes volants doivent acquérir des connaissances, avec des degrés d'approfondissement variables, dans ce domaine.

Trois écoles prennent en charge la formation de ces pilotes d'hydravions au début des années 1920 : Saint-Raphaël (créée en 1916), Hourtin (créée en 1917) et Berre, l'école d'Hourtin se chargeant seule de la formation des pilotes d'hydravion à partir de 1924. Le CAM de Rochefort conserve, quant à lui, la formation des différentes spécialités de l'aérostation<sup>1209</sup>. La Marine envisage de créer un cours d'élèves aspirants officiers à destination des futurs officiers de réserve à Saint-Raphaël en 1922 mais le projet n'aboutit pas.

La Marine, ne souhaitant pas que son aviation lui échappe, décide finalement de créer un cours de navigation à Brest. Le Cours supérieur de navigation aérienne voit le jour le 28 novembre 1924. Cette création arrive à point nommé pour contrecarrer les projets qui avaient pour but de confier la formation des pilotes de la Marine (et de l'Armée) aux écoles civiles dans un souci d'économie<sup>1210</sup>.

### *Le Cours de navigation aérienne de Brest*

Les élèves de l'École navale sont incités à se tourner vers l'aéronautique maritime sans vraiment beaucoup de succès. En effet, les difficultés de recrutement de cadre de l'aéronautique parmi les officiers de marine perdurent jusqu'à la veille de la Seconde guerre mondiale<sup>1211</sup>. Les élèves

---

<sup>1207</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 325.

<sup>1208</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 306.

<sup>1209</sup> MARIET V., *Rochefort dans la Grande guerre. L'Aérostation et les ballons de la Marine*, Mémoire Master Histoire RIHMA 2015-2016, p.161.

<sup>1210</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 309.

<sup>1211</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 311.

bénéficient pourtant de quelques heures de cours théoriques dès 1925 et même d'une initiation au pilotage à partir de 1931<sup>1212</sup>. Le lieutenant de vaisseau Paul Serpette<sup>1213</sup> également en charge du Cours supérieur de navigation aérienne, assure les cours d'aéronautique durant la première année à l'École navale à partir du 12 septembre 1925. Mais le contenu des cours de navigation aérienne semble très léger : « on leur disait simplement que c'était la même chose que sur la mer »<sup>1214</sup>.

Le Cours supérieur de navigation aérienne de Brest voit le jour à l'automne 1925. Serpette assure le cours et l'instruction en vol d'un premier groupe de stagiaires venu de Paris le 15 octobre 1925<sup>1215</sup>. Le lieutenant de vaisseau Joseph Le Brix<sup>1216</sup> succède à Serpette, à la fois comme professeur d'aéronautique à l'École navale et comme professeur au Cours supérieur de navigation aérienne, au printemps 1928. Il est lui-même remplacé dès 1929 par le lieutenant de vaisseau Guillaume Chassin<sup>1217</sup>.

Le bon niveau de la formation de ce cours semble avoir été reconnu malgré les faibles moyens dont il disposait. Chassin rapporte les propos du colonel envoyé comme président de la commission d'examen en 1929 :

*Votre cours a une cote formidable dans l'aviation. Il faut qu'il la conserve. Pour cela il faut que le certificat qui le couronne ait la réputation d'être difficile à obtenir.*<sup>1218</sup>

La qualité du cours doit beaucoup à l'implication des différents directeurs. Ils peuvent également compter sur l'assistance de trois premiers-maîtres soigneusement choisis parmi des pilotes, des radios ou des mécaniciens (des « volants »)<sup>1219</sup>. Chassin, afin d'instaurer un climat de confiance, accueille ses premiers élèves, non au château de Brest où seront dispensés l'essentiel des cours, mais à la terrasse du « Conti », le grand café de Brest au printemps 1929. Il découvre alors la promotion du semestre qui comprend onze élèves (neuf militaires et deux civils)<sup>1220</sup>. Il semblerait que Serpette et Le Brix aient eu un peu moins d'élèves dans chacune de leurs sessions semestrielles (entre six et huit)<sup>1221</sup>. Mais dans tous les cas, un effectif restreint

---

<sup>1212</sup> Note du 22 janvier 1931 citée par LE ROY Th. *Op. Cit.*, p. 310.

<sup>1213</sup> Paul Serpette (1895-1957). École navale (promotion 1914).

<sup>1214</sup> Témoignage de M. Clayssen, recueilli par Th. Le Roy le 6 février 1993. LE ROY Th. *Op. Cit.*, p. 311.

<sup>1215</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 325.

<sup>1216</sup> Joseph Le Brix (1899-1931). École navale (promotion 1918).

<sup>1217</sup> Guillaume Chassin (1902-1970). Plus connu sous le nom de Lionel Chassin. École navale (promotion 1919).

<sup>1218</sup> CHASSIN L., « Ce grand diable taillé à la serpe », *Icare*, 1974, p. 190.

<sup>1219</sup> PESLIN Ch. Y., « Antoine de Saint-Exupéry à Brest et le Cours Supérieur de navigation aérienne », *Les Cahiers de l'Iroise*, n°1, janvier-mars 1975, p. 24.

<sup>1220</sup> Il s'agit d'Argoubet, Antznberg, Bodet, Bizouard, de France, Gaudillere, Lauzin, Plusquellec et Veyssière pour les militaires et Clériot et Saint-Exupéry pour les civils. CHASSIN L., *Op. Cit.*, p. 188.

<sup>1221</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 326.

et un recrutement exigeant (« les meilleurs officiers de l'aviation terrestre » selon Le Brix<sup>1222</sup>) permettent un enseignement individualisé et poussé.

Les objectifs du cours, selon le général Voisin, sont de « transposer dans l'aéronautique les méthodes de navigation millénaire de la marine, navigation à l'estime, navigation astronomique »<sup>1223</sup>. Cette transposition est déjà en partie réalisée pour la navigation à l'estime. Mais il considère que des progrès restent à faire et précise qu'il faut surtout que les équipages militaires apprennent à faire enfin confiance en leur compas qu'ils auront appris à compenser et à réguler selon les méthodes de la marine. Il met ainsi l'accent sur la nécessité d'une formation à la navigation à l'estime (pour laquelle le cap est « scientifiquement prouvé »<sup>1224</sup>) et non plus une utilisation du compas comme un auxiliaire de la carte. À l'inverse, il semble considérer que la transmission des connaissances en navigation astronomique est prématurée du fait du peu d'utilité qui lui est reconnue, en 1929, dans l'aéronautique.

### *Un livre du Cours de navigation aérienne de Brest*

Le contenu de l'ouvrage *Cours de navigation aérienne de l'École de Perfectionnement de navigation de Brest* ne semble pas aller totalement dans le sens de Voisin. En effet, trente-quatre pages de la partie II, consacrée à la navigation, sont réservées à la navigation astronomique et, surtout, la partie VII s'intéressant à l'état d'avancement de la navigation aérienne au début de 1926 traite principalement de la navigation astronomique (voir extrait 12).

|                                                                                              |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| VII Etat d'avancement en février 1926 des études relatives à la navigation aérienne en avion | p. 297 |
| I Navigation estimée                                                                         | p. 299 |
| II Navigation astronomique                                                                   | p. 300 |
| I Conditions particulières de la navigation en avion                                         | p. 300 |
| II Du sextant                                                                                | p. 302 |
| III Des montres                                                                              | p. 307 |
| IV Des cartes                                                                                | p. 307 |
| V Tables et abaques spéciales                                                                | p. 307 |
| VI Abaque Brill                                                                              | p. 308 |
| VII Application des formules et procédés de la navigation aérienne                           | p. 311 |
| VIII Méthode d'observation – Types de calculs préconisés                                     | p. 312 |
| IX Méthodes de navigation                                                                    | p. 313 |
| Annexe I : Quadrant à niveau sphérique Favé                                                  | p. 319 |

### **Extrait 12 : Sommaire de la partie VII du *Cours de navigation aérienne de l'École de Perfectionnement de navigation de Brest***<sup>1225</sup>

<sup>1222</sup> Cité par CHASSIN L., « Souvenirs sur Le Brix », *La Revue Maritime*, 2<sup>e</sup> semestre 1950, p. 1649.

<sup>1223</sup> Général Voisin cité par PESLIN Ch. Y., *Op. Cit.*, p. 23.

<sup>1224</sup> *Ibid.*

<sup>1225</sup> MINISTÈRE DE LA GUERRE, *Cours de navigation aérienne de l'École de Perfectionnement de Navigation de Brest*, pp. 297-321.

Il semblerait donc que les enseignants aient eu à cœur d'expliquer la navigation astronomique aux élèves de l'école, même en 1927. Nous remarquons qu'il ne s'agit pas ici de présenter aux militaires (et aux civils) ce qui se fait à bord des navires mais bien ce qui peut être utilisé à bord des avions avec un matériel et des procédés adaptés.

Les cours se partagent en une partie théorique et une partie pratique. Mais si le niveau mathématique des cours est assez élevé, Chassin s'attache à le faire comprendre et assimiler à ceux qui ont le plus de difficulté. Pour cela, Chassin et les élèves issus de Polytechnique servent de répétiteurs aux élèves de niveau moins élevé, notamment à ceux qui sortent de Saint-Cyr<sup>1226</sup>.

Les élèves sont formés à la navigation à l'estime et à la navigation astronomique sur différents sites. Une partie des cours théoriques a lieu dans les locaux de l'École navale à Laninon (voir chapitre 1). Les services du Génie mettent des salles du château de Brest à la disposition de l'École de perfectionnement de navigation. Les observations astronomiques sont effectuées à l'aide d'un quadrant Favé sur les toits du château, puis les élèves sortent « les sacro-saints carnets Bertin »<sup>1227</sup> pour effectuer les calculs nécessaires pour l'obtention le point.



Figure 124 : Porte du château de Brest au début du XX<sup>e</sup> siècle.<sup>1228</sup>

<sup>1226</sup> CHASSIN L., « Ce grand diable taillé à la serpe », *Icare*, 1974, p. 189.

<sup>1227</sup> *Ibid.*

<sup>1228</sup> Cliché Villard. COUDURIER L., *Brest-Touriste*, Brest, Imprimerie de la « Dépêche », 1906, p. 99.

Les élèves peuvent également mettre en pratique les méthodes développées par des marins tels que les lieutenants de vaisseau Yves Le Prieur<sup>1229</sup> (voir chapitre 7) ou Jean Cras (voir chapitre 1) à la fois sur des avisos de la Marine<sup>1230</sup> et sur les hydravions du CAM de Laninon<sup>1231</sup>.

Dans les faits, il semblerait que le matériel et les appareils mis à la disposition de l'école par la Marine aient été insuffisants. Ainsi, les élèves des quatre premières sessions n'ont pu effectuer chacun que six sorties aériennes, plus une traversée Brest-Toulon et une randonnée de dix jours autour de la France. Les militaires, qui payaient déjà à la Marine les heures de vol pour les élèves qu'ils avaient envoyés à l'école, proposent, le 9 septembre 1927, de payer les frais résultants de la mise à disposition permanente de l'école d'un aviso<sup>1232</sup>.

Parmi les dizaines d'élèves qui passèrent au Cours de navigation de Brest, quelques-uns méritent notre attention. Deux anciens élèves enseignèrent la navigation aérienne avant la Seconde guerre mondiale et eurent l'occasion de la pratiquer lors de raids. Ainsi, Dévé enseigne la navigation aérienne à l'École militaire et d'application de l'aéronautique de 1927 à 1934 (voir paragraphe précédent) et il est le navigateur de la première liaison aérienne France-Nouvelle Calédonie en 1932 (voir chapitre 8). De même, Louis Mailloux<sup>1233</sup> (présent à l'école de Brest en janvier 1926) est le navigateur de « l'Arc en Ciel » lors de la traversée de l'Atlantique Sud avec Mermoz en 1933 (voir chapitre 8) et il est professeur de navigation aérienne à l'École de l'air de Versailles (voir paragraphe suivant). Albert Plusquellec (présent à l'école de Brest en 1929) enseigne lui aussi la radio à l'École militaire et d'application de l'aéronautique, avant de travailler sur les aides radioélectriques à la navigation sans visibilité<sup>1234</sup>. Antoine de Saint-Exupéry<sup>1235</sup> fait également partie des élèves de Chassin en 1929. Il a été envoyé au Cours de navigation de Brest par l'Aéropostale au sein de laquelle il travaille depuis 1926<sup>1236</sup> (voir chapitre 7). Son niveau en mathématiques est jugé très bon par Chassin, mais Saint-Exupéry ne travaillait pas suffisamment pour suivre aisément les cours. De plus ses notes en pratiques étaient « mauvaises » ce qui explique qu'il ait été recalé. Ceci ne l'empêche

---

<sup>1229</sup> Yves Le Prieur (1885-1963). École navale (promotion 1902).

<sup>1230</sup> Un aviso est un bâtiment rapide de taille moyenne.

<sup>1231</sup> PESLIN Ch. Y., *Op.Cit.*, p. 23.

<sup>1232</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 327.

<sup>1233</sup> Louis Mailloux (1897-1939).

<sup>1234</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 326.

<sup>1235</sup> Antoine de Saint-Exupéry (1900-1944).

<sup>1236</sup> La compagnie Aéropostale est créée en 1927. Auparavant, Saint-Exupéry était pilote pour la compagnie Latécoère. Chassin relate les circonstances dans lesquelles Saint-Exupéry a échoué à l'examen final du cours de navigation. CHASSIN L., *Op. Cit.*, p. 190.



toutefois pas de rejoindre l'Amérique du Sud, pour travailler sur le développement de la ligne jusqu'en Patagonie, dès septembre 1929 (voir chapitre 8).

Les marins continuent à former des militaires au Cours de navigation de Brest au début des années 1930. Le lieutenant de vaisseau Henry Daillère<sup>1237</sup> y sera d'ailleurs instructeur de 1933 à 1935 alors que des tensions entre les deux armes existent suite à la création du ministère de l'Air par le décret du 14 septembre 1928.

## B) La navigation aérienne à l'époque des deux premiers ministères de l'Air (1928-1940)

Le premier ministère de l'Air est créé en septembre 1928 avec André Laurent-Eynac à sa tête. L'aviation civile, y compris les brevets de navigateur aérien, relève donc du ministère de l'Air à partir de 1928 puisqu'il entend « chapeauter » tout ce qui vole.

### 1) Les brevets de navigateurs aériens rendus obligatoires

La présence d'un navigateur devait être obligatoire à bord des avions de transports publics à partir de 1927 mais elle n'est effective qu'à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1930<sup>1238</sup>, après avoir été reportée deux fois. La réglementation concernant les brevets de navigateurs s'impose donc lentement.

La CINA, qui est chargée de suivre l'application de la Convention de 1919, relève que les performances des aéronefs ont tellement progressé, durant les années 1920, qu'il est urgent de s'y adapter. Hébrard et Duval en rendent compte aux lecteurs de la nouvelle édition (1935) de leur *Traité pratique de navigation aérienne* :

*En 1932, la Commission permanente internationale (CINA), chargée de suivre l'application de la Convention de 1919, a été conduite à modifier la liste des cartes réglementaires, qui ne suffisaient plus aux aéronefs modernes dont la vitesse aérodynamique courante est passée en 10 ans à peine, de 120 kmh à 300 kmh, et s'accroît encore.*<sup>1239</sup>

Le tableau suivant (voir tableau 29) est établi à partir de la « loi du 25 mars 1936 fixant le statut du personnel naviguant de l'aéronautique civile ». Il est une synthèse des brevets de navigateur aérien que doivent posséder les personnels affectés au commandement et à la conduite des aéronefs. Nous remarquons que seuls le capitaine et le navigateur supérieur

---

<sup>1237</sup> Henry Daillère (1901-1942). École navale (promotion 1919).

<sup>1238</sup> BNAé n°110, mai 1929, p. 1802.

<sup>1239</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Traité pratique de navigation aérienne*, Gauthier-Villars, 3<sup>e</sup> éd. revue et augmentée, 1935, p. 16.

doivent être titulaire du Brevet supérieur de navigateur alors que le brevet élémentaire est nécessaire au lieutenant, au pilote de ligne, au pilote d'essai et de réception et au pilote d'avions particuliers et de travail aérien. En revanche, le pilote moniteur n'a pas besoin d'avoir un brevet de navigateur.

| Personnel                                         | Brevet supérieur de navigateur et licence correspondante | Brevet élémentaire de navigateur aérien et licence correspondante |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Commandant de bord                                | <i>Capitaine, lieutenant ou pilote de ligne</i>          |                                                                   |
| Capitaine                                         | X                                                        |                                                                   |
| Lieutenant                                        |                                                          | X                                                                 |
| Pilote de ligne                                   |                                                          | X                                                                 |
| Pilote d'essai et de réception                    |                                                          | X                                                                 |
| Pilote moniteur                                   |                                                          |                                                                   |
| Pilote d'avions particuliers et de travail aérien |                                                          | X                                                                 |
| Navigateur supérieur                              | X                                                        |                                                                   |

Tableau 29 : Niveau de brevet de navigateur obligatoire dans l'aviation civile en 1936.<sup>1240</sup>

En 1938, 46 candidats ont obtenu le Brevet élémentaire et 18 le Brevet supérieur, ce qui est à peu près deux fois et demi plus qu'en 1924 (voir paragraphe correspondant).

Mais le passage d'un brevet pour se diriger paraît encore excessif pour certains pilotes. Les auteurs de *Comment devenir aviateur* écrivent en 1931 :

*On ne se dirige pas à la boussole. On se dirige à l'aide de points de repère, préalablement choisis, même en dehors du plus court chemin, s'ils sont caractéristiques. Cours d'eau (...) ; Routes (...) ; Villes (...) ; Lignes de chemin de fer (...) ; Forêts (...) ; Etangs (...)*<sup>1241</sup>

Séjo, ancien pilote de guerre et journaliste aéronautique à *L'Action Française*, ne partage pas ce point de vue. Il relève, en 1932, dans un ouvrage comparable au précédent s'intitulant *Comment on devient aviateur*, les qualités nécessaires pour devenir un bon navigateur. Il met au passage l'accent sur la différence entre le pilotage et la navigation :

*Le pilotage et la navigation constituent deux domaines différents. (...) il est absolument impossible d'imaginer un candidat, si bien doué soit-il, qui, sans connaissances spécialement acquises à cet effet, serait capable de naviguer intelligemment. On exclut bien entendu, le cas trop simple qui consiste à se coller à une*

<sup>1240</sup> Tableau établi à partir des informations suite à l'arrêté du 21 janvier 1936. *BNAé* n°194, mai 1936, pp. 5321-5322.

<sup>1241</sup> LAINÉ A. et GUET G., *Comment devenir aviateur*, Librairie des sciences aéronautiques, 1931, pp. 76-77.

*ligne de chemin de fer ou à épouser scrupuleusement les méandres d'un fleuve. (...) le débrouillage, en matière de navigation aérienne, ne saurait remplacer la science. (...) Le grand pilote d'aujourd'hui doit être déjà un bon navigateur. Le grand pilote de demain sera fatalement et d'abord un grand navigateur. (...) C'est pourquoi l'on attire tout spécialement l'attention des jeunes gens sur l'importance qu'il y a pour eux à travailler, une fois devenus pilotes, la navigation et à acquérir leur brevet supérieur de navigation aérienne.*<sup>1242</sup>

Selon lui, acquérir des compétences en navigation aérienne demande donc des efforts dans l'apprentissage de connaissances en navigation à l'estime et même astronomique ; efforts nécessaires pour qui voudra faire carrière dans l'aéronautique selon Séjo.

Ces compétences sont nécessaires dans l'aviation civile mais également dans l'aviation militaire. L'aviation militaire en général et les formations qu'elle donne en navigation aérienne subissent de profondes transformations au début des années 1930, suite également à la création du ministère de l'Air.

2) Les formations en navigation aérienne proposées au sein de l'armée de l'Air  
Le ministère de l'Air (1928) aurait eu comme but principal la création de l'armée de l'Air (1933)<sup>1243</sup>. Cinq années sont toutefois nécessaires pour surmonter l'hostilité des états-majors de l'Armée et de la Marine qui ne souhaitent pas être dépossédés de leurs prérogatives. La loi du 2 juillet 1934 suit un décret du 1<sup>er</sup> janvier 1933 qui instaure l'armée de l'Air en précisant, de manière à ménager l'Armée et la Marine :

*L'armée de l'Air doit être en mesure de participer aux opérations aériennes, aux opérations combinées avec les armées de Terre et de Mer, et à la défense aérienne du territoire.*<sup>1244</sup>

Grâce à cette précision, la Marine conservait tout ce qui se passait sur ou sous la mer, nécessitant ainsi une aéronautique maritime distincte et autonome, et l'Armée obtenait la mise à disposition permanente de moyens aériens pour assurer le renseignement et la défense. Cependant, le décret du 22 août 1936 réorganise l'aéronautique maritime. Elle perd l'aéronautique maritime autonome qui appartenait à l'aéronautique militaire mais qui était mise à la disposition de la Marine pour ne conserver que deux composantes : une aéronautique embarquée qui appartient à la Marine et une aéronautique de coopération maritime non

---

<sup>1242</sup> SÉJO, *Comment on devient aviateur*, Paris, Bernardin-Béchet, 1932, pp. 41-42.

<sup>1243</sup> ROBINEAU L. (Dir), « L'Aéronautique militaire », *Les Français du ciel*, Op. Cit., p. 563.

<sup>1244</sup> ROBINEAU L. (Dir), *Op. Cit.*, p. 566.

embarquée mise à disposition par l'armée de l'Air. Cette organisation avec des forces aériennes partagées se révèle malheureusement très peu efficace au point de vue stratégique.

### *Les écoles de l'Air*

L'École militaire et d'application de l'aéronautique propose des cours à des élèves et à des stagiaires jusqu'en 1934, puis l'école est transformée au milieu des années 1930, en lien avec la création de l'Armée de l'air.

Deux branches d'écoles voient le jour. Il y a d'une part l'École de l'air, qui est créée par décret le 3 juin 1933 et qui doit permettre un recrutement direct des futurs cadres navigants<sup>1245</sup> et, d'autre part, l'École militaire et d'application de l'armée de l'air qui se charge de la formation des sous-officiers, élèves-officiers, de l'Armée de l'air à partir de 1933.

L'École de l'air, qui regroupe les différentes formations de l'aéronautique militaire, ouvre en 1935. Elle occupe des locaux provisoires à Versailles avant son déménagement en 1937 à Salon-de-Provence. L'École militaire et d'application de l'armée de l'air change plusieurs fois de nom, tout en restant installée à Versailles.

Le capitaine Goudet publie un cours de navigation aérienne au sein du groupe d'écoles de l'air de Versailles en 1940, donc à destination des sous-officiers, élèves-officiers de l'Armée de l'air. Cette école continue à proposer une formation de base en navigation aérienne mais ses cours s'adaptent aussi à l'apparition de nouveaux procédés. Ils mettent encore l'accent sur la navigation à l'estime, mais en étoffant la partie concernant la navigation contrôlée (radio-navigation, navigation astronomique élémentaire)<sup>1246</sup>. Il est intéressant de remarquer que Goudet a fait appel aux commandants d'avion pour rédiger la partie concernant la navigation astronomique. Cette particularité nous permet de noter l'accent mis sur l'utilisation pratique des procédés de navigation astronomique. C'est pourquoi le cours présente le procédé Favé-Brill, qui avait déjà la faveur de Thierry en 1920, en service dans l'Armée de l'air depuis 1936. Il expose également la méthode des courbes d'étoiles de Weems qui est en passe de supplanter le procédé Favé-Brill<sup>1247</sup>.

---

<sup>1245</sup> La première promotion est constituée d'une cinquantaine d'élèves en majorité anciens élèves de Saint-Louis, Sainte-Geneviève ou de la Flèche. GRIGAUT C. (G<sup>al</sup>), *Op. Cit.*, p 152.

<sup>1246</sup> GOUDET, *Cours de navigation aérienne*. Publication interne de l'École de l'air de Versailles, pp. 130-169 et 171-229.

<sup>1247</sup> GOUDET, *Op. Cit.*, p. 207.

La nouvelle méthode, inventée par l'officier de Marine américain, Philip Van Horn Weems<sup>1248</sup>, et publiée en 1928<sup>1249</sup>, est basée sur des courbes de hauteur d'étoiles. Weems trace sur un même canevas de Mercator les courbes de hauteur de trois étoiles prédéterminées.

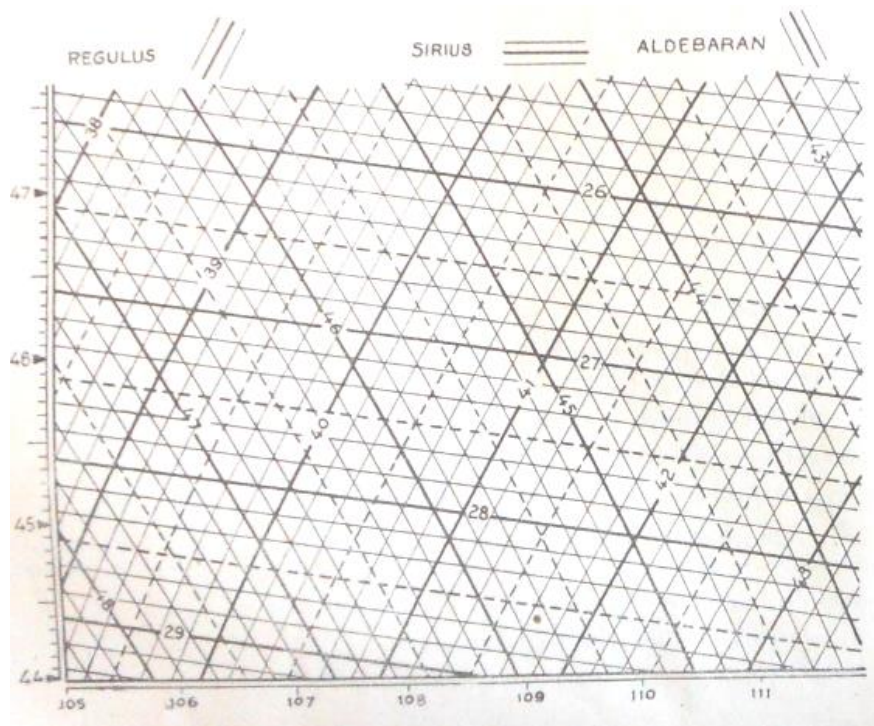


Figure 125 : Courbes d'altitude des étoiles Régulus, Sirius et Aldebaran.<sup>1250</sup>

Ces courbes sont regroupées dans plusieurs albums. Le premier album édité en France couvre la bande 45°N-55°N. L'angle sidéral  $S_g$  se lit en abscisse alors que la latitude  $L$  se lit en ordonnée et chaque courbe correspond à une hauteur  $h_v$ . Le navigateur observe (à l'heure  $S_o$ ) simultanément (ou presque) deux étoiles. Il relève au sextant (« enregistreur » ou « moyen-marqueur ») la hauteur de chacune des étoiles et recherche sur l'abaque la courbe correspondant à chaque hauteur. Les deux courbes se coupent en un point dont l'ordonnée est la latitude  $L$  du lieu d'observation et l'abscisse est le « sidéral local »  $S_g$ . La longitude du lieu d'observation  $G$  se calcule par  $G = S_g - S_o$ .

Le procédé est très pratique car il est utilisable sans calcul et sans entraînement préalable. Mais il a deux inconvénients majeurs : les abaques ne restent pas valides dans le temps (il faut les renouveler tous les cinq ans) et il faut que les étoiles de l'abaque soient observables.

<sup>1248</sup> Philip Van Horn Weems (1889-1979).

<sup>1249</sup> WEEMS P.V.H., *Star-altitude for obtaining a fix*, R. Stokes, San Diego, 1928.

<sup>1250</sup> GOUDET, *Op. Cit.*, p. 222.

Goudet indique que la méthode est celle qui est la plus adaptée « aux besoins des équipages militaires, en temps de guerre, pour faire le point astronomique au cours des missions effectuées de nuit »<sup>1251</sup>. Toutefois, il faut également savoir tracer des droites de hauteur car la méthode n'est pas générale.

Nous pouvons également noter, au travers du cours de Goudet, que les élèves sont habitués à travailler sur des documents pré remplis afin d'automatiser les calculs et les rendre plus rapides comme le font déjà couramment les marins (voir extrait 13).

TYPE DE CALCUL (tables A.N.T.)

- 213 -

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|----------|---------------|-----------|----------|----------|----------|---------|--------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------|----------|------------|----------|
| Date _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Astro : _____                                                             |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Heure $T_{op}$ ..... = $X^h$ $m^m$ $s^s$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Azimut $Z_e$ = _____<br>(à 10° près)                                      |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| O                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Si on n'a pas de sidéromètre<br>Éphémérides                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $S_o$ app = _____ ( $T_c$ à 21h près)<br>$\Delta S_o$ = _____ (Table III) | Hauteur instrumentale $h_i$ = _____         |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Lecture du sidéromètre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $S_o$ = _____                                                             | Correction sextant = _____                  |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Éphémérides                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $AV$ = _____ $D$ = _____                                                  | Correction de réfraction = _____ (Table VI) |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Point auxiliaire<br>Signe : $+ G$ Est $G_o$ = (+) _____ $L_e$ = _____ (rond)<br>$- G$ Ouest $AG_g$ = _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | LUNE<br>Correction parallaxe = _____<br>1/2 diamètre = _____              |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| HAUTEUR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1ère partie : $h_{lu}$ = $h_e$ _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | DROITE DE HAUTEUR                                                         |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2ème Partie : $h_{lu}$ = _____ $d$ = _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Interpolation $T'AV$ : _____<br>$h_e$ = _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Intercept $dx$ = $h_e$ = _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| AZIMUT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>           Hémisphère<br/>NORD<br/> <math>AH \div 180^\circ</math><br/>lu à gauche<br/> <math>AH \div 180^\circ</math><br/>lu à droite         </div> <div style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <math>Z_e = 360^\circ</math><br/> <math>- Z_{lu} =</math> _____<br/> <math>Z_e = Z_{lu} =</math> _____         </div> </div> |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $360^\circ$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| ÉTOILES PRINCIPALES<br>visibles dans l'Hémisphère Nord.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ÉTOILES UTILISABLES<br>avec la 2ème partie de la table.                   |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Aldébaran N° 3</td> <td style="width: 50%;">Fomalhaut N° 13</td> </tr> <tr> <td>Altair 5</td> <td>Pollux 15</td> </tr> <tr> <td>Antares 6</td> <td>Procyon 16</td> </tr> <tr> <td>Arcturus 7</td> <td>Régulus 17</td> </tr> <tr> <td>Belgeuse 8</td> <td>Rigel 18</td> </tr> <tr> <td>Chèvre (la) 9</td> <td>Sirius 20</td> </tr> <tr> <td>Deneb 11</td> <td>Sirrah 4</td> </tr> <tr> <td>Dubhe 12</td> <td>Véga 22</td> </tr> <tr> <td>Épi 21</td> <td></td> </tr> </table> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Aldébaran N° 3                                                            | Fomalhaut N° 13                             | Altair 5 | Pollux 15 | Antares 6 | Procyon 16 | Arcturus 7 | Régulus 17 | Belgeuse 8 | Rigel 18 | Chèvre (la) 9 | Sirius 20 | Deneb 11 | Sirrah 4 | Dubhe 12 | Véga 22 | Épi 21 |  | <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Alphard</td> <td style="width: 50%;">Denebola</td> </tr> <tr> <td>Perle (la)</td> <td>a Bélier</td> </tr> </table> |  | Alphard | Denebola | Perle (la) | a Bélier |
| Aldébaran N° 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Fomalhaut N° 13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Altair 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Pollux 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Antares 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Procyon 16                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Arcturus 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Régulus 17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Belgeuse 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Rigel 18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Chèvre (la) 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Sirius 20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Deneb 11                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sirrah 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Dubhe 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Véga 22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Épi 21                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Alphard                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Denebola                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |
| Perle (la)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | a Bélier                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                           |                                             |          |           |           |            |            |            |            |          |               |           |          |          |          |         |        |  |                                                                                                                                                                                                         |  |         |          |            |          |

Si l'intercept est positif, on le porte dans le sens défini par l'azimut.  
 Si l'intercept est négatif, on le porte dans le sens  $Z_e + 180^\circ$ .

Extrait 13 : Exemple de type de calcul utilisant les tables de calcul A.N.T.<sup>1252</sup>

<sup>1251</sup> GOUDET, *Op. Cit.*, p. 225.

<sup>1252</sup> GOUDET, *Op. Cit.*, p. 213.

Les élèves n'ont plus qu'à compléter les espaces vides, par les mesures au sextant et les calculs, afin d'obtenir les informations nécessaires au tracé de la droite de hauteur (voir chapitre 2). Cette méthode évite les erreurs et minimise le temps de réalisation du point.

### *Autres formations à la navigation aérienne pour les militaires*

D'autres écoles pour les militaires proposent des leçons de navigation aérienne en plus de leurs cours de pilotage. Ainsi, en 1939, les élèves de l'école de Cazaux, division de tir et de bombardement, peuvent suivre le cours élémentaire de navigation aérienne et le retravailler sur sa version papier<sup>1253</sup>. Nous avons vu que les pilotes de bombardement pouvaient tirer parti d'une bonne formation en navigation, mais des pilotes de chasse s'y intéressent également<sup>1254</sup>.

Les militaires peuvent également continuer à bénéficier de Cours de perfectionnement en navigation aérienne à Brest.

Nous n'avons pas trouvé de mention d'une formation particulière en navigation aérienne durant les années 1930 pour les navigants de l'aéronautique maritime ou de l'aéronautique navale<sup>1255</sup>. Ils continuent probablement à suivre des cours annexés au cours de l'École navale.

Le personnel navigant de l'aviation marchande, s'il n'est pas passé par l'aéronautique militaire ou l'aéronautique maritime va pouvoir accéder à des cours qui lui sont dédiés.

### 3) Le cours de navigation aérienne proposé à Air France

La compagnie Air France, créée en 1933, dispose d'une flotte hétéroclite (250 appareils essentiellement démodés)<sup>1256</sup> et d'un personnel diversement formé, puisque chacune des cinq compagnies à l'origine de la nouvelle compagnie avait eu une politique de développement personnelle. Cette diversité de formations était un handicap, d'une part, pour s'adapter aux perfectionnements incessants de la technique et, d'autre part, pour assurer une sécurité aérienne homogène<sup>1257</sup>.

L'armistice de 1940 suspend pour quelques semaines les activités aériennes d'Air France qui reprend ensuite ses activités. C'est dans ce contexte que Paul Comet<sup>1258</sup> et Élie

---

<sup>1253</sup> BALAFRÉ, *Cours élémentaire de navigation aérienne*, Ministère de l'air, Publication interne de l'école de Cazaux, division de tir et de bombardement, 1939.

<sup>1254</sup> Le sergent R. Simporpeau, de la troisième école de chasse a possédé le *Manuel d'aviation* du ministère de l'Air (direction de l'aéronautique civile) imprimé en 1939. Le sixième chapitre de l'ouvrage traite en cinquante-cinq pages de la Navigation aérienne élémentaire.

<sup>1255</sup> Nouvelle appellation suite au décret du 16 mars 1937.

<sup>1256</sup> ROBINEAU L. (Dir), *Op. Cit.*, p. 646.

<sup>1257</sup> *Bulletin du secrétariat général de l'aviation civile* n°32 (septembre-octobre 1950), cité par FERRY V., *Des formations aéronautiques – du pingouin au jet, 1911-1960*, éditions du Gerfaut, 2008, p. 75.

<sup>1258</sup> Paul Comet (1904-1987).

Saldo<sup>1259</sup> proposent un cours de navigation aérienne professé devant des élèves puis édité dans un ouvrage de 461 pages.

L'ouvrage de Comet et Saldo est destiné à un cours de perfectionnement, ce qu'indiquent les auteurs au début du livre (voir tableau 21), mais il est beaucoup mieux construit que celui de l'École de perfectionnement de navigation de Brest. Toutefois, sa forme ne doit pas faire croire qu'il reflète totalement les leçons qu'ont suivies les stagiaires du Centre de perfectionnement d'Air France pendant l'hiver 1940-1941. Les auteurs précisent en effet :

*Ces leçons, bien que parfois amplifiées et modifiées dans leur forme pour les besoins de la rédaction, ne constituent pas un « traité de navigation aérienne » ; cependant l'absence totale en France d'ouvrage complet traitant de cette science [aurait justifié de] perfectionner le fond et la forme du présent ouvrage.*<sup>1260</sup>

Cette précision montre que, même en 1943, il n'existe pas dans l'aéronautique de traités comparables à ceux qui existent pour les marins concernant la navigation.

Les deux auteurs ont un parcours assez courant chez les navigateurs de cette époque. Ils sont passés par la marine sur les avisos de la poste aérienne avant de migrer sur avion. Élie Saldo, capitaine au long cours, commande un des avisos de l'*Aéropostale* avant de devenir navigateur aérien à Air France. Il met ainsi à profit ses connaissances de marin en navigation lors de 104 traversées de l'Atlantique Sud<sup>1261</sup> (voir chapitre 8). Paul Comet passe par l'école de navigation de Bordeaux avant d'effectuer son service militaire dans l'aviation maritime comme pilote de dirigeable. Lui aussi commande un aviso de l'*Aéropostale* durant 86 traversées à partir de 1930 puis passe sur avion comme navigateur. Il effectue 114 traversées de l'Atlantique Sud notamment comme navigateur de l'hydravion *Santos-Dumont* en 1934<sup>1262</sup> (voir chapitre 8).

Comet et Saldo ont rédigé un livre très complet en se basant sur de nombreux ouvrages ou articles déjà existants. Ils joignent en effet leur bibliographie qui regroupe un certain nombre d'écrits de notre corpus (voir tableau 30).

| <b>Titre</b>                                                                      | <b>Auteurs</b> | <b>Date</b> <sup>1263</sup> | <b>Type</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|-------------|
| <i>Manuel de navigation astronomique à bord des aéronefs</i>                      | D'Autheville   |                             | A           |
| <i>De quelques contributions étrangères à la navigation aérienne astronomique</i> | Bastide        | 1934                        | A           |

<sup>1259</sup> Élie Saldo (1908-1987).

<sup>1260</sup> COMET P. et SALDO E., *Op. Cit.*, p. 3.

<sup>1261</sup> ROBINEAU L. (Dir), « Les français du ciel. Dictionnaire historique », Le cherche midi, 2005, p. 472.

<sup>1262</sup> ROBINEAU L. (Dir), *Op. Cit.*, p. 141.

<sup>1263</sup> Les auteurs n'ayant pas précisé la date de l'ouvrage consulté, nous avons indiqué « à partir de » lorsqu'il existe plusieurs éditions.



|                                                                                                    |                               |                  |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|---|
| <i>La navigation de nuit et à longue distance</i>                                                  | Bastien                       |                  | A |
| <i>La navigation de jour et à longue distance</i>                                                  | Bonnot                        |                  | A |
| <i>Géographie mathématique</i>                                                                     | Bouasse                       | 1919             |   |
| <i>Cours d'astronomie et de navigation</i>                                                         | Constan                       | À partir de 1903 | M |
| <i>Cosmographie et navigation</i>                                                                  | Cornet                        | 1925             | M |
| <i>Précis de navigation</i>                                                                        | Cousin et Renaud              | 1928             | M |
| <i>Le point astronomique dans la navigation aérienne</i>                                           | Daillière                     | 1933             | A |
| <i>Théorie succincte de la navigation astronomique aérienne</i>                                    | Daviot, Schnerb, Bastien      | 1937             | A |
| <i>Traité pratique de navigation aérienne</i>                                                      | Duval et Hébrard              | À partir de 1921 | A |
| <i>Traité des projections des cartes géographiques</i>                                             | Driencourt et de Laborde      | 1932             |   |
| <i>Cours de navigation aérienne</i>                                                                | Franck et Duval               | À partir de 1931 | A |
| <i>Cours de navigation aérienne</i>                                                                | De Gaïl                       |                  | A |
| <i>La navigation aérienne</i>                                                                      | Genty                         | 1938             | A |
| <i>Cours de navigation aérienne</i>                                                                | Goudet                        | 1940             | A |
| <i>Eléments de navigation aérienne pratique</i>                                                    | Hamel                         | À partir de 1930 | A |
| <i>Conseils de pilotage et de navigation pratique</i>                                              | Lafannechère                  | 1939             | A |
| <i>Cours d'astronomie</i>                                                                          | Marguet                       | À partir de 1916 | M |
| <i>Cours de navigation et de compas</i>                                                            | Marguet                       | À partir de 1913 | M |
| <i>Histoire générale de la navigation du XV<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle</i>               | Marguet                       | 1931             | M |
| <i>Eléments d'astronomie nautique</i>                                                              | Massenet et Hardant           |                  | M |
| <i>Traité de navigation</i>                                                                        | Massenet et Hardant           | 1923             | M |
| <i>Gréement, manœuvre et conduite du navire à voiles et à vapeur (Tome III : radiogoniométrie)</i> | Massenet, Vallerey et Galopin | 1933             | M |
| <i>Usage des cadres en radiogoniométrie</i>                                                        | Mesny                         | 1925             |   |
| <i>Air Navigation</i>                                                                              | Weems                         | À partir de 1931 | A |
| <i>Manuel de navigation de l'Ecole Navale</i>                                                      |                               |                  | M |

Tableau 30 : Bibliographie du *Cours de navigation aérienne*<sup>1264</sup>. La troisième colonne précise le type de destination de l'ouvrage (A pour aéronautique et M pour marine).

Cette bibliographie montre clairement que les auteurs n'envisageaient pas de présenter un cours de navigation aérienne sans se référer à la navigation maritime puisque dix des vingt-sept ouvrages qu'ils citent sont des ouvrages pour les marins. Comet et Saldo ont également cité presque tous les ouvrages de navigation aérienne édités à cette époque que nous avons

<sup>1264</sup> COMET P. et SALDO E., *Op. Cit.*, p. 4.

retrouvés (voir tableau 30) mais pas ceux, à l'exception du cours de Goudet, qui ont bénéficié d'une publication interne comme celui de Dévé. *La navigation aérienne simplifiée* d'Autheville n'est pas présente dans la bibliographie du cours d'Air France, ce qui paraît surprenant. Il s'agit peut-être du *Manuel de navigation astronomique à bord des aéronefs* du même auteur, manuel dont nous n'avons trouvé aucune référence par ailleurs.

Le cours d'Air France suit à peu près l'ordre des leçons professées au Centre de perfectionnement, soit un ensemble de 29 chapitres selon le sommaire suivant.

### *Cours de navigation aérienne*

|                                                                                                                                             |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| I) Préliminaires : navigation à vue ; mesure des angles, des distances et des vitesses.                                                     | p. 5   |
| II) La Terre : définitions. Notions générales sur les cartes                                                                                | p. 11  |
| III) Quelques systèmes de projection                                                                                                        | p. 19  |
| IV) Cartes aéronautiques                                                                                                                    | p. 39  |
| V) Le compas. Caps. Relèvements. Routes                                                                                                     | p. 43  |
| VI) Régulation du compas                                                                                                                    | p. 55  |
| VII) Navigation estimée. Formules de l'estime                                                                                               | p. 65  |
| VIII) Résolution des problèmes du point estimé sur la carte marine et sur la carte normale aéronautique au millionième                      | p. 77  |
| IX) Navigation observée. Détermination de la position de l'avion sur la carte par observation de repères identifiés                         | p. 83  |
| X) Mesure du temps en navigation estimée. Mesure de l'altitude.                                                                             | p. 89  |
| XI) Le triangle de vitesse ; ses côtés : vitesse propre ; vitesse au sol ; vent                                                             | p. 95  |
| XII) Angles du triangle des vitesses. Etude de la dérive                                                                                    | p. 109 |
| XIII) Problèmes de la navigation estimée basés sur la construction du triangle des vitesses                                                 | p. 119 |
| XIV) Pratique de la navigation estimée. Cercle d'incertitude                                                                                | p. 143 |
| XV) Navigation astronomique. Eléments d'astronomie nautique                                                                                 | p. 149 |
| XVI) Compléments d'astronomie                                                                                                               | p. 175 |
| XVII) Mesure du temps en navigation astronomique ; conduite des montres. Mesures des coordonnées horizontales ; correction aux observations | p. 191 |
| XVIII) Méthodes de résolution du triangle de position. Application : réglage du compas                                                      | p. 205 |
| XIX) Détermination de la latitude. Cercle, courbe et droite de hauteur                                                                      | p. 217 |
| XX) Détermination du point par observations astronomiques. Utilisations diverses des droites de hauteur                                     | p. 231 |
| XXI) Généralités sur les instruments à réflexion. Sextant. Horizons artificiels                                                             | p. 243 |
| XXII) Détermination, en aéronef, de la hauteur observée                                                                                     | p. 265 |
| XXIII) Méthodes et matériels utilisés dans l'aéronautique pour la détermination du point astronomique                                       | p. 275 |
| 1) Méthodes tabulaires                                                                                                                      |        |
| 2) Méthodes graphiques                                                                                                                      |        |
| 3) Solutions mécaniques                                                                                                                     |        |
| XXIV) Notes sur les dispositions matérielles des instruments d'observation                                                                  | p. 315 |

|                                                                                                                                        |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| XXV) Navigation orthodromique. Choix d'une route aérienne                                                                              | p. 325 |
| XXVI) Navigation radioélectrique. Droite radio                                                                                         | p. 355 |
| XXVII) Pratique de la navigation radioélectrique (1940)                                                                                | p. 381 |
| XXVII) Conduite générale de la navigation en aéronef. Le journal de navigation                                                         | p. 391 |
| XXIX) Note sur les marées                                                                                                              | p. 401 |
| ANNEXE 1 Abaques et tableaux donnant la variation de la hauteur d'un astre, due au mouvement diurne et au déplacement de l'observateur | p. 409 |
| ANNEXE 2 Types de calculs aéronautiques usuels                                                                                         | p. 411 |

**Extrait 14 : Sommaire du *Cours de navigation aérienne de Comet et Saldo*.<sup>1265</sup>**

Même si les auteurs se défendent d'avoir écrit un traité, l'ouvrage étudie en profondeur la majorité des aspects de la navigation aérienne. Ils n'y ont pas inclus l'étude descriptive des matériels, à l'exception des leçons sur les instruments de navigation astronomique, car ils envisageaient de rédiger un ouvrage complémentaire qui leur soit exclusivement réservé<sup>1266</sup>. De même, ils sont conscients que la part qu'ils ont donnée à la navigation radioélectrique ne reflète pas totalement l'importance de ses applications dans la navigation du début des années 1940, notamment parce que les débuts de la Seconde guerre mondiale ont rendu difficile l'acquisition de la documentation étrangère.

*Les projections présentées dans le cours de Comet et Saldo*

Parmi la somme des connaissances que Comet et Saldo ont réunie, nous pouvons remarquer la part relativement importante consacrée à la présentation des différents types de projections. Cette particularité présente une grande différence avec les cours pour les marins qui privilégient la projection de Mercator. Le chapitre III de 20 pages est entièrement consacré aux différents types de projections et quelques références sont également présentes dans les chapitres II et IV. Même le cours de l'École de perfectionnement de navigation de Brest ne leur consacre que cinq pages dans lesquelles sont évoquées la projection stéréographique, la projection azimutale, la projection Hilleret, les cartes orthodromiques Favé, le développement conique (projection de Bonne), la projection de Lambert, les cartes de Mercator et la projection polyédrique ou polycentrique<sup>1267</sup>.

Les marins naviguent essentiellement à l'aide des cartes en projection de Mercator particulièrement adaptées à la navigation loxodromique. La navigation orthodromique ou la navigation dans les régions polaires nécessitent d'autres types de cartes, mais sont peu utilisées

<sup>1265</sup> COMET P. et SALDO E., *Op. Cit.*, pp. 465-470.

<sup>1266</sup> Je n'ai pas trouvé trace de publication d'un tel ouvrage.

<sup>1267</sup> MINISTÈRE DE LA GUERRE, *Cours de navigation aérienne de l'École de Perfectionnement de Navigation de Brest*, *Op. Cit.*, pp. 83-87.

proportionnellement au nombre de navigations maritimes effectuées. Cette spécificité de la navigation maritime pourrait expliquer la différence existant entre un cours comme celui de l'École navale de Marguet et celui publié par Comet et Saldo mais ne justifie pas complètement l'absence d'explication sur les systèmes de projection utilisés dans les cartes pour les marins. Le cours de l'École de perfectionnement de navigation de Brest, à la fin des années 1920, donne quelques explications sur les différents types de projection. Les marins qui le rédigent et le présentent savent que les navigateurs aériens vont devoir utiliser différents types de cartes établies selon des principes variés. Ils auraient pu se contenter d'en présenter l'utilisation pratique mais cela n'a pas été le cas. Comet et Saldo vont encore plus loin au début des années 1940. Ils écrivent :

*On compte une trentaine de projections en usage. Nous nous bornerons à une étude élémentaire des projections servant à établir la plupart des cartes utilisées en navigation aérienne*<sup>1268</sup>.

Comet et Saldo reviennent longuement sur la projection de Mercator, car tout comme dans la marine, les avions suivent principalement des routes loxodromiques ou des portions successives de loxodromie. Les auteurs présentent ensuite la projection polyédrique (qui a été utilisée pour établir des cartes au 1/100 000<sup>e</sup> et 1/200 000<sup>e</sup>), la projection de Bonne (qui a servi pour établir la carte d'état-major au 1/80 000<sup>e</sup> mais qui n'est plus utilisée), la projection polyconique ordinaire et la projection polyconique modifiée (qui a servi à la construction du canevas de la Carte internationale du monde au millionième), les projections gnomoniques (qui ont été utilisées pour la carte d'Hilleret, la carte de Gernez et les cartes gnomoniques américaines). Ils présentent ensuite succinctement les « itinéraires transcontinentaux orthodromiques conformes de Louis Kahn » (voir chapitre 8) dont le plan de projection est un cylindre tangent à la sphère suivant un grand cercle correspondant théoriquement à un itinéraire aérien très utilisé. Ils poursuivent par la présentation de la projection stéréographique (utilisée pour les cartes du ciel annexées aux Éphémérides nautiques et pour les cartes du procédé Favé), la projection azimutale équidistante (qui sert dans le procédé Brill) et enfin la projection conique conforme de Lambert. Comet et Saldo espèrent ainsi avoir fait le tour des différentes projections que leurs élèves pourront rencontrer dans leur pratique.

#### *Méthodes et matériels utilisés pour la détermination du point astronomique*

Le cours d'Air France a également la particularité de présenter une synthèse des différentes techniques pouvant être utilisées dans l'aéronautique pour la détermination du point

---

<sup>1268</sup> COMET P. et SALDO E., *Op. Cit.*, p. 19.

astronomique. Les auteurs rappellent que ces procédés astronomiques ne concernent pas tous les voyages car les navigateurs doivent d’abord recourir aux procédés de navigation estimée et à la navigation radioélectrique. La navigation astronomique sera réservée « aux seuls très longs parcours, maritimes, nocturnes, ou à haute altitude, au cours desquels l’estime pourra être très douteuse, sinon impossible à suivre »<sup>1269</sup>.

Comet et Saldo ont commencé par présenter à leurs lecteurs les généralités sur la navigation astronomique dans laquelle le point est obtenu grâce aux éphémérides et aux tables de logarithmes. Ils rappellent toutefois que même les marins n’ont pas souhaité se contenter de ces procédés et ont cherché des solutions plus ou moins efficaces pour les simplifier (voir chap. 3). Le développement de l’aéronautique a amplifié ces travaux de simplification. Comet et Saldo font le tour des différents procédés à la disposition des navigateurs aériens au début des années 1940. Les perfectionnements apportés au calcul sont subdivisés en deux groupes. Il y a d’une part les méthodes tabulaires et d’autre part les solutions obtenues en remplaçant les calculs par des moyens mécaniques ou graphiques.

| Nom de la table de référence citée par les auteurs |                        |                  | Tables citées par les auteurs utilisant le même procédé |                          |                  |
|----------------------------------------------------|------------------------|------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|------------------|
| Nom                                                | Nationalité (si citée) | Année (si citée) | Nom                                                     | Nationalité (si citée)   | Année (si citée) |
| Table de Cornet                                    | France                 | 1928             | Table H.O.211 d’Ageton                                  | USA                      | 1931             |
| Tables de Bertin                                   | France                 |                  | Table du point auxiliaire de Souillagouët               | France                   | 1891             |
| Table de Catalano                                  |                        |                  | Table d’Ogura et Smart                                  | Japon et Grande-Bretagne | 1919             |
| Tables de Weems                                    | USA                    | 1927             | Tables H.O.208 de Dreisonstok                           | USA                      | 1929             |
| Tables de Gingrich                                 |                        | 1931             | Tables de Smart et Shearme                              | Grande-Bretagne          | 1922             |
| Tables de Ball                                     |                        | 1907             | Tables de Davis                                         |                          |                  |
| Table H.O.214                                      | USA                    | 1936             | Table H.O.203                                           |                          |                  |

**Tableau 31 : Synthèse des différentes tables citées par Comet et Saldo.**<sup>1270</sup>

L’ouvrage contient une liste non exhaustive des différents procédés tabulaires en usage dans la navigation aérienne en détaillant plus ou moins la méthode utilisée<sup>1271</sup> (voir tableau 31).

<sup>1269</sup> COMET P. et SALDO E., *Op. Cit.*, p. 275.

<sup>1270</sup> COMET P. et SALDO E., *Op. Cit.*, pp. 277-288.

<sup>1271</sup> Nous reviendrons plus en détail sur certaines de ces tables dans le chapitre 7.

Ces différents procédés tabulaires ont souvent été traduits sous forme d'abaques, mais Comet et Saldo remarquent qu'ils sont le plus souvent inutilisables dans l'aéronautique. Ils se contentent, d'ailleurs, de présenter l'abaque de Favé et Rollet de L'Isle (voir chapitre 3) qui est « très précieux pour l'interpolation des éléments des tables de Bertin »<sup>1272</sup>. De même, le nomogramme de Rust fournit l'azimut aux tables de Weems.

Les auteurs complètent leur paragraphe sur les méthodes graphiques en présentant en détail le « calculateur Bastien-Morin » et surtout la « règle Bygrave » qui est « susceptible d'utilisation courante en vol, en raison de son faible encombrement et de sa facilité d'emploi »<sup>1273</sup>. Cette règle, inventée par le capitaine de la RAF Leonard Charles Bygrave en 1920, et portant le nom anglais de « position line slide rule », est un ingénieux dispositif qui permet de résoudre le triangle de position. Elle est constituée de trois cylindres concentriques en aluminium, coulissant librement les uns dans les autres, sur lesquels sont tracées des courbes graduées en logarithme tangente pour la partie supérieure et en logarithme cosinus pour la partie inférieure (voir figure 126). En quatre manipulations, il est possible de résoudre le triangle de position qui a été préalablement décomposé en triangles rectangles<sup>1274</sup>.

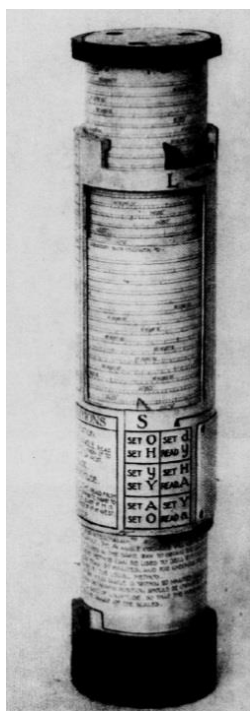


Figure 126 : Règle Bygrave.<sup>1275</sup>

<sup>1272</sup> COMET P. et SALDO E., *Op. Cit.*, p. 288.

<sup>1273</sup> COMET P. et SALDO E., *Op. Cit.*, p. 293.

<sup>1274</sup> COMET P. et SALDO E., *Op. Cit.*, pp. 293-296 et GENTY R., *Méthode nouvelle de navigation astronomique aérienne*, Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'air, 1948, pp. 26-27.

<sup>1275</sup> DAVIOT L., « Méthodes proposées pour le point en avion », *Annales Françaises de Chronométrie*, vol. 5, 1935, p. 275.

Donner en détail l'utilisation des instruments de calcul est encore une particularité de l'ouvrage. Il est généralement demandé, dans les autres ouvrages de navigation, de se référer à la notice d'utilisation jointe à l'instrument, ce qui n'a pas été le choix de Comet et Saldo.

Les auteurs distinguent les méthodes mécaniques, qui donnent des résultats approchés, des méthodes graphiques qui donnent des résultats exacts, même dans le cas des calculateurs ou des règles. Ils écrivent à propos des méthodes mécaniques :

*Nous désignerons ainsi les méthodes résolvant le triangle de position par sa construction effective dans l'espace, en matérialisant ses arcs et ses dièdres par des arcs métalliques gradués, montés sur les axes convenables.*<sup>1276</sup>

Et pour les méthodes graphiques :

*Nous désignerons sous ce nom général toutes les méthodes où les valeurs demandées se lisent sur des échelles directement tracées sur des supports matériels tels que abaquages ou règles à calcul, et les méthodes où les éléments de la droite de hauteur se déduisent de construction à la règle et au compas.*<sup>1277</sup>

Suivant cette logique, les auteurs ont traité des procédés très différents dans le même paragraphe sur les solutions mécaniques. Ainsi, le « calculateur Willis », le « calculateur Hagner » ou le « sphérant » côtoient la « méthode Kahn », les « courbes de hauteurs d'étoiles de Weems » et enfin le « procédé Favé-Brill » qui est largement détaillé.

Le lecteur trouvera finalement l'essentiel des informations sur la navigation aérienne dans le cours de Comet et Saldo et probablement encore plus s'il a suivi le cours du Centre de perfectionnement d'Air France en 1940-1941.

#### 4) D'autres formations en navigation aérienne disponibles dans les années 1930

Le navigateur aérien voulant se perfectionner en navigation aérienne peut donc, selon son statut civil, militaire ou maritime, se tourner vers les Cours de perfectionnement de Brest (au moins au début des années 1930) ou dorénavant vers le Cours de perfectionnement d'Air France. Une formation plus élémentaire est également accessible dans les nouvelles écoles de l'air proposant des cours pour les militaires.

Le navigateur aérien trouvera également de nombreuses informations dans les ouvrages publiés à son intention dans les années 1930.

---

<sup>1276</sup> COMET P. et SALDO E., *Op. Cit.*, p. 298.

<sup>1277</sup> COMET P. et SALDO E., *Op. Cit.*, p. 288.

### *Les nouvelles éditions du traité de Hébrard et Duval*

Hébrard et Duval rééditent leur *Traité pratique de Navigation aérienne* en 1935 et 1940. Ils y reprennent la trame de leur ouvrage publié en 1928 en modifiant ou en enrichissant quelques paragraphes.

Quelques lignes, présentes dans les éditions de 1935 et 1940, mettent en lumière l'évolution des pratiques parallèlement à l'amélioration des performances des avions (la vitesse courante des avions étant passée de 120 km/h à 300 km/h en une dizaine d'années).

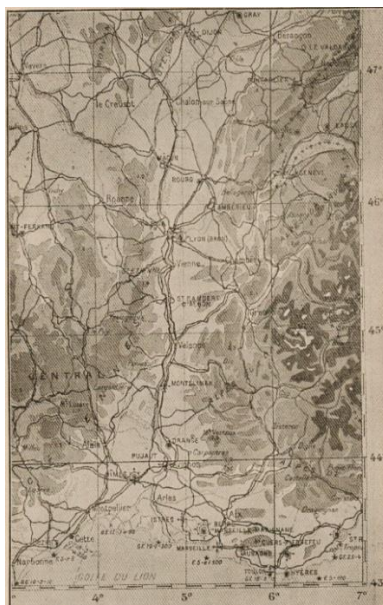
Ces progrès ont d'ailleurs induit une modification de l'annexe F de la Convention de Paris de 1919. Les nouvelles cartes réglementaires sont :

1° Une carte de renseignements aéronautiques établie en canevas de Mercator à l'échelle du 1/10 000 000 à l'équateur. Pour les régions polaires deux cartes en projection stéréographique complètent la série.

2° Une carte d'itinéraires orthodromiques, à l'échelle du 1/10 000 000, dont la carte Kahn est le prototype, et que chaque État contractant est libre d'établir ou non.

3° La carte générale Aéronautique en canevas de Mercator, où les méridiens sont espacés de 3 cm par degré de longitude.

4° Une carte normale à l'échelle du 1/1 000 000, selon le système de la carte du Monde au millionième, et destinée à remplacer la carte normale au 1/200 000.<sup>1278</sup>



Carte 11 : Exemple de carte générale Aéronautique.<sup>1279</sup>

<sup>1278</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Traité pratique de navigation aérienne*, Gauthier-Villars, 3<sup>e</sup> éd. revue et augmentée, 1935, p. 16.

<sup>1279</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Traité pratique de navigation aérienne*, Gauthier-Villars, 4<sup>e</sup> éd. revue et mise à jour, 1940, NP.



Le traité présente succinctement les « cartes orthodromiques de Louis Kahn » (voir chap. 8) imaginées en 1928 et adaptées à la navigation aérienne au long cours qui est devenue une réalité au début des années 1930.

Les auteurs étoffent également la partie consacrée au point astronomique (mais en le traitant très simplement). Ils présentent les trois alternatives au calcul logarithmique qu'ils considèrent applicables en avion. Ils citent quelques tables mais « dont l'usage sort de ce traité »<sup>1280</sup> (le carnet Bertin, les tables de Catalano, les tables Delafond), puis une machine à calculer (celle du commandant Le Sort), et enfin le procédé Kahn.

Les deux dernières éditions du traité introduisent les nouveautés en termes de navigation, mais tout comme dans les éditions des années 1920, ne font que les effleurer. L'ouvrage peut permettre de préparer le Brevet élémentaire de navigateur aérien mais il n'est pas suffisant pour qui veut approfondir la navigation aérienne.

Le navigateur intéressé ou désireux de passer le Brevet supérieur de navigateur aérien pourra se tourner vers les publications du ministère de l'Air.

#### *La navigation astronomique présentée par les Services techniques du ministère de l'Air*

Tout comme le SNAé dans les années 1920, les Services techniques du ministère de l'Air continuent de se préoccuper de la formation en navigation aérienne dans les années 1930. Ils publient des fascicules informant les navigateurs aériens des dernières innovations au travers des *Publications scientifiques et techniques du ministère de l'Air*.

Trois auteurs – un collaborateur scientifique (Louis Daviot), un ingénieur de l'aéronautique (P. Schnerb) et un professeur principal d'hydrographie (André Bastien) – y proposent de présenter « à tout navigateur aérien instruit »<sup>1281</sup> toutes les méthodes « par lesquelles la navigation astronomique aérienne cherche actuellement sa voie »<sup>1282</sup>. Les auteurs ont l'ambition de présenter les principes de la navigation astronomique en 25 pages en supprimant tout ce qui relève de la navigation maritime sans être indispensable au navigateur aérien.

Le fascicule est divisé en cinq parties : les notions élémentaires sur les astres et leurs mouvements relatifs apparents, la détermination d'un point sur la sphère terrestre et sur la sphère céleste, un exposé du problème de la navigation astronomique, les principes des diverses

---

<sup>1280</sup> HÉBARD L. et DUVAL A.-B., *Traité pratique de navigation aérienne*, Gauthier-Villars, 4<sup>e</sup> éd. revue et mise à jour, 1940, p. 101.

<sup>1281</sup> DAVIOT L., SCHNERB P., BASTIEN A., *Théorie succincte de la navigation astronomique*, Publications scientifiques et techniques du ministère de l'Air, 1937, p. 2.

<sup>1282</sup> *Ibid.*

méthodes de navigation astronomique (méthode Marcq Saint-Hilaire, méthode Kahn, méthode Bastide, méthode Bastien, méthode de similitude, méthode Favé) et le principe de la méthode de navigation astronomique Favé. Les auteurs reprennent en détail la méthode Favé, car celle-ci est « actuellement réglementaire dans l'aéronautique militaire française »<sup>1283</sup>. Il est d'ailleurs remarquable que la méthode de cet ingénieur hydrographe maritime, que les auteurs d'ouvrages du début des années 1920 avaient mis en avant, ait toujours autant de succès à la fin des années 1930 alors que les performances des avions et la qualité des instruments ont beaucoup progressé.

Daviot, Schnerb et Bastien préviennent toutefois les lecteurs :

*Il est possible que, dans l'avenir, l'une quelconque de ces méthodes [celles exposées dans la quatrième partie] s'impose ; actuellement, il n'en est pas ainsi. La méthode Favé, aujourd'hui réglementaire, parce qu'applicable au moyen de matériels bien au point, peut être surclassée demain par une autre méthode, qui aura permis de réaliser des matériels plus simples et plus rapides.*<sup>1284</sup>

Le fascicule *Théorie succincte de la navigation astronomique* permet in fine d'approfondir la navigation aérienne en étudiant la navigation astronomique. Mais certains auteurs publient plutôt des ouvrages, plus faciles d'accès, pour initier les aviateurs à la navigation aérienne.

### *Les Éléments de navigation aérienne pratique*

L'ouvrage *Éléments de navigation aérienne pratique* de Georges-R. Hamel, publié en 1930 (et réédité en 1939) par la Librairie des sciences aéronautiques, est probablement destiné à initier un pilote à la pratique de la navigation aérienne. L'auteur, qui se présente comme un ancien instructeur technique d'écoles d'aviation, navigateur aérien (brevet supérieur), y expose les bases de la navigation à l'estime en précisant que :

*Ce ne sera peut-être pas toujours follement amusant, mais je prends l'engagement de présenter les choses sous leur jour le moins aride ; à leur bonne volonté de faire le reste.*<sup>1285</sup>

Le manuel, qui n'est qu'une sorte de memento, dans lequel la navigation à l'estime est présentée superficiellement, ne sera pas suffisant pour préparer les brevets de navigateur aérien, mais pourra servir à l'apprentissage des notions au programme des brevets de pilote d'avion.

---

<sup>1283</sup> DAVIOT L., SCHNERB P., BASTIEN A, *Op. Cit.*, p. 18.

<sup>1284</sup> DAVIOT L., SCHNERB P., BASTIEN A, *Op. Cit.*, p. 26.

<sup>1285</sup> HAMEL G.-R., *Éléments de navigation aérienne pratique*, Librairie des sciences aéronautiques, 1930, p. 9.

Les jeunes gens ne souhaitant pas se plonger seuls dans l'un de ces ouvrages peuvent également se tourner vers les Cours par correspondance de Galopin.

*Le cours de navigation aérienne de l'École du génie civil*

Julien Galopin, ancien officier mécanicien de la Marine, a l'idée de créer un Cours de Navigation aérienne dans le cadre de l'École du génie civil. Il dirige alors la branche « navigation » de cette école, dont le siège se situe au 152 avenue de Wagram à Paris. Il y prépare les élèves aux concours d'entrée aux écoles d'officiers et de sous-officiers de la marine militaire et marchande. L'école se tourne vers l'aéronautique dès 1921 en proposant un cours de mécanicien d'aviation. Cette section « aviation » a reçu le patronage du sous-secrétariat d'état de l'aéronautique et des transports aériens. L'école ouvre une succursale à Nice, en 1933, avec le soutien de la chambre de commerce de la ville.

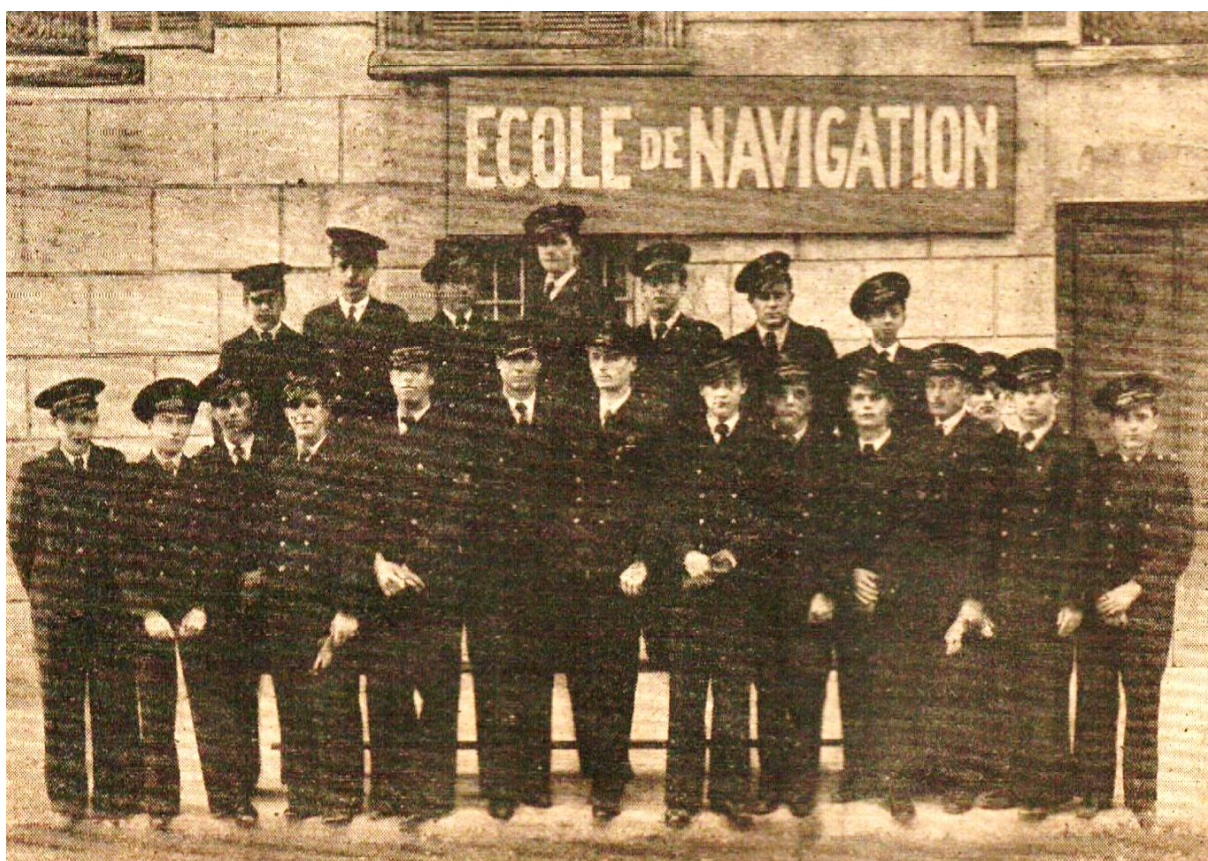


Figure 127 : Groupe d'élèves en uniforme de l'école de navigation de Galopin.<sup>1286</sup>

Galopin, qui se présente comme ancien professeur à l'école d'hydrographie et comme ancien directeur de l'école de navigation et d'officiers mécaniciens de La Rochelle, a mis en

---

<sup>1286</sup> Anonyme, *École de navigation maritime et aérienne - Année scolaire 1938-39*, Paris, Imprimerie Graphique, 1937, NP.

place deux cursus différents. Les élèves peuvent suivre des cours sur place ou des cours par correspondance préparés par les mêmes professeurs. Nous retrouvons parmi ces professeurs plusieurs professeurs d'hydrographie ayant enseigné dans les écoles officielles dont Bertin et Constan<sup>1287</sup>, ainsi que des officiers et ingénieurs anciens élèves de l'École navale (Guilloud qui est ingénieur diplômé de l'École navale, ex-officier de Marine et pilote-aviateur intervient pour l'année 1937-1938).

Les cours sur place et par correspondance proposent d'accéder aux fonctions de pilotes dans l'aviation maritime ou dans l'aviation militaire en préparant les concours d'entrée dans les écoles de sous-officiers (École de maistrance de la Marine et école d'Istres), mais seuls les cours par correspondance proposent une préparation aux deux brevets de navigateur aérien.

La mention des formations à la navigation aérienne ou comme officiers ou sous-officiers dans l'aéronautique, par l'école de Galopin, n'apparaît toutefois qu'au milieu des années 1930. En effet, le programme de l'*École de navigation maritime et aérienne* pour l'année scolaire 1938-1939 présente la « liste des élèves de l'École de navigation reçus aux examens de la marine marchande, de la marine militaire et de l'air » de l'année 1928-1929 jusqu'à l'année 1936-1937. Il faut attendre l'année 1935-1936 pour trouver treize jeunes gens reçus aux écoles de la marine et de l'air (sans précision pour l'école obtenue) et quinze pour l'année 1936-1937. Ces résultats laissent penser que l'école de Galopin ne préparait pas d'élèves à l'École de l'air avant 1935. Il est également probable que c'est à partir de cette année-là que des cours de navigation aérienne ont été proposés.

L'école n'assure pas les heures de vol mais fournit une préparation théorique<sup>1288</sup>. Or voler reste encore inaccessible à un grand nombre pour des raisons financières. Le Front Populaire souhaitant remédier à ce problème met en place l'« Aviation populaire » qui propose également une formation de base en navigation aérienne.

### *L'Aviation populaire*

L'État a institué un système de bourses de pilotage effectives en 1922. Ces bourses devaient permettre d'instruire des jeunes gens, dans des écoles civiles (huit homologuées), aux frais de l'État, jusqu'à l'obtention du brevet militaire de pilote d'avion, avant leur incorporation. Ce

---

<sup>1287</sup> Constan, qui dirigeait l'École nationale de navigation de Saint-Brieuc, est le directeur des cours pour la section marine marchande pour l'année 1938-1939.

<sup>1288</sup> En 1938-1939, il coûtera 500 frs pour la préparation au Brevet élémentaire et 900 frs pour le Brevet supérieur. Anonyme, *École de navigation maritime et aérienne – Année scolaire 1938-1939, Op. Cit.*, p. 62.

système ne se révèle pas totalement satisfaisant notamment en raison des critères fluctuants de sélection des bénéficiaires de la bourse<sup>1289</sup>.

Pierre Cot, alors ministre de l'Air, décide le 13 août 1936, de mettre en place « l'Aviation populaire » à destination des jeunes. Cette organisation doit permettre de démocratiser le recrutement des navigants de l'Armée de l'air et de créer des vocations en apportant un sang neuf aux formations<sup>1290</sup>. Il s'inspire pour cela du système mis en place par l'Allemagne.

Le programme de l'« Aviation populaire » est divisé en trois phases : l'éducation préaérienne pour les 9-14 ans avec une pratique du modélisme, l'école du vol à voile pour les 14-17 ans et enfin l'école de pilotage proprement dite (vol à moteur) pour les 17-21 ans dans des écoles homologuées.

Les Aéro-Clubs Bergeron présentent un programme d'études sur deux ans pour la troisième phase :

***Première année :***

- a) Etude de l'air, météorologie ;*
- b) Moteurs d'aviation ;*
- c) Aérodynamique ;*
- d) Avion ;*
- e) Navigation aérienne.*

***Deuxième année :***

- a) Révision générale et complément d'instruction sur le moteur, l'avion et la navigation aérienne ;*
- b) La sécurité aérienne ;*
- c) Les engins de sauvetage ;*
- d) L'aviation commerciale, militaire, privée ;*
- e) Les performances, records, raids.<sup>1291</sup>*

Les jeunes gens « désireux d'être versés dans les réserves de l'armée de l'air avec le brevet militaire de pilote d'avion et disposés à effectuer trois années de service actif dans le personnel navigant de l'armée de l'air »<sup>1292</sup> sont invités à candidater pour accéder aux places d'élèves pilotes dans les écoles civiles de pilotage au titre de l'« Aviation populaire ». Pour cela

---

<sup>1289</sup> FERRY V., *Des formations aéronautiques – du pingouin au jet, 1911-1960*, Editions du Gerfaut, 2008, p. 50.

<sup>1290</sup> FERRY V., *Aviation populaire ou aviation prolétaire*, éditions du Gerfaut, 2007. p. 8

<sup>1291</sup> *L'Avion, organe mensuel de l'Union des pilotes civils de France*, septembre 1936, p. 19.

<sup>1292</sup> « Circulaire relative au recrutement en 1937 d'élèves pilotes au titre de l'aviation populaire », *L'Avion, organe mensuel de l'Union des pilotes civils de France*, septembre 1936, p. 12.

ils doivent satisfaire des conditions d'âge et de santé et subir un concours de recrutement qui est sensiblement du niveau du brevet élémentaire (voir extrait 15).

| MATIERES                                                                                                                                                    | TEMPS<br>accordé | COEFFI-<br>CIENTS |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|
| Une composition française (développement à l'aide d'exemples d'un proverbe, d'une pensée, etc.) .....                                                       | 1 h. 30          | 2                 |
| Une composition d'arithmétique (résolution de 2 problèmes) .....                                                                                            | 1 h. 30          | 3                 |
| Une composition d'algèbre (équation du 1 <sup>er</sup> degré seulement). — Géométrie plane et physique (résolution de 3 problèmes élémentaires) .....       | 2 h.             | 3                 |
| Une composition d'histoire (éléments d'histoire de France de 1789 à nos jours) et de géographie (éléments de géographie de la France et des colonies) ..... | 1 h. 30          | 2                 |
| Les épreuves sont notées de 0 à 20. Les notes inférieures à 5 sont éliminatoires.                                                                           |                  |                   |

Extrait 15 : Épreuves écrites au programme du concours de recrutement des élèves pilotes au titre de l'aviation populaire<sup>1293</sup>

Les élèves sélectionnés reçoivent d'abord une instruction aérienne et une instruction technique les préparant au brevet militaire de pilote d'avion, dont 30 heures de vol seul à bord, durant trois mois. Ils reçoivent ensuite une instruction de perfectionnement durant quatre mois afin de se familiariser au pilotage des avions de guerre.

Le projet est ambitieux tant au niveau de la formation que de la pratique du vol. Robert Genty<sup>1294</sup> est sollicité pour fournir un manuel de cours de navigation aérienne aux élèves de « l'Aviation populaire ». Genty, licencié ès-Sciences, pilote-aviateur et détenteur du Brevet supérieur de navigateur aérien, publie *La navigation aérienne (cours élémentaire)* en 1938<sup>1295</sup>. Cet ouvrage de 95 pages doit permettre aux instructeurs des aéro-clubs d'initier les élèves à la navigation aérienne et de les préparer au brevet élémentaire de navigateur aérien.

Or, les instructeurs doivent faire face à un public ayant un niveau d'instruction très varié « s'échelonnant depuis le certificat d'étude jusqu'au brevet supérieur »<sup>1296</sup>. Cette diversité explique que Genty débute son manuel par un retour aux bases mathématiques en reprenant des notions de géométrie plane et dans l'espace, d'algèbre et de mécanique. L'auteur essaye également de trouver des procédés pour traiter le point astronomique de manière très simple. Il utilise pour cela des constructions géométriques et exclut les procédés calculatoires.

Il est évident que Genty souhaite motiver les élèves de « l'Aviation populaire », leur faire aimer la navigation aérienne. Il n'est toutefois pas certain que les élèves dépassent le stade

<sup>1293</sup> Ibid.

<sup>1294</sup> Robert Genty (1910-2001).

<sup>1295</sup> GENTY R., *La navigation aérienne (cours élémentaire)*, Paris, P. Fournié, 1938.

<sup>1296</sup> GENTY R., *Op. Cit.*, p. 3.

de l'initiation. Les élèves les plus motivés pourront par ailleurs parfaire leur instruction dans ces écoles puisque l'« Aviation populaire » doit servir de vivier pour l'armée de l'Air.

Un manque de concertation et trop de précipitation dans la mise en place du projet empêchent cependant cette « Aviation populaire » de porter les fruits escomptés durant ses trois années d'existence. L'aviation populaire doit faire face au ressentiment des aéro-clubs et à la frilosité des militaires. En effet, l'élargissement de la base de recrutement s'oppose au système traditionnel de recrutement basé sur la cooptation dans un milieu plutôt aisé<sup>1297</sup>.

Une autre catégorie de jeunes gens bénéficie également d'une formation en navigation aérienne : les élèves de l'École nationale supérieure de l'aéronautique.

#### *La formation en navigation aérienne à l'École nationale supérieure de l'aéronautique*

L'École nationale supérieure de l'aéronautique commence son enseignement le 20 octobre 1930 au 93 de la rue de Clignancourt à Paris. Elle est issue de l'École supérieure d'aéronautique et de constructions mécaniques, fondée en 1909 par le colonel Roche (voir chapitre 4), elle-même transformée en École supérieure d'aéronautique et de mécanique en 1919. La nationalisation de l'école est décidée en 1928 pour faire face aux espoirs fondés sur elle par l'État. Elle est créée législativement le 30 décembre 1928 et organisée par décret le 21 mai 1930 au cours du ministère de Laurent-Eynac pour y former des ingénieurs d'État et civils. Charles Grard<sup>1298</sup> quitte la direction du STAé pour diriger l'établissement de 1930 à 1934 et y enseigner la métallurgie.

Les élèves, admis sur concours, subissent une année préparatoire avant de suivre deux années de cours. Plusieurs matières sont au programme de ces deux années de cours : matières premières utilisées, moteurs, construction, aérodynamique et hydrodynamique, navigation aérienne, ainsi que des cours sur les applications générales de l'aéronautique (économie, organisation du travail et langues)<sup>1299</sup>.

P. Franck, ingénieur en chef hors classe de l'aéronautique, assure dès l'année 1930-1931 un cours de navigation aérienne en 24 leçons. La première leçon est consacrée à établir l'intérêt d'un tel cours dans une école d'ingénieurs. Il répond par-là aux protestations soulevées par la création de ce cours. Il indique que son objectif est bien de « faire des Ingénieurs capables de réaliser ou de faire réaliser des instruments de Navigation nouveaux, d'imaginer et de créer des

---

<sup>1297</sup> FERRY V., *Des formations aéronautiques – du pingouin au jet, 1911-1960*, Editions du Gerfaut, 2008, p. 51.

<sup>1298</sup> Charles Grard (1870-1937).

<sup>1299</sup> GRARD Ch., « L'École nationale supérieure de l'Aéronautique », *L'Aérophile*, 15 août 1930, p. 225.

méthodes de Navigation nouvelles »<sup>1300</sup> en précisant qu'il s'agit entre autres de la TSF et de la radiogoniométrie. Franck explique par ailleurs que, si la navigation est « vieille comme le monde », les problèmes qu'elle pose ne sont qu'imparfaitement résolus. Il ne faut pourtant pas laisser la marine trouver seule de nouveaux moyens de résoudre ces problèmes. Il justifie sa position en comparant la navigation maritime et la navigation aérienne :

*C'est que les besoins de la Navigation Aérienne et ceux de la Navigation Maritime ne sont pas les mêmes ; les principes de la Navigation s'appliquent aussi bien en l'air qu'en mer, mais dans cette application, l'ordre de grandeur des différents facteurs est très différent.*<sup>1301</sup>

Il distingue trois différences. Premièrement, les avions ne subissent pas de la même manière les courants (les courants aériens sont très rapides comparés aux courants marins). Deuxièmement, la rapidité des avions s'oppose à la lenteur des navires (« les mesures [en avion] doivent être très fréquentes, les observations rapides, les calculs simples et réduits au maximum, les constructions immédiates »<sup>1302</sup>). Enfin, l'avion a besoin de moins de précision car les erreurs d'itinéraire ont moins d'importance, l'avion pouvant faire de légers détours.

Franck conclut sa démonstration en écrivant :

*Ainsi donc la Navigation Aérienne a bien sa technique particulière, distincte de celle de sa sœur, la Navigation Maritime, et si toutes deux tirent de la science la même substance, elles la pétrissent et l'assimilent différemment.*<sup>1303</sup>

Franck répond par ces lignes aux interrogations de ses contemporains : les recherches en navigation sont-elles réservées aux marins et la navigation aérienne doit-elle se contenter de les adopter ? Mais son analyse répond également à nos propres interrogations : quelle part de la navigation aérienne est issue de la navigation maritime ?

Le cours débute par l'étude des instruments de pilotage dans lesquels il inclut le compas mais en précisant que le compas du pilote diffère légèrement du compas du navigateur :

*La précision d'une navigation dépend essentiellement de la précision du compas employé. Suivant qu'il est utilisé par le navigateur ou le pilote, on demande au compas des qualités un peu différentes. Celui du navigateur doit lui donner une précision de l'ordre de celle des mesures qu'il peut faire à bord ; celui du pilote doit lui donner le*

---

<sup>1300</sup> FRANCK, P., *Leçons sur la navigation aérienne : deuxième partie : deuxième année 1930-1931*. Cours de l'École nationale supérieure de l'aéronautique, vers 1931, p. 1.

<sup>1301</sup> *Ibid.*

<sup>1302</sup> FRANCK, P., *Op. Cit.*, p. 2.

<sup>1303</sup> *Ibid.*



*cap avec une approximation correspondant à l'exactitude qu'il peut raisonnablement espérer de son pilotage.*<sup>1304</sup>

Ce point de vue original n'est pas présent dans les autres cours que nous avons étudiés. Il est vrai qu'il s'adresse ici à un public particulier, de futurs concepteurs d'instruments, plutôt qu'à des utilisateurs de ces mêmes instruments.

Franck traite ensuite des méthodes et instruments intéressant le navigateur et en tout premier lieu des cartes (d'identification et de navigation), qui ne sont pas rigoureuses, mais dont l'erreur est « compatible avec la précision que l'on demande à la navigation aérienne »<sup>1305</sup>. Il justifie également l'étude du sextant et de la montre qui sont nécessaires pour contrer les erreurs de la navigation à l'estime. Bien que détaillant l'étude de nombreux appareils, l'auteur précise là encore les objectifs de ses leçons :

*Cette étude n'aura d'ailleurs pas pour objet essentiel de vous faire connaître en détail l'emploi de chacun des instruments. La connaissance des méthodes de navigation doit vous permettre de vous rendre compte des besoins des navigateurs, du rôle à remplir par chaque appareil, de la précision à exiger d'eux.*<sup>1306</sup>

Il consacre la dernière partie des leçons à l'exécution d'une navigation en expliquant :

*Si vous voulez équiper correctement les avions que vous construisez, il faudra avoir une idée assez nette de la façon dont pilote et navigateur utilisent les instruments que vous installerez à bord. (...) Ce serait (...) une erreur que de vouloir faire de vous des praticiens à toute épreuve de la navigation, mais c'en serait une autre que de nous contenter d'une sèche analyse des méthodes et d'un simple examen des méthodes, sans qu'une synthèse de leur emploi vienne vous situer exactement le rôle de chacun d'eux et vous préciser l'application que trouvent les différentes méthodes.*<sup>1307</sup>

Les élèves de L'École nationale supérieure de l'aéronautique sont in fine invités à mettre en pratique leurs connaissances en navigation aérienne au sein de l'aéroclub de l'école.

## Conclusion

Il n'est plus question de pratiquer la navigation aérienne sans une préparation « scientifique » dans les années 1920-1930. D'une part, parce que la navigation aérienne s'organise et se réglemente notamment au travers des brevets de navigateur aérien (qui auraient dû être obligatoires à partir de 1927 pour les transports publics) et, d'autre part, parce que les militaires

---

<sup>1304</sup> FRANCK, P., *Op. Cit.*, pp. 6-7.

<sup>1305</sup> FRANCK, P., *Op. Cit.*, p. 7.

<sup>1306</sup> FRANCK, P., *Op. Cit.*, p. 8.

<sup>1307</sup> FRANCK, P., *Op. Cit.*, pp. 8-9.

ont admis l'efficacité d'une navigation intégrant les pratiques des marins (notamment durant la guerre du Rif).

L'enseignement de la navigation aérienne s'organise progressivement sur les deux décennies.

Le navigateur doit s'autoformer au début des années 1920 en étudiant les écrits publiés dans cette optique. Le Service de la navigation aérienne (SNAé), créé le 7 septembre 1919, s'attèle immédiatement à cette tâche en proposant des conférences dont il fait ensuite publier le compte rendu (conférence de Thierry en décembre 1919). L'aéronaute et l'aviateur peuvent toujours utiliser les ouvrages de cours destinés aux marins tels que celui de l'École navale écrit par Marguet ou ceux des Écoles nationales de navigation (nouveau nom des écoles d'hydrographie) rédigés notamment par Massenet, mais il peut dorénavant accéder à des écrits qui lui sont spécifiquement destinés. Les revues aéronautiques assurent dans un premier temps leur diffusion (notice de Villain dans le *Bulletin de la Navigation aérienne*, traité de Hébrard et Duval dans l'*Aéronautique* en 1921) avant que l'offre s'étoffe et que les premiers ouvrages soient publiés par les maisons d'édition. Les références à la navigation maritime sont omniprésentes mais ses limites pour une application à la navigation aérienne sont également commentées.

Quelques cours ou écoles s'ouvrent, pour les civils (dès 1921 à l'initiative du SNAé et avec l'aide de l'AéCF) ou pour les militaires (l'École militaire et d'application de l'aéronautique est créée en 1925). La Marine, répondant aux sollicitations du ministère de la Guerre, ouvre le Cours supérieur de navigation aérienne de Brest en 1925, à destination des militaires désirant pousser leur formation en matière de navigation, mais aussi pour quelques pilotes civils des compagnies aériennes.

Il devient dès lors assez commode d'acquérir les notions de base nécessaires à l'obtention du Brevet élémentaire de navigateur aérien. Mais il faut encore se tourner vers les formations maritimes (ouvrages de cours, Cours supérieur de navigation aérienne de Brest, leçons enseignées par des marins à l'AéCF) pour approfondir les notions de navigation et pouvoir se présenter à l'examen du Brevet supérieur de navigateur aérien.

La gestion de l'aéronautique nécessitant d'être rationalisée, le ministère de l'Air est créé en 1928 puis l'Armée de l'air et la compagnie Air France voient le jour en 1933. Les formations deviennent dès lors de plus en plus variées, tant en ce qui concerne le niveau (initiation, élémentaire, supérieur) que les moyens (nouvelles écoles, nouveaux ouvrages). Les officiers de la nouvelle Armée de l'air sont formés à la navigation à l'École de l'air (qui ouvre en 1935) et les sous-officiers à l'École militaire et d'application de l'armée de l'air, tandis

qu’Air France ouvre un cours supérieur pour son personnel naviguant et que l’École nationale supérieure de l’aéronautique propose une formation à la navigation à ses élèves-ingénieurs. Des cours plus élémentaires continuent d’être proposés dans des ouvrages (quatrième édition du *Traité pratique de Navigation Aérienne* de Hébrard et Duval en 1940), des cours privés (école de navigation de Galopin) et dans l’« Aviation populaire » (créée en 1936).

La présence maritime s’estompe dans l’enseignement de la navigation durant les années 1930, mais ne disparaît pas. Pour preuve, la méthode de Favé, ingénieur hydrographe de la marine, traverse la période en devenant réglementaire dans l’armée de l’Air et en étant enseignée au personnel navigant des compagnies aériennes.



## Chapitre 7

### Perfectionnement des méthodes et des pratiques appliquées en navigation aérienne (novembre 1918-1928)

#### Introduction

Comme nous l'avons montré (voir chapitre 3), le navigateur maritime apprend le fonctionnement de trois catégories d'instruments, puis les met en pratique. Il utilise des instruments de mesure (compas, sextant, chronomètre), des instruments de calcul (tables et abaques ou nomogrammes) et des cartes pour la navigation loxodromique ou pour la navigation orthodromique.

Les particularités des aéronefs, dirigeables et avions (vitesse, altitude, espace réduit, etc.), amènent à repenser les outils et les méthodes à utiliser en navigation aérienne. Si « naviguer, c'est avant tout savoir utiliser une carte, une boussole et une montre »<sup>1308</sup> et que la pratique de ces trois instruments peut se révéler suffisante pour nombre de vols, il faut les compléter par d'autres instruments dès que la navigation devient plus technique, comme pour les grands raids. En effet, l'estime étant insuffisante pour les voyages au long cours, il faut utiliser les procédés astronomiques ou radiogoniométriques en tenant compte des difficultés d'utilisation de chacune de ces techniques dans les années 1920<sup>1309</sup>.

Par ailleurs, la flotte aérienne française est exclusivement militaire (Armée et Marine) au sortir de la Première guerre mondiale<sup>1310</sup>. Les militaires, et la Marine, vont tout naturellement jouer un rôle prépondérant dans le développement de l'aéronautique en France au début des années 1920<sup>1311</sup>. Cette intervention existe également dans les autres pays mais elle a la particularité d'être durable en France au travers notamment des raids. Les militaires collaborent ainsi à la naissance puis au développement de l'aviation commerciale, développement rendu possible grâce aux subventions de l'État.

---

<sup>1308</sup> COUTAUD G. et ANDLAUER L., *La navigation aérienne*, PUF, 1953, p. 9.

<sup>1309</sup> CASTILHO J., BEIRES S., *Le voyage de l'Argos, le premier vol de nuit à travers l'Atlantique sud commémoration du cinquantième 1927-1977*, Lisbonne, Divisao grafica de TAP, 1977, p. 43.

<sup>1310</sup> MARKOVIC S., « Le rôle de l'Etat dans la naissance de l'aviation commerciale française (1918-1933) ». In : *Revue belge de philologie et d'histoire*, tome 78, fasc. 3-4, 2000. Histoire médiévale, moderne et contemporaine - Middelleeuwse, moderne enhedendaagse geschiedenis. p. 971.

<sup>1311</sup> *Ibid.*

Nous nous interrogerons dans un premier temps sur la pratique de la navigation aérienne à bord des dirigeables français, entre les mains de la Marine, qui semblent les plus proches d'un navire maritime tant par la vitesse, l'autonomie que par l'équipage.

Nous examinerons dans quelle mesure la pratique de la navigation aérienne joue un rôle dans la création des lignes aériennes commerciales dans les années 1920.

## A) Les méthodes et pratiques de la navigation maritime appliquées aux dirigeables

La Marine concentre l'ensemble des dirigeables français au sortir de la Première guerre mondiale suite à la décision de l'Armée de lui transférer toutes les unités ayant survécu aux attaques sur le front terrestre (voir chapitre 5).

Le recrutement du personnel dédié aux dirigeables, après avoir rapidement augmenté à partir de 1916 (2 657 hommes, soit un quart de l'Aéronautique maritime à l'armistice) diminue ensuite fortement alors que leur âge augmente. En effet seuls deux nouveaux officiers issus des promotions de l'École navale d'après-guerre (un en 1927 et un en 1928) sont versés dans les dirigeables<sup>1312</sup>.

### 1) Les dirigeables de la Marine

Les dirigeables sont au total 47 (parmi les 72 ayant volé pour la Marine) à avoir une carrière après la fin de la Première guerre mondiale (voir tableau 32). Mais tous les dirigeables ne sont pas utilisés de manière optimale (certains volent très peu d'heures) et n'effectuent pas les mêmes ascensions car ils ont des caractéristiques très différentes.

| Nom  | Origine      | Livraison à la Marine | Dernier vol pour la France      | Heures de vol | Caractéristiques                                                                        |
|------|--------------|-----------------------|---------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| AT-2 | Astra-Torrès | 17 mai 1917           | 28 juin 1919<br>(désarmé)       | 625           | Volume : 5 200 m <sup>3</sup> .<br>5 hommes.                                            |
| AT-4 |              | 19 avril 1917         | 15 janvier 1920<br>(désarmé)    | 937           |                                                                                         |
| AT-6 |              | 19 octobre 1917       | 10 juillet 1919<br>(accidenté)  | 1068          | Volume : 6 700 m <sup>3</sup> .<br>5 hommes.<br>Autonomie : entre 13 h 30 et 27 heures. |
| AT-7 |              | 13 novembre 1917      | 28 décembre 1918<br>(accidenté) | 655           |                                                                                         |

<sup>1312</sup> FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 419.

|                         |                |                                                 |                                         |                                                                                  |                                                                                                         |
|-------------------------|----------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AT-9                    |                | 25 janvier 1918                                 | 30 avril 1920<br>(détruit)              | 641                                                                              |                                                                                                         |
| AT-10                   |                | 15 avril 1918                                   | 14 septembre 1925                       | 839                                                                              | Volume : 8 300 m <sup>3</sup> .<br>5 hommes.<br>Autonomie : entre 18 et 36 heures.<br>1 poste de radio. |
| AT-12                   |                | 12 août 1918                                    | 07 juin 1924<br>(désarmé)               | 150                                                                              |                                                                                                         |
| AT-14                   |                | 2 octobre 1918                                  | 12 juillet 1928<br>(désarmé)            | 510                                                                              |                                                                                                         |
| AT-15<br>E-4            |                | Novembre 1918 (en caisse jusqu'en février 1925) | 23 novembre 1925<br>(désarmé)           | 213                                                                              |                                                                                                         |
| AT-16<br>Transaérien VI |                | Novembre 1918                                   | 8 février 1922<br>(détruit)             | 230 pour la Marine et plus de 150 pour la CGT <sup>1313</sup> de 1919 à 1921     |                                                                                                         |
| AT-17<br>E-5            |                | Novembre 1918 (stocké jusqu'en décembre 1925)   | 16 février 1932                         | 444 sur deux périodes (de juin 1926 à avril 1927 et de juin 1935 à juillet 1937) |                                                                                                         |
| AT-18                   |                | Février 1920                                    | 20 mai 1920<br>(accidenté)              | Environ 50                                                                       | Volume : 9 700 m <sup>3</sup> .<br>7 hommes.<br>1 poste de radio.                                       |
| AT-19<br>E-6            |                | 8 septembre 1920                                | 26 juillet 1935<br>(désarmé)            | 1202 sur six périodes                                                            |                                                                                                         |
| AT-24<br>E-7            |                | 6 octobre 1925                                  | 23 juin 1926<br>(désarmé)               | 115                                                                              |                                                                                                         |
| AT-47                   |                | Septembre 1922                                  | 30 septembre 1922<br>(destiné au Japon) | 15                                                                               |                                                                                                         |
| CM-2                    | Chalais-Meudon | 2 janvier 1918                                  | 6 septembre 1920<br>(désarmé)           | De 434 à 450                                                                     | Volume : 6 000 m <sup>3</sup> .<br>Autonomie : entre 10 et 20 heures.                                   |

<sup>1313</sup> CGT : Compagnie Générale Transaérienne. Voir paragraphe suivant sur les débuts de l'aviation commerciale.

|                                      |                      |                                                                                                                         |                                                                          |                                                                                            |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CM-4                                 |                      | 2 mai 1918                                                                                                              | 18 avril 1919<br>(désarmé)                                               | 403                                                                                        | 6 hommes.<br>1 poste de TSF                                                                                                                                    |
| CM-5                                 |                      | 22 janvier 1920                                                                                                         | 3 février 1920<br>(dégonflé et transféré aux USA)                        | 6                                                                                          | Volume : 8 640 m <sup>3</sup> .<br>Autonomie : entre 15 et 30 heures.<br>7 hommes.<br>1 poste de TSF.                                                          |
| <i>Zeppelin n°114 (L-72) Dixmude</i> | Zeppelin (Allemagne) | Juillet 1920<br>(prise de guerre)                                                                                       | 21 décembre 1923<br>(détruit en vol)                                     | 418 (en 8 sorties)                                                                         | Volume : 68 500 m <sup>3</sup> .<br>Autonomie : 144 heures.<br>39 hommes d'équipage et 6 places passagers.<br>1 poste de radio<br>10 000 km de rayon d'action. |
| <i>Zeppelin n°121 Méditerranée</i>   |                      | Avril 1922<br>(prise de guerre)                                                                                         | 25 août 1926<br>(désarmé)                                                | 417 (en 56 sorties)                                                                        | Volume : 22 500 m <sup>3</sup> .<br>Autonomie : de 20 à 90 heures.<br>17 hommes.<br>1 poste de radio.                                                          |
| <i>Vedette VZ-2</i>                  | Zodiac               | 15 mai 1917                                                                                                             | 4 février 1925<br>(désarmé)                                              | 692 sur deux périodes<br>(de mai 1917 au 30 novembre 1918 et de mai 1924 à février 1925)   | Volume : 2 750 m <sup>3</sup> .<br>3 hommes.<br>Autonomie : entre 9 h 45 et 19 h 30.<br>1 poste de TSF.                                                        |
| <i>Vedette VZ-3</i>                  |                      | 2 juillet 1917                                                                                                          | 23 mai 1923 (après une période américaine de mars 1918 à septembre 1918) | 440 sur deux périodes<br>(de juillet 1917 à février 1918 et du 13 mai 1923 au 20 mai 1923) |                                                                                                                                                                |
| <i>Vedette VZ-4</i>                  |                      | 7 août 1917                                                                                                             | 25 avril 1923<br>(accidenté)                                             | Environ 200                                                                                |                                                                                                                                                                |
| <i>VZ-5 belge V-1</i>                |                      | 21 juillet 1917<br>(prêté par la Belgique à la France avant d'être définitivement cédé à la France le 17 novembre 1918) | 17 mars 1922<br>(désarmé)                                                | 350                                                                                        |                                                                                                                                                                |



|                                             |  |                                                                   |                                                                         |                         |                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Escorteur<br/>ZD-1</i>                   |  | 12 novembre<br>1917                                               | 16 avril<br>1919<br>(accidenté)                                         | Entre 224<br>et 300     | Volume : 6 200 m <sup>3</sup> .<br>5 hommes.<br>Autonomie : entre<br>15 h 30 et 31 heures.<br>1 050 à 1 400 km de<br>rayon d'action.<br>1 poste de TSF. |
| <i>Escorteur<br/>ZD-3</i>                   |  | 18 février<br>1918                                                | 19 août<br>1921<br>(dégonflé)                                           | 700                     |                                                                                                                                                         |
| <i>Escorteur<br/>ZD-4<br/>E-1</i>           |  | 12 mars 1918                                                      | 8 juillet<br>1927<br>(désarmé)                                          | Plus de<br>1000         |                                                                                                                                                         |
| <i>Escorteur<br/>ZD-5</i>                   |  | 20 avril 1918                                                     | 9 septembre<br>1919<br>(stocké)                                         | 139 en 23<br>ascensions |                                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-6</i>                         |  | 18 avril 1918                                                     | 22 juin<br>1919                                                         | 225                     | Volume : 2 800 m <sup>3</sup> .<br>3 hommes.<br>Autonomie : entre 9<br>et 18 heures.<br>630 à 880 km de<br>rayon d'action.<br>1 poste de TSF.           |
| <i>Vedette VZ-8<br/>V-2</i>                 |  | 14 juin 1918                                                      | Janvier<br>1926<br>(désarmé)                                            | 216                     |                                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-9<br/>Transaérien<br/>VII</i> |  | 13 juillet 1918                                                   | 11<br>novembre<br>1918<br>(désarmé<br>mais loué<br>en 1919 à la<br>CGT) | 122 h pour<br>la Marine |                                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-10</i>                        |  | 29 août 1918                                                      | 27 août<br>1925<br>(désarmé)                                            | Entre 373<br>et 400     |                                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-11<br/>V-3</i>                |  | Janvier 1918<br>mais aucune<br>activité<br>signalée avant<br>1926 | 24 février<br>1930<br>(désarmé)                                         | 123                     |                                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-12<br/>V-4</i>                |  | Juin 1918                                                         | 5 juin 1925<br>(désarmé)                                                | 175                     |                                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-14</i>                        |  | Juillet 1918<br>mais aucune<br>activité<br>signalée avant<br>1923 | 1 <sup>er</sup><br>décembre<br>1925<br>(désarmé)                        | Plus de 100             |                                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-16</i>                        |  | Juillet 1919                                                      | 18<br>septembre<br>1919                                                 | 12                      |                                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-17<br/>V-5</i>                |  | 19 février<br>1925                                                | 8 juin 1929<br>(désarmé)                                                | Une dizaine             |                                                                                                                                                         |
| <i>Vedette VZ-24<br/>V-6</i>                |  | 23 août 1923                                                      | 6 novembre<br>1931<br>(détruit)                                         | Entre 425<br>et 550     | Volume : 3 100 m <sup>3</sup> .<br>5 hommes.<br>Autonomie : entre<br>8 h 30 et 17 heures.<br>650 à 880 km de<br>rayon d'action.<br>1 poste de TSF.      |
| <i>Zodiac V-7</i>                           |  | Avril 1927                                                        | 12 mai<br>1934<br>(désarmé)                                             | Au moins<br>750         | Volume : 3 335 m <sup>3</sup> .<br>5 hommes.<br>Autonomie : entre 9<br>et 20 heures.<br>1 poste de TSF.                                                 |

|                        |  |                    |                                     |                |                                                                                                 |
|------------------------|--|--------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V-8                    |  | Juillet 1927       | Juin 1937<br>(désarmé)              | Environ<br>900 | Volume : 3 000 m <sup>3</sup><br>5 hommes.                                                      |
| V-9                    |  | Juin 1929          | 13 août<br>1931<br>(dégonflé)       | 244            |                                                                                                 |
| V-10 (semi-<br>rigide) |  | 17 janvier<br>1929 | 14<br>novembre<br>1930<br>(détruit) | 200            | Volume : 3 400 m <sup>3</sup><br>5 hommes.<br>750 km de rayon<br>d'action.                      |
| V-11                   |  | Juin 1930          | 4 août 1936<br>(désarmé)            | 327            | Volume : 3 400 m <sup>3</sup><br>4 hommes.<br>2 000 km de rayon<br>d'action.<br>1 poste de TSF. |
| V-12                   |  | 5 août 1936        | 9 septembre<br>1937<br>(désarmé)    | 241            | Volume : 4 020 m <sup>3</sup> .<br>4 hommes.<br>Autonomie : 24<br>heures.<br>1 poste de TSF.    |
| Escorteurs E-<br>8     |  | 8 juillet 1930     | 23<br>septembre<br>1931             | 9              | Volume : 10 200 m <sup>3</sup><br>8 hommes.<br>Autonomie : entre<br>8 h 30 et 21 heures.        |
| Escorteurs E-<br>9     |  | 8 novembre<br>1932 | 4 mai 1933<br>(détruit)             | 44             |                                                                                                 |

**Tableau 32 : Liste des dirigeables ayant volé au sein de la Marine française après l'armistice de la guerre 1914-1918 jusqu'en 1937.**<sup>1314</sup>

Il est excessif de considérer que la France ne construit plus de dirigeable après la guerre de 1914-1918<sup>1315</sup> (voir tableau 32) mais elle cesse d'innover. Elle s'intéresse peu à cet aéronef probablement trop coûteux et souvent associé à l'image d'une « technique allemande »<sup>1316</sup> mal vue par l'opinion publique.

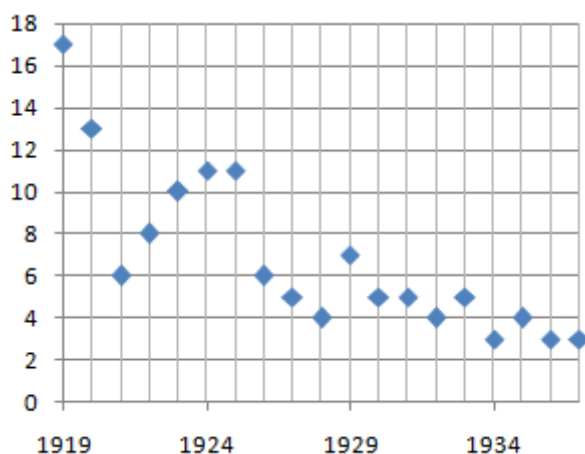
Les dirigeables français sont de type souple, semi-rigide ou rigide. La Marine ne dispose que de dirigeables de type souple avant 1920 (des vedettes de 2 000 à 4 000 m<sup>3</sup> et des patrouilleurs de 4 000 à 15 000 m<sup>3</sup>) puis réceptionne deux zeppelins ayant une structure rigide en 1920 et 1921. Une classification des dirigeables en trois catégories est mise en place en 1925 : les croiseurs qui ont un volume supérieur à 60 000 m<sup>3</sup> avec une structure rigide, trente hommes d'équipage et cinq à six jours d'autonomie, les escorteurs de 10 000 à 30 000 m<sup>3</sup> avec une structure des trois types et cinq hommes d'équipage, les vedettes de 2 000 à 4 000 m<sup>3</sup> avec une structure souple, quatre hommes d'équipage et deux à dix heures d'autonomie. Les croiseurs sont destinés au bombardement et à l'observation, les escorteurs à la protection des

<sup>1314</sup> Tableau établi à partir des informations présentes dans FEUILLOY R., *Op. Cit.*, pp. 35-244.

<sup>1315</sup> Opinion partagée puis reprise par plusieurs auteurs dont CHAMBE R., *Histoire de l'aviation*, Paris, Flammarion, 1948, p. 137.

<sup>1316</sup> GRAS A., MORICOT C., POIROT-DELPECH S., SCARDIGLI V., *Face à l'automate : Le pilote, le contrôleur et l'ingénieur*, Paris, Publications de la Sorbonne, 1994, p. 25.

convois contre les sous-marins et les vedettes s'occupent de la protection rapprochée des ports. Cette classification ne s'applique qu'une dizaine d'années puisque les dirigeables vont totalement disparaître en France en 1937.



Graphique 1 : Nombre de dirigeables ayant volé chaque année de 1919 à 1937<sup>1317</sup>

Les dirigeables volent principalement de 1919 à 1925 (entre 6 et 17 en vol par an) (voir graphique 1) alors que la fin de la décennie connaît de 4 à 7 dirigeables dans les airs par an. La présence des dirigeables dans les airs diminue encore jusqu'en 1937 (entre 3 et 5 en vol par an)<sup>1318</sup>.

Il est difficile d'obtenir des missions, aussi l'importance et la régularité des vols des dirigeables dépendent souvent de la ténacité de l'officier les commandant, face au scepticisme voire à l'hostilité des autorités. Jean du Plessis de va ainsi se battre durant plusieurs mois pour pouvoir faire voler le Dixmude. En effet, les officiers pilotes de dirigeables restent le plus souvent convaincus de l'intérêt d'un dirigeable face à un avion à la fois dans le domaine militaire mais également dans le domaine commercial. Il écrit :

*Si l'on ne peut pas prédire le même emploi du rigide dans les guerres futures, on ne peut pas le nier non plus ; et l'on est en droit, malgré tout, d'escompter des perfectionnements techniques qui feront du rigide une arme d'une puissance insoupçonnée. Sa puissance actuelle réside à coup sûr dans son rayon d'action et dans sa capacité de transport, ne l'oublions pas. Elle le désigne comme le plus merveilleux appareil aérien de transport commercial. (...) L'avion s'il est très rapide, ne peut aller très loin et très longtemps sans sacrifier toute charge commerciale. Il est l'esclave du*

<sup>1317</sup> Graphique établi à partir des données recueillies par FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 250.

<sup>1318</sup> Feuilloy relève 45 dirigeables en vol pour l'année 1918.

*sol ; le dirigeable ne l'est pas. (...) Certes nos constructeurs d'avions réaliseront, demain peut-être, des appareils capables d'annuler les distances par leur vitesse, mais quelle charge réellement utile transporteront ces avions et pour quel prix la mèneront-ils à destination ?*<sup>1319</sup>

De telles opinions ne réussiront toutefois pas à contrecarrer la disparition progressive des dirigeables du ciel français. Cette désaffection n'empêche pas la Marine d'utiliser ses ballons à diverses occasions.

Les dirigeables Astra-Torrès ou Zodiac effectuent différents exercices durant leurs ascensions. Ils peuvent lancer des bombes, escorter ou rechercher des navires, mais aussi effectuer des vols de navigation de jour ou de nuit et tester de nouveaux appareils.

Les équipages y utilisent le compas et la montre, présents dans la nacelle du dirigeable, pour naviguer à l'estime en se servant des procédés mis au point pour la marine. C'est le cas pour la vedette *Zodiac VZ-10* qui effectue une trentaine de vols de navigation et d'instruction autour de Saint-Cyr durant l'année 1920.

## 2) Le compas des dirigeables

La plupart des dirigeables français sont équipés de compas liquides de la marine dits de torpilleur (voir chapitre 3), munis d'une rose de 14 cm de diamètre et principalement construits par la maison Doignon<sup>1320</sup>. Ces compas possèdent une profonde cuvette qui sera remplie d'un liquide (mélange d'eau, d'alcool et de glycérine) qui ne doit pas geler dans les très basses températures de la haute atmosphère. Plus le dirigeable vole haut, plus la proportion d'alcool doit être augmentée jusqu'à atteindre l'alcool pur pour les très grandes altitudes où les températures peuvent descendre à - 40°C voir - 50°C<sup>1321</sup>.

Les deux compas du dirigeable (compas de route et compas de relèvement), qui sont fixés, comme sur un navire, « par une suspension à la cardan »<sup>1322</sup>, doivent également être compensés. Il faut commencer par établir la courbe de déviation du dirigeable. La manœuvre n'est pas aisée et nécessite un personnel assez nombreux. Il est possible de faire la mesure sans l'enveloppe, uniquement dans la nacelle, mais le plus souvent le personnel détermine les déviations comme sur un navire en prenant le soleil comme point de repère<sup>1323</sup> (voir chapitre 3). Les pilotes de dirigeable, contrairement aux pilotes d'avion, ont étudié très précisément leur

---

<sup>1319</sup> PLESSIS (DU) J., *Les grands dirigeables dans la Paix et dans la Guerre ; T1 : leur passé, leur avenir, l'expérience du Dixmude*, Plon, 1925, pp. XIII-XXIV.

<sup>1320</sup> ROUCH J., *Le compas de navigation aérienne*, Paris, Masson, 1921, p. 21.

<sup>1321</sup> ROUCH J., *Op. Cit.*, p. 23.

<sup>1322</sup> *Ibid.*

<sup>1323</sup> ROUCH J., *Op. Cit.*, p. 36.

compas, même pendant la guerre, probablement en raison de leur formation maritime. Les déviations pour quelques dirigeables en activité après la fin du conflit sont données dans le tableau suivant (voir tableau 33) :

| Type<br>(voir tableau 32) | Position du compas                                                                 | Importance de la<br>déviations   | Exemple de<br>coefficients pour la<br>formule d'Archibald<br>Smith<br>(voir chapitre 3) |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| VZ                        | À l'intérieur d'une<br>nacelle métallique                                          | Importante, jusqu'à<br>15°       | VZ-6 :<br>A = -0°1, B = 4°,<br>C = 6°, D = -0°7,<br>E = 0°5                             |
| ZD                        | Dans le plan de<br>symétrie et bien<br>dégagé du corps de<br>la nacelle métallique | Généralement<br>inférieures à 5° | ZD-3 :<br>A = 0°2, B = -7°4,<br>C = -1°8, D = 1°,<br>E = 0°                             |
| CM                        | Dans le plan de<br>symétrie et à<br>l'intérieur d'une<br>nacelle en duralumin      | Comprise entre 5° et<br>10°      |                                                                                         |
| AT                        | Dans une nacelle en<br>bois                                                        | Négligeable                      | (7° pour l'AT-9 qui<br>porte un canon)                                                  |

Tableau 33 : Déviation à bord des dirigeables<sup>1324</sup>

La position des compas est essentielle pour pouvoir faire une bonne compensation. Le compas de route est placé devant le pilote de direction (sur les VZ il est au-dessus de la planchette aux instruments, sur les AT il est sur la traverse qui tient la barre de direction) et le compas de relèvement est le plus souvent placé au milieu de la nacelle de manière à permettre des visées par-dessus le bordage<sup>1325</sup>

Le compas liquide fait toujours partie des appareils de navigation installés dans le poste de navigation du dirigeable, mais d'autres appareils vont bénéficier de vols de test. Ainsi, toujours en 1920, l'AT-19 est convoyé à Aubagne en appareillant à 3 h 30 min le 20 octobre 1920 et en utilisant le « navigraphe Le Prieur ».

<sup>1324</sup> Tableau établi à partir des résultats de l'étude du capitaine Joux reprisés par ROUCH J., *Op. Cit.*, pp. 51-52.

<sup>1325</sup> ROUCH J., *Op. Cit.*, p. 53.

### 3) Le navigraphe Le Prieur

Le lieutenant de vaisseau Yves Le Prieur est un officier de Marine connu pour ses inventions dans différents domaines (armement, plongée, etc.), dont l'aéronautique<sup>1326</sup>. Il met au point des équipements à bord des aéronefs afin d'aider les pilotes à réaliser leurs missions par tous les temps pendant la Première guerre mondiale (il aurait pris la direction du tout nouveau Bureau des inventions à la fin 1916<sup>1327</sup>) et après le conflit. Il invente d'ailleurs un correcteur de dérive en 1920, qui permet d'améliorer la navigation à l'estime, auquel il donne le nom de Navigraphe<sup>1328</sup>.



Figure 128 : Portrait d'Yves Le Prieur.<sup>1329</sup>

Le Prieur a mis au point cet instrument en constatant que la détermination de la dérive, qui est la pierre d'achoppement de la navigation à l'estime, ne se déterminait pas avec suffisamment de précision. Théoriquement, il suffirait de se servir d'un dispositif rudimentaire :

*Un réseau de fils parallèles tendus sur un cadre horizontal et à travers lequel on regarde défiler le sol à l'aplomb de l'aéronef. Théoriquement, il suffit d'orienter ce*

---

<sup>1326</sup> MOREEL L., *Yves le Prieur : l'homme, le marin, l'inventeur*, Paris, Académie de marine (Houilles, imprimerie de marine), 1965.

<sup>1327</sup> Thierry Le Roy donne cette information que je n'ai pas réussi à vérifier. LE ROY Th., *Les bretons et l'aéronautique*, Presses universitaires de Rennes, 2002, p. 320. Voir Yves Roussel pour des informations sur le bureau des inventions. ROUSSEL Y. « L'histoire d'une politique des inventions, 1887-1918 », *Cahiers pour l'histoire du CNRS, 1939-1989*, 1989, p. 42-51.

<sup>1328</sup> Le Prieur rédige des articles sur un « dérivographe » associé à un « correcteur de route » dans les publications de 1920 avant de d'appeler son instrument « navigraphe ».

<sup>1329</sup> Photographie du Service historique de la Défense obtenue sur la page <http://www.colsbleus.fr/articles/8432>, consulté le 13 août 2018.

*cadre de façon que les points du sol ne traversent pas les fils, mais semblent au contraire se déplacer parallèlement à eux. A ce moment l'orientation des fils du cadre par rapport à l'axe de l'aéronef donne la dérive.*<sup>1330</sup>

Cette méthode, qui est d'ailleurs utilisée à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle en ballon libre (voir chapitre 4), se heurte à trois problèmes : l'aéronef tangue, roule et fait des embardées. Le Prieur propose de les résoudre à l'aide d'une méthode d'enregistrement graphique et au moyen d'une utilisation combinée d'un « dérivographe » et d'un « correcteur de route ».

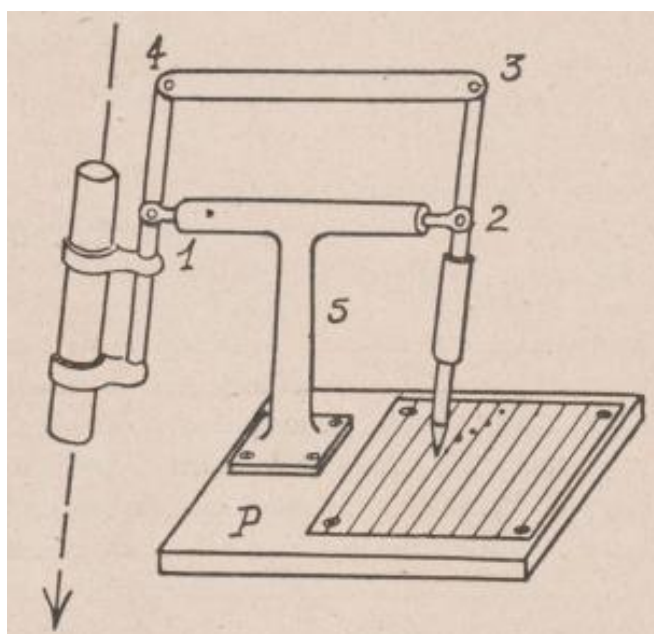


Figure 129 : Dérivographe Le Prieur.<sup>1331</sup>

L'observateur vise un point au sol au travers de la lunette (1 sur la figure 129). Il appuie sur le crayon (2 sur la figure 129) à chaque fois que le point est visible dans la lunette qu'il peut faire bouger. Le nuage de points ainsi obtenu correspond à l'enregistrement des positions relatives du point visé par rapport à l'aéronef. La direction moyenne de la ligne pointillée donne la dérive cherchée. Pour plus de sûreté, il convient de renouveler l'opération trois ou quatre fois en visant à chaque fois un autre point. Le dérivographe est fixé sur une planchette (21 sur la figure 130).

L'observateur manipule une vis sans fin (9 sur la figure 130) et amène devant l'index (8 sur la figure 130) la direction Nord de la rose. L'ensemble de disques de la planchette devant

<sup>1330</sup> LE PRIEUR Y., « Le correcteur de route », *L'Aéronautique*, novembre 1920, p. 227.

<sup>1331</sup> LE PRIEUR Y., *Op. Cit.*, p. 228.

l'observateur est relié par un flexible à un disque répéteur devant le pilote et à côté du compas de direction de manière à reproduire les indications issues du dérivographe.

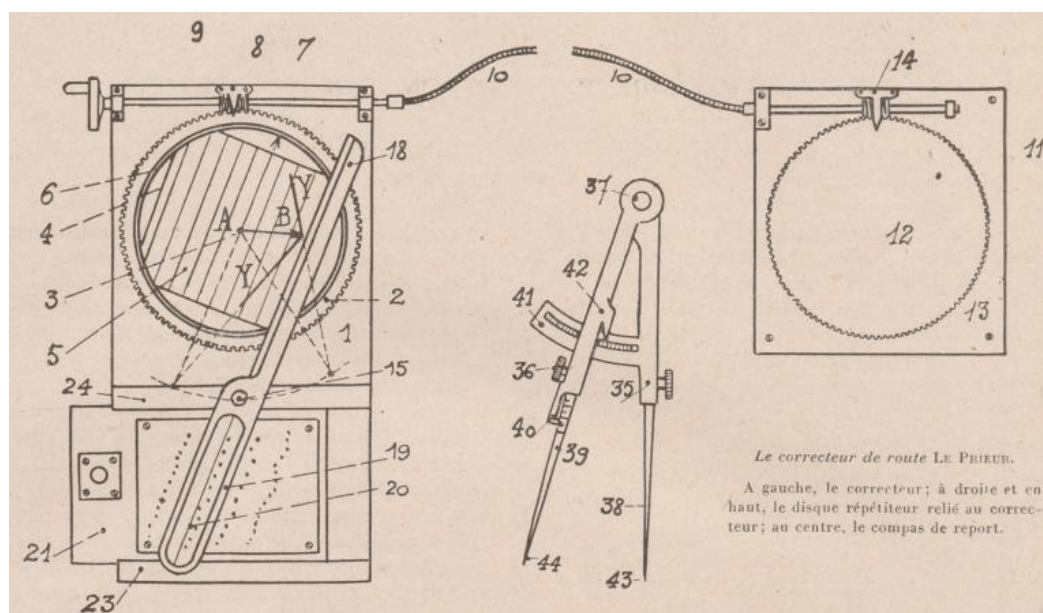


Figure 130 : Correcteur de route Le Prieur.<sup>1332</sup>

Les instruments sont essayés une première fois le 28 août 1920 sur un trajet Villacoublay-Melun et retour en avion *Caudron C-23* avant un essai de longue durée le 20 octobre 1920 à bord du dirigeable *AT-19*. Le Ministre de la Marine a en effet autorisé Le Prieur à installer ses appareils à bord du dirigeable pour un parcours Saint-Cyr-Aubagne de 650 km.

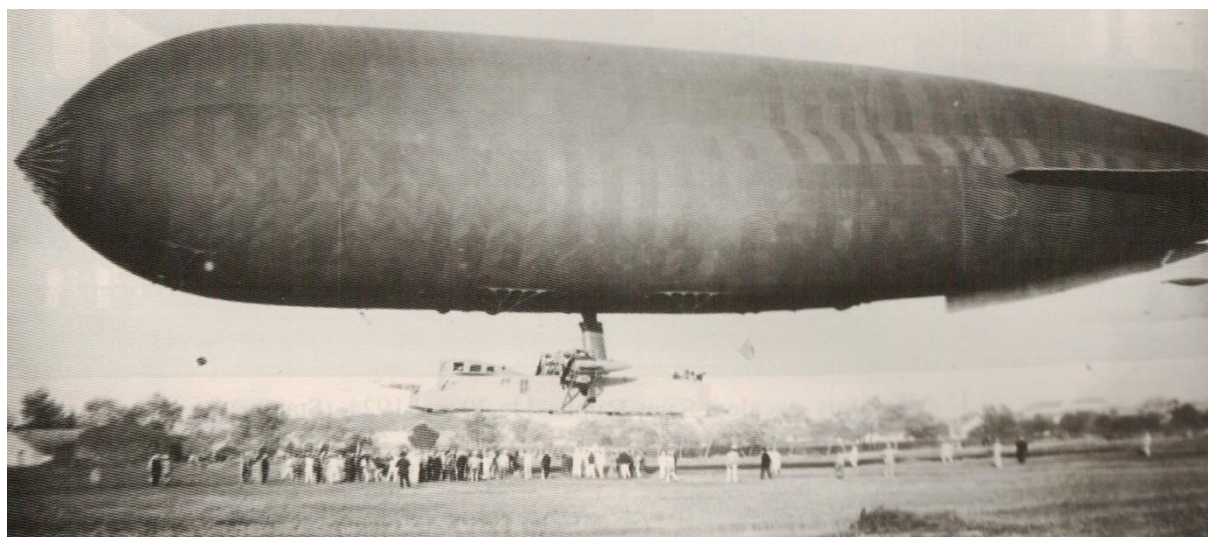


Figure 131 : AT-19 en août 1920 à Saint-Cyr.<sup>1333</sup>

<sup>1332</sup> *Ibid.*

<sup>1333</sup> FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 103.



L'objectif est de vérifier que le correcteur permet de se maintenir sur la droite de plus court chemin entre deux points. Cet essai est un succès puisque la dérive a pu être facilement tracée à la fois de jour comme de nuit alors que le dirigeable n'a pas suivi la route habituelle qui passait par Dijon et Lyon.<sup>1334</sup> L'expérience est si concluante que la Marine passe commande de l'appareil pour équiper ses dirigeables<sup>1335</sup>

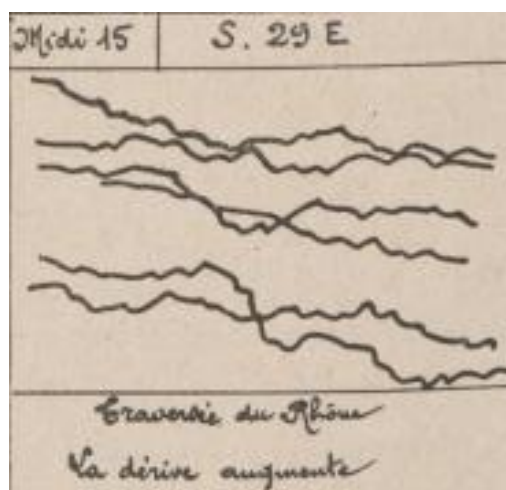


Figure 132 : L'un des tracés du dérivographe lors du trajet Paris-Aubagne.<sup>1336</sup>

Selon Le Prieur :

*Grâce à de tels appareils, les aviateurs et les aéronautes prendront rapidement dans leurs boussoles toute la confiance qu'elles méritent et la navigation aérienne deviendra bientôt aussi précise que la navigation maritime, avec laquelle elle a tant de points communs.*<sup>1337</sup>

Ces appareils vont en effet participer à la diffusion des méthodes scientifiques de navigation à l'estime tant à bord des avions que des dirigeables.

Le Prieur perfectionne son dispositif au sein de la société Précision Moderne, qu'il a rejoint en juin 1920 en qualité de directeur technique, gagnant avec son appareil, le 23 mai 1921, un prix de 2 000 francs lors du concours de l'Union pour la sécurité en aéroplane<sup>1338</sup>.

<sup>1334</sup> LE PRIEUR Y., *Op. Cit.*, p. 230.

<sup>1335</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, p. 322.

<sup>1336</sup> LE PRIEUR Y., *Op. Cit.*, p. 231.

<sup>1337</sup> LE PRIEUR Y., *Op. Cit.*, p. 232.

<sup>1338</sup> *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> au 15 juin 1921, p. 164.

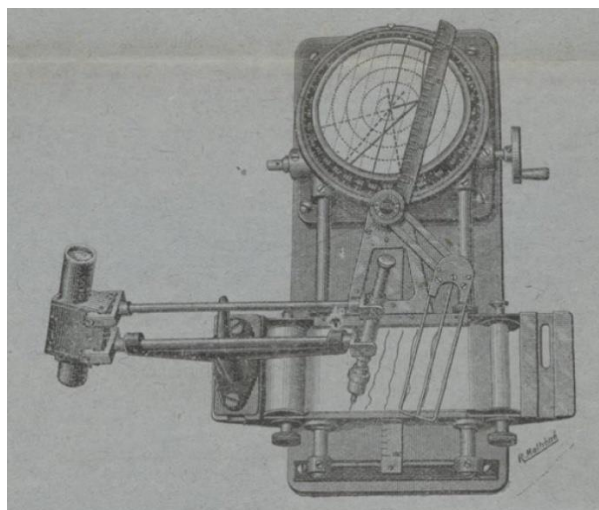


Figure 133 : Navigraphe Le Prieur vers 1921.<sup>1339</sup>

D'autres essais du « navigraphe » se déroulent dans les années qui suivent lors d'ascensions de dirigeables, comme à bord de la vedette V-3 (ancien VZ-11) le 26 mars 1926 autour de Rochefort<sup>1340</sup>, ou à bord de la vedette V-6 (ancien VZ-24) près de Cuers en 1927-1928<sup>1341</sup>.

#### 4) La navigation astronomique pratiquée à bord des dirigeables

Les dirigeables souples et semi-rigides de la Marine sont correctement équipés pour pratiquer la navigation à l'estime. Il arrive également parfois aux équipages d'y faire des points d'étoile, comme dans l'AT-24 qui s'est spécialisé dans les vols de nuit et a effectué des reconnaissances photographiques ainsi que des observations astronomiques en 1925-1926<sup>1342</sup>. Les deux croiseurs zeppelins réceptionnés par la France (le *Dixmude* et le *Méditerranée*) sont cependant mieux adaptés à la navigation astronomique que les autres dirigeables du parc français. Ils possèdent tous deux un compas liquide, un navigraphe Le Prieur ainsi qu'un sextant gyroscopique Fleuriais (voir chapitre 3).

Le lieutenant de vaisseau Albert Deniérou<sup>1343</sup> rappelle, dans un article publié en novembre 1920, la difficulté de pratiquer la navigation astronomique en aéronef (« Ce procédé, appliqué à la navigation aérienne, est encore loin d'être aussi pratique qu'à bord d'un navire »<sup>1344</sup>). Il a débuté sa carrière aéronautique durant la Première guerre mondiale, d'abord comme pilote d'hydravion, puis en tant que commandant des dirigeables *Capitaine Caussin* et

<sup>1339</sup> CORVIT M., « Le navigraphe Le Prieur », *Les ailes*, 23 juin 1921.

<sup>1340</sup> FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 185.

<sup>1341</sup> FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 195.

<sup>1342</sup> FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 108.

<sup>1343</sup> Albert Deniérou (1890-1935). École navale (1909).

<sup>1344</sup> DENIÉROU A., « T.S.F. et navigation aérienne », *L'Aéronautique*, novembre 1920, p. 233.

AT-1. Après la fin de la guerre, il commande le CM-2 en 1919 et l'AT-19 en 1921, et commande un centre de dirigeables (Aubagne en 1921-1922) puis le centre de ballons captifs de Toulon (1922-1924). Selon lui, la méthode du point astronomique, avec l'utilisation du sextant pour relever une hauteur d'astre, le tracé des droites de hauteurs pour la recherche d'un lieu géométrique et l'utilisation d'une table de logarithme pour faire les calculs, est peu pratique en aéronef pour trois raisons.

Premièrement, les appareils d'observation (sextant couplé au chronomètre) ne sont pas tout à fait adaptés (« on sait qu'un sextant ordinaire ne peut être employé qu'avec l'horizon de la mer »<sup>1345</sup>). En effet, le sextant marin ne peut pas être utilisé correctement en vol parce que l'horizon n'est pas toujours visible mais surtout parce qu'un sextant doit être corrigé de la hauteur de l'observateur or les altimètres ne sont pas encore fiables. Deniélou précise que l'erreur d'altitude peut être de 100 à 200 mètres dès que l'aéronef vole à plus de 1000 mètres, ce qui correspond à une erreur d'angle de plus ou moins 10 minutes et donc conduit à déplacer la droite de hauteur d'environ 18 kilomètres vers la droite ou la gauche de sa position exacte<sup>1346</sup>. Le sextant gyroscopique Fleuriat, ou un sextant à niveau, qui ne dépendent pas de l'observation de l'horizon, sont plus adaptés à la navigation aérienne, mais ils sont plus compliqués d'utilisation et surtout, ils sont très sensibles aux vibrations et « fatiguent très rapidement l'œil de l'observateur. La précision du point peut s'en trouver sensiblement affectée »<sup>1347</sup>. De plus, le chronomètre, qui est également indispensable pour la méthode exacte du point astronomique, est lui aussi très sensible aux vibrations, qui peuvent être fortes dans les aéronefs (surtout à bord des avions).

Le manque de place à bord est la deuxième raison évoquée par Deniélou :

*Si l'observateur emploie la méthode classique pour calculer ses droites de hauteur, il doit pouvoir compulser commodément et en toute liberté d'esprit, une table de logarithmes, la Connaissance des temps, etc., toutes choses faciles à bord d'un navire, mais qui sont rendues beaucoup moins simples, à bord d'un aéronef, par le manque d'espace. Cette condition de commodité est plus importante qu'elle ne paraît au premier abord, et peut être source de nombreuses erreurs de calcul lorsqu'elle n'est pas remplie.*<sup>1348</sup>

---

<sup>1345</sup> Ibid.

<sup>1346</sup> Ibid.

<sup>1347</sup> Ibid.

<sup>1348</sup> Ibid.

Ce manque de place est flagrant dans les avions et hydravions en 1920, mais il existe également dans les dirigeables souples tels que le CM-2 où un équipage de 8 hommes se partage une nacelle ovoïde de 11 mètres (voir l'exiguïté de la nacelle figure 134)

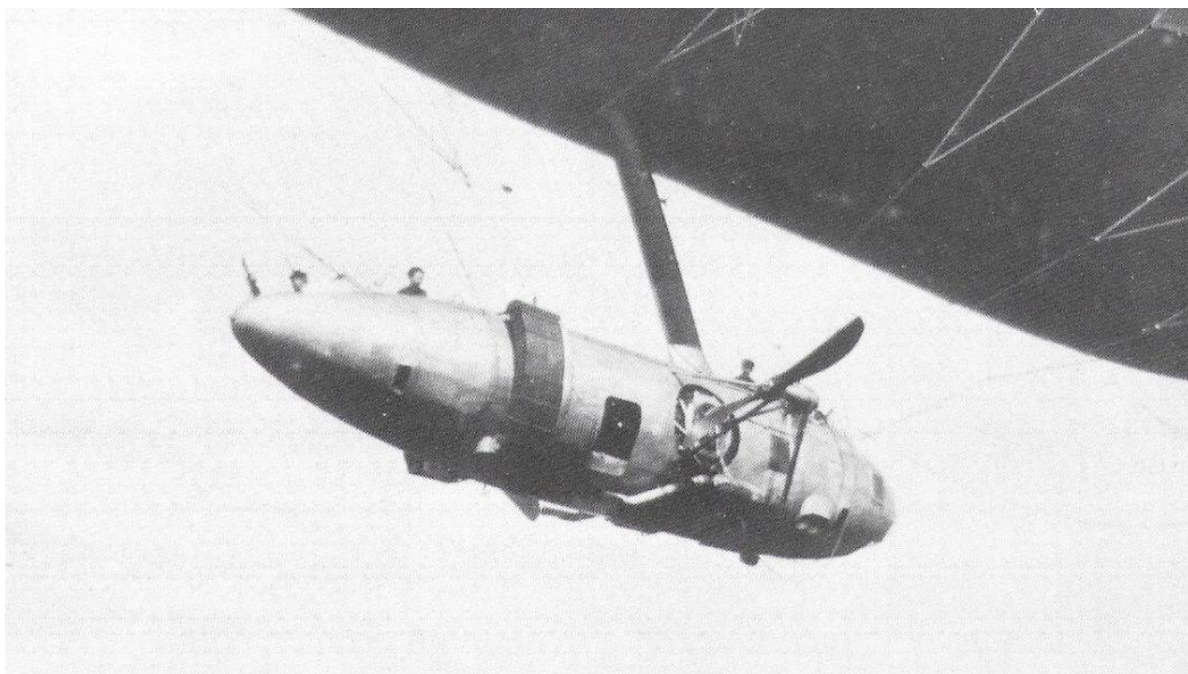


Figure 134 : Nacelle du CM-2.<sup>1349</sup>

Il est difficile pour l'« observateur »<sup>1350</sup> de feuilleter les tables de logarithmes et la *Connaissances des temps* afin d'effectuer ses calculs par la méthode classique de détermination du point, mais il n'est pas plus simple de déployer un abaque ou un nomogramme souvent de grande dimension pour obtenir le point par une construction graphique<sup>1351</sup>.

Enfin, si les deux inconvénients précédents peuvent être surmontés, principalement à bord des grands dirigeables, le navigateur manquera toujours de temps pour effectuer correctement ses observations et ses calculs puisqu'« un intervalle de temps, variant de 30 minutes (observations simultanées) à 3 ou 4 heures, lui est toujours nécessaire »<sup>1352</sup>. Ce temps incompressible pourra poser problème lors des traversées de l'Atlantique en aéronef qu'anticipe Deniélou. En effet, les côtes étant souvent brumeuses, le lieu d'atterrissage sera difficile à déterminer. Il considère que la radioélectricité et particulièrement la radiogoniométrie apporteront la solution pour la navigation au long cours dans un avenir proche :

---

<sup>1349</sup> FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 130.

<sup>1350</sup> Deniélou utilise encore le terme d'observateur et non de navigateur pour désigner la personne effectuant les calculs.

<sup>1351</sup> DENIÉLOU A., *Op. Cit.*, p. 234.

<sup>1352</sup> *Ibid.*

*Fort heureusement, la télégraphie sans fil permettra, probablement bientôt, de résoudre le problème du point aéronautique d'une façon satisfaisante à tous points de vue : simplicité, précision, rapidité, affranchissement des conditions atmosphériques.*<sup>1353</sup>

#### *Les enseignements de la double traversée transatlantique du R-34*

Le capitaine de corvette Maurice Thierry est plus confiant que Deniérou dans la capacité des équipages à pratiquer une navigation aérienne proche de la navigation maritime. Il publie un article dans *L'Aéronautique*, qui fait suite à une conférence qu'il a donnée le 17 décembre 1919 à la Société française de navigation aérienne, et qui propose les enseignements à tirer de la double traversée transatlantique du dirigeable britannique *R-34* entre le 2 et le 13 juillet 1919.

Selon Thierry, la traversée aérienne au long cours type débute par un tronçon à terre et finit par un tronçon à terre avec un survol d'une étendue de mer. La route se prépare en amont sur une carte de Mercator en essayant de suivre au maximum l'orthodromie. L'aéronaute doit cependant tenir compte de la topographie et de la météorologie pour choisir le meilleur itinéraire. Au-dessus des terres, il doit maintenir le cap au compas avec soin en contrôlant régulièrement la route réelle par l'observation du terrain « le point étant fait, si nécessaire, par relèvement de repères éloignés »<sup>1354</sup> ou par relèvement radiogoniométrique. Il est essentiel que l'aéronaute note précisément le point où la côte est franchie, car il servira de point de départ de la navigation au-dessus de la mer. L'aéronaute suit au compas la route tracée à l'avance en vérifiant très souvent « sa variation, sa dérive et sa vitesse relative et en déterminant le plus souvent possible la force et la direction du vent »<sup>1355</sup>. Thierry recommande de faire régulièrement le point astronomique durant le tronçon maritime à la manière des marins comme les officiers du *R-34* l'ont fait (voir figure 135). Il espère également qu'il sera possible de relever la position de l'aéronef sur les océans à grande distance des côtes dans un avenir proche par la radiogoniométrie.

---

<sup>1353</sup> *Ibid.*

<sup>1354</sup> THIERRY M., « Navigation aérienne et navigation maritime », *L'Aéronautique*, 1920, p. 467.

<sup>1355</sup> THIERRY M., *Op. Cit.*, p. 468.

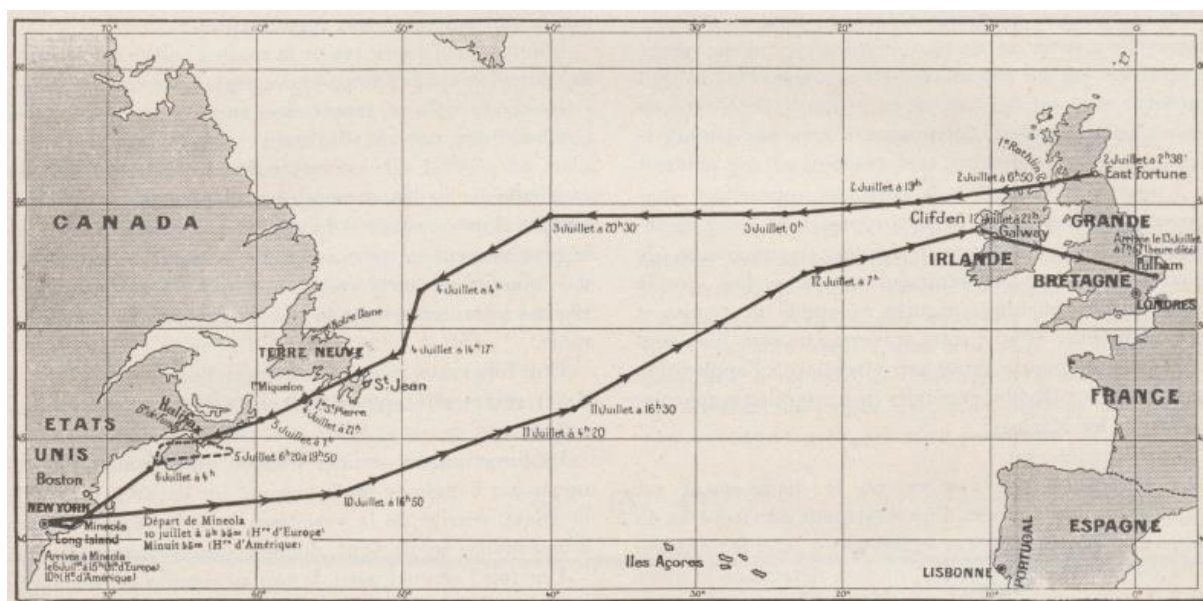


Figure 135: Itinéraire du R-34 avec indication des points astronomiques effectués durant la double traversée.<sup>1356</sup>

Thierry conclut son article en indiquant que « les méthodes de navigation aérienne sont en réalité des plus simples ». Il essaye ici une nouvelle fois (voir chapitre 6) de convaincre les pilotes de dirigeable (et les pilotes d'aéroplane) que les méthodes de navigation aérienne sont à la portée de tous ceux qui font un minimum d'efforts. Il semblerait toutefois que ce soit moins simple dans les faits, car les instruments ne sont pas encore totalement adaptés. Thierry semble vouloir justifier avant tout l'intérêt des brevets de navigateur (voir chapitre 6). Il écrit que l'aéronaute et l'aviateur doivent acquérir un « sens de la navigation » en précisant :

*Des dispositions ont été d'ailleurs prévues dans la Convention portant sur la réglementation de la Navigation aérienne, pour imposer aux aéronefs de transports publics destinés à effectuer de longues traversées, la présence à leur bord d'un officier navigateur titulaire d'un brevet spécial. (...)*

*Il devrait (...) être entendu que tout pilote ayant rang d'officier, appelé par conséquent à faire le quart à bord des aéronefs en question, devrait être titulaire de ce brevet en question.*<sup>1357</sup>

Par ce rappel, Thierry étend la thèse exposée dans sa conférence à tous les aéronautes et aviateurs militaires ou civils, de dirigeable ou d'aéroplane. Il veut convaincre que la navigation à l'estime et astronomique qui a été pratiquée avec succès par les Britanniques à bord du dirigeable R-34 doit également être travaillée par tous les aéronautes ou aviateurs français prévoyant un voyage au long cours.

<sup>1356</sup> THIERRY M., *Op. Cit.*, p. 468.

<sup>1357</sup> THIERRY M., *Op. Cit.*, p. 471.



### *Le Dixmude*

Le lieutenant de vaisseau Jean du Plessis va avoir l'occasion de pratiquer la navigation à l'estime, mais surtout les deux types de navigation au long cours (par observation des astres et par utilisation du radiogoniomètre) à bord du *Dixmude* en 1923.

Après avoir ramené le zeppelin de Friedrichshafen à Maubeuge les 10 et 11 juillet 1920, puis à Cuers les 10 et 11 août 1920, du Plessis plaide la cause des dirigeables. Le député de Mayenne Guy de Montjou, rapporteur de l'Aéronautique à la commission de la Marine de la Chambre des députés, reprend quelques lignes écrites par du Plessis en 1920 : « 10 rigides coûtent autant, pas plus, qu'un seul croiseur léger ; ils font la besogne de 30 ou 40 et la font mieux »<sup>1358</sup>. Ces arguments sont entendus, mais du Plessis doit patienter encore trois ans avant de pouvoir faire voler son dirigeable.



Figure 136 : Nacelle avant du *Dixmude*, poste de pilotage.<sup>1359</sup>

Il effectue sept vols en 1923. Le premier, le 2 août, tout comme le deuxième, le 9 août, servent à familiariser l'équipage constitué de 39 personnes (état-major (5), arrimeurs (10), mécaniciens et TSF (24)) avec l'appareil. La première grande randonnée est effectuée du 30 août au 2 septembre lors d'un troisième vol de 50 h 20 min durant lequel le *Dixmude* fait le tour de la Méditerranée.

<sup>1358</sup> DE MONTJOU G., « La légende du « Dixmude » », *Journal des débats politiques et littéraires*, 5 janvier 1924, p. 1.

<sup>1359</sup> Collection Jean Duplessis 2001

Le dirigeable poursuit par un raid de près de 119 heures pour 8 000 kilomètres du 25 au 30 septembre. Ce long périple est récompensé par le record du nombre d'heures de vol sans escale, du Plessis recevant la grande médaille d'or de l'AéCF. Les tracasseries ne lui sont cependant pas épargnées lors de la préparation du voyage, car il aurait dû batailler pour obtenir « un litre de gazoline nécessaire à ses moteurs »<sup>1360</sup> et aucune carte ne lui aurait été fournie.

Une nacelle supplémentaire, destinée aux passagers, est ajoutée avant que le *Dixmude* entreprenne le cinquième vol du 17 au 19 octobre. Il s'agit cette fois de ce que du Plessis nommera un « raid-réclame » de 44 h 25 min au-dessus de villes françaises (La Rochelle, La Roche-sur-Yon, Nantes, Chalonnes, La Bernerie, Paimboeuf, Auray, Lorient, Elven, Donges, Angers). Par ce vol, du Plessis entend préparer l'exploitation commerciale des dirigeables, en convainquant, d'abord, l'opinion publique puis le gouvernement et la Marine, de l'utilité de ces grands navires aériens<sup>1361</sup>. Du Plessis rédige également un rapport sur les conditions à remplir pour qu'une ligne française de dirigeables puisse fonctionner. Il souhaite notamment, en suivant l'exemple allemand, que les pilotes y aient plus de pouvoir que les ingénieurs et que l'équipage soit constitué de marins. En effet, la navigation aérienne lui apparaît de plus en plus voisine de la navigation maritime :

*À la direction technique de la société Zeppelin, on trouve une majorité d'anciens pilotes (Colsman, Dürr, Lehmann, etc.). Ce sont donc des pilotes qui se prononcent en dernier ressort. (...) De fait, seul, l'ingénieur est impuissant (...). Les grands problèmes de la navigation aérienne, qui ne se révèlent sous leur vraie forme qu'au cours de longues accensions ou au bout d'un grand nombre d'heures de vol, lui échappent absolument. (...) Enfin, pour la navigation aérienne, chaque jour plus voisine de la navigation maritime, il faut, de toute évidence, des marins. Les officiers, on les trouvera facilement parmi les officiers de marine, la marine de l'Etat n'offrant plus actuellement un intérêt suffisant pour les gens actifs.*<sup>1362</sup>

Pour son sixième vol, du 23 au 24 novembre (63 heures de vol), le dirigeable subit une avarie en participant à un exercice avec la Flotte entre Bizerte (Tunisie) et la Sardaigne. Du Plessis remercie le professionnalisme de son équipage qui leur a permis de revenir à Cuers. La partie de son rapport au Ministre de la Marine met en lumière les techniques de navigation au long cours utilisées (voir extrait 16).

---

<sup>1360</sup> PLESSIS (DU) J., *La vie héroïque de Jean Du Plessis*, Plon, 1924, p. 314.

<sup>1361</sup> PLESSIS (DU) J., *Op. Cit.*, p. 312.

<sup>1362</sup> PLESSIS (DU) J., *Les grands dirigeables dans la Paix et dans la Guerre ; T1 : leur passé, leur avenir, l'expérience du Dixmude*, Plon, 1925, p. 52.



- À 10h. 19, on peut dans une éclaircie, observer au sextant Fleuriais. La droite indique qu'on est au nord du parallèle de Spartivento, ce que laissait prévoir l'estime. (...)
- Vers midi 30, le dirigeable trouve de nouveau le vent de sud-ouest, grand frais, et la mer démontée du matin. Il est alors impossible d'avoir une idée quelconque de la position, tant on a dû manœuvrer pour contourner les grains et tant la dérive est demeurée incertaine par défaut de visibilité. (...)
- N'ayant pour toute indication qu'une latitude par la polaire qui place le dirigeable un peu au sud de Maritimo. (...)
- En réalité, de 23 heures à 4 heures du matin, on reste cap au sud-ouest sans avoir aucune idée de la dérive, car la mer est invisible, et sans autre indication sur la position que les relèvements goniométriques de la Mitre qui, en moyenne, paraissent avoir été bons. Toutefois ce poste donne, à 2h15, un relèvement complètement faux et qui faillit avoir les conséquences les plus fâcheuses.

Extrait 16 : Extrait du rapport du LV du Plessis, sur la navigation, suite au voyage du 23 au 24 novembre.<sup>1363</sup>

Le dirigeable devait faire un vol de 72 heures lors du dernier vol du 17 au 21 décembre 1923. Il devait notamment servir à étudier « dans un trajet de vingt-quatre heures au moins sur le Sahara, les conditions de la navigation aérienne de jour et de nuit dans les régions désertiques »<sup>1364</sup> ainsi qu'à essayer des instruments nouveaux. Le *Dixmude* disparaît en mer après avoir été frappé par la foudre près de la ville de Sciacca en Sicile. 50 hommes (équipage et passagers) trouvent la mort dans la catastrophe qui ne laisse pas de survivant. Cette catastrophe marque fortement les esprits et signe l'arrêt définitif du programme des grands dirigeables en France.

Le *Méditerranée*, petit frère du *Dixmude*, poursuit sa carrière pendant encore quelques années. Il était tout d'abord affecté au sous-secrétariat d'État aux transports aériens, destiné à assurer un service commercial entre Marseille et Alger (d'où son nom). Ce projet n'ayant pas de suite, il est cédé à la Marine en 1922 pour laquelle il effectue 417 heures de vol en 56 ascensions. Il subit les contrecoups de la catastrophe du *Dixmude*, puisque le STAé décide de limiter son emploi à des missions d'expérience à son profit. Il vole pour la dernière fois le 24 août 1926.

La France ne possède plus que quatorze dirigeables au 1<sup>er</sup> janvier 1926. Elle passe commande de huit nouveaux dirigeables à la société Zodiac à partir de 1927, mais le parc

<sup>1363</sup> PLESSIS (DU) J., *Op. Cit.*, pp. 258-264. Une grande partie du rapport retranscrite dans l'ouvrage est censurée, en particulier sur la navigation.

<sup>1364</sup> PLESSIS (DU) J., *Op. Cit.*, pp. 285-286.

s'amenuise. Une note du 24 novembre 1936 prévoit la suppression par voie d'extinction des dirigeables dans la Marine française. Elle est suivie, le 20 mars 1937 d'une note ordonnant le désarmement des derniers dirigeables pour le 1<sup>er</sup> octobre 1937<sup>1365</sup>.

La France aurait pu choisir de développer l'aviation commerciale à l'aide des dirigeables, comme l'Allemagne, ou d'en avoir un parc suffisant et bien entretenu dans sa Marine ou dans l'Armée. Elle n'a pas fait ce choix. Elle a privilégié les plus lourds que l'air (avion et hydravion) dès la fin de la Première guerre mondiale car les militaires et les marins accompagnent le développement de l'aviation commerciale.

## B) Méthodes et pratiques des aviateurs de l'aviation militaire et de l'aviation maritimes prépondérantes aux débuts de l'aviation commerciale

Comme nous l'avons indiqué (voir tableau 32), deux dirigeables (l'AT-16 et le VZ-9) ont été confiés par la Marine à la Compagnie générale transaérienne (CGT) à partir de 1919. Cette compagnie, fondée en 1909 par Henry Deutsch de la Meurthe<sup>1366</sup>, également fondateur de la Société de constructions aéronautiques Astra, fabricant de dirigeables, est la doyenne des compagnies aériennes françaises. Elle débute ses activités, avant-guerre, en promenant des touristes au-dessus de villes et régions françaises à bord de dirigeables mais possède également quelques avions (Nieuport IV).

Elle reprend ses activités commerciales, qui avaient été interrompues par la guerre (son matériel ayant été réquisitionné), en diversifiant ses activités après l'armistice (transport de courrier et de passagers entre Paris et Londres). L'AT-16 promène les touristes au-dessus des champs de bataille de la Première guerre mondiale et en région parisienne de juillet à octobre 1919, alors que le VZ-9 (*Transaérien VII*) survole Le Havre en août 1919 puis Saint-Cyr à partir de septembre. Remarquons que le Lieutenant Maurice Bienaimé, qui commandait le VZ-9 à la fin de la guerre, conserve le commandement du dirigeable lorsqu'il est loué à la CGT<sup>1367</sup>, ce qui n'est qu'une première illustration des liens étroits entre les militaires et l'aéronautique commerciale à ses débuts.

L'AT-16 et le VZ-9 semblent être les deux seuls dirigeables utilisés par des compagnies françaises après-guerre, l'ensemble des autres activités commerciales étant effectuées à bord d'avions.

---

<sup>1365</sup> Il s'agit des notes 1425 EMG Aéro/0 et 389 EMG Aéro/M. in FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 16.

<sup>1366</sup> Henry Deutsch de la Meurthe (1846-1919).

<sup>1367</sup> FEUILLOY R., *Op. Cit.*, p. 180.

### 1) Les procédés de navigation des militaires en 1919-1920

Les militaires assurent des missions qui seront dévolues à l'aviation commerciale à la fin de la guerre et jusqu'en juin 1919. Ils lancent ainsi le 17 août 1918 la première ligne aéro postale régulière qui achemine le courrier (des soldats américains sur le front) du terrain du Bourget (Paris) à celui d'Escoublac (Saint-Nazaire) via Pontlieu (Le Mans). 1500 lettres et 70 cartes postales quittent Le Bourget à 15 h 15 à bord de deux bimoteurs *Letord 4-A-8*. L'un des deux appareils atterrit à Escoublac à 20 h 30, inaugurant par là un service régulier (158 rotations d'août 1918 à juillet 1919) entre Paris et plusieurs villes de province et même entre Bucarest et Constantinople (du 10 mai 1919 au 31 octobre 1919)<sup>1368</sup>. Les aviateurs militaires assurent également des services d'appoint et de secours dans les régions françaises ravagées. Les groupes de bombardement *G.B.-9* et *G.B.-5* sont chargés, dès le 20 janvier 1919, de ravitailler les régions du Nord de la France (300 rotations en deux mois pour acheminer 36 tonnes de fret)<sup>1369</sup>. Ce pont aérien et les liaisons aéro postales permirent aux responsables de l'aviation militaire de réfléchir aux adaptations et modifications nécessaires tant au niveau du matériel, du personnel, de la logistique pour créer l'aviation civile<sup>1370</sup>.

La prépondérance des militaires au sein du SNAé renforce encore leur mainmise sur l'aviation civile au sortir de la Première guerre mondiale. Cette omniprésence suscite l'opposition des avionneurs souhaitant investir le domaine de l'aviation commerciale et de parlementaires pacifistes. Devant la pression, les militaires cèdent en juin 1919 l'exploitation des lignes, qu'ils avaient ouvertes, à de nombreuses compagnies privées sans pour autant disparaître totalement puisque les appareils des compagnies sont d'origines militaires et Marine ainsi que leurs pilotes. De plus, les militaires et les marins volants continuent d'ouvrir des routes lors de raids et de vols expérimentaux.

Avant de se pencher sur les premières compagnies aériennes ou sur les vols réalisés par les militaires et les marins, définissons ce qu'est une route et un raid en 1919.

#### *Les routes aériennes et les raids de 1919*

Le problème de la route est double. Il faut être capable de faire suivre à un aéronef un itinéraire déterminé mais également le faire à moindre coût. Les responsables, et de nombreux pilotes, sont conscients que, si le premier point a un peu avancé durant la guerre avec l'aviation de nuit, de bombardement (voir chapitre 5), l'hydraviation et même, dans une moindre mesure

---

<sup>1368</sup> PIOUSFRE G., *Le courrier doit passer*, Larousse, 2007, p. 33.

<sup>1369</sup> DOLLFUS Ch. et BOUCHÉ H., *Histoire de l'aéronautique*, Collection des grands ouvrages de « l'Illustration », 1938, p.357.

<sup>1370</sup> MARKOVIC S., *Op. Cit.*, p. 972.

l'aérostation, le second problème reste entièrement à résoudre. L'aviation devrait être rentable uniquement si elle n'entre pas en concurrence avec les autres moyens de transport plus particulièrement au-dessus des océans et des déserts et si les appareils deviennent moins gourmands en carburant, « ce qui permet d'allonger les parcours et par suite de réduire les risques d'atterrissage »<sup>1371</sup>.

L'utilisation exclusive des lignes au sol et de la carte n'est plus suffisante. En 1919, les navigateurs peuvent déjà compter sur des compas<sup>1372</sup> (le compas anglais Creagh-Osborne, le compas type AM1 de la maison Vion) (voir chapitre 5) et des indicateurs de vitesse à peu près au point. D'autres appareils sont en cours de développement, les dérivomètres (pour mesurer la dérive) et les cinémomètres (pour mesurer la vitesse absolue par rapport au sol) servant à apporter les corrections nécessaires à la navigation à l'estime.

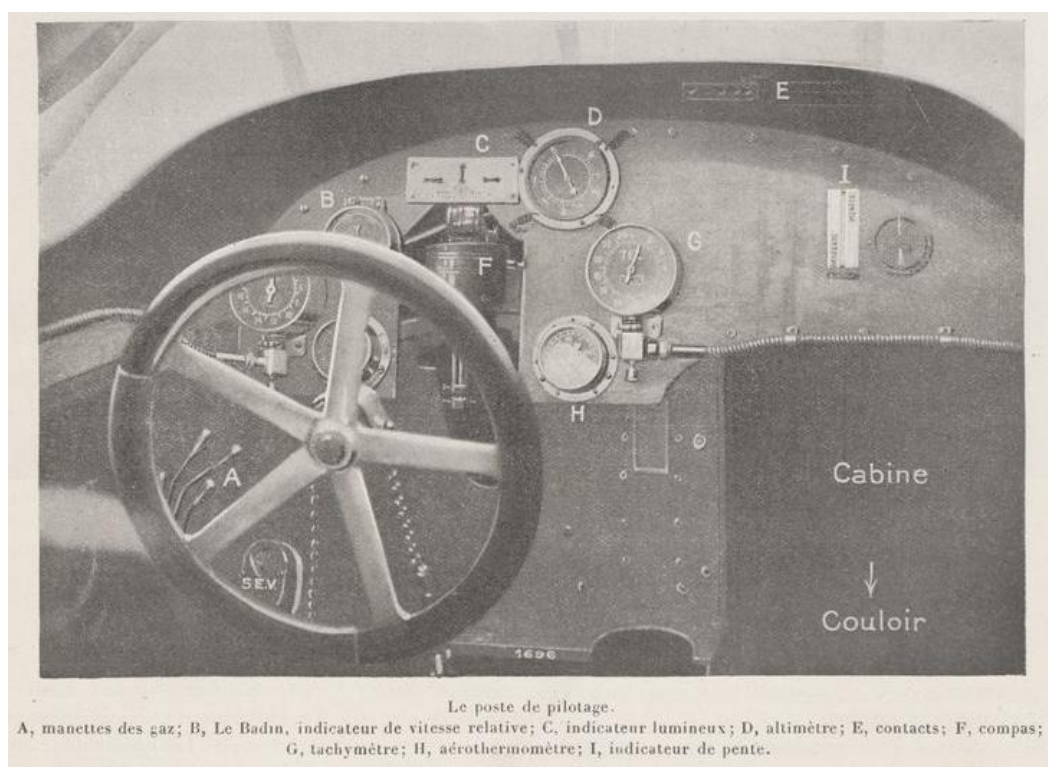


**Figure 137 : Poste de pilotage en 1919.**<sup>1373</sup>

Les navigateurs peuvent également bénéficier de l'aide de la TSF (radiotélégraphie, radiotéléphonie, radiogoniométrie) pour corriger leur route. Rappelons qu'Albert Senouque avait déjà fait des essais de TSF en avion en 1911 (voir chapitre 4) et que les aviateurs de

<sup>1371</sup> VOLMORANGE A. (capitaine), « La route aérienne » in « Les problèmes actuels de l'aéronautique », *L'Aéronautique*, décembre 1919, pp. 301-302.

<sup>1372</sup> ROUCH J., *Op. Cit.*, pp. 23-28.

<sup>1373</sup> VOLMORANGE A. (capitaine), *Op. Cit.*, p. 302.

guerre 1914-1918 étaient entraînés, dès leur formation, à utiliser la TSF (voir chapitre 5). En 1919, la radiotélégraphie est la plus opérationnelle, même si l'intérêt de la radiogoniométrie pour la navigation maritime préfigure celle qu'elle pourrait avoir en navigation aérienne. D'ailleurs Gustave Ferrié poursuit ses études sur la radiogoniométrie en collaboration avec René Mesny et Alfred Perot<sup>1374</sup>, et prévoit ses applications futures :

*Ces applications doivent prendre une importance croissante, tant dans la navigation maritime, par l'installation de nouveaux postes côtiers radiogoniométriques et de phares hertziens dont les bateaux relèvent les gisements, que dans la navigation aérienne, pour permettre aux aéronefs de reconnaître de nuit leur route et leurs points d'atterrissage.*<sup>1375</sup>

La portée des postes radiotélégraphiques émetteurs de bord des aéronefs est d'environ 400 km et il existe également des appareils récepteurs de bord ce qui permet une utilisation effective du procédé lors de voyages comme celui du *Goliath* en août 1919 de Paris à Dakar<sup>1376</sup>. Le voyage du *Goliath* met cependant en lumière un problème qui ne s'était pas posé durant la guerre. La liaison a été interrompue lorsque l'avion s'est vu contraint d'atterrir. En effet, l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de l'appareil de TSF était fournie par une hélice actionnée uniquement en vol par le vent, l'antenne étant constituée par un fil tendu par un poids sous l'avion durant le vol<sup>1377</sup>. Nous remarquons avec cet exemple, que divers procédés et appareils ont fait leurs preuves durant la guerre mais doivent être parfois repensés pour s'adapter à la navigation aérienne en temps de paix.

Pour ouvrir des routes dans de bonnes conditions, il faut que les ingénieurs mettent au point de nouveaux appareils ou des variations d'appareils déjà éprouvés, qui seront testés par les « traceurs de routes »<sup>1378</sup>. Cependant ces mêmes « traceurs de route », formés durant la Première guerre mondiale dans « l'idéal du sacrifice pour le bien commun »<sup>1379</sup>, s'élancent sans attendre dans des raids, préparés le mieux possible, mais avec des moyens limités.

Le lieutenant Henri Roget<sup>1380</sup>, ancien pilote de reconnaissance durant la guerre, présente ce qu'est un raid dans un article publié en juin 1919 dans *L'Aéronautique*<sup>1381</sup>. Sa participation

---

<sup>1374</sup> Alfred Perot (1863-1925).

<sup>1375</sup> FERRIÉ G., JOUAUST R., MESNY R., PEROT A., « Études de radiogoniométrie », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 3 janvier 1921, p. 53.

<sup>1376</sup> FRANCK P., « La radiotélégraphie et la navigation aérienne » in « Les problèmes actuels de l'aéronautique », *L'Aéronautique*, décembre 1919, pp. 291-292.

<sup>1377</sup> *Ibid.*

<sup>1378</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 253.

<sup>1379</sup> MARKOVIC S., *Op. Cit.*, p. 969.

<sup>1380</sup> Henri Roget (1893-1921).

<sup>1381</sup> ROGET H., « Ce que doit être un raid. Comment l'effectuer », *L'Aéronautique*, juin 1919, pp. 25-26.

à plusieurs raids dès le début de l'année 1919 (une double traversée de nuit de la Méditerranée en janvier, 16 heures de vol de Bron à Rome en avril et un raid Villacoublay-Maroc en mai avec le capitaine François Coli) légitime cet article qui promeut les pilotes militaires au premier rang. Il écrit :

*C'est le rôle des pilotes d'après-guerre de partir en avant-garde pour reconnaître les espaces que s'apprête à franchir l'immense flotte commerciale aérienne de demain. (...)*

*Les raids pendant quelques mois vont marquer la transition entre l'Aviation de guerre, à objectifs limités, et l'Aviation de paix, dont le champ d'expansion sera sans bornes.*<sup>1382</sup>

Le rôle des équipages des raids est de « découvrir et noter »<sup>1383</sup> les passes difficiles, ainsi que toutes les informations météorologiques (direction du vent, zones de perturbation, etc.) afin de déterminer la meilleure route qui n'est pas obligatoirement la plus courte. Leurs relevés doivent notamment servir à tracer des cartes aériennes, pour suppléer aux voies maritimes et terrestres mais également pour pénétrer dans les territoires peu connus ou inconnus d'Asie ou d'Afrique. Les pilotes militaires constituent par là une sorte d'avant-garde<sup>1384</sup> destinée à sécuriser les futures lignes commerciales.

Roget rappelle quelques éléments à prendre en compte pour réussir un raid, comme d'emporter une boisson chaude dans une bouteille thermos pour éviter l'hypothermie qui guette en altitude<sup>1385</sup>, ou une boussole, lors de l'entraînement à la navigation aérienne :

*Je me permets d'insister sur l'usage qu'ils [ceux qui préparent un raid] doivent faire de la boussole pendant l'entraînement qui précédera le raid. C'est d'elle qu'ils apprendront uniquement à se diriger, à corriger leur dérive en vol. (...) Ils devront alors naviguer avec autant de précision mathématique que le commandant de vaisseau à travers l'Océan. (...) Plus que jamais dans ces incursions d'avant-garde, la moindre erreur, la moindre négligence peuvent être fatales.*<sup>1386</sup>

Nous retrouvons encore une fois, dans cette mise en garde, la volonté de faire comprendre la nécessité de pratiquer correctement la navigation aérienne, notamment aux aviateurs militaires sceptiques. Ce type de conseil, voire d'invective, que nous avons

---

<sup>1382</sup> ROGET H., *Op. Cit.*, p. 23.

<sup>1383</sup> Ibid.

<sup>1384</sup> MARKOVIC S., *Op. Cit.*, p. 973.

<sup>1385</sup> Cette remarque peut sembler surprenante, mais le froid peut être un obstacle à une navigation correcte (voir le paragraphe où est relatée la navigation de Costes et Bellonte en Sibérie le 23 septembre 1929).

<sup>1386</sup> ROGET H., *Op. Cit.*, p. 23.

systématiquement relevé, n'a pas obligatoirement d'écho. En effet, le commandant Jean Orthlieb, professeur à l'École de guerre écrit encore dans un ouvrage publié en 1920 : « la boussole n'a rallié que peu d'adeptes... Il semble douteux que le procédé de la boussole ne procure jamais la sécurité absolue »<sup>1387</sup>.

#### *La navigation aérienne des « traceurs de route » lors des grands voyages en 1919-1920*

L'aéronautique française, militaire et commerciale, commence par se développer principalement dans deux directions. Elle s'intéresse essentiellement aux routes européennes et africaines et se tourne un peu vers l'Orient mais laisse pour l'instant la traversée de l'Atlantique Nord ou Sud à d'autres nations. Le désir de privilégier les liaisons avec son empire colonial transparaît dans sa stratégie de développement.

Roget est, pour certains, le premier des « traceurs de route » d'après-guerre<sup>1388</sup> avec son Paris-Rome sans escale en avril 1919. Il parcourt 1500 km dont 700 au-dessus de la mer en 9 h 40 à bord d'un *Breguet-14* portant encore le camouflage de guerre et simplement doté d'un réservoir supplémentaire. Cette performance fait sensation mais c'est surtout en direction de l'Afrique, ou sur ce continent, que les équipages de la guerre, en particulier de l'armée, font « l'apprentissage de la grande navigation »<sup>1389</sup>. Il leur faut maintenant franchir des mers en effectuant des mesures de dérive et en surveillant la tenue de l'avion et du moteur sous des climats très variés. Deux routes seront explorées dans un premier temps. La première, qui longe la côte ouest de l'Afrique, est celle qui permet la navigation la moins mal aisée vers le Sénégal, mais qui traverse des territoires sous domination espagnole. Ce sera la route empruntée par la ligne Latécoère (voir paragraphe correspondant). La seconde part d'Alger, où l'économie est en plein essor, en direction de Niamey, sur le fleuve Niger, en traversant uniquement des territoires sous contrôle national mais nécessitant d'affronter les territoires hostiles du Sahara. Une dizaine de raids sont organisés en 1919 et 1920 par les militaires et les marins (voir tableau 34).

| Date          | Raid                   | Équipage                                                                  | Avion et hydravion |
|---------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 25 avril 1919 | Paris-Kénitra (Maroc). | Lieutenant Henri Roget (pilote),<br>Capitaine François Coli (navigateur). | <i>Breguet-14.</i> |

<sup>1387</sup> ORTHLIEB J., *L'Aéronautique, hier et demain*, Paris, Masson, 1920, cité par ROUCH J., *Op. Cit.*, p. 30.

<sup>1388</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 253.

<sup>1389</sup> DOLLFUS C. et BOUCHÉ H., *Op. Cit.*, 363.

|                                     |                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                               |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 12 au 25 avril 1919                 | Reconnaissance du Sénégal (de Dakar à Kayes et de Kayes à Saint-Louis).                                    | Lieutenant de vaisseau Henri Lefranc, Enseigne de vaisseau Octave Montreley.                                                                                                                                                                                                                                    | Hydravion <i>Donnet-Denhaut</i> .                             |
| 18 au 28 juin 1919                  | Paris-Casablanca (Maroc) et Port-Étienne (Mauritanie). Dakar qui était l'objectif n'est pas atteint.       | Lieutenant Henry Lemaître.                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <i>Breguet-14</i> spécialement aménagé pour les grands raids. |
| 11 au 16 août 1919                  | Tentative de liaison Paris-Dakar (Sénégal) mais atterrissage d'urgence sur la côte d'Affrout (Mauritanie). | <i>Équipage civil</i> : Lucien Bossoutrot (pilote et commandant du bord), Lucien Coupet (pilote adjoint), Léon Coupet (mécanicien), Mulot (mécanicien), Jousse (mécanicien).<br><i>Équipage militaire</i> : capitaine Bizard (officier de route), lieutenant Guillemot (TSF), lieutenant Boussot (photographe). | <i>Goliath-Farman</i>                                         |
| 7 août au 9 septembre 1919          | Paris-Le Caire (Égypte) – Paris.<br>Dagnaux brise son appareil à Beyrouth.                                 | Commandant Joseph Vuillemin.<br>Lieutenant Jean Dagnaux.                                                                                                                                                                                                                                                        | Deux <i>Breguet-14 B.1</i> .                                  |
| 24 novembre 1919 au 14 février 1920 | Convoyage de Saint-Raphaël à Dakar.                                                                        | Lieutenant de vaisseau Henri Lefranc en équipage avec Rouhaud.<br>Enseigne de vaisseau Octave Montreley.                                                                                                                                                                                                        | Deux <i>Le Pen Blanchard</i> de Georges-Lévy                  |
| 2 au 24 février 1920                | Reconnaissance du Hoggar (Alger-Tamanrasset-Alger).                                                        | Escadrille sous les ordres du commandant Rolland.                                                                                                                                                                                                                                                               | Cinq <i>Breguet-14 A.2</i> .                                  |
| 24 février au 31 mars 1920          | Paris-Alger-Tamanrasset-Tombouctou-Dakar.                                                                  | Groupe du commandant Joseph Vuillemin.<br>Lieutenant Jean Dagnaux.                                                                                                                                                                                                                                              | Sur des <i>Breguet 16</i> « grand raid »                      |
| Août 1920                           | Reconnaissance de la ligne Dakar-Bamako (Soudan Français).                                                 | Capitaine Odic.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                               |

Tableau 34 : Principaux raids en Afrique en 1919-1920.<sup>1390</sup>

Revenons sur les enseignements en matière de navigation aérienne qui ont été retirés de certains d'entre eux, à savoir : le voyage du Goliath en août 1919 entre Paris et Dakar, le raid

<sup>1390</sup> Tableau établi à partir de CHAMBE R., *Op. Cit.*, pp. 253-278 et DOLLFUS Ch. et BOUCHÉ H., *Op. Cit.*, pp. 363-367.



Paris-Le Caire-Paris en août et septembre 1919, la reconnaissance du Hoggar en février 1920 (le lieutenant Jean Dagnaux ayant participé aux deux derniers), suivie du voyage jusqu'à Dakar par Tombouctou.

Ces quatre raids sont organisés par des militaires (plus des civils pour le *Goliath*) qui n'utilisent pas les méthodes de navigation suivies par les marins, même si Dagnaux semble avoir de grandes connaissances en navigation aérienne. Les journalistes de *L'Aéronautique* ont recueilli les témoignages des protagonistes de ces raids, ainsi que quelques documents officiels<sup>1391</sup>. Il ressort des « journaux de marche » et des commentaires qui ont été publiés que les trois navigations ont été effectuées à vue avec l'aide de la boussole. Dagnaux regrette de ne pas avoir pu utiliser la radiogoniométrie pour l'exploration du Hoggar bien qu'il y ait songé car « ce procédé n'était pas encore au point et, comme il nécessitait une installation pesante et encombrante, il fut abandonné »<sup>1392</sup>. Le capitaine Bizard, sur le *Goliath*, considère également que la TSF est un « moyen de contrôle précieux, surtout si on lui adjoint la radiogoniométrie »<sup>1393</sup>, sans pour autant se préoccuper de savoir si les postes émetteurs ou récepteurs existent sur la côte ouest de l'Afrique.

Il semblerait que la préparation du raid du *Goliath* ait été un peu hâtive en termes de météorologie (les données transmises aux aviateurs par les militaires en poste n'ont pas été convenablement interprétées) et de connaissances géographiques, physiques et politiques. Ils ne possédaient que deux cartes l'une au 1/1 000 000 pour l'Espagne et l'autre au 1/200 000 pour l'Afrique, qui n'étaient pas assez précises. Les cartes utilisées lors du raid Paris-Le Caire-Paris ne sont pas toujours de meilleure qualité, celle autrichienne des Balkans au 1/250000 étant truffée d'inexactitudes topographiques et planimétriques<sup>1394</sup>. L'exploration du Hoggar a bénéficié d'une préparation beaucoup plus poussée (une année) mais le résultat a été quasi identique car parmi toutes les cartes à leur disposition seules deux étaient fiables : la feuille d'In-Salah au 1/1 000 000<sup>e</sup> en couleur (bien que d'une échelle un peu trop petite) et la carte au 1/100 000<sup>e</sup> du *Transsaharien* mais dont ils n'ont cependant pu obtenir qu'un seul exemplaire pour quatre avions car elle n'existe pas dans le commerce. Le général Robert Nivelles, passager lors de cette expédition écrit au ministre de la Guerre : « L'établissement d'une carte exacte, à grande échelle, des principales voies sahariennes et de leurs abords est devenu une nécessité

---

<sup>1391</sup> « Les grands voyages aériens », *L'Aéronautique*, octobre 1919, pp. 197-205. « L'avion au Sahara », *L'Aéronautique*, mai 1920, pp. 509-522. Les deux articles, non signés, sont constitués d'un ensemble de documents officiels, de témoignages et de commentaires.

<sup>1392</sup> « L'avion au Sahara », *L'Aéronautique*, mai 1920, p. 518.

<sup>1393</sup> « Les grands voyages aériens », *L'Aéronautique*, octobre 1919, p. 202.

<sup>1394</sup> « Les grands voyages aériens », *L'Aéronautique*, octobre 1919, p. 205.

impérieuse »<sup>1395</sup>. Il est vrai que, plus que les problèmes mécaniques des avions, ce sont les problèmes de direction qui inquiètent le plus les équipages, en effet, une erreur de direction même faible se traduisant par une perte de vue de la piste peut se révéler tragique dans le désert<sup>1396</sup>.

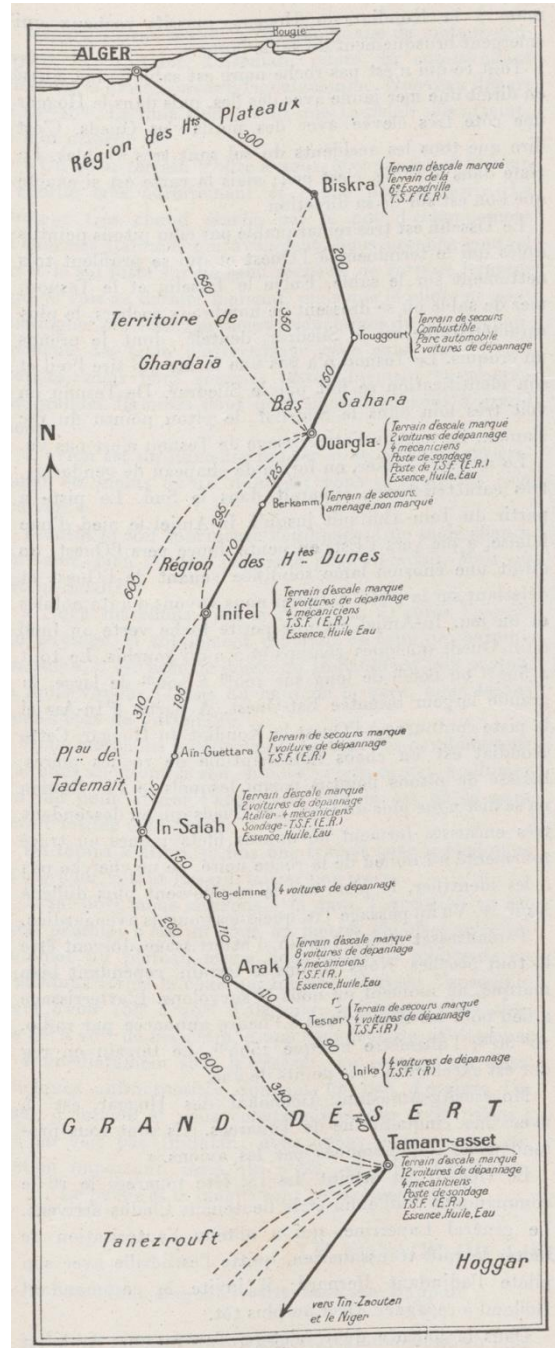


Figure 138 : Itinéraire Alger-Tamanrasset.<sup>1397</sup>

<sup>1395</sup> « L'avion au Sahara », *L'Aéronautique*, mai 1920, pp. 521-522.

<sup>1396</sup> Ce sera le cas car le général Laperrine trouvera la mort dans ce raid faute de soins après un atterrissage de fortune.

<sup>1397</sup> « L'avion au Sahara », *L'Aéronautique*, mai 1920, p. 511.

Dagnaux indique qu'ils ont effectué une navigation, qu'il reconnaît comme imparfaite, en combinant trois procédés : la navigation par planimétrie, à savoir l'observation des inscriptions dues à l'activité humaine (en suivant la piste), la navigation par le relief en comparant le terrain et la carte (encore faut-il qu'elle soit exacte) et enfin la navigation à la boussole avec corrections de dérive et points à l'estime. Le « journal de marche » de la reconnaissance du Hoggar, probablement écrit par le commandant Rolland<sup>1398</sup>, laisse entendre qu'ils ont suivi la piste des yeux, bien qu'elle n'ait pas été visible en continu, en s'aidant de temps en temps de la boussole. Cette navigation peut s'avérer très dangereuse car la piste est très difficile à retrouver dès qu'elle a été perdue pour une cause ou une autre (passage dans le sable, vent de sable, brume épaisse). Dagnaux écrit :

*D'ailleurs tous les pilotes qui ont fait de grands voyages savent combien il est pénible et dangereux de suivre constamment une ligne marquée au sol, plus ou moins sinueuse, plus ou moins visible.*<sup>1399</sup>

De toute manière, les pilotes n'ont que peu confiance dans leur boussole. Rolland écrit :

*Marcher à la boussole, même compensée, lorsque l'on veut atteindre un point infiniment petit, perdu dans l'immensité du désert à 350 km du point de départ, conduirait aux pires déboires. (...)*

*D'ailleurs l'expérience du commandant Vuillemin marchant à la boussole et se perdant, malgré son expérience inégalée, à 300 km du point qu'il désirait atteindre prouve assez combien le procédé est insuffisant au Sahara.*<sup>1400</sup>

Dagnaux qui avait préparé la navigation de certains avions de l'expédition avait pourtant pris beaucoup de précautions. Il s'était enquis de la fiabilité des compas, tout d'abord en vérifiant l'emplacement des compas, puis en assurant personnellement la compensation de deux compas (ceux des avions 9539 et 9540). Les *Breguet 14* sont munis de compas AM1 de la société Vion, avec rose graduée en degré. Ils sont placés dans l'axe de symétrie de l'avion et à bonne distance de lecture, facilement compensables car les réservoirs sont en tôle d'aluminium, donc moins sensibles au magnétisme du champ terrestre. Dagnaux avait pris la précaution d'établir une table de déviation (voir chapitre 3) et s'était muni d'une boussole à alidade<sup>1401</sup>

---

<sup>1398</sup> L'auteur de l'article précise « nous donnons aujourd'hui aux lecteurs de l'Aéronautique un récit détaillé de la première entreprise [la reconnaissance Alger-Tamanrasset et retour], d'après le rapport du commandant Rolland » in « L'avion au Sahara », *L'Aéronautique*, mai 1920, p. 509. Le « journal de marche » rend compte de tous les événements rencontrés durant la mission.

<sup>1399</sup> « L'avion au Sahara », *L'Aéronautique*, mai 1920, p. 517.

<sup>1400</sup> « L'avion au Sahara », *L'Aéronautique*, mai 1920, p. 516.

<sup>1401</sup> L'alidade est une réglette mobile graduée qui vient se superposer au compas pour mesurer une direction par rapport à une direction de référence.

pour en vérifier la compensation en cas de variations du champ terrestre. Toutes ces précautions font peut-être suite aux problèmes qu'il a rencontrés avec les compas des deux *Breguet 14* du raid Paris-Le Caire-Paris de l'été 1919. D'une part, les compas A.M. sont mal positionnés au fond du fuselage, sous le plafonnier du fait de leur encombrement donc loin des yeux. Dagnaux préconise de s'inspirer des Anglais qui l'ont placé entre les deux ailes après en avoir modifié la forme. D'autre part, il n'a pas été possible de compenser les compas car le terrain de Villacoublay n'est pas muni d'une plateforme de compensation.

Dagnaux a beaucoup réfléchi à la sûreté d'une navigation. Il préconise d'installer un gyroscope dans les avions pour pouvoir assurer sa ligne de vol même lorsqu'il traverse les mers de nuage. Il a également muni son avion, lors du raid sur le Hoggar, d'un correcteur de dérive de son invention, qu'il avait déjà testé en décembre en Algérie, et il s'est muni d'abaques, collés sur les deux faces d'une planchette pivotante, pour diminuer les causes d'erreurs de détermination de cette dérive. Tous ces préparatifs ne l'empêchent pourtant pas de s'égarer. Il écrit dans son « journal de marche », dont un extrait est publié dans *L'Aéronautique*<sup>1402</sup>, que le 2 mars 1920, dans la brume :

*Je fais alors une nouvelle tentative pour utiliser mon correcteur de dérive et naviguer à la boussole. Je suis obligé d'y renoncer. Il m'est impossible de maintenir un cap constant. (...) J'ai beaucoup travaillé la carte de la région et lu toutes les relations de voyage des missions antérieures. J'ai bien l'impression d'être en ce moment égaré.*<sup>1403</sup>

Dagnaux retrouve son chemin, il est à In-Abalessa, à 50 km à l'ouest de Tamanrasset qu'un mauvais atterrissage l'empêchera de quitter. Si lui ne s'est finalement pas perdu, ce n'est pas le cas d'autres équipages. Celui du *Goliath* se perd sur les côtes d'Afftouth le 16 août 1919 et l'un des deux *Breguet* qui prévoyait de rejoindre Dakar après la traversée du Hoggar en passant par Tombouctou, s'égare entre Tamanrasset et Tombouctou près de Tin Zaouten le 19 février 1920. Il ressort de ces accidents que les équipages ignorent leur position exacte, d'autant qu'ils ne peuvent pas se servir de leur TSF. Ainsi, le 18 août 1919, ceux du *Goliath* déterminent leur position au nord de Saint-Louis à l'aide d'une carte au 1/200 000 et du Livre d'Instructions nautiques. Et le 19 août « le point est fait dans la nuit, à l'aide d'un rapporteur, et l'emplacement de l'équipage est déterminé entre le 17<sup>e</sup> et le 18<sup>e</sup> degré de latitude »<sup>1404</sup>. Il est à noter qu'un marin aurait théoriquement pu faire le point à terre grâce à son sextant en utilisant un horizon

---

<sup>1402</sup> *Ibid.*

<sup>1403</sup> *Ibid.*

<sup>1404</sup> « Les grands voyages aériens », *L'Aéronautique*, octobre 1919, p. 200.

artificiel, qu'il peut d'ailleurs très probablement fabriquer lui-même, car les cours de navigation maritime mentionnent le procédé (voir chapitre 3).

## 2) La navigation aérienne des premières lignes commerciales

Pendant que les militaires tracent les premières routes en Afrique, l'aviation commerciale française commence à s'organiser en trois phases : les liaisons européennes, les liaisons avec l'Afrique du Nord et les liaisons intérieures<sup>1405</sup>. Les Français, confiants notamment dans les clauses du Traité de Versailles qui interdisent aux vaincus de construire des appareils, espèrent dominer le marché européen<sup>1406</sup>. Il est vrai que de nombreux appareils (principalement des avions terrestres) et un grand nombre de navigants rapidement disponibles font miroiter de rapides bénéfices. Mais les Français ne sont pas les seuls à avoir élaboré cette analyse, et la concurrence européenne s'organise rapidement avec une multiplication des sociétés aériennes en 1919, et plus encore à partir de juin de cette année lorsque l'Armée cède au privé l'exploitation de lignes qu'elle avaient créés en 1918-1919<sup>1407</sup> (voir tableau 35).

| Pays      | Sociétés aériennes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| France    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Première liaison Marseille-Alger par la Société maritime de transport aérien (ou C<sup>ie</sup> Aéronavale) (26 janvier).</li> <li>• Ouverture d'une ligne Paris-Londres (8 février) puis d'une ligne Paris-Bruxelles (12 février) par la Société des lignes Farman.</li> <li>• Ouverture du tronçon Toulouse-Barcelone par la Société des lignes aériennes Latécoère (25 février). L'État lui confie l'exploitation de la ligne Toulouse-Rabat (27 juillet).</li> <li>• Inauguration de la liaison Paris-Lille par la Compagnie des messageries aériennes (28 février).</li> <li>• Création de la Compagnie aérienne française (17 avril) qui se spécialise dans le travail aérien.</li> <li>• Création de la Compagnie des grands express aériens (30 mai) qui se place également sur la liaison Paris-Londres.</li> <li>• La Compagnie générale transaérienne obtient l'exploitation du service postal Paris-Londres de la PTT (25 août).</li> </ul> |
| Belgique  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Création de la Société nationale pour l'étude du transport aérien (1<sup>er</sup> mars).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Suisse    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Création de la Comte-Mittelholzer et Cie à Zurich (15 avril).</li> <li>• Création d'Aviation de tourisme SA (25 juin).</li> <li>• Création d'Ad Astra Aéro à Zurich (15 décembre).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Allemagne | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inauguration de la ligne Berlin-Leipzig-Weimar par la Deutsche Luft Reederei (5 février).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Pays-Bas  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fondation de la Koninklijke Luchtvaart Maatschappij (7 octobre).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

<sup>1405</sup> VIVENT J., *Notre aviation marchande*, Paris, Librairie des sciences aéronautiques, 1925, p. 24.

<sup>1406</sup> MARKOVIC S., *Op. Cit.*, p. 980.

<sup>1407</sup> MARKOVIC S., *Op. Cit.*, p. 973.

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Grande-Bretagne | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Liaison postale Londres-Paris organisée par la RAF (10 janvier).</li> <li>• Création de la North Sea Aerial Navigation Co. Ltd. à Leeds (23 avril).</li> <li>• Ouverture de la liaison Manchester-Southport-Blackpool par l'AV Roe Civil Aviation Service (10 mai).</li> <li>• Création de la Handley Page Transport (14 juin).</li> <li>• Ouverture de la liaison Londres-Paris et Londres-Amsterdam par l'Aircraft Transport and Travel Ltd (25 août).</li> <li>• Création de la Supermarine Aviation Company (28 septembre).</li> <li>• Création de l'Instone Airlines (30 septembre).</li> </ul> |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tableau 35 : Sociétés aériennes européennes ouvrant des lignes en 1919.**<sup>1408</sup>

La concurrence se révèle importante dès 1919 principalement sur la liaison Paris-Londres puisque deux compagnies françaises (la Compagnie des messageries aériennes et la Compagnie générale transaérienne) et deux compagnies britanniques (la Aircraft Transport and Travel Co. et la Handley Page Transport Co.) l'exploitent régulièrement cette année-là. Pour l'occasion, les constructeurs français transforment des avions de bombardement en « avions omnibus »<sup>1409</sup>. Les frères Farman assurent le premier voyage à bord d'un biplan, le *Farman F.60 Goliath*, dans lequel douze passagers militaires (le gouvernement britannique n'ayant pas encore autorisé l'atterrissage d'avions civils sur son territoire) assis sur des sièges en osier dans une cabine chauffée et leur pilote Lucien Bossoutrot, rejoignent Kenley le 25 janvier 1919. Le voyage s'effectuant en survolant de nombreuses villes et en suivant des lignes de chemin de fer, la navigation à vue est possible même si l'appareil est naturellement équipé d'un compas. 322 voyages transportant 624 passagers sont ensuite effectués, par les compagnies françaises et britanniques, sur la ligne Paris-Londres entre le 1<sup>er</sup> septembre et le 1<sup>er</sup> décembre 1919. La liaison qui est quotidienne se fait sans escale en 2 h 30<sup>1410</sup>.

Les compagnies aériennes demandent pourtant d'importantes subventions publiques pour être viables car les capitaux privés n'affluent pas et les passagers restent méfiants face à ce mode de transport incertain et risqué<sup>1411</sup>. De plus, plusieurs lignes de courts et moyens courriers, qui, en 1919, ont pallié aux voies de communication détruites, se révèlent inutiles à partir du moment où les lignes de chemin de fer et les routes sont redevenues praticables. L'État

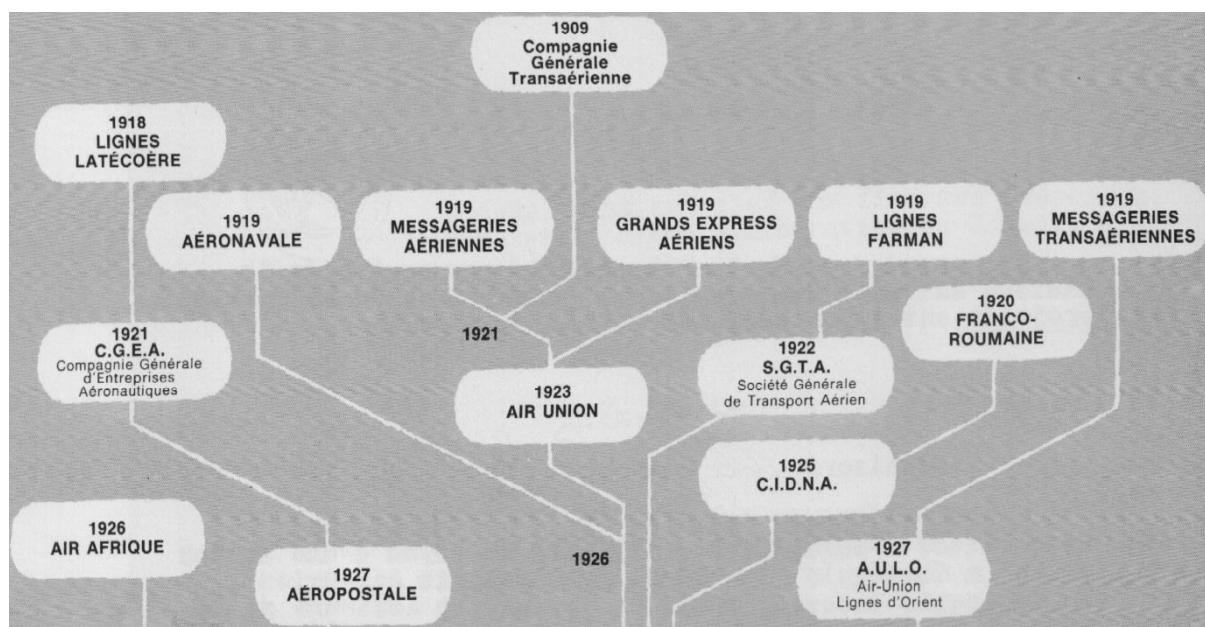
<sup>1408</sup> Tableau établi à partir des données de LEGRAND C. et J. (Dir.), *Chronique de l'aviation*, Chronique Acropole, 1991, p. 162. Et HARTMANN G., « Le développement du transport aérien en Europe (1919-1932) », sur le site <https://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018. Nous avons choisi de préciser la société aérienne par le nom qu'elle utilisera même si la société est parfois fondée quelques mois ou quelques semaines après la liaison indiquée.

<sup>1409</sup> « L'aviation de Paix », *L'épopée de l'aviation*, Les grands dossiers de l'Illustration, Le livre de Paris, 1987, p. 16.

<sup>1410</sup> HIRSCHAUER L. et DOLLPHUS Ch., *L'année aéronautique*, Paris, Dunod, 1920, p. 138.

<sup>1411</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 302.

aide cependant volontiers les sociétés aériennes en général, car les pouvoirs publics ont repéré le potentiel diplomatique, stratégique et politique du développement de ce nouveau mode de transport<sup>1412</sup>. Toutefois, les compagnies doivent se réorganiser ou fusionner dès le début des années 1920 (voir organigramme 2) et ouvrir de nouveaux services pour être compétitives face à la concurrence (vols de nuit, voitures restaurant, salons fumeurs, divertissements<sup>1413</sup>). Les sommes rapportées par le fret, qui représente l'essentiel du transport aérien durant les années 1920, et les quelques passagers bravant les conditions spartiates du début, ne sont pas suffisantes pour assurer le fonctionnement des compagnies (frais d'exploitation et investissement). Ces « vrais recettes » servent à payer le carburant et le personnel ainsi que leurs frais d'escale alors que les subventions publiques, qui représentent entre 60 et 85% des recettes, financent le matériel volant, les équipements embarqués et les infrastructures au sol<sup>1414</sup>.



Organigramme 2 : Année de création et fusions éventuelles des compagnies aériennes françaises jusqu'en 1927.<sup>1415</sup>

### *Les procédés de navigation utilisés lors du premier vol commercial nocturne*

La Compagnie des grands express aériens inaugure les vols de nuit commerciaux français sur la ligne Paris-Londres le 7 juin 1922. Le *Goliath* qui assure la liaison est piloté par René Labouchère<sup>1416</sup>, spécialiste du bombardement de nuit durant la guerre. Celui-ci est accompagné

<sup>1412</sup> MARKOVIC S., *Op. Cit.*, p. 981.

<sup>1413</sup> HARTMANN G., *Op. Cit.*

<sup>1414</sup> MARKOVIC S., *Op. Cit.*, p. 982.

<sup>1415</sup> LASSERE J. (Dir.) et PETIT E. (Dir.), « Air France et son histoire 1933-1983. Première partie 1933/1959 », *Icare*, mars 1983, p. 38.

<sup>1416</sup> René Labouchère (1890-1968).

par un second pilote, un mécanicien mais également de trois navigateurs (le lieutenant de vaisseau André-B. Duval du SNAé comme chef navigateur, le capitaine Volmerange du STAé et Hagueneau du Service technique) ainsi que trois autres passagers. Les navigateurs viennent régulièrement donner des indications au pilote :

*De temps en temps, un des navigateurs se levait et allait par le carreau du plancher, relever la dérive. Le pilote Labouchère, sur siège aérien, recevait les indications des navigateurs et les renseignements météorologiques transmis par la T.S.F.*<sup>1417</sup>

Le carnet de bord, rédigé par les navigateurs, montre l'importance revêtue par les phares aériens et maritime durant cette navigation nocturne, importance que Duval souligne dans son *Traité pratique de navigation aérienne* (voir chapitre 6). Ils se repèrent à l'aide de dix phares aériens : celui du Bourget, de Beauvais, de Poix, d'Abbeville, de Berck-sur-Mer, de Saint-Inglevert, de Lympne, de Cranbrook, de Tatesfield et enfin de Croydon. Les navigateurs utilisent aussi la TSF mais uniquement pour avoir des informations météorologiques et non pour la radionavigation.

Les ingénieurs se préoccupent également de la navigation nocturne et plus largement de la navigation sans visibilité. Yves Le Prieur met au point le « gyroclinomètre » à partir de ses travaux réalisés en 1918 en collaboration avec Bonneau, un ancien mécanicien de Marine. L'appareil, qui permet le maintien de l'avion en bonne position pendant le vol dans la brume ou l'obscurité et aux pilotes de se poser sans voir le sol, est perfectionné en 1920 avec l'aide du lieutenant de vaisseau Derrien. Son fonctionnement est basé sur l'utilisation du gyroscope :

*Il est extrêmement simple, il consiste en une toupie gyroscopique, contenue dans un boîtier. Cette toupie gyroscopique est actionnée par l'air extérieur qui se précipite dans le boîtier par deux orifices obliques. (...) La toupie porte, à sa partie supérieure, un miroir (...) [qui] reste parfaitement horizontal. (...) Une lampe électrique envoie (...) un faisceau lumineux qui se réfléchit sur le miroir et vient marquer sur le cadran translucide porté par le boîtier un point lumineux très apparent, dont les déplacements sur le cadran reproduisent instantanément les changements d'assiette de l'avion (...).*<sup>1418</sup>

---

<sup>1417</sup> FAURE-FAVIER L., « Le premier voyage aérien nocturne : Paris – Londres – Paris », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup>-15 juin 1922, p. 178.

<sup>1418</sup> « Concours de l'Union pour la Sécurité en aéroplane », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup>-15 juin 1921, p. 165.



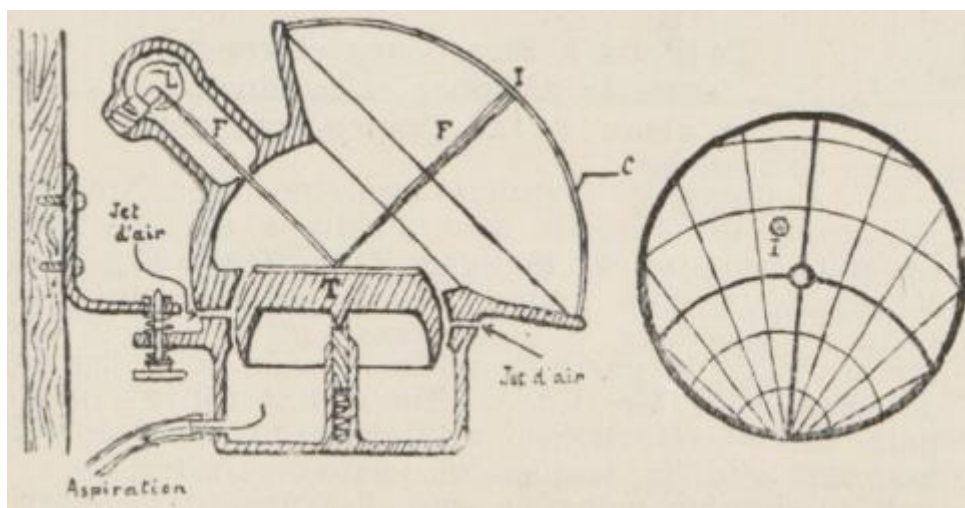


Figure 139 : Gyroclinomètre Bonneau - Le Prieur. Coupe schématique transversale et vue du cadran (F représente le faisceau lumineux direct et réfléchi sur le miroir de la toupie T ; I est le point lumineux).<sup>1419</sup>

Être capable de naviguer sans visibilité et principalement de nuit est d'une grande importance économique. En effet, les aéronefs sont en concurrence directe avec les trains et l'automobile. Jacques Mortane<sup>1420</sup>, journaliste et écrivain de l'aéronautique, écrit :

*Quelle serait la portée d'un moyen de locomotion qui, dès que le crépuscule s'étend vous dépose en disant : « La suite demain » ? L'avion n'est pas un roman feuilleton.*<sup>1421</sup>

Les nouveaux instruments de navigation sont exposés par les Services officiels de l'Aéronautique lors de la VII<sup>e</sup> exposition internationale de locomotion aérienne qui se déroule à Paris du 12 au 27 novembre 1921. Ils sont réunis dans le fuselage d'un *Goliath* dont l'avant a été enlevé pour voir aisément l'intérieur. Outre le compas, qui est « l'instrument essentiel de tenue de la route »<sup>1422</sup>, le poste de pilotage comporte un gyroclinomètre Le Prieur et un indicateur de virage Pioneer. Le navigateur, qui doit seconder le pilote, dispose de plusieurs instruments : un compas de relèvement, un indicateur de vitesse Dugit, un navigraphe Le Prieur, un chronomètre, une tablette portant les diverses cartes nécessaires au voyage. Il n'est pas certain que tous ces instruments soient présents dans tous les avions commerciaux, mais il est probable que certains y soient installés par les services techniques de l'aéronautique pour être testés. L'aviation marchande bénéficie ainsi d'instruments mis au point par Le Prieur, un

<sup>1419</sup> Ibid.

<sup>1420</sup> Jacques Mortane (1883-1939).

<sup>1421</sup> Mortane cité par BLANC E., *Toute l'aviation*, Paris, Société parisienne d'édition, 1930-1931, p. 350.

<sup>1422</sup> LESAGE A., « VII<sup>e</sup> exposition internationale de locomotion aérienne », *Le génie civil*, 26 novembre 1921, p. 467.

officier qui, certes va démissionner de la Marine pour se concentrer sur le développement et la commercialisation de ses inventions, mais reste officier de réserve.

Le service postal mis en place par Latécoère va lui aussi être en lien avec les militaires et les marins à plus d'un titre.

### *La navigation à l'estime sur les lignes Latécoère*

Pierre Latécoère, devenu avionneur en 1917, imagine dès septembre 1918 l'orientation à donner à sa compagnie pour qu'elle reste rentable. Il présente le 7 septembre 1918 un ambitieux projet de poste aérienne à Jacques Dumesnil, sous-secrétaire d'État à l'aéronautique<sup>1423</sup>. Il prévoit de relier Toulouse à Buenos Aires en passant par Saint-Louis du Sénégal ou Dakar en sept jours et demi. La ligne comprendrait un tronçon de 2 200 km en avertis sur les 12 400 km au total, mais il prévoit que les progrès sur les vols de nuit et le remplacement des avertis par des hydravions devrait réduire considérablement le temps de trajet dans un délai de trois ans.

L'industriel a eu raison de privilégier la poste sur le transport de passagers car, comme nous l'avons indiqué, de nombreuses compagnies n'ayant pas fait ce choix n'ont pas survécu à l'année 1919. En revanche, il va lui falloir plusieurs années pour mener son projet à bien, la technique n'ayant pas progressé aussi rapidement qu'il le souhaitait et les tracasseries administratives et diplomatiques (plusieurs pays dont l'Espagne devant être traversés) le ralentissant également.

Latécoère commence par rejoindre Barcelone à partir de Toulouse le 24 décembre 1918 sur un *Salmson* qui est un ancien appareil militaire. Cet exploit permet à la compagnie des Lignes aériennes Latécoère de signer une convention postale avec l'État français par laquelle la compagnie s'engage à assurer un service postal régulier entre la France et le Maroc. La compagnie bénéficie en contrepartie d'un important soutien financier (une subvention de 2 400 000 francs sur cinq ans) et logistique (mise à disposition de hangars, d'avions, de moteurs, etc.)<sup>1424</sup>. La première liaison Toulouse-Rabat (au Maroc) a lieu le 9 mars 1919, inaugurant une ligne qui assure un trafic régulier entre Toulouse et Casablanca à bord de *Salmson* et de *Breguet-14* de 1919 à 1925.

Plusieurs anciens pilotes de guerre rejoignent la compagnie, dont Didier Daurat<sup>1425</sup> qui en devient directeur d'exploitation le 1<sup>er</sup> octobre 1920. Contrairement à ce dont ils avaient l'habitude durant la guerre, les pilotes doivent convoier le courrier par tous les temps. La tâche

---

<sup>1423</sup> PIOUSFRE G., *Op. Cit.*, p. 47.

<sup>1424</sup> PIOUSFRE G., *Op. Cit.*, p. 52.

<sup>1425</sup> Didier Daurat (1891-1969).

est ardue car les anciens avions militaires montrent leurs faiblesses à force d'être poussés et semblent peu équipés d'instruments de navigation :

*Chaque jour, les brumes des Pyrénées et les rafales de vent nous guettent et soustraient la côte à notre vue. Sans instruments de bord, sans radio, nous n'avons d'autre choix que de descendre, lorsque le relief le permet ; mais la manœuvre reste dangereuse, en particulier sur l'étape Alicante-Malaga<sup>1426</sup>*

Le poste de pilotage du *Breguet 14* comprend cependant un anémomètre ou « badin » (qui indique la vitesse relative de l'avion dans la masse d'air par différence de deux pressions dynamique et statique), un altimètre, un variomètre (qui indique si l'avion monte ou descend), une bille (qui indique si l'avion vole symétriquement et si les virages sont corrects), un compas magnétique et les instruments de contrôle du moteur<sup>1427</sup>, instruments dont devra se contenter le pilote dans la brume.

La « mission Roig »<sup>1428</sup> reconnaît le parcours Casablanca-Dakar, par la route du littoral, en mai 1923, ce qui permet à Latécoère de reprendre son projet initial. Joseph Roig<sup>1429</sup> est un officier de l'aviation militaire, spécialisé dans l'observation et la photographie aérienne, mis à la disposition de Latécoère en 1921 par le maréchal Hubert Lyautey, résident général de France au Maroc, notamment pour ses connaissances du désert. Ses connaissances en navigation lui permettent d'assurer avec succès sa mission de reconnaissance. Il faut cependant attendre 1925 pour que la ligne soit ouverte par l'ancien pilote militaire Émile Lécivain<sup>1430</sup>. Deux années de longues négociations menées par Roig avec les Espagnols sont nécessaires pour que les avions de la Compagnie générale d'entreprises aéronautiques (les Lignes aériennes Latécoère ont pris le nom de CGEA en 1921) puissent traverser le redoutable Rio d'Oro, territoire espagnol désertique peuplé de nomades dissidents, en faisant escale à Cap Juby et Villa Cisneros (voir carte 12). Les pilotes forment une partie de la légende de la ligne sur cette traversée de la Mauritanie où ils sont confrontés à la brume de mer, aux vents du désert et aux populations hostiles. Mais cette route côtière a été choisie pour rejoindre Dakar car elle offre une navigation à vue facilitée, avec la possibilité de faire des atterrissages d'urgence sur les plages, et un approvisionnement des dépôts de carburant à moindre coût par voies maritimes.

---

<sup>1426</sup> <http://www.airfrance-80ansaeropostale.com/ref/aeropostale.htm>, consultée le 13 août 2018, mais nous n'avons pas trouvé le nom de l'auteur de ces lignes.

<sup>1427</sup> PIOUSFRE G., *Op. Cit.*, p. 86.

<sup>1428</sup> BLANC E., *Op. Cit.*, p. 357.

<sup>1429</sup> Joseph Roig (1889-1984).

<sup>1430</sup> Émile Lécivain (1897-1929).

La compagnie a d'ailleurs fait l'acquisition de plusieurs bateaux afin d'assurer la sécurité des avions sur la ligne principale Toulouse-Casablanca mais surtout des hydravions qui traversent la Méditerranée sur la ligne secondaire Marseille-Alger. Elle possède, en 1923, Le *Colonel-Casse*, basé à Port-Vendres, le *Jean-Argaud*, basé à Alger avec chacun un équipage de douze personnes, et l'*Aviateur-Rodier* basé à Port-de-Bouc (une ancienne vedette anti-sous-marine plus rapide que les deux précédents)<sup>1431</sup>.

La CGEA commence à manquer de pilotes. Des pilotes formés après-guerre, par l'armée, viennent compléter le personnel de la compagnie jusque-là constituée d'anciens pilotes de guerre. Il s'agit de jeunes gens ayant quitté l'armée en pensant trouver facilement un poste comme pilote civil. Or ces places sont peu nombreuses. Le capitaine Schmultz de la Société des avions Hanriot répond, le 17 août 1924, à une lettre de candidature : « l'emploi de pilote civil est le plus encombré qu'il soit. Pensez qu'il y a 20 000 brevetés et qu'il y a environ 200 emplois civils intéressants... »<sup>1432</sup>.

Les Lignes aériennes Latécoère comptent 15 pilotes en 1920 et la CGEA a 1 000 employés dont 50 pilotes et 350 mécaniciens en 1924. Jean Mermoz<sup>1433</sup>, Marcel Reine<sup>1434</sup>, André Dubourdieu<sup>1435</sup> sont embauchés en 1924, puis Henri Guillaumet<sup>1436</sup> et Antoine de Saint-Exupéry rejoignent la compagnie en 1926. Si de jeunes pilotes ont été embauchés, les avions *Breguet 14* commencent à être anciens et tombent de plus en plus en panne. La compagnie assure contre vents et marées une liaison hebdomadaire entre Casablanca et Dakar faisant fi des incidents techniques et des prises d'otages dont sont victimes les pilotes en panne. Il reste maintenant à prolonger cette ligne en Amérique du Sud, avec une liaison maritime Afrique-Amérique du Sud, pour concrétiser le projet initial de Latécoère.

Roig est là encore chargé de reconnaître la route entre Rio de Janeiro et Buenos Aires. Après les tractations diplomatiques d'usage, un premier voyage aérien Brésil-Uruguay-Argentine aller et retour est réussi par trois *Breguet 14* en janvier 1925. Là encore, la navigation se fait en longeant la côte qui reste constamment en vue, et des plages sont repérées pour les atterrissages d'urgence. Roig retrouve l'aviation militaire en 1926. Il ne reste plus qu'à ouvrir la route entre Rio de Janeiro et Natal et à obtenir des conventions postales avec l'Argentine, l'Uruguay et le Brésil. Mais la compagnie change de propriétaire et de nom pour des raisons

---

<sup>1431</sup> PIOUFFRE G., *Op. Cit.*, pp. 115-116.

<sup>1432</sup> Schmultz cité par PIOUFFRE G., *Op. Cit.*, p. 117.

<sup>1433</sup> Jean Mermoz (1901-1936).

<sup>1434</sup> Marcel Reine (1901-1940).

<sup>1435</sup> André Dubourdieu (1901-1979).

<sup>1436</sup> Henri Guillaumet (1902-1940).



600 000 F en février 1925, aux industriels français qui construiront des avions, équipés de moteurs puissants, capables de relever les nouveaux défis : traversée des grands déserts, traversée des océans, tour du monde, etc.<sup>1440</sup> Une parfaite connaissance des techniques de navigation aérienne, au travers notamment des brevets de navigateur aérien (voir chapitre 6), devient essentielle pour établir ces records. Les équipages doivent maîtriser dans un premier temps la navigation à l'estime, mais bientôt également la navigation astronomique ou radiogoniométrique.

Une expédition, à laquelle prend part Le Prieur en tant qu'inventeur et directeur technique de la société commercialisant le navigraphe, est organisée en janvier 1925. Le 18 janvier 1925, deux *Blériot 115*, le *Roland Garros* et le *Jean Casal*, appareils modernes spécialement aménagés pour la navigation au long cours et le vol de nuit, équipés chacun d'un navigraphe Le Prieur, quittent Buc à destination du Tchad. Le Prieur assure la navigation, jusqu'à Gao, à bord du *Roland Garros*, qui est piloté par le colonel Louis Mezeyrac de Goÿs<sup>1441</sup> et le capitaine Georges Pelletier-Doisy<sup>1442</sup>, tandis que Dagnaux est le navigateur du *Jean Casal*, piloté par Vuillemin.

Le navigraphe s'est révélé indispensable sur certains tronçons comme entre Tessalit et Gao où il n'y avait aucun repère sur 450 km. Le Prieur est donc très content du voyage en termes de navigation. Il écrit :

*Je dois insister sur ce point que, pour la première fois, deux avions ont fait de la navigation ayant chacun à leur bord, comme sur la passerelle d'un navire, un officier de quart. Nous avons marché au navigraphe et (...) nous avons obtenu d'excellents résultats. (...)*

*Il faut s'efforcer de faire de la navigation, dans le sens maritime du terme. La régularité, la sécurité et aussi l'économie des voyages en dépendent. Insistez bien sur ce point au moment où l'on prépare la réalisation de grands voyages... et de grandes traversées.*<sup>1443</sup>

Rappelons que Le Prieur est un officier de Marine connaissant bien les procédures de navigation appliquées sur les navires. Cette citation indique qu'il souhaite, lui aussi, diffuser auprès des militaires et des pilotes civils la nécessité de pratiquer une navigation scientifique

---

<sup>1440</sup> LE ROY Th., *Op. Cit.*, pp. 323-324.

<sup>1441</sup> Louis Mezeyrac de Goÿs (1876-1967).

<sup>1442</sup> Georges Pelletier-Doisy (1892-1953).

<sup>1443</sup> « La navigation aérienne au-dessus du désert », *Les Ailes*, 26 mars 1925, pp. 1-2.

« dans le sens maritime ». La raison en est cette fois qu'il pressent que les grands raids seront bientôt à la portée des équipages français.

## Conclusion

De 1918 à 1927-1928, les aviateurs font l'expérience de l'utilité de la navigation aérienne. En dehors de ceux qui ont une formation maritime, la majorité des aviateurs, tout en se rendant compte des enseignements qu'il faut retirer de la navigation maritime, l'observent avec une certaine anxiété, en se rendant compte de la somme de connaissances qu'il leur faut acquérir. Seuls les équipages des dirigeables, constitués de marins, pratiquent couramment la navigation astronomique, mais ce domaine de l'aéronautique a peu de perspectives. Les premiers efforts sont portés sur la navigation à l'estime qui concerne à la fois les avions militaires, les aéronefs de l'aéronautique maritime et les avions marchands.

Les méthodes et les connaissances en navigation aérienne connaissent peu d'innovations de 1918 à 1928. Seul le navigraphe, qui, notons-le, est inventé par le lieutenant de vaisseau Yves Le Prieur peut modifier la pratique de la navigation à bord des dirigeables de la Marine ou des avions civils et militaires, en permettant de déterminer correctement la dérive qui est alors la pierre d'achoppement de la navigation à l'estime. Mais l'instrument est encore à l'essai durant cette période.

La période se caractérise en revanche par un perfectionnement de pratiques et de méthodes de navigation aérienne déjà connues durant la Première guerre mondiale ou même auparavant.

Les similitudes entre la nacelle des grands dirigeables et la passerelle des navires, permettent à la Marine de pratiquer à la fois la navigation à l'estime et la navigation astronomique sur ces ballons. La Marine possède un peu moins d'une quarantaine de dirigeables entre 1918 et 1928, mais nombre d'entre eux (les vedettes) sont trop petits pour pouvoir y faire le point au sextant de manière optimale. En revanche, presque tous sont équipés de compas liquides de torpilleur que les équipages compensent rigoureusement, leur formation maritime les ayant préparés à cette pratique. Les ballons sont également munis de TSF ce qui permet de confirmer leur navigation à l'estime par la radiotélégraphie et de mener à bien leurs missions de surveillance, de bombardement, etc. Les deux zeppelins, qui sont des prises de guerre, fonctionnent un peu différemment des dirigeables souples et semi-rigides français. En effet, le *Dixmude* et le *Méditerranée* ont des caractéristiques très proches de celles d'un bâtiment de par leurs dimensions (le *Dixmude* s'abîme en mer avec 50 membres d'équipage et passagers en décembre 1923). L'équipage de ces croiseurs y pratique aisément la navigation à l'estime et

astronomique de jour comme de nuit, au sextant gyroscopique Fleuriais, au compas liquide Doignon et au navigraphe Le Prieur. Bien que les commandant des dirigeables croient aux performances de leur aéronef et s'impliquent pour le faire savoir à l'état-major, celui-ci se détourne des « plus légers que l'air » pour privilégier les « plus lourds que l'air ».

Il est difficile de distinguer ce qui relève exclusivement de l'Armée et de la Marine, de ce qui concerne l'aviation civile marchande au niveau de l'aéronautique en général et de la navigation aérienne en particulier, surtout dans les années 1919-1920. Cette omniprésence militaire persiste durant les années 1920. Il est vrai que les militaires, habitués aux raids, « défrichent » les lignes commerciales en pratiquant de plus en plus souvent une navigation scientifique, et que les pilotes de guerre assurent le service dans les nouvelles compagnies aériennes.

De nombreuses liaisons européennes par avion s'ouvrent dont la ligne Paris-Londres qui est la plus performante. Ces lignes sont l'occasion pour les aviateurs de pratiquer une navigation scientifique de jour comme de nuit. Si les performances des avions ne leur permettent pas encore de traverser l'Atlantique, ces mêmes avions survolent en revanche régulièrement les déserts d'Afrique. La compagnie Latécoère choisit de longer la côte de Mauritanie pour rejoindre Dakar en pratiquant la navigation à vue et au compas. Ces mêmes techniques sont utilisées avec plus ou moins de succès lors de missions militaires en Afrique dès 1919.



## Chapitre 8

### Les nouvelles méthodes et les nouveaux instruments propres à la navigation aérienne (1927-1940)

#### Introduction

L'année 1927 est riche d'événements aéronautiques qui marquent l'opinion publique. Les aviateurs français Charles Nungesser<sup>1444</sup> et François Coli disparaissent en mer lors de leur tentative de traversée de l'Atlantique Nord alors que l'américain Charles Lindbergh réussit la première traversée New York-Paris sans escale. Les performances techniques des avions de raid permettent enfin d'envisager des navigations au long cours sur des trajets de plusieurs milliers de kilomètres.

Ces longues distances nécessitent de mettre au point des méthodes innovantes de navigation (tables abrégatives de calcul, nouvelles cartes, etc.) que vont tester les « chasseurs de records ». Nous étudierons dans un premier temps les pratiques de ces hommes et de ces femmes qui se servent de la navigation aérienne (à l'estime, astronomique et hertzienne) pour optimiser les performances de leur avion ou hydravion. Nous nous interrogerons alors sur la valeur ajoutée des tables abrégatives Bertin pour la navigation astronomique, et des itinéraires Kahn pour la navigation orthodromique, à la fois à partir des écrits de leurs concepteurs et de témoignages de leurs utilisateurs. Nous rechercherons également dans quels contextes les femmes ont pratiqué la navigation aérienne alors qu'elles ne peuvent ni embrasser la carrière d'aviateur militaire ni accéder au statut de personnel navigant dans l'aviation commerciale.

L'aviation militaire tant dans l'Armée que dans la Marine a eu essentiellement recours à la navigation à l'estime durant les années 1920. Les progrès en radioélectricité, réalisés durant cette décennie, permettent de généraliser la pratique de la radionavigation dans les années 1930. Mais les différentes branches (chasse, bombardement, reconnaissance) qui se développent suite aux divers plans d'équipement et d'armement de l'Armée de l'air, créée en 1933, n'ont pas les mêmes besoins en navigation à l'estime ou hertzienne. Nous nous interrogerons sur la pratique de ces deux navigations, tant au niveau des instruments utilisés que des méthodes appliquées, après avoir établi, dans un premier temps, la part de chacune de ces branches de l'aviation

---

<sup>1444</sup> Charles Nungesser (1892-1927).

militaire. Deux questions méritent alors d'être posées : pratique-t-on la même navigation en métropole et dans les colonies ? Et quid de la navigation astronomique ?

La radioélectricité et naturellement la navigation à l'estime, forment également le socle de la navigation aérienne dans l'aviation marchande. Nous rechercherons en quoi les pratiques de la navigation marchande diffèrent de celles de la navigation militaire notamment en termes de sécurité. Les exemples de l'aviation postale, avec la mythique Aéropostale, et de la poursuite de l'activité sur l'Atlantique Sud par Air France à partir de 1934, en donneront un éclairage. Pour cela nous nous appuierons sur plusieurs témoignages de pilotes et de navigateurs ayant opéré sur ces lignes. La fin des années 1930 ouvre de nouvelles perspectives avec les projets de traversée commerciale de l'Atlantique Nord. Nous chercherons à savoir en quoi la navigation astronomique peut compléter la navigation à l'estime et la navigation radioélectrique sur cette navigation au long cours.

#### A) Les méthodes de navigation aérienne pratiquées par les « chasseurs de records »

La ferveur du grand public pour les exploits aéronautiques, encouragée par la presse, redouble en 1927. Les progrès techniques, tant au niveau des cellules (avec une utilisation accrue du duralumin) que des moteurs<sup>1445</sup>, permettent d'accomplir des exploits, en termes de distance ou de temps de vol, impensables ne serait-ce que deux ans auparavant. Il est notamment possible d'envisager de relier en avion, sans escale, la France à l'Amérique<sup>1446</sup>. Les Français Nungesser et Coli quittent le Bourget le 8 mai 1927 à bord de l'*Oiseau-blanc* en direction de New York mais disparaissent durant la traversée. D'autres nations sont sur les rangs pour remporter le prix de 25 000 dollars, mis en jeu depuis mai 1919 par le l'homme d'affaires franco-américain Raymond Orteig, pour récompenser le premier aviateur effectuant la liaison Paris-New York ou New York-Paris. L'américain Charles Lindbergh<sup>1447</sup> est finalement le vainqueur de la traversée, par un vol Paris-New York, qu'il effectue entre le 20 et 21 mai 1927. Les Français, bien que frustrés, font un accueil triomphal au jeune pilote.

La fierté nationale demande cependant aux pilotes français de prouver la grandeur de la France en réalisant eux aussi des exploits retentissants.

Certains pilotes d'essais peuvent bénéficier de l'appui des avionneurs, comme Dieudonné Costes pour qui Breguet met à la disposition des avions de raids dont les

---

<sup>1445</sup> CARPENTIER J., *Cent vingt ans d'innovations en aéronautique*, Paris, Hermann, 2011, pp. 75-86.

<sup>1446</sup> Voir BONAME R., « Les grandes traversées de l'Atlantique Nord », *Icare*, mars 1994.

<sup>1447</sup> Charles Lindbergh (1902-1974).

performances permettent d'envisager les traversées transatlantiques. Les navigateurs, associés à Costes, préparent leurs navigations en testant divers instruments tant de navigation à l'estime que de navigation astronomique, et en évaluant les différents itinéraires possibles pour atteindre leur destination.

- 1) Utilisation conjointe de la navigation à l'estime et de la navigation astronomique, grâce aux tables abrégatives Bertin, par Costes et Le Brix pour leur raid de 1927.



Figure 140 : Dieudonné Costes (à gauche) et Joseph Le Brix (à droite).<sup>1448</sup>

Costes (pilote) et Joseph Le Brix (navigateur), empêchés par une météo défavorable de traverser l'Atlantique Nord, se lancent dans la traversée de l'Atlantique Sud, qui sera un prélude à un tour du monde en 40 étapes, du 10 octobre 1927 au 14 avril 1928. Leur *Breguet-grand-raïd*, nommé le *Nungesser-et-Coli* en mémoire des deux disparus, est équipé d'un navigraphe Le Prieur (voir chapitre 7) et de deux compas Morel. De plus les deux hommes emportent de nouvelles tables : les tables Bertin.

Ils ont d'abord réussi la première traversée de l'Atlantique Sud sans escale en joignant, par avion, Saint-Louis-du-Sénégal à Natal au Brésil le 14 octobre 1927 (3 500 km en 18 h 05min). Ils poursuivent ensuite dans un premier temps jusqu'à New York. Ce trajet débutant à Paris devait officiellement s'achever à New York qu'ils rejoignent en 27 étapes en avion. Ne tenant pas compte des interdictions des autorités françaises, qui leur enjoignent de ne

<sup>1448</sup> MORTANE J., *Les Vainqueurs de l'Atlantique Sud : Costes et Le Brix*, Paris, Bernardin-Béchet, 1928, p. 19.

pas aller au-delà de New York, les aviateurs prolongent leur périple. Ils effectuent, en avion, le trajet Tokyo-Paris, après avoir traversé les États-Unis et rejoint en bateau le Japon (de San Francisco à Yokohama), pour un total de 57 530 km parcourus en 40 étapes et 103 h 40 (voir extrait 17 et figure 141).

| PREMIÈRE PÉRIODE                                            |                                    |                                       |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 10 octobre 1927.....                                        | Paris-Saint-Louis .....            | 4.500 kil. en 26 h. 30 m.             |
| 14 octobre 1927.....                                        | Saint-Louis-Natal .....            | 3.500 kil. en 18 h. 5 m.              |
| 16 octobre 1927.....                                        | Natal-Caravellas .....             | 1.500 kil. en 8 h. 45 m.              |
| 17 octobre 1927.....                                        | Caravellas-Rio de Janeiro .....    | 750 kil. en 4 h. 5 m.                 |
| 19 octobre 1927.....                                        | Rio de Janeiro-Peloias .....       | 1.450 kil. en 11 h.                   |
| 20 octobre 1927.....                                        | Pelotas-Buenos-Aires .....         | 730 kil. en 4 h. 6 m.                 |
|                                                             |                                    | 6 étapes 12.430 kil. en 72 h. 31 m.   |
| DEUXIÈME PÉRIODE                                            |                                    |                                       |
| 12 novembre 1927 ...                                        | Buenos-Aires-Montevideo .....      | 300 kil. en 2 h.                      |
| 22 novembre 1927 ...                                        | Montevideo-Buenos-Aires .....      | 250 kil. en 1 h. 10 m.                |
| 23 novembre 1927 ...                                        | Buenos-Aires-Assomption .....      | 1.200 kil. en 6 h. 7 m.               |
| 24 novembre 1927 ...                                        | Assomption-Buenos-Aires .....      | 1.200 kil. en 5 h. 40 m.              |
| 3 décembre 1927 ...                                         | Buenos-Aires-Florianopolis .....   | 1.400 kil. en 9 h. 30 m.              |
| 4 décembre 1927 ...                                         | Florianopolis-Rio-de-Janeiro ..... | 800 kil. en 5 h.                      |
| 12 décembre 1927....                                        | Rio-Buenos-Aires .....             | 2.200 kil. en 11 h. 59 m.             |
| 14 décembre 1927....                                        | Buenos-Aires-Santiago.....         | 1.300 kil. en 7 h. 35 m.              |
| 21 décembre 1927....                                        | Santiago-La Paz.....               | 2.100 kil. en 12 h.                   |
| 29 décembre 1927....                                        | La Paz-Lima .....                  | 1.200 kil. en 7 h. 30 m.              |
| 11 janvier 1928 .....                                       | Lima-Gayaquil .....                | 1.250 kil. en 7 h.                    |
| 13 janvier 1928.....                                        | Guayaquil-Panama .....             | 1.300 kil. en 7 h.                    |
| 17 janvier 1928.....                                        | Panama-Caracas .....               | 1.500 kil. en 11 h.                   |
| 21 janvier 1928.....                                        | Caracas-Baranquilla.....           | 850 kil. en 4 h. 7 m.                 |
| 24 janvier 1928.....                                        | Baranquilla-Colon .....            | 650 kil. en 4 h. 28 m.                |
| 26 janvier 1928.....                                        | Colon-Guatemala .....              | 1.350 kil. en 7 h. 25 m.              |
| 29 janvier 1928.....                                        | Guatemala-Mexico .....             | 1.100 kil. en 7 h. 30 m.              |
| 4 février 1928.....                                         | Mexico-Nouvelle Orléans .....      | 1.800 kil. en 7 h. 30 m.              |
| 6 février 1928.....                                         | Nouvelle Orléans-Montgomery .....  | 450 kil. en 2 h. 45 m.                |
| 8 février 1928.....                                         | Montgomery-Washington .....        | 1.200 kil. en 8 h. 10 m.              |
| 11 février 1928.....                                        | Washington-New-York .....          | 400 kil. en 2 h. 6 m.                 |
| 2 mars 1928.....                                            | New-York-Sharon .....              | 600 kil. en 5 h.                      |
| 4 mars 1928.....                                            | Sharon-Detroit .....               | 400 kil. en 3 h. 15 m.                |
| 5 mars 1928.....                                            | Detroit-Chicago .....              | 450 kil. en 3 h. 40 m.                |
| 6 mars 1928.....                                            | Chicago-Rock Springs .....         | 1.850 kil. en 11 h. 30 m.             |
| 7 mars 1928.....                                            | Rock Springs-San Francisco .....   | 1.250 kil. en 7 h. 34 m.              |
|                                                             |                                    | 26 étapes 28.350 kil. en 168 h. 31 m. |
| TROISIÈME PÉRIODE                                           |                                    |                                       |
| 8 et 9 avril 1928 ..                                        | Tokio-Kouang-Tcheou-Wan-Hanoï ..   | 4.200 kil. en 28 h. 40 m.             |
| 10 avril 1928.....                                          | Hanoï-Calcutta .....               | 4.200 kil. en 28 h. 40 m.             |
| 11 avril 1928.....                                          | Calcutta-Jodhpore-Karachi .....    | 2.300 kil. en 11 h.                   |
| 12 avril 1928.....                                          | Karachi-Bassora .....              | 2.200 kil. en 13 h. 30 m.             |
| 13 avril 1928.....                                          | Bassora-Alep .....                 | 2.200 kil. en 14 h. 30 m.             |
| 13 avril 1928.....                                          | Alep-Athènes .....                 | 1.300 kil. en 10 h.                   |
| 14 avril 1928.....                                          | Athènes-Marseille-Paris .....      | 2.300 kil. en 14 h.                   |
|                                                             |                                    | 7 étapes 16.750 kil. en 103 h. 40 m.  |
| Soit en 40 étapes 57.530 kilo mètres parcourus en 344 h. 42 |                                    |                                       |

Extrait 17 : Tableau de marche du raid.<sup>1449</sup>

<sup>1449</sup> Armée Marine Colonie, mai 1928, p.125.



Figure 141 : Le tour du monde du Nungesser et Gali de Costes et Le Brix.<sup>1450</sup>

#### *Les instruments de navigation à l'estime du raid de Costes et Le Brix*

Les commentateurs de l'époque relèvent peu l'utilisation de la navigation astronomique dans cet exploit, préférant indiquer les instruments de navigation qui ont permis aux deux pilotes de pratiquer correctement la navigation à l'estime. Les rédacteurs d'*Armée Marine Colonie* mettent ainsi l'accent sur l'emploi du navigraphe-dérivomètre Le Prieur, du gyroclinomètre Bonneau-Le prieur et des compas Morel (voir extrait 18).

2 Compas Morel  
 1 dérivomètre Le Prieur (optique)  
 1 gyroclinomètre Le Prieur  
 qui nous ont tous  
 donné entière satisfaction  
 Le Brix

Extrait 18 : Liste des instruments de navigation rédigée par Le Brix.<sup>1451</sup>

<sup>1450</sup> *Armée Marine Colonie*, mai 1928, p.124.

<sup>1451</sup> « L'art de la navigation et les grands voyages aériens », *Armée Marine Colonie*, mai 1928, p. 123.

Nous retrouvons ici les instruments déjà cités dans la précédente période (1919-1928), mais dans des versions améliorées (voir figures 142 et 143).

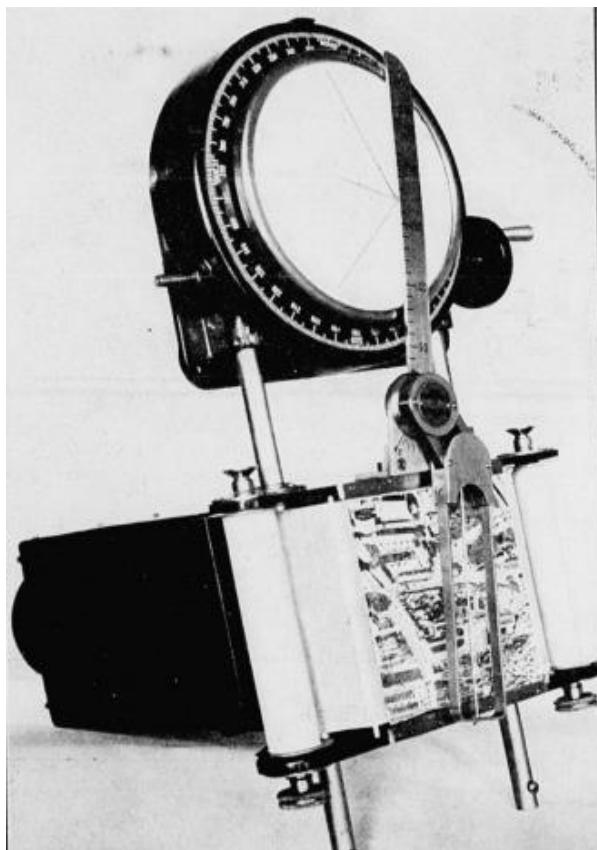


Figure 142 : Navigraphe dérivographe optique Le Prieur utilisé par Le Brix.<sup>1452</sup>



Figure 143 : Compas type Morel (utilisé par Costes à gauche et par Le Brix à droite).<sup>1453</sup>

<sup>1452</sup> *Armée Marine Colonie*, mai 1928, p.128.

<sup>1453</sup> *Ibid.*

En 1928, les établissements Krauss proposent deux modèles de compas (« grand modèle » et « petit modèle ») mis au point par le capitaine de frégate Camille Morel<sup>1454</sup>. Depuis de nombreuses années déjà, cet officier de la Marine française travaille sur les compas (premier brevet déposé en 1909) et, plus particulièrement, sur les compas d'aviation après la Première guerre mondiale. Ses travaux d'étude et d'expérimentation aboutissent, à la fin des années 1920 à des modèles dont les qualités sont reconnues par le milieu aéronautique.

Un compas magnétique doit satisfaire à deux critères pour qu'il soit adapté à la navigation aérienne :

*1° Etre adapté aux particularités mécaniques et magnétiques, complexes et multiples de l'avion ; être pourvu de tous les moyens de compensation capables d'annuler les perturbations introduites par les masses métalliques environnantes ;*

*2° Etre doté de dispositifs spéciaux protégeant ses organes essentiels contre les chocs et les vibrations, ainsi que les variations de température très étendues.*<sup>1455</sup>

Les compas Morel ont atteint une telle notoriété qu'ils ont été adoptés dans l'aéronautique militaire après être devenus réglementaires dans l'aéronautique maritime et ils équipent la majorité des aéronefs de grand raid français, mais aussi belges ou espagnols<sup>1456</sup>.

La fiabilité de ces instruments de navigation lors du raid de Costes et Le Brix est relevée dans des articles de revues aériennes comme dans celui que le médiateur spécialisé<sup>1457</sup> Jacques Mortane publie dans *L'Air* en 1928 :

*Il est à noter que, pas une fois, Costes et Le Brix ne se sont écartés de leur ligne ; le compas Morel et les appareils de navigation Le Prieur leur ont d'ailleurs heureusement simplifié la tâche.*<sup>1458</sup>

Le choix du compas Morel est également directement justifié par Costes :

*Costes a ajouté que le compas Morel et le sextant ont résolu le problème de l'orientation, il préfère l'aiguille aimantée au compas dont s'est servi Lindbergh.*<sup>1459</sup>

---

<sup>1454</sup> Camille Morel (1869- ?).

<sup>1455</sup> « Le compas Morel pour avions », *Le Génie civil*, 29 septembre 1928, p. 306.

<sup>1456</sup> MARTIN I., « Les accessoires », *L'Air*, 15 août 1927, p. 25.

<sup>1457</sup> SIMARD-HOUDE M. « La plume et l'aile. L'épopée aéronautique française, entre presse et édition (1908-1945). », *Mémoires du livre*, volume 8, numéro 2, printemps 2017, doi:10.7202/1039698ar.

<sup>1458</sup> MORTANE J., « 58.410 kilomètres autour du monde en 44 étapes », *L'Air*, 1<sup>er</sup> mai 1928, p. 16.

<sup>1459</sup> « Costes rend compte de son voyage », *L'Ouest-Éclair*, 22 octobre 1927, p. 3.

### *Les procédés de navigation astronomique utilisés par Costes et Le Brix*

Costes fait à la fois référence, dans cette citation, au compas Morel qui est l'un des instruments de navigation à l'estime et au sextant (un sextant à bulle<sup>1460</sup>) qui est l'un des instruments de navigation astronomique.

Le journaliste Georges Blond écrit, en 1928, que l'utilisation du sextant devient indispensable pour les voyages transocéaniques<sup>1461</sup>. Et à ceux qui relèvent les difficultés d'observation ou de calcul, il objecte d'une part que si les marins sont capables de l'utiliser sur la passerelle d'un torpilleur alors que le miroir est troublé par les embruns, l'aviateur est à même de viser un astre au moyen d'un sextant gyroscopique (qui résout le problème de l'horizon en aéronef) à bord d'un avion bien aménagé. Il écrit d'autre part : « des tables de navigation, établies spécialement pour les avions, existent, qui permettent de faire un point correct en un quart d'heure »<sup>1462</sup>. Il fait probablement référence aux tables de Bertin en ajoutant qu'« on ne s'improvise pas navigateur »<sup>1463</sup> et qu'il est important de suivre des cours de navigation pour pratiquer la navigation aérienne au long cours. L'amiral André Lequerré<sup>1464</sup>, cité dans un article de *L'Animateur des temps Nouveaux* du 8 juin 1928, rapporte également l'utilisation efficace des tables Bertin par Le Brix<sup>1465</sup>.

### *Les tables de Bertin*

Si l'utilisation des tables Bertin demande encore au navigateur beaucoup d'efforts, Bertin a l'ambition de lui faciliter le travail.

Charles Bertin est, rappelons-le, un ancien élève de l'École navale qui se tourne vers l'enseignement dans les écoles d'hydrographie (voir chap. 1). Il participe à la Première guerre mondiale comme pilote d'avion puis d'hydravion dans l'aéronautique maritime (voir chapitre 5) avant de retrouver les écoles nationales de navigation de 1919 à 1923. Son poste comme trésorier des invalides de la marine, à partir de 1923, lui permet de dégager du temps pour « l'œuvre de sa vie » : la méthode Bertin.

Bertin n'a pas attendu la fin des années 1920 pour travailler sur des tables de calculs nautiques<sup>1466</sup>, mais l'édition de la trilogie : *Mignonette, Carnet, Tablette*, en 1928-1929 sera

---

<sup>1460</sup> « Costes et Le Brix ont pris le départ hier du Bourget, à bord du « Nungesser-Coli » », *Ouest-Éclair*, 11 octobre 1927, p. 1.

<sup>1461</sup> BLOND G., « Pour les grands voyages. Le sextant est indispensable », *L'intransigeant*, 27 décembre 1928, p. 6.

<sup>1462</sup> *Ibid.*

<sup>1463</sup> *Ibid.*

<sup>1464</sup> André Lequerré (1864-1936).

<sup>1465</sup> *L'Animateur des temps nouveaux* n°120 in BERTIN Ch., *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1919, p. 271.

<sup>1466</sup> BEDEL P., Non encore publié.



celle qui aura le plus de retentissement alors que les précédentes sont restées confidentielles (voir tableau 36). Nous ne savons pas si Le Brix a effectué ses calculs en 1927 à partir d'une épreuve non encore publiée du Carnet Bertin de 1928 ou s'il a utilisé une édition de 1919. La première hypothèse semble la plus plausible<sup>1467</sup> aussi étudierons nous la méthode à partir des ouvrages publiés en 1928-1929.

| Ouvrages publiés en 1919                                                          | Ouvrages publiés en 1928-1929   | Ouvrage publié en 1939                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|
| <i>Carnet azimutal pour le réglage rapide et précis de la montre et du compas</i> | <i>Mignonette Bertin</i> (1928) |                                            |
|                                                                                   | <i>Carnet Bertin</i> (1928)     |                                            |
| <i>Tablette de point sphérique</i>                                                | <i>Tablette Bertin</i> (1929)   | <i>Tablette Bertin pour faire le point</i> |

**Tableau 36 : Liste des tables publiées par Bertin.**<sup>1468</sup>

Le but poursuivi par Bertin est le même, quel que soit l'ouvrage considéré :

*Réaliser un instrument de calculs nautiques présentant de telles facilités d'emploi que le Navigateur reste sans excuse s'il ne recourt pas au contrôle incessant, par l'observation et le calcul, des données incertaines de son estime.*<sup>1469</sup>

L'auteur souhaite fournir aux navigateurs, maritimes et aériens, un outil simple d'emploi. Pour cela, il est amené à privilégier les tables sans logarithmes et justifie ce choix qui heurte nombre de marins :

*Les vitesses actuelles exigent qu'il devienne de plus en plus possible d'observer, en ayant de moins en moins à calculer. De ce fait, les procédés logarithmiques deviennent de caducs procédés d'écolier, trop lents pour être utilisables sur des passerelles de glisseur de 60 nœuds, ou dans des carlingues d'avions de 100 à 200 nœuds.*<sup>1470</sup>

Bertin sait, en tant que professeur d'hydrographie, que les notions de navigation ainsi que l'emploi des instruments d'observation qui leurs sont associés, font partie du bagage de tout officier de marine, mais il conseille au navigateur aérien de « subir une quinzaine de très actif apprentissage, en voyages maritimes méditerranéens »<sup>1471</sup>.

<sup>1467</sup> Le Brix indique notamment qu'il s'est servi du « Carnet Bertin » or il n'y a pas de version du carnet dans les éditions de 1919 (voir tableau 36).

<sup>1468</sup> Nous avons indiqué, sur une même ligne, les ouvrages destinés à la même utilisation.

<sup>1469</sup> BERTIN Ch., *Tablette de Point Sphérique*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1919, p. I.

<sup>1470</sup> BERTIN Ch., *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1929, p. XXXIV.

<sup>1471</sup> *Ibid.*

Le lieutenant de vaisseau Le Brix n'est pas concerné par cette mise à niveau intensive. En effet, il a eu une formation maritime à l'École navale, mais surtout, il sera l'un des enseignants à l'École navale et au Cours supérieur de navigation aérienne de Brest à partir de 1928 (voir chapitre 6).

L'opinion positive de Le Brix sur la méthode (« Je me suis servi tout le temps du Carnet Bertin. C'est épatant ! Il faut en féliciter l'auteur »<sup>1472</sup>) est particulièrement appréciée par Bertin. D'une part, en raison des qualités de navigateur aérien de ce pilote et, d'autre part, dans le but de légitimer cette méthode à l'École navale et en particulier dans les cours de navigation aérienne. Le Brix est un vecteur de diffusion de la méthode parfaitement adapté, car ces tables de calculs nautiques sont les premières, en France, à être officiellement destinées à la fois aux marins et aux aviateurs.

Bertin n'envisageait probablement pas encore de proposer ses tables aux aviateurs et aux aéronautes lorsqu'il a effectué ses calculs une première fois de 1904 à 1911, mais les destinait aux marins afin de leur simplifier l'étape fastidieuse des calculs nautiques. Son passage dans l'aéronautique maritime durant la Première guerre mondiale (voir chapitre 5) l'amène à élargir le public auquel il destine sa méthode. Cette période a eu visiblement un fort impact sur l'auteur. En effet, cela transparaît dans les courriers joints, ainsi que dans les commentaires, inclus dans ses différents ouvrages. La première référence à sa carrière d'aviateur se retrouve même dès la page de garde des tables de 1919, où il se présente comme « l'ex-commandant aviateur »<sup>1473</sup>. Toutefois, il s'appuie encore fortement sur les marins, puisqu'il indique avoir fait refaire toutes les additions logarithmiques « à la nonantaine d'élèves de l'Ecole de Navigation de Saint-Malo »<sup>1474</sup> lorsqu'il dirigeait celle-ci en 1919 et 1920.

### *Une réception contrastée de la méthode Bertin*

Il regrette que sa méthode ne soit pas bien accueillie auprès de ses collègues des écoles d'hydrographie. Bertin a été confronté à plusieurs types de difficultés : manque de reconnaissance, suspicion de plagiat du travail de Souillagouët, difficultés financières. Il se plaint à ce propos dans la *Tablette* de 1929 :

*Mais à quelle existence d'apôtre j'ai été condamné : d'abord un lustre et demi de gros travail, à quatorze heures par jour, pour le calcul du Monument Bertin, puis*

---

<sup>1472</sup> BERTIN Ch., *Op. Cit.*, N.P.

<sup>1473</sup> Page de garde du *Carnet azimutal pour le réglage rapide et précis de la montre et du compas* de 1919 et de la *Tablette de point sphérique* de 1919.

<sup>1474</sup> BERTIN Ch., *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1929, p. 273.

*trois lustres et demi de lutte intellectuelle ridicule (...). Cette seconde période fut bien dure et douloureuse.*<sup>1475</sup>

Bertin s'endette lourdement lorsqu'il reprend ses travaux en 1927 suite à plusieurs catastrophes aériennes :

*Ce n'est d'ailleurs que l'intense souffrance morale que j'ai ressentie, tout au long de cette belle saison 1927, époque des premiers grands sinistres aériens, qui m'a donné le courage de reprendre la lutte, épuisante et ruineuse, auparavant délaissée à la mort de ma vaillante collaboratrice. Et c'est pour arrêter ces douloureux sinistres que je me suis remis au travail... et lourdement endetté.*<sup>1476</sup>

Il peine également à convaincre ses collègues de l'intérêt de sa méthode. Il associe la frilosité de certains professeurs des écoles d'hydrographie à l'égard de la méthode à leur « phobie » du point auxiliaire (voir chapitre 2). Bertin écrit avec une certaine impertinence :

*Mais jamais le professorat d'âge très mûr ne consentit à l'introduction du point auxiliaire dans l'enseignement officiel. Le génial Souillagouët en mourut de chagrin en 1915.*<sup>1477</sup>

Et il poursuit :

*Mais l'auteur [Bertin] n'en mourra pas de chagrin. Il attendra que la phobie, déjà âgée de quarante ans, disparaisse. Ce qui ne saurait tarder, car elle ne pénétrera jamais dans l'Aviation.*<sup>1478</sup>

Il est vrai, comme nous l'avons déjà écrit, que les aviateurs ont plutôt tendance à éviter autant que possible les calculs logarithmiques et l'utilisation des tables de Friocourt. La méthode Bertin, avec ses simplifications de calculs, présente pour eux beaucoup d'attraits.

Cependant, tous les marins ne sont pas hostiles à la méthode tant dans la marine marchande que dans la Marine. Dans un courrier daté du 23 novembre 1926 et adressé à Bertin, le capitaine de vaisseau François Darlan, chef du Cabinet militaire, écrit au nom du ministre de la Marine :

*Sur la proposition qui m'a été faite par le Comité Hydrographique, je viens de rendre réglementaire à l'ECOLE NAVALE la table dite **Carnet Bertin** que vous avez imaginé pour résoudre rapidement les problèmes usuels de navigation.*<sup>1479</sup>

---

<sup>1475</sup> Ibid.

<sup>1476</sup> BERTIN Ch., *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1929, p. 274.

<sup>1477</sup> BERTIN Ch., *Op. Cit.*, p. XXXIII.

<sup>1478</sup> BERTIN Ch., *Op. Cit.*, p. XXXIV.

<sup>1479</sup> BERTIN Ch., *Carnet Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1928, NP.

De plus, un courrier, daté du 15 décembre 1927, correspond également à une utilisation officielle de la « Méthode Bertin » dans la Marine. Georges Leygues, ministre de la Marine y informe Bertin que :

*Dans sa séance du 17 mars 1927, le comité hydrographique avait décidé qu'il serait réglementairement délivré un exemplaire de la Tablette Bertin à bord des bâtiments en campagne hors des mers d'Europe, et un certain nombre d'exemplaires à l'Ecole d'application des Elèves-Officiers de Marine. (...) Le comité hydrographique s'est réuni le 21 octobre (...) Il m'a proposé de généraliser la mesure prise en mars 1927 pour les bâtiments hors d'Europe et d'étendre la délivrance à tous les bâtiments. J'ai approuvé ces propositions.*<sup>1480</sup>

La méthode reçoit par ailleurs un accueil très favorable dans le milieu aéronautique. L'amiral Lequerré, dans un article de la *Revue de la marine de commerce* de janvier 1928, cité par Bertin, considère que la *Carnet Bertin* et la *Mignonette Bertin* sont particulièrement adaptés à la navigation aérienne. Il écrit ainsi d'une part :

*Il [le Carnet Bertin] a permis à Le Brix de faire sa si belle traversée de l'Atlantique Sud. Il est d'emploi constant dans toute l'aviation Française. (...)*

*La conception de cette table [la Mignonette Bertin] atteste le séjour que son auteur a fait dans l'aviation pendant la Guerre. Elle est admirablement comprise pour l'aviateur auquel elle suffit pour « faire le point ». Petit livre de cent pages, tenant dans la poche de veston, la Mignonette contient à peu près tout ce qu'il y a dans la Table Catalano, à laquelle elle ne ressemble guère, tant par l'exiguïté de son format et de son poids, que par la facilité avec laquelle on l'utilise et la feuillette ! Elle sera probablement avant peu le bréviaire de l'officier de quart, tant à la mer qu'en l'air.*<sup>1481</sup>

Rappelons d'ailleurs que les élèves du Cours supérieur de navigation aérienne de Brest sont entraînés à l'utilisation du « les sacro-saints carnets Bertin »<sup>1482</sup> (voir chapitre 6).

La nécessité de la pratique d'une navigation aérienne scientifique est une évidence pour Bertin. Il considère d'ailleurs que connaître les procédés de navigation aérienne aurait permis d'éviter plusieurs des catastrophes aériennes qui ont eu lieu lors de grands raids à la fin des années 1920. Il recommande à l'aviateur, en considérant qu'il a utilisé le pseudonyme de SINBAD pour signer des articles publiés dans l'*Ouest-Éclair*, de parfaire ses connaissances en navigation :

---

<sup>1480</sup> Ibid.

<sup>1481</sup> BERTIN Ch., *Op. Cit.*, p. VI.

<sup>1482</sup> CHASSIN L., « Ce grand diable taillé à la serpe », *Icare*, 1974, p. 189.

*Qu'il commence par le compas, qu'il continue par l'intercept astronomique et qu'il se décide à attaquer l'intercept radiogoniométrique.*<sup>1483</sup>

Bertin reconnaît l'exploit de la traversée de l'Atlantique nord par Lindbergh en solitaire et sans escale à bord du *Spirit of Saint Louis* le 21 mai 1927, mais regrette que ses successeurs aient été « moins heureux »<sup>1484</sup>. Il cite en premier Chamberlain qui n'a pas atteint Berlin puis il écrit :

*Le second successeur de Lindbergh, un marin celui-là (il l'a prouvé en atterrissant ... dans la mer) [qui] aurait eu une superbe fin de raid s'il avait connu et pratiqué la méthode Bertin.*<sup>1485</sup>

Il s'agit probablement du commandant Byrd qui n'a pas réussi à atteindre Le Bourget à bord de *L'America*. Bertin a d'ailleurs publié un article dans l'*Ouest-Éclair* à propos de cette traversée<sup>1486</sup> dans lequel il cite également la disparition de Coli.

Ces catastrophes font écrire à Bertin (toujours sous la plume de SINBAD) :

*Quelle hécatombe ! Combien en est-il disparu, ces derniers mois, de ces héros victimes des raids transatlantiques ? Mais aussi, combien en était-il d'entre eux qui avaient consenti à acquérir une connaissance réelle de l'art assez délicat de la navigation ?*<sup>1487</sup>

Et il poursuit :

*Aussi l'Ouest-Eclair me charge-t-il de renseigner les marins et les aviateurs sur l'existence et le principe de cette méthode relativement nouvelle qu'ils sont trop peu à pratiquer, et qui est appelée tant par sa facilité d'assimilation que par la rapidité des résultats qu'elle fournit à transformer l'état d'âme des aviateurs et à en faire des navigateurs. Il s'agit de la méthode Bertin.*<sup>1488</sup>

Bertin a intégré dans ses tables « quelques opinions sur la Méthode Bertin » (voir tableau 37) :

---

<sup>1483</sup> SINBAD, « La navigation aérienne et la méthode Bertin (suite de notre article d'hier) » *Ouest-Éclair*, octobre 1927, p. 2.

<sup>1484</sup> *Ibid.*

<sup>1485</sup> *Ibid.*

<sup>1486</sup> BERTIN Ch., « La randonnée nocturne de "L'America" sur la région de l'Ouest », *Ouest-Éclair*, juillet 1927, pp. 1-2.

<sup>1487</sup> SINBAD, « La navigation aérienne et la méthode Bertin », *Ouest-Éclair*, octobre 1927, p. 1.

<sup>1488</sup> *Ibid.*

| Citation                                             | Auteur(s)                                          | Origine (si connue)   |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------|
| Je me suis servi tout le temps du Carnet Bertin      | Le Brix                                            | Aéronautique maritime |
| C'est épatant ! Il faut en féliciter l'auteur        | "                                                  | Aéronautique maritime |
| Ingéniosité, labeur, volonté d'aboutir               | État-major général Marine                          | Marine militaire      |
| Merveilleuse disposition, commodité                  | Rapport École navale                               | École navale          |
| Hautement à recommander, intérêt manifeste           | Service hydrographique                             |                       |
| Écrasante supériorité                                | Professeur Dyèvre, École navale                    | École navale          |
| La logique triomphera                                | Professeur Loudes, <i>Jeanne-d'Arc</i>             | École navale          |
| Fécondes ressources de la méthode Bertin             | Amiral Robert                                      | Marine militaire      |
| Exceptionnelle méthode ; routine, cède le pas !      | Amiral Lequerré                                    | Marine militaire      |
| Que n'ai-je eu ces livres comme officier des montres | Amiral Perrin                                      | Marine militaire      |
| Présenté de façon si heureuse                        | Amiral Frochot                                     | Marine militaire      |
| Tour de force (volume et commodité)                  | Amiral aviateur de Laborde                         | Aéronautique maritime |
| Navigation à la portée du simple pêcheur             | Commandant Guyou                                   | Marines               |
| Oh ! Est-ce rapide et pratique !                     | Commandant Fayet                                   |                       |
| Le calcul est tout fait d'avance                     | Commandant Ancelin                                 | Marine militaire      |
| Je suis en admiration, dès vos débuts                | Commandant Charcot                                 | Exploration           |
| Irons au bout du monde, avec cela !                  | Commandant aviateur Lacroix                        | Aviation militaire    |
| Radio-line, très grand intérêt pratique              | Général Ferrié                                     | Militaire             |
| Quel procédé pratique                                | René Mesny, TSF                                    | Marine militaire      |
| Remarquablement commode                              | Professeur Martin                                  |                       |
| Il ne reste qu'à lire, on ne peut plus se tromper    | LV Rafé et divers                                  | Marine militaire      |
| Hurrah !                                             | Officiers-élèves, École navale <i>Jeanne-d'Arc</i> | École navale          |
| Quelle merveille !                                   | Capitaines Depagne, Achard, <i>tutti quanti</i>    |                       |
| Nous observons pour le plaisir                       | Capitaine Gergaud, Malouin                         |                       |
| Félicitations pour la croisade (vieilles routines)   | Directeur Lucas, Bordeaux                          | École de navigation   |
| Vois avec plaisir, mollissez pas                     | Directeur Pitaud, Bastia                           | École de navigation   |
| L'éloge n'est plus à faire                           | Directeur Bouvaist, Alger                          | École de navigation   |
| Le calcul est plus rapide que l'observation          | Divers lieutenants                                 |                       |
| La navigation s'apprend toute seule                  | Divers élèves                                      |                       |

|                                                                                                                                        |                                |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------|
| Ange gardien des examens, indiquant l'erreur commise                                                                                   | "                              |                  |
| Travaux considérables et désintéressés                                                                                                 | <i>Journal Officiel</i> , 1921 |                  |
| Il suffit de jeter les yeux sur les exemples pour se rendre compte qu'il est impossible d'arriver plus vite et plus commodément au but | Commandant Marguet             | École navale     |
| Du point de vue théorique, la droite-radio est si séduisante qu'elle a, comme telle, place dans tous les cours complets de navigation  | Commandant Dyèvre              | Marine militaire |

Tableau 37 : « quelques opinions sur la méthode Bertin »<sup>1489</sup>

Bien qu'impressionnante, la liste fournit des opinions hors de leur contexte. Nous ne savons pas comment ces points de vue favorables ont été recueillis. Elle permet cependant de pointer les origines diverses des utilisateurs potentiels de la méthode : des enseignants de la marine militaire ou marchande, des officiers de ces deux marines, des aviateurs issus de la marine ou de l'Armée et même quelques militaires. La mise en avant d'une telle diversité de destinataires n'est pas commune. Bertin a visiblement construit ses livres en réfléchissant au format optimal<sup>1490</sup> et à un contenu adapté aux diverses origines (civils ou militaires, marins ou aviateurs) des Français qui pourraient s'y intéresser. Il souhaite cependant élargir davantage son lectorat. Ses ouvrages présentent en effet une autre spécificité : une partie en est traduite en anglais, en italien et en espagnol<sup>1491</sup>.

La méthode, qui semble avoir conquis un public varié, présente une double originalité. D'une part, les tables sont construites en utilisant une décomposition originale du triangle de position en deux triangles rectangles. D'autre part, Bertin propose d'associer ses tables à l'utilisation du point auxiliaire plutôt qu'au point estimé, principe qu'il développe essentiellement dans ses *Tablettes*.

<sup>1489</sup> BERTIN Ch., *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1929, NP. La liste donnée par Bertin comprend l'opinion ainsi que l'auteur de la citation. Nous avons ajouté l'origine des auteurs lorsque nous l'avons identifiée.

<sup>1490</sup> Trois tailles différentes allant du format de poche (*Mignonette Bertin*) au livre utilisable sur une passerelle ou dans une carlingue de bonne dimension (*Tablette Bertin*) en passant par le *Carnet Bertin* qui donne une précision convenable dans un format intermédiaire (21 × 12,5 × 1 cm pour 185 pages).

<sup>1491</sup> Il n'est toute fois pas certain que ces personnes appliquent la méthode Bertin. Bertin est cité dans le Bowditch (BOWDITCH N., *American practical navigator*, USA, US Navy Hydrographic Office, 1958), mais nous n'avons pas recherché la réception de cette méthode à l'étranger.





des trois angles et un côté » voir chapitre 2). Pour le triangle  $BKC$ , les éléments connus sont la cohypoténuse  $MC$  et l'angle  $B$  et les éléments trouvés sont  $BK$ ,  $KC$  et  $C_1 = BCK$ . Pour le triangle  $CHI$ , les éléments connus sont la cohypoténuse  $KC$  et l'angle  $CIH$ <sup>1496</sup> et les éléments trouvés sont  $A_\omega$ ,  $HC$  et  $C_2 = ICH = KCA$ . La détermination du point  $A$  se déduit alors de  $A_\omega$ , l'arc  $KC$  à partir de  $HC$  et le point  $C$  à partir de  $C_1$  et  $C_2$ , les calculs variant selon la position du point  $C$  sur la sphère.

Bertin, ayant pour objectif de construire une table qu'il suffirait d'ouvrir deux fois, doit choisir judicieusement le nom des éléments présents dans cette table. Aussi utilise-t-il les noms « NS » et « EW » dans un triangle  $ABC$  rectangle en  $A$  (voir figure 146) dans les éditions de 1919, 1928, 1929 du fait de l'orientation des côtés considérés sur le globe terrestre.

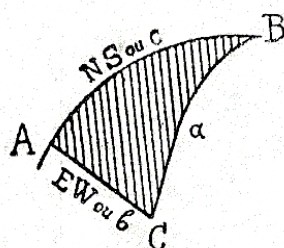


Figure 146 : Notations.<sup>1497</sup>

Il utilise alors trois formules (voir chapitre 2) pour établir sa table de points sphériques. Il s'agit tout d'abord de  $tg NS = cotg a_\omega \cos B$  dans laquelle se reconnaît la « formule des 5 éléments » ( $tg c = tg a \cdot \cos B$ ) appliquée pour le triangle sphérique  $ABC$  rectangle en  $A$  avec  $a = 90^\circ - a_\omega$  et  $tg a = cotg a_\omega$ . La deuxième formule,  $\sin EW = \cos a_\omega \sin B$ , vient de l'« analogie des sinus » ( $\sin a = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$ ) avec  $\sin a = \cos a_\omega$ . Enfin,  $cotg C = \sin a_\omega tg B$ , est issue de la « formule des trois angles et un côté » ( $\cos a = cotg B cotg C$ ) avec  $\sin a_\omega = \cos a$ .

Il propose ainsi aux utilisateurs de sa méthode un ensemble de tables à double entrée leur permettant de résoudre des triangles sphériques sans l'utilisation des logarithmes. Les tables de la *Mignonette Bertin* contiennent 65 000 chiffres sur 104 pages et résolvent 8 000 triangles sphériques rectangles, les arguments étant équidistants du degré. Le *Carnet Bertin* de 1928 contient 300 000 chiffres sur 185 pages. Bertin considère que les interpolations peuvent être pratiquement supprimées avec les tables du *Carnet* car l'équidistance des arguments choisis est de  $0^\circ 30'$ , soit le demi-degré (voir extrait 19)<sup>1498</sup>. Enfin, la *Tablette Bertin* de 1929 contient

<sup>1496</sup>  $CIH = \chi + c_\omega$  mais en considérant la somme algébrique.

<sup>1497</sup> BERTIN Ch., *Tablette de Point Sphérique*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1919, p. VI.

<sup>1498</sup> BERTIN Ch., *Carnet Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1928, p. VII.

1 500 000 chiffres condensés sur 342 pages. L'auteur y a résolu «  $3 \times 90 \times 3 \times 90 = 72\,900$  triangles »<sup>1499</sup>, les arguments ayant une équidistance du tiers de degré soit  $0^\circ 20'$ .

| B          | 305°5<br>20'22" | 305°<br>20'20" | 304°5<br>20'18" | 304°<br>20'16" | 303°5<br>20'14" | 303°<br>20'12" | HYPOTENUSE |
|------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|------------|
|            | 54°5<br>3'38"   | 55°<br>3'40"   | 55°5<br>3'42"   | 56°<br>3'44"   | 56°5<br>3'46"   | 57°<br>3'48"   |            |
| $\alpha_0$ |                 |                |                 |                |                 |                |            |
| 0°         | 900545          | 900550         | 900555          | 900560         | 900565          | 900570         | 90°        |
| 0,5        | 891545          | 891550         | 891555          | 891560         | 891565          | 891570         | 89,5       |
| 1°         | 883545          | 883550         | 883555          | 883560         | 883565          | 883570         | 88°        |
| 1,5        | 874545          | 874550         | 874555          | 874560         | 874565          | 874570         | 87,5       |
| 2°         | 866545          | 866550         | 866555          | 866560         | 866565          | 866570         | 86°        |
| 2,5        | 857545          | 857550         | 857555          | 857560         | 857565          | 857570         | 85,5       |
| 3°         | 848545          | 848550         | 848555          | 848560         | 848565          | 848570         | 84°        |
| 3,5        | 840545          | 840550         | 840555          | 840560         | 840565          | 840570         | 83,5       |
| 4°         | 831545          | 831550         | 831555          | 831560         | 831565          | 831570         | 83°        |
| 4,5        | 823545          | 823550         | 823555          | 823560         | 823565          | 823570         | 82,5       |
| 5°         | 814545          | 814550         | 814555          | 814560         | 814565          | 814570         | 81°        |
| 5,5        | 806545          | 806550         | 806555          | 806560         | 806565          | 806570         | 80,5       |
| 6°         | 797545          | 797550         | 797555          | 797560         | 797565          | 797570         | 79°        |
| 6,5        | 789545          | 789550         | 789555          | 789560         | 789565          | 789570         | 78,5       |
| 7°         | 780545          | 780550         | 780555          | 780560         | 780565          | 780570         | 78°        |
| 7,5        | 772545          | 772550         | 772555          | 772560         | 772565          | 772570         | 77,5       |
| 8°         | 763545          | 763550         | 763555          | 763560         | 763565          | 763570         | 76°        |
| 8,5        | 755545          | 755550         | 755555          | 755560         | 755565          | 755570         | 75,5       |
| 9°         | 746545          | 746550         | 746555          | 746560         | 746565          | 746570         | 74°        |
| 9,5        | 738545          | 738550         | 738555          | 738560         | 738565          | 738570         | 73,5       |
| 10°        | 729545          | 729550         | 729555          | 729560         | 729565          | 729570         | 72°        |
| 10,5       | 721545          | 721550         | 721555          | 721560         | 721565          | 721570         | 71,5       |
| 11°        | 712545          | 712550         | 712555          | 712560         | 712565          | 712570         | 71°        |
| 11,5       | 704545          | 704550         | 704555          | 704560         | 704565          | 704570         | 70,5       |
| 12°        | 695545          | 695550         | 695555          | 695560         | 695565          | 695570         | 69°        |
| 12,5       | 687545          | 687550         | 687555          | 687560         | 687565          | 687570         | 68,5       |
| 13°        | 678545          | 678550         | 678555          | 678560         | 678565          | 678570         | 67°        |
| 13,5       | 670545          | 670550         | 670555          | 670560         | 670565          | 670570         | 66,5       |
| 14°        | 661545          | 661550         | 661555          | 661560         | 661565          | 661570         | 66°        |
| 14,5       | 653545          | 653550         | 653555          | 653560         | 653565          | 653570         | 65,5       |
| 15°        | 644545          | 644550         | 644555          | 644560         | 644565          | 644570         | 64°        |
| 15,5       | 636545          | 636550         | 636555          | 636560         | 636565          | 636570         | 63,5       |
| 16°        | 627545          | 627550         | 627555          | 627560         | 627565          | 627570         | 62°        |
| 16,5       | 619545          | 619550         | 619555          | 619560         | 619565          | 619570         | 61,5       |
| 17°        | 610545          | 610550         | 610555          | 610560         | 610565          | 610570         | 61°        |
| 17,5       | 602545          | 602550         | 602555          | 602560         | 602565          | 602570         | 60,5       |
| 18°        | 593545          | 593550         | 593555          | 593560         | 593565          | 593570         | 59°        |
| 18,5       | 585545          | 585550         | 585555          | 585560         | 585565          | 585570         | 58,5       |
| 19°        | 576545          | 576550         | 576555          | 576560         | 576565          | 576570         | 57°        |
| 19,5       | 568545          | 568550         | 568555          | 568560         | 568565          | 568570         | 56,5       |
| 20°        | 559545          | 559550         | 559555          | 559560         | 559565          | 559570         | 55°        |
| 20,5       | 551545          | 551550         | 551555          | 551560         | 551565          | 551570         | 54,5       |
| 21°        | 542545          | 542550         | 542555          | 542560         | 542565          | 542570         | 54°        |
| 21,5       | 534545          | 534550         | 534555          | 534560         | 534565          | 534570         | 53,5       |
| 22°        | 525545          | 525550         | 525555          | 525560         | 525565          | 525570         | 52°        |
| 22,5       | 517545          | 517550         | 517555          | 517560         | 517565          | 517570         | 51,5       |
| $\alpha_0$ | 234°5<br>15'38" | 235°<br>15'40" | 235°5<br>15'42" | 236°<br>15'44" | 236°5<br>15'46" | 237°<br>15'48" |            |
| B          | 125°5<br>8'22"  | 125°<br>8'20"  | 124°5<br>8'18"  | 124°<br>8'16"  | 123°5<br>8'14"  | 123°<br>8'12"  | HYPOTENUSE |

Extrait 19 : une page de table du *Carnet Bertin*.<sup>1500</sup>

Dans la *Mignonette Bertin*, ou le *Carnet Bertin*, **74<sub>2</sub>55<sub>0</sub>**, associé à  $\alpha_0 = 9^\circ$  et  $B = 56^\circ$ , correspond à  $NS = 74^\circ,4$  et  $EW = 55^\circ$  (voir extrait 19 et figure 146). Les résultats sont plus précis dans les *Tablettes* car le résultat est donné sous la forme d'un groupe de treize chiffres juxtaposés. Les cinq premiers chiffres donnent la valeur notée  $NS$  du côté adjacent à l'angle argument. Les cinq chiffres suivants donnent la valeur notée  $EW$  du côté opposé au même angle argument. Les trois derniers chiffres correspondent à l'angle  $C$  non choisit pour argument. Ainsi par exemple, le groupe **46<sub>407</sub>45<sub>023</sub>56<sub>3</sub>** doit être dissocié en  $NS : 46^\circ 40',7$ ,  $EW : 45^\circ 02',3$  et  $C = 56^\circ,3$ .

<sup>1499</sup> BERTIN Ch., *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1929, p. IV.

<sup>1500</sup> BERTIN Ch., *Carnet Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1928, p. 37.

La méthode de Bertin tout comme celle de Souillagouët, utilise une perpendiculaire issue du zénith. Leurs formules sont les mêmes pour la détermination de la hauteur, mais elles diffèrent pour déterminer l'azimut. Il s'agirait avec Bertin de « la première méthode dans laquelle Z est divisée en deux parties trouvées séparément »<sup>1501</sup>. Ce type de division du triangle de position à partir du zénith instauré par Souillagouët et poursuivi par Bertin a eu d'autres adeptes. Ainsi en 1920, l'ingénieur Japonais Sinkiti Ogura publie des tables qui utilisent encore le même principe que Souillagouët pour déterminer la hauteur, mais qui diffèrent pour la détermination de l'azimut à la fois de Souillagouët et de Bertin. Les *Smart and Shearme's Positions Line tables* publiées à Londres en 1922 sont assez comparables à celles d'Ogura alors que les tables qui sont publiées à Lisbonne en 1924 par Newton et Pinto ont de nombreux points communs avec celles de Bertin<sup>1502</sup>. Bertin s'inscrit dans ce courant de développement des tables abrégées.

*L'utilisation du point auxiliaire pour le tracé d'une droite de hauteur selon la méthode Bertin*  
L'auteur ne se contente pas de décomposer le triangle de position par une hauteur issue du zénith comme Souillagouët, mais il lui emprunte également le « point auxiliaire » qui est à la base de leurs méthodes. Il lui rend d'ailleurs hommage en écrivant dans la *Tablette de Point Sphérique* :

*Le génial père du point auxiliaire, le défunt et regretté professeur d'hydrographie **Souillagouët**, a fait paraître des **Tables du Point auxiliaire** dont le procédé a été repris et perfectionné par l'auteur.*<sup>1503</sup>

À la suite de Souillagouët, il a été amené à introduire le point auxiliaire afin de réduire le nombre de pages de ses tables. En effet, la table idéale serait celle qui donnerait les résultats le plus précisément possible, en étant la moins encombrante possible, tout en évitant les interpolations superflues.

Bertin présente, le principe du point auxiliaire dans la *Tablette Bertin* de 1929, en précisant comment on obtient une droite de hauteur :

*La « droite de hauteur » est le tracé sur la carte marine, du fragment de la « courbe de hauteur » qui est le lieu géométrique du navire.*

*On l'obtient, par la méthode du « point rapproché » de l'Amiral Marcq de Saint-*

<sup>1501</sup> BOWDITCH N., *American Practical Navigator*, vol. I. Defense Mapping Agency Hydrographic Center, 1977, p. 572. (« the first method in which Z is divided into two parts, found separately » traduction par nos soins).

<sup>1502</sup> L'*American Practical Navigation* cite encore onze autres tables publiées entre 1927 et 1969 pour lesquelles les auteurs ont choisi la même division du triangle de position que Souillagouët.

<sup>1503</sup> BERTIN Ch., *Tablette de Point Sphérique*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1919, p. IV.

Hilaire, en traçant un vecteur, correctement orienté et limité, à l'extrémité duquel elle est normale.

**Peu importe l'origine du vecteur pourvu que sa longueur corresponde exactement à la distance à la courbe de hauteur. C'est ainsi que de nombreux vecteurs (...) fournissent tous la même droite de hauteur.**

Le point auxiliaire est tout simplement un quelconque point, choisi proche du point estimé.<sup>1504</sup>

Le point auxiliaire est le pivot de la méthode exposée dans les *Tablettes*<sup>1505</sup> alors qu'il n'est qu'introduit dans les autres formats de tables.

Dans tous les cas, la table de point de Bertin est applicable avec un point auxiliaire ou un point estimé. La différence viendra essentiellement du nombre d'interpolations nécessaires pour obtenir le résultat attendu. Mais il faut garder à l'esprit que ce nombre d'interpolations et le nombre d'ouvertures du livre est un critère important de choix pour l'utilisateur (ainsi que l'encombrement, le poids du livre et même éventuellement son prix).

#### Autres applications des tables Bertin

La partie consacrée au tracé des droites de hauteur occupe une part importante des pages d'explications de la *Tablette Bertin* mais d'autres applications sont possibles. Les livres de cours à destination des marins et des aviateurs après la Première guerre mondiale donnent la « détermination de l'azimut » comme principale utilisation des tables de Bertin (voir figure 147). Bertin en prévoit onze autres (voir tableau 38).

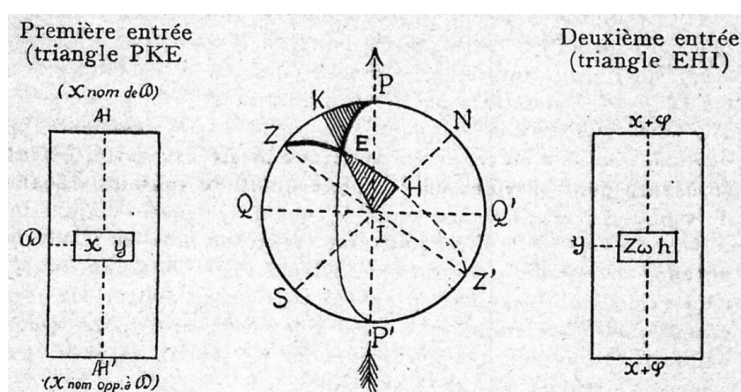


Figure 147 : Schémas accompagnant le problème de la détermination de l'azimut et de la hauteur (problème n° 1) dans le *Carnet Bertin*.<sup>1506</sup>

<sup>1504</sup> BERTIN Ch., *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1929, p. XXIII. Les parties en gras sont données par l'auteur.

<sup>1505</sup> BERTIN Ch., *Tablette de Point Sphérique*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1919. BERTIN Ch., *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1929. BERTIN Ch., *Tablette Bertin pour faire le point*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1939.

<sup>1506</sup> BERTIN Ch., *Carnet Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1928, p. VIII.

| Problème | Intitulé                                                                                                      |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Azimut et hauteur.                                                                                            |
| 2        | Identification d'astre.                                                                                       |
| 3        | Angle à l'astre, ou angle parallactique.                                                                      |
| 4        | Lever et coucher vrai.                                                                                        |
| 5        | Circonstances favorables.                                                                                     |
| 6        | Orthodromie.                                                                                                  |
| 7        | Vertex orthodromique.                                                                                         |
| 7 bis    | Navigation mixte.                                                                                             |
| 8        | Points intermédiaires orthodromiques.                                                                         |
| 9        | A quel angle au pôle P un astre de déclinaison D atteint-il un azimuth défini : Z, la latitude étant $\phi$ . |
| 10       | Lever ou coucher apparent.                                                                                    |
| 11       | Réglage de montre.                                                                                            |

Tableau 10 : Les douze problèmes pouvant être traités par le *Carnet Bertin*.<sup>1507</sup>

Bertin propose également d'utiliser ses tables en lien avec la TSF. Il semblerait d'ailleurs avoir été l'un des acteurs du développement de la TSF maritime avant la Première guerre mondiale. En 1911, une lettre de l'inspecteur général d'hydrographie Georges Massenet cite « plusieurs personnes absolument dévouées à la cause de la radiotélégraphie »<sup>1508</sup>, dont Bertin :

*M. Bertin a monté à l'école d'hydrographie de Lorient avec le concours du lieutenant de vaisseau Tissot, dont le nom est universellement connu, un poste destiné spécialement à la réception des signaux horaires et de prévision du temps.*<sup>1509</sup>

De plus, certains de ses travaux d'après-guerre concernent la radiogoniométrie<sup>1510</sup>, dans l'optique de prouver l'intérêt du dispositif pour améliorer la sécurité de la navigation<sup>1511</sup>.

Bertin avait déjà inclus une petite note, à la fin du paragraphe sur la navigation orthodromique, dans la *Tablette de Point Sphérique* de 1919 : « Lorsque les cadres radiogoniométriques donneront la précision du degré, l'emploi du grand cercle deviendra d'un grand intérêt »<sup>1512</sup>. Les progrès réalisés dans le domaine de la radioélectricité durant la décennie lui permettent de pointer l'intérêt de la « droite radio » pour l'aviateur en 1929, même s'il est conscient d'être un peu en avance sur les techniques de son temps :

<sup>1507</sup> Tableau établi à partir des indications de BERTIN Ch., *Op. Cit.*, pp. VIII-XXII.

<sup>1508</sup> *Navigazette Maritime*, n° 1173, octobre 1911, p. 2.

<sup>1509</sup> *Ibid.*

<sup>1510</sup> BERTIN Ch., « Sur la détermination du point par la radiogoniométrie. », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1931, pp. 394-395.

<sup>1511</sup> WODKA-GALLIEN P., « Applications navales de la radiogoniométrie en France entre les deux guerres », *La guerre électronique en France au XX<sup>e</sup> siècle*, actes du colloque organisé le 20 avril 2000 à l'École militaire, Comité pour l'histoire de l'armement Association Guerrelec, Centre d'étude d'histoire de la Défense, 2002, p. 19.

<sup>1512</sup> BERTIN Ch., *Tablette de Point Sphérique*, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1919, p. XLIII.

*Un avion n'est pas une tortue (...). Il fallait donc, soit améliorer et rendre plus rapide le vieux procédé des marins [du calcul logarithmique de l'intercept], soit lui substituer un autre tout aussi simple, mais surtout conduisant d'une manière très hâtive aux résultats. Il était en outre désirable que le nouveau procédé présentât autant de précision que celui cher aux marins à juste titre. (...) Voici à présent la « droite-radio » qui se greffe sur « le point auxiliaire », comme l'une de ses plus jolies applications.*

*L'auteur ne tombe évidemment pas dans ce ridicule de penser qu'actuellement les relèvements au cadre de radiogoniométrie soient susceptibles de fournir une réelle précision. (...)*

*Ce n'est que dans quelques années qu'il entrera dans le domaine de la pratique, après que quelque splendide Le Brix ou Cornillon aura montré ce qu'il y a à tirer du procédé. (...)*

*Si le calcul est sans actuel intérêt immédiat, au moins montre-t-il ce que l'on est en droit d'attendre de l'avenir, après que l'on aura fait de sérieuses études expérimentales sur les trajets réels des ondes hertziennes, construit des cartes condensant les résultats de ces études, et aménagé des cadres apportant une absolue précision.<sup>1513</sup>*

Bertin compare dans cette citation trois méthodes différentes pour déterminer la position d'un avion. Ses performances en termes de vitesse rendent inadaptée la méthode du calcul logarithmique de l'intercept, et comme cette méthode n'est pas encore améliorée<sup>1514</sup>, la méthode Bertin est un substitut acceptable. Mais Bertin imagine d'obtenir le point grâce à des relevés radiogoniométriques et au tracé de la « droite-radio » ; encore faut-il que des outils soient construits et testés.

#### *Tables disponibles dans l'entre-deux-guerres*

Si les tables de Bertin sont l'illustration même des échanges entre la navigation maritime et la navigation aérienne, il existe également d'autres tables de calculs nautiques, à double argument, pour les navigateurs dans l'entre-deux-guerres (voir extrait 20)

---

<sup>1513</sup> BERTIN Ch., *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1929, p. LIX. et p. XLIX.

<sup>1514</sup> L'utilisation de calculatrices dans les années 1980 rendra cette méthode à nouveau pertinente.



TABLES A DOUBLE ARGUMENT  
(Décomposition en triangles rectangles)

| ÉLÉMENTS<br>D'APPRÉCIATION              | AGETON (1942)                                            | OGURA (1920)<br>GENRE :<br>Weems (1932)<br>Aquino (1938)<br>Tavole H (1947)   | TABLETTE BERTIN<br>(1929 et 1939)                                                        | CATALANO<br>(TABLE ZONIQUE)<br>(1918)                                                              |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Principes, structure et moyens .....    | Perpendiculaire de l'astre; log séc et coséc (2 Tables). | Perpendiculaire du zénith; log séc, coséc et tang (2 Tables).                 | Perpendiculaire du zénith ou de l'astre; 1 Table arcs provenant de log sin, cos et tang. | Perpendiculaire de l'astre; arcs provenant de log sin, cos et tang. 1 Table à entrées successives. |
| Nombre de feuillements .....            | 7                                                        | 4                                                                             | 2                                                                                        | 2                                                                                                  |
| Nombre d'entrées .....                  | 8                                                        | 6                                                                             | 5                                                                                        | 4                                                                                                  |
| Opérations arithmétiques .....          | 5                                                        | 5                                                                             | 8                                                                                        | 6                                                                                                  |
| Règles de signe .....                   | 3                                                        | 4                                                                             | 4                                                                                        | 4                                                                                                  |
| Intervalle des arguments .....          | Minute d'arc (5 décimales).                              | Table I : degré ou 4 <sup>m</sup> .<br>Table II : minute d'arc (5 décimales). | 20' ou 1 <sup>m</sup> 20 <sup>s</sup> .                                                  | Degré par hauteur de zone.                                                                         |
| Interpolations :                        |                                                          |                                                                               |                                                                                          |                                                                                                    |
| a) point auxiliaire .....               | A vue au 1/10 de minute.                                 | Point auxiliaire au degré.                                                    | Point auxiliaire à 10'.                                                                  | Point auxiliaire au degré.                                                                         |
| b) point estimé. ....                   | Point estimé.                                            | Interpolation graphique; longs intercepts.                                    | Carton ou graphique à 10'.                                                               | Avec interpolation obligatoire pour D. Longs intercepts.                                           |
| Présentation, facilité de lecture ..... | Claire; excellente topographie; onglets.                 | Tavole H (Ital.); bonnes.                                                     | Édition 1929 avec carton.<br>Édition 1939 graphique. Bonne présentation.                 | Belle présentation en couleurs. Préface obscure.                                                   |
| Volume et dimensions .....              | 240 mm × 155 mm                                          | 245 mm × 175 mm                                                               | 275 mm × 195 mm                                                                          | 313 mm × 130 mm                                                                                    |
| Nombre de pages .....                   | 45                                                       | 33                                                                            | 1929 : 180<br>1939 : 324                                                                 | 270                                                                                                |
| Disponibilité, prix de revient .....    | Hydrographic Office.<br>H. O. 211, 1 \$ 85.              | Institut Hydro. Italien;<br>600 livres; Weems, U. S. Naval Institute.         | S. H. : 900 vol., 1939.<br>Carnet, mignonnette épuisés.                                  | Librairie Frayssé, Bordeaux, épuisé.                                                               |
| Azimut .....                            | Par la Table en 2 parties.                               | Par diagramme de Rust avec la hauteur et règles de signe.                     | Par la Table en 2 parties.                                                               | Par la Table en 2 parties.                                                                         |
| Autres possibilités de la Table .....   | Toutes en principe.                                      | Peu pratiques.                                                                | Toutes possibilités.                                                                     | Toutes en principe.                                                                                |
| Précision .....                         | 0,5 pour H < 60° et entrée à la minute.                  | H < 60° : 1 mille. Longs intercepts.                                          | Analogue au calcul direct à 5 décimales.                                                 | H < 60° : 1 mille. Longs intercepts.                                                               |
| Limites .....                           | Hauteur < 75° à 20 mn du méridien.                       | Latitude inférieure à 65°.                                                    | « Table commode aux habitués. »<br>Préface à refaire.                                    | Processus compliqués, aride aux débutants. Table à habitude. Graphiques étendus.                   |

Extrait 20 : Tableau comparatif de tables à double argument.<sup>1515</sup>

Il semblerait toutefois que les tables de Bertin soient les plus performantes à la fin des années 1920. Elles sont aussi, certainement, les plus faciles à acquérir, auprès des éditions Gauthier-Villars, même si les voyages dans les différents pays permettent probablement aux navigateurs de découvrir et d'acheter les tables d'origine étrangère.

Nous n'avons pas trouvé de trace de la manière dont Le Brix a utilisé le *Carnet Bertin*. Nous pouvons supposer qu'il s'en est servi pour déterminer des azimuts et des hauteurs d'astres mais nous ne savons pas s'il en a testé les autres possibilités.

L'Académie des sciences reconnaît les mérites de la méthode puisqu'elle octroie le Prix de la Marine, d'une valeur de 1 500 francs, le 23 novembre 1931, à Bertin pour sa *Tablette* et son *Carnet*.

Costes et Le Brix ont atteint leurs objectifs en pratiquant à la fois la navigation à l'estime, où les compas Morel et le navigraphe Le Prieur occupent une place prépondérante, et la navigation astronomique, favorisée par l'utilisation des tables abrégées de Bertin, qui est encore d'une pratique peu courante en avion (ou en hydravion) à la fin des années 1920.

<sup>1515</sup> « Tribune libre », *Navigation* (Paris), n°3 juillet 1953, p. 83.

- 2) Utilisation conjointe de la navigation à l'estime et de la navigation astronomique, grâce aux itinéraires Kahn, lors de la traversée de l'Atlantique Nord par Costes et Bellonte en septembre 1930



Figure 148 : Dieudonné Costes (à gauche), Maurice Bellonte (au centre), Paul Codos (à droite).<sup>1516</sup>

Costes et Bellonte, lors de leurs raids utilisent naturellement la navigation à l'estime, qui rappelons-le est la base de la navigation, mais également la navigation astronomique. Or les instruments de mesure et les tables de calculs doivent encore être associés aux cartes pour finaliser la détermination du point. De nouvelles cartes vont être développées en cette fin des années 1920 pour faciliter la navigation au long cours, en éliminant même parfois l'étape de l'utilisation des tables de calculs : les itinéraires Kahn. Maurice Bellonte, le navigateur du raid Paris-New York dit, lors de son allocution du 14 mars 1931 devant la Société d'encouragement pour l'industrie nationale :

*En ce qui concerne notre navigation, nous avons utilisé toutes les méthodes existantes (observation, estime, radio et visée d'astres), mais l'innovation importante a été l'utilisation, pour notre navigation astronomique, des cartes de M. Louis Kahn, chef du Cabinet du Ministre de l'Air.*<sup>1517</sup>

<sup>1516</sup> PEYRONNET DE TORRES R., « Le raid glorieux de Costes et Bellonte », *Le Miroir des sports*, 9 septembre 1930, p. 227.

<sup>1517</sup> BELLONTE Maurice. « Notre raid sur l'Atlantique », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, n° 145, 1931, p. 489.



### *Les préparatifs de la navigation de la traversée de l'Atlantique Nord d'Est en Ouest*

Bellonte débute dans l'aviation comme mécanicien. Il entre à la Compagnie des messageries aériennes en 1922 pour rejoindre ensuite Air Union. C'est dans cette compagnie, en 1923, alors qu'il vient d'obtenir son brevet de navigateur aérien (voir chapitre 6), qu'il rencontre le pilote Dieudonné Costes, venu des Lignes Latécoère. Bellonte est désigné pour effectuer avec Costes (et le mécanicien Lucas) un premier vol de reconnaissance sur Londres, vol qui lui permettra de mettre en application ses connaissances en navigation. Il écrit, à propos de ce premier vol, dans un livre autobiographique, *Le premier Paris-New-York* publié en 1976 :

*Mais les vols au long cours sont encore rares en 1923. Voilà donc une belle occasion de mettre en évidence mes toutes jeunes connaissances dans l'art de la navigation aérienne.*<sup>1518</sup>

Bellonte et Costes se comprennent si bien qu'ils demandent à voler en équipage (ils volent plus de 1 000 heures ensemble jusqu'en 1925). Bellonte continue sur la Ligne alors que Costes débute une série de tentatives de records pour la Société des avions Breguet qu'il a rejointe en 1925. Le Brix est notamment le navigateur de Costes sur le Paris-New York, via la traversée de l'Atlantique Sud en 1927-1928 (voir paragraphe précédent). Costes contacte Bellonte, dès qu'il obtient une aide financière de l'industriel François Coty en avril 1928 ainsi que la promesse de disposer d'un des nouveaux avions de grand raid de Breguet, afin de tenter la traversée de l'Atlantique Nord, d'Est en Ouest. Bellonte indique : « la préparation commencera bientôt. Je serai plus particulièrement chargé de la navigation et de la radio »<sup>1519</sup>.

Costes et Bellonte vont disposer d'un *Breguet 19* pour effectuer leur tentative de record. Costes et Le Brix avaient effectué leur raid (voir paragraphe précédent) sur un *Breguet 19 G.R.*, mais les capacités de cet avion (6 700 km de rayon d'action pour 3 900 L de combustible) sont jugées insuffisantes pour l'utiliser pour la traversée de l'Atlantique Nord. Breguet et son bureau d'étude conçoivent un premier avion, le *Breguet 19 TR* (transatlantique) dit « Bidon » que testent Costes et Bellonte le 23 juillet 1928. L'avion retourne dans les hangars pour être encore amélioré. Leur avion, transformé en « Super-bidon », sort des ateliers le 22 mai 1929 alors que le ministère de l'Air vient d'interdire les vols sur l'Atlantique (en raison de certaines tentatives à l'issue dramatique). Les aviateurs continuent tout de même leurs essais sur leur avion baptisé *Point d'Interrogation*. Il a une autonomie d'au moins 8 500 km à des vitesses de 180 à 215 km/h.

---

<sup>1518</sup> BELLONTE M., *Le premier Paris-New York*, Paris, Plon, 1976, p. 19.

<sup>1519</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 26.

Les préparatifs de la navigation de la traversée sont longs. Les deux aviateurs tirent le maximum d'enseignement des 28 tentatives de traversée de l'Atlantique qui ont eu lieu de 1919 jusqu'en juin 1928, en comptant uniquement celles qui ont parcouru au moins 6 000 km (la distance Paris-New York). Comme les quatre traversées réussies se sont faites dans le sens Amérique-Europe, ils en déduisent que :

*La traversée sans escale d'Europe en Amérique exige des moyens accrus et des méthodes rigoureuses. Il nous faudra un avion capable à la fois d'exceptionnelles performances et parfaitement équipé.*

*Il nous faudra aussi parfaire nos connaissances dans différents domaines : utilisation optima de l'avion, utilisation de la météo, navigation.*<sup>1520</sup>

Les vents rencontrés dans le sens Europe-Amérique sont en effet défavorables aux traversées.

Costes et Bellonte envisagent trois routes possibles. La route la plus courte (orthodromie), passant par l'Irlande et Terre-Neuve, a l'inconvénient d'être sur le chemin de nombreuses perturbations. La route des navires présente le plus long parcours au-dessus de l'eau ce qu'ils considèrent comme dangereux. La route la plus au sud, passant par les Açores, devrait rencontrer des vents contraires moins forts, mais est la plus longue. Dans les trois cas, les aviateurs ne peuvent pas se contenter de caps préparés à l'avance, car il leur faudra se faufiler entre les hautes et basses pressions, ce qui ne permet pas de navigation rectiligne. Ils auraient souhaité utiliser la radiogoniométrie pour assurer une navigation précise, mais cette option est peu réalisable en 1928. En effet, Bellonte écrit :

*Mais en 1928, celle-ci [la navigation radiogoniométrique] nous pose des problèmes dont nous ne voyons pas bien les solutions, car il n'y a que les grands paquebots qui sont équipés de cadres ad hoc et leurs opérateurs ne sont pas encore habitués à relever des avions au milieu de l'Atlantique.*<sup>1521</sup>

Ils se tournent de ce fait vers la navigation astronomique, que Bellonte a apprise auprès des marins André-B. Duval et le commandant Destrene, en 1922<sup>1522</sup>, lors des cours pour la préparation du Brevet de navigateur aérien (voir chapitre 6). La navigation astronomique a l'avantage de ne pas être tributaire des moyens extérieurs, mais elle est peu pratiquée<sup>1523</sup>, car

---

<sup>1520</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 55.

<sup>1521</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 70.

<sup>1522</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 71.

<sup>1523</sup> Bellonte écrit que les exemples sont peu nombreux mais qu'il s'est inspiré de la traversée de l'Atlantique Sud par les Portugais Cago Coutinho et Sacadura Cabral en 1922. Durant ce raid, Coutinho a pratiqué la navigation aérienne astronomique à l'aide d'un sextant de son invention.

les instruments ne sont pas encore totalement aboutis. Costes et Bellonte testent plusieurs modèles de sextants (à horizon artificiel, à bulle ou gyroscopique) durant les essais en vols. Leur choix final se porte sur le quadrant à bulle Favé.

Louis Kahn, alors chef de cabinet du ministre de l'Air, apprenant les projets des deux aviateurs, leur propose ses cartes de grands itinéraires. Les cartes ne sont pas prêtes en 1928 et risquent de ne pas l'être encore au printemps 1929, qui est la période prévue pour effectuer la traversée. Les retards pris par le raid vont leur permettre de disposer des cartes espérées :

*A partir de l'été 1929, nous allons disposer des cartes orthodromiques Kahn qui nous permettront la construction graphique de la droite de hauteur dans les cas où l'astre observé sera haut (45 degrés ou plus au-dessus de l'horizon).<sup>1524</sup>*

Bellonte, tel un marin, s'entraîne à faire le point (séries de visées au quadrant Favé, détermination de la hauteur de l'astre sur un graphique, calcul de la droite de hauteur à l'aide des tables de logarithmes en usage dans la marine). Il répète les exercices, au sol et par nuit claire, aussi rapidement que possible, pour acquérir des automatismes et mettre au point des artifices afin de réduire les temps de calcul et les risques d'erreur. Cet entraînement lui semble indispensable, car il devra assurer la navigation dans des conditions difficiles (froid et exiguïté) ainsi que les liaisons radio et les relèves de pilotage.

#### *Les cartes aéronautiques disponibles à la fin des années 1920*

Les itinéraires Kahn ne sont pas encore disponibles lorsque Costes et Bellonte commencent à préparer leur traversée, aussi commencent-ils par se pencher sur les celles qui existent. En juin 1928, deux types de cartes sont privilégiées par les navigateurs aériens : les cartes en projection de Mercator ou les cartes en projection de Lambert.

Les cartes de Mercator (ou cartes marines) sont, rappelons-le, celles qui permettent de suivre le plus aisément une route loxodromique car les angles y sont conservés. Les cartes en projection de Lambert, sur lesquelles les orthodromies sont représentées par des courbes très voisines de droites, semblent cependant plus adaptées que les cartes de Mercator pour des trajets en avion. En effet, la vitesse de plus en plus élevée des avions nécessite d'être capable de mesurer encore plus rapidement des distances. La carte Lambert offre cette possibilité sur des distances qui ne sont pas trop grandes. Cette carte sera privilégiée par les navigateurs aériens sur les parcours de moins de 1500 km<sup>1525</sup>. Au-delà, il devient utile de recourir à la carte de Mercator et bientôt aux itinéraires Kahn.

---

<sup>1524</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 73.

<sup>1525</sup> COUTAUD G. et ANDLAUER L., *Op. Cit.*, p. 14.

Les travaux de Kahn en matière de cartographie, à la fin des années 1920, se révèlent particulièrement intéressants pour la navigation aérienne de l'entre-deux-guerres. En effet, cet ingénieur du Génie maritime, sorti de Polytechnique en 1914, construit un ensemble de cartes aériennes semble-t-il originales (« Les propriétés essentielles de cette projection, qui ne paraît pas avoir été pratiquée jusqu'ici (...) »<sup>1526</sup>), qu'il présente dans *Nouvelles cartes aériennes*<sup>1527</sup> un mémoire présenté en 1928.

C'est probablement l'essor de la navigation orthodromique, dans le cadre de la navigation au long cours et de la radiogoniométrie, qui incite Kahn à imaginer le moyen le plus efficace de la pratiquer. Il souhaite mettre à la disposition du navigateur « une carte, conforme comme les cartes marines, donc apte à la lecture directe des caps, mais utilisable à vue comme carte orthodromique »<sup>1528</sup>. La méthode en usage, pour déterminer une orthodromie, à l'époque où Kahn publie ses travaux, est le calcul trigonométrique (la trigonométrie sphérique associée à l'utilisation des tables de Friocourt). Les navigateurs ont à leur disposition des cartes orthodromiques imaginées pour des marins (cartes d'Hilleret ou de Gernez) et peuvent, à l'aide de constructions fastidieuses, y reconstituer les distances et les angles. Mais dans la pratique « il est plus simple de reporter la route point par point sur la carte marine, et de lire directement les caps et de mesurer les distances par les procédés bien connus de ceux qui pratiquent ces cartes »<sup>1529</sup>.

Favé a certes mis au point une méthode intéressante basée sur la superposition d'un calque sur une carte de Mercator dès 1921 (voir chapitre 6), mais cette solution simple n'est pas applicable dans tous les cas. Kahn relève deux difficultés. D'une part, le procédé n'est pas très pratique pour la radiogoniométrie :

*Pour reporter la direction suivant laquelle on entend un avion, à partir d'une station connue (...) Les relèvements radiogoniométriques se font sur des cartes à grande échelle et (...) le calque devient alors encombrant.*<sup>1530</sup>

D'autre part puisque « la forme du lieu de position dépend de la position inconnue elle-même. Il faut tâtonner »<sup>1531</sup>. Kahn en arrive donc à proposer sa propre méthode.

---

<sup>1526</sup> KAHN L., « Sur une carte conforme utilisable comme carte orthodromique pour les grands itinéraires », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, n° 186, janvier 1928, p. 497.

<sup>1527</sup> KAHN L., *Nouvelles cartes aériennes*, Association Technique Maritime et Aéronautique, 1928.

<sup>1528</sup> KAHN L., « Sur une carte conforme utilisable comme carte orthodromique pour les grands itinéraires », *Op. Cit.*, p. 496.

<sup>1529</sup> KAHN L., *Nouvelles cartes aériennes*, *Op. Cit.*, p. 4.

<sup>1530</sup> KAHN L., *Op. Cit.*, p. 5.

<sup>1531</sup> *Ibid.*

### *Le principe de la carte Kahn*

Il considère qu'il serait intéressant pour le navigateur d'avoir une carte où l'orthodromie serait représentée par une droite mais qui serait en plus conforme (qui conserverait les angles). Or une telle carte ne peut pas exister. Il est toutefois possible d'en construire une dont l'approximation serait suffisante.

Il constate qu'une orthodromie reste représentée par une droite dans la carte de Mercator, cette droite étant l'équateur. De plus, la déformation n'est pas trop importante près de cette droite. Kahn va donc appliquer les mêmes procédés que dans la projection de Mercator en changeant le grand cercle sur lequel le cylindre est circonscrit :

*Soient deux points à la surface de la Terre, Paris et Melbourne par exemple. Considérons le cylindre circonscrit à la sphère le long du grand cercle Paris-Melbourne. Si on développe ce cylindre sur un plan, ce grand cercle deviendra une droite. L'échelle sera constante tout le long de la route, et nous aurons au moins une orthodromie qui sera une droite. Pour avoir une solution conforme, nous adopterons pour loi de correspondance entre les points de la sphère et les points du cylindre la même loi que sur les planisphères. (...) Au lieu d'envoyer à l'infini les pôles géographiques, nous avons envoyé à l'infini les deux pôles du grand cercle Paris-Melbourne. (...) Que deviennent les grands cercles ? Nous pouvons prévoir qu'ils seront peu différents de droites dans la région de la carte qui nous intéresse puisque celui que nous avons pris comme axe est devenu une droite rigoureusement. Et, de fait, on démontre que tous les grands cercles qu'on peut tracer sur la sphère ont un point d'inflexion au point où ils coupent l'axe, c'est-à-dire que leur rayon de courbure est infini.<sup>1532</sup>*

Son souci est alors de rechercher la largeur de la bande pour laquelle l'erreur reste admissible, ce qui revient à « chercher de combien on allonge la route en suivant la droite qui joint deux points, au lieu de suivre l'orthodromie véritable »<sup>1533</sup>. Kahn rappelle que l'allongement est maximal si le déplacement se fait parallèlement au grand cercle choisi comme axe de projection et qu'il est minimal si le déplacement est normal à l'axe.

Après calcul, il considère que l'erreur est admissible pour une amplitude de 30° autour de l'axe choisi. Dans ce cas, sa carte sera plus efficace qu'une carte orthodromique ou une carte de Mercator couplée au calque Favé. Et elle reste parfaitement adaptée à la radionavigation

---

<sup>1532</sup> KAHN L., *Op. Cit.*, p. 6.

<sup>1533</sup> *Ibid.*

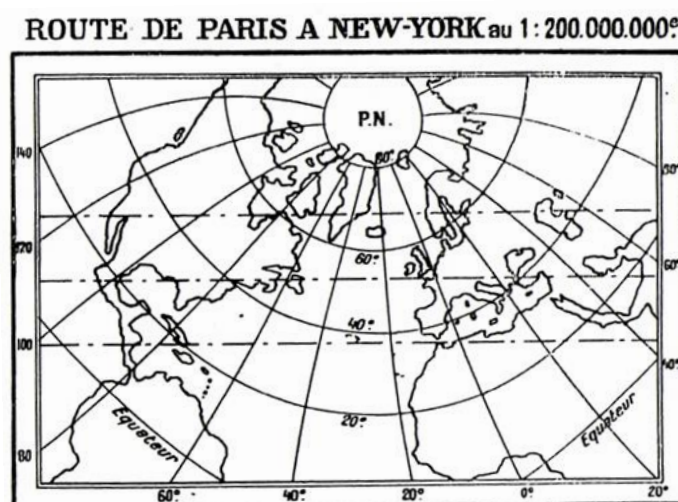
alors en plein développement (« l'erreur de la carte est plus petite que le trajet de l'avion pendant la durée de l'émission [radiogoniométrique] »<sup>1534</sup>).

### *Les premiers itinéraires Kahn construits*

Ses calculs le conduisent également à considérer qu'il faut en théorie six cartes autour de chaque point particulier pour couvrir toute la terre en bandes rayonnantes, ce qui donne un nombre très élevé de cartes (six autour de Paris, six autour de New York, six autour de Berlin, etc.). Mais il poursuit rapidement en écrivant :

*Il n'y a pas d'avantage à considérer ce problème dans l'absolu. Il faut faire des cartes pour les itinéraires fréquentés, couvrant le faisceau des routes possibles. Avec les quatre cartes qui sont reproduites [route des Indes, route de Paris au Japon, route de Paris à New-York, le tour du Pacifique], complétées par la route d'Amérique du Sud et une carte qui couvre à la fois Londres, Paris, Le Caire, Le Cap et Madagascar, on a couvert toute la terre, à part un faible coin dans le Pacifique et servi tous les itinéraires aujourd'hui pratiqués ou prévus.*<sup>1535</sup>

En 1928, il propose donc quatre cartes au 1/200 000 000<sup>e</sup>. La première, la « route des Indes » a pour axe le grand cercle Paris-Melbourne. La deuxième carte est basée sur un axe reliant Paris au Japon. La troisième intéresse particulièrement Bellonte et Costes car elle est basée sur un axe Paris-New York (voir carte 13). Enfin, la quatrième (« le tour du Pacifique ») a pour axe le grand cercle reliant Singapour à la Colombie en passant par le détroit de Béring.



Carte 13 : Reproduction d'une maquette au 1/200 000 000<sup>e</sup> de la route de Paris à New York.<sup>1536</sup>

<sup>1534</sup> KAHN L., *Op. Cit.*, p. 9.

<sup>1535</sup> KAHN L., *Op. Cit.*, p. 15.

<sup>1536</sup> KAHN L., *Op. Cit.*, p. 9.

### *Utilisations des itinéraires Kahn*

Kahn envisage trois utilisations possibles pour ses cartes. Le premier usage de ces cartes est d'en faire des cartes d'itinéraire :

*Si l'on veut étudier et comparer entre elles différentes routes, on les trace sur la carte et elles apparaissent sans déformation.*<sup>1537</sup>

Il précise qu'elles ont d'ailleurs été conçues pour cela. Mais il ne s'attarde pas sur cet aspect, comme s'il était inutile de convaincre les utilisateurs d'une utilisation aussi évidente.

La carte peut ensuite être utilisée pour la radiogoniométrie. Kahn a beaucoup développé les justificatifs de l'intérêt de ses cartes dans ce domaine. Et c'est surtout à cette utilisation que Costes et Bellonte avaient prévu d'avoir recours. Mais « la radiogoniométrie même n'a pas été efficace (...). La suite a montré quel risque c'eût été de s'en remettre à ce seul procédé »<sup>1538</sup>.

Les deux aviateurs se servent principalement de la carte Kahn dans sa troisième application : la navigation. Elle peut être utilisée pour déterminer les caps à suivre pour rejoindre un point donné ou même pour les raids sans point d'arrivée imposé :

*On reporte les tronçons de routes successifs en se servant du méridien voisin, à l'échelle correspondant à la distance à l'axe. Si l'on se trouve écarté de la route que l'on voulait suivre, on trace la droite qui joint au point d'arrivée, et on lit directement les caps successifs. (...) On aura avantage à se maintenir sur l'orthodromie du point d'arrivée, (...) on joindra sa position actuelle au point de départ et on se maintiendra sur cette ligne.*<sup>1539</sup>

Finalement, Kahn propose de compléter l'ensemble des cartes classiques jusque-là mises à la disposition du navigateur par un ensemble de cartes, dont le canevas est certes plus compliqué que celui de Mercator, mais dont l'utilisation en vol est plus simple.

*Le propre de ces cartes, c'est leur facilité à l'usage. Par-là, elles s'opposent aux cartes actuelles, avec leur canevas simple, composé de droites rectangulaires, mais dont l'usage est compliqué.*

*Pour le navigateur, c'est le contraire qui importe, et c'est au bureau de dessin du cartographe de lui fournir un instrument commode qui vienne compléter les cartes déjà existantes, et qui d'ailleurs, demeurent l'indispensable base de départ de la cartographie aérienne.*<sup>1540</sup>

---

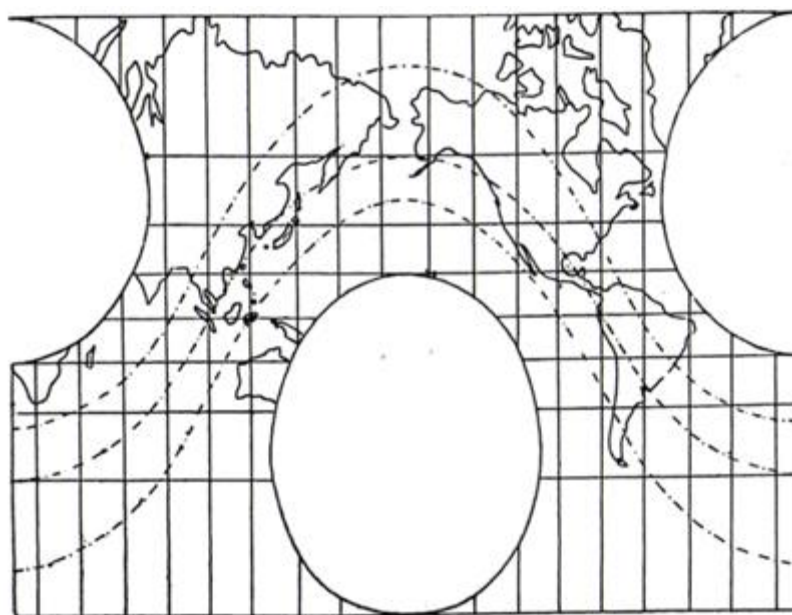
<sup>1537</sup> KAHN L., *Op. Cit.*, p. 11.

<sup>1538</sup> KAHN L., « La traversée aérienne de l'Atlantique Nord, de l'est à l'ouest par D. Costes et M. Bellonte », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, n° 145, 1931, p. 641.

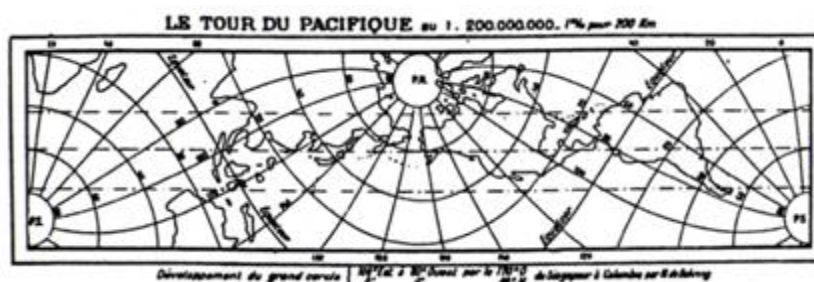
<sup>1539</sup> KAHN L., *Nouvelles cartes aériennes*, *Op. Cit.*, pp. 12-13.

<sup>1540</sup> KAHN L., *Op. Cit.*, p. 16.

Il explicite son propos en comparant la même portion de la surface terrestre, « le tour du pacifique », à la fois sur un canevas de Mercator (voir carte 14) et sur sa propre carte (voir carte 15). Les ovales de la carte de Mercator correspondent aux limites supérieures et inférieures de la carte Kahn et les rectangles du canevas de Mercator sont transformés en quadrilatères curvilignes, mais les orthodromies sinueuses de la carte de Mercator sont représentées par des lignes droites sur la carte Kahn.



Carte 14 : Tour du Pacifique en projection de Mercator.<sup>1541</sup>



Carte 15 : Carte du tour du pacifique établi par Kahn.<sup>1542</sup>

Les cartes conçues par Kahn sont adaptées à des aviateurs moins au fait que les marins en calculs nautiques. Le lieutenant-colonel Paul Renard (voir chapitre 4), dans son allocution d'introduction lors des conférences se déroulant suite à la traversée Paris-New York, dit à propos de Kahn :

<sup>1541</sup> KAHN L., *Op. Cit.*, p. 14.

<sup>1542</sup> *Ibid.*



*Il vous dira comment il a pu en simplifier l'application, de manière à la mettre à la portée d'un personnel n'ayant pas fait d'études scientifiques comparables à celles qu'on exige des officiers de marine.*<sup>1543</sup>

Mais un entraînement sérieux reste cependant nécessaire pour qui veut être capable de faire un point en cinq minutes, même pour un navigateur passé par les cours de navigation comme Bellonte :

*Il a fallu que Bellonte se soit patiemment entraîné avec intelligence et minutie pour opérer d'instinct avec le sextant, la montre et la carte. La navigation astronomique est devenue chez lui une seconde nature.*<sup>1544</sup>

Cet entraînement s'est en partie effectué sous la direction de Kahn. Bellonte se souvient :

*[des] séances d'entraînement, la nuit sur le balcon de l'appartement de l'ingénieur du Génie maritime Louis Kahn, quai des Fleurs, où, à la fin de la série des opérations du point, je devais obligatoirement me retrouver.*<sup>1545</sup>

Bellonte s'entraîne donc de longs mois à la navigation aérienne et supervise la mise au point des moteurs du *Point d'Interrogation*. Les essais en vol sont terminés le 29 juin 1929. L'avion est prêt pour la traversée. Costes et Bellonte ont choisi de passer par la route des Açores et attendent la fenêtre météorologique favorable.

#### *Les enseignements en termes de navigation tirés des vols précédant la traversée Paris-New York*

Les aviateurs ne rencontrent pas les conditions météorologiques espérées. Ils tentent une première traversée le 13 juillet 1929 mais doivent renoncer à poursuivre suite aux résultats obtenus par une droite de hauteur sur le soleil à 16 h 38 :

*Nous montons à 800 mètres et là nous voyons bien le soleil. Costes s'applique à bien stabiliser l'avion et j'obtiens une série de visées précises au quadrant Favé. (...) L'intersection de la droite de hauteur avec notre route donne 16 heures 38 minutes 44° 44' nord et 21°42' ouest. Le report sur la carte fait apparaître une vitesse de route un peu inférieure à celle prévue. Ce n'est pas inquiétant, mais par contre, le contrôle des consommations par Costes donne celles-ci plus importantes que celles prévues au tableau de marche (380 litres de trop).*<sup>1546</sup>

---

<sup>1543</sup> RENARD P., « La traversée aérienne de l'Atlantique Nord, de l'est à l'ouest par D. Costes et M. Bellonte », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, n° 145, 1931, p. 451.

<sup>1544</sup> KAHN L., « La traversée aérienne de l'Atlantique Nord, de l'est à l'ouest par D. Costes et M. Bellonte », *Op. Cit.*, p. 642.

<sup>1545</sup> BELLONTE M., *Le premier Paris-New York*, *Op. Cit.*, p. 196.

<sup>1546</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 86.

Nous relevons au travers de cette citation que savoir où se situe l'avion est primordial, car la quantité de carburant consommée permet d'extrapoler si la traversée est faisable. La décision de Costes et Bellonte de faire demi-tour, basée sur des données chiffrées, s'est révélée judicieuse. Elle illustre le gain de sécurité obtenu par une navigation « scientifique ». Les aviateurs sont prêts à tenter leur chance, mais uniquement si les calculs prévoient que le vol est possible.

Cette tentative avortée ne les décourage pas. Elle leur a permis de prendre la mesure de leur matériel et de comprendre que l'inconvénient des kilomètres supplémentaires de la route des Açores n'est pas compensé par la présence de vents moins défavorables, et donc de vitesses au sol plus élevées. Ils devront prendre une route plus septentrionale à la prochaine tentative. Ils écrivent également dans le rapport qu'ils transmettent au ministre de l'Air :

*La navigation a été merveilleusement conduite. Nous avons pu connaître notre position à n'importe quel moment, les astres étant observables. Les cartes et les conseils de l'Ingénieur du Génie Maritime Louis Kahn nous ont été précieux.*<sup>1547</sup>

La période propice à la traversée arrive à sa fin et la météo ne s'est pas améliorée. Costes propose à Bellonte de « s'occuper » en tentant de ramener en France le record du monde de distance sans escale, ce qui serait une très bonne répétition pour la traversée de l'Atlantique.

Ils choisissent de tenter ce record en prenant la direction de la Chine via la Sibérie le 27 septembre 1929. Costes teste le vol sans visibilité à l'aide du « gyrorector » (quand il fonctionne) et Bellonte pratique à la fois la navigation à l'estime et la navigation astronomique sur le trajet mais il fait parfois si froid qu'il ne réussit plus à la pratiquer correctement :

*Vers 20 heures, Costes stabilise la machine en palier. Je sors le sextant. Mais malgré mes gants fourrés, je ne sens plus mes doigts. Je dois interrompre les visées. Réfléchissons : dans ces conditions, particulièrement difficiles, établir le graphique de hauteur moyenne, ouvrir les tables, calculer et tracer sur la carte, tout cela va demander du temps pour un résultat incertain. D'accord avec Costes, nous décidons de nous en tenir à notre estime que je considère encore valable à une marge acceptable près.*<sup>1548</sup>

Le froid n'est pas le seul obstacle à une navigation précise auquel ils sont confrontés. Bellonte rapporte qu'au milieu de la nuit du 28 au 29 septembre 1929, ils n'étaient plus « en navigation »<sup>1549</sup>. L'avion avait de sérieux problèmes moteurs dus au givre. Costes, accaparé par le moteur, ne tenait plus compte des deux compas devant lui, il suivait le rivage croyant voler

---

<sup>1547</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 93.

<sup>1548</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 113.

<sup>1549</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 120.

vers le sud. Bellonte faisait confiance à Costes et croyait que son pilote cherchait un terrain pour atterrir et connaissait le cap. La fatigue, compréhensible après quarante heures et deux nuits de vol, s'était répercutée sur la qualité de la navigation aérienne des deux aviateurs.

Les deux Français réussissent finalement à battre le record du monde de distance sans escale en atterrissant à Tsitsihar en Manchourie au bout de 52 heures de vol. Sur le trajet de retour, ils en profitent pour battre également le record de vitesse entre Hanoï et Paris en liaison postale.

Bellonte profite de l'intermède hivernal pour passer son brevet de pilote et reprend son entraînement à la navigation aérienne. Il conforte ainsi sa place de navigateur qui aurait pu être prise par le pilote de ligne Paul Codos<sup>1550</sup>, avec qui Costes poursuit ses tentatives de record (distance en circuit fermé) :

*Peut-être caresse-t-il l'espoir de s'installer ensuite dans le Point d'Interrogation pour l'Atlantique ? Il a de l'ambition. Il est un pilote de grande classe. De mon côté, je suis parfaitement conscient de l'importance de mon rôle de navigateur et je suis décidé à pousser ma technique aussi loin que possible dans cette voie.*<sup>1551</sup>

Nous avons déjà mis en avant la forte concurrence qui existe depuis la fin de la guerre entre les pilotes (plus de brevetés que de postes intéressants). Il semblerait, aux vues de ces quelques lignes, que la situation pouvait également être tendue entre navigateurs, d'autant que les brevetés sont de plus en plus nombreux en cette fin des années 1920. Maîtriser parfaitement les techniques de la navigation astronomique devient un atout pour qui veut participer aux grands raids. Bellonte a fait ses preuves, puisque Costes lui renouvelle sa confiance et le confirme comme navigateur sur la traversée de l'Atlantique.

#### *Les instruments et méthodes utilisés lors de la traversée de l'Atlantique*

Les conditions météorologiques deviennent favorables au vol le 31 août 1930. *Le Point d'interrogation* s'envole du Bourget le 1<sup>er</sup> septembre 1930 à 9 h 54 à destination de New York. Compte-tenu de la météo, ils ont prévu quatre segments de route pour un total de 6 310 km à effectuer en 36 heures. Les instruments de navigation et de pilotage attendent d'être employés par les deux aviateurs (voir tableau 39).

---

<sup>1550</sup> Paul Codos (1896-1960).

<sup>1551</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 172.

| Poste Costes                                                                                               | Poste Bellonte                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1 contrôleur de vol classique                                                                              | 1 compas Morel Krauss de grande navigation                                    |
| 1 anémomètre de secours à moulinet                                                                         | 1 navigraphe Le Prieur                                                        |
| 1 horizon gyroscopique alimenté en courant triphasé par une génératrice fixée sur le plan inférieur gauche | 1 dérivomètre à l'alidade                                                     |
| 1 indicateur de pente longitudinale                                                                        | 1 sextant à l'horizon artificiel (quadrant à bulle Favé)                      |
| 2 altimètres                                                                                               | 1 octant marin                                                                |
| 1 compas Morel Krauss de grande navigation                                                                 | 2 chronomètres en temps civil                                                 |
| 1 compas de secours                                                                                        | 2 chronomètres en temps sidéral                                               |
| 1 thermomètre de température ambiante                                                                      | Tables de navigation                                                          |
| Jeux de cartes intéressant le parcours                                                                     | Jeu de cartes orthodromiques au 1/1 000 000                                   |
| <i>Manomètre de pression d'essence</i>                                                                     | Séries de cartes de détail                                                    |
| <i>Tachymètre</i>                                                                                          | Carte des situations météorologiques                                          |
| <i>Indicateur de pression et de température d'huile</i>                                                    | Coupe verticale des vents et nébulosités sur le parcours prévu                |
| <i>Indicateur de température des carburants</i>                                                            | Cartes de position prévue des navires à la mer                                |
| <i>Indicateur de température dans les prises d'air des carburateurs</i>                                    | 1 poste émetteur récepteur A81D spécial, alimenté par génératrice escamotable |
| <i>Commande de correction altimétrique des carburateurs</i>                                                | Antenne pendante et son rouet                                                 |
| <i>Température de l'eau de refroidissement (contrôlé par l'éclipsage du radiateur)</i>                     | Batterie d'accumulateur pour l'éclairage de nuit des instruments              |
|                                                                                                            | 2 barographes Jules Richard                                                   |

**Tableau 39 : Instruments de pilotage et de navigation lors de la traversée Paris-New York.<sup>1552</sup>**

Là encore, le compas Morel et le navigraphe Le Prieur ont été choisis pour pratiquer la navigation à l'estime.

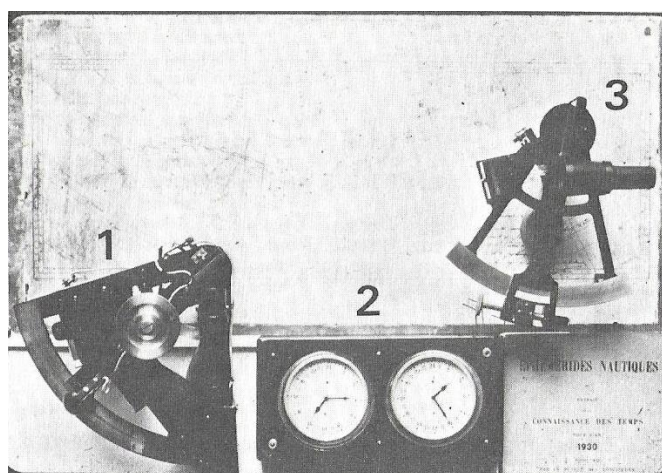


**Figure 149 : Instruments de navigation employés par Bellonte.<sup>1553</sup>**

<sup>1552</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, pp. 264-266. Les instruments donnés en italique correspondent au contrôle moteur. Les autres instruments correspondent au contrôle de vol, de navigation et de radio.

<sup>1553</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 268. Quadrant à bulle Favé (1), boîtier comprenant un chronomètre et un sidéromètre (2), octant marin (3) devant l'original du routier Kahn utilisé pour la traversée (voir carte 16).

Bellonte trace dix-sept droites de hauteur durant le vol Paris-New-York après avoir obtenu les hauteurs d'astres au quadrant Favé (« généralement une dizaine de visées en cinq à six minutes »<sup>1554</sup>) moyennées sur un graphique, ou, pour celle de 12 h 55, à l'aide de l'octant marin en descendant suffisamment bas (350 m) pour utiliser la mer comme ligne d'horizon. Le calcul de la droite de hauteur et son report sur la carte s'effectuent de deux manières. Soit la table de Friocourt est utilisée pour les astres bas sur l'horizon (distances zénithales supérieures à 45°) couplée à l'emploi de feuilles de calcul préremplies. Soit la droite est tracée directement sans calcul sur l'itinéraire Kahn, pour les astres assez hauts sur l'horizon (distances zénithales inférieures à 45°), « la construction de la droite de hauteur était faite sans aucun calcul, (...) et en quelques secondes grâce à la dextérité qu'avait acquise M. Bellonte »<sup>1555</sup>. Bellonte réussit, à force d'entraînement, à faire le point à l'aide de l'itinéraire Kahn en cinq minutes<sup>1556</sup>. Cette deuxième méthode a été utilisée pour quinze droites sur dix-sept, principalement la nuit. Parmi celles-ci, cinq groupes se sont révélés particulièrement utiles selon Bellonte (voir carte 16). Celle de 19 h 52 sur le soleil leur a permis de vérifier la position de leur avion alors qu'ils s'étaient écartés de la route prévue. Celle de 22 h 00 leur a permis de déterminer leur position qui est vérifiée 22 h 20 par le navire *Bremen* à la TSF. Les droites entre 5 h 00 et 7 h 00 servent à déceler un fort courant d'ouest qui a fait chuter la vitesse du *Point d'Interrogation* à moins de 100 km/h, les faisant douter de la réussite de leur raid. Celle de 12 h 55, effectuée par des visées à l'octant marin, leur permet de prévoir la côte à Louisbourg pour 14 h 00. Enfin, celles vers 18 h 00 qui les permettent de se positionner dans la baie de Fundy, après avoir passé trois heures de vol en basse altitude, dans le très mauvais temps, le long des côtes de Nouvelle-Écosse.

La fin du trajet se fait au compas car une brume chaude s'élevant de la terre fait baisser la visibilité. Ils atterrissent à 23 h 18, après trente-sept heures de vol, sur Curtiss Field à New York (voir carte 16).

Le *Point d'Interrogation* a également été en liaison TSF avec une dizaine de transatlantiques tout au long du trajet : « nous ne sommes jamais restés plus de 30 minutes sans toucher un navire pour lui passer notre point, lui signaler notre route ou le mettre au courant de la progression de notre vol »<sup>1557</sup>.

---

<sup>1554</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 268.

<sup>1555</sup> KAHN L., « Sur les méthodes de navigation employées par MM. Costes et Bellonte », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 191, 1930, p. 707.

<sup>1556</sup> BELLONTE M., « Notre raid sur l'Atlantique », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, 145, 1931, p. 489.

<sup>1557</sup> BELLONTE M., « Notre raid sur l'Atlantique », *Op. Cit.*, p. 490.





Costes et Bellonte sont tout à fait conscients des services que la TSF peut rendre à un aéronef, mais ils ne souhaitent pas être entièrement dépendants d'une aide extérieure et n'ont d'ailleurs pas fait installer de cadre goniométrique à bord de leur avion. Les informations, obtenues à la radio ou par l'intermédiaire des relevés goniométriques des navires, viennent confirmer la position de leur avion obtenue par leurs propres moyens, comme le pratique un officier de marine sur la passerelle de son navire.

*La promotion de la navigation astronomique à bord des avions et hydravions par Bellonte*  
Costes et Bellonte participent à plusieurs conférences et écrivent quelques articles à leur retour en France. Le second y explique pourquoi ils ont fait le choix de la navigation astronomique pour la réussite de leur entreprise. Il considère que la navigation à l'estime n'est pas suffisante dans la traversée de l'Atlantique d'Est en Ouest, du moins aux vitesses atteintes par les aéronefs au début des années 1930<sup>1559</sup>, en raison des vents contraires à la marche. Cette navigation astronomique a été facilitée par l'existence des cartes orthodromiques établies par Kahn. Bellonte a pratiqué la navigation selon la méthode maritime (tracé de droite de hauteur avec éventuellement utilisation de la table de Friocourt) mais a tiré profit d'un nouvel instrument, l'itinéraire Kahn, particulièrement adapté à la navigation aérienne. En effet, les itinéraires Kahn lui ont permis de déterminer la position de leur avion par des constructions graphiques, sans recours au calcul logarithmique, dégageant ainsi du temps pour d'autres tâches.

La transposition des procédés utilisés dans l'élaboration des cartes marines à celle des cartes établies par Kahn et utilisables avec profit dans l'aéronautique est reconnue en 1930. En effet, Kahn reçoit une médaille d'or de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, le 8 février 1930, pour ses travaux de cartographie. Paul Dumanois, au nom du comité des arts mécaniques, rapporte :

*Le rapprochement qu'il [Kahn] effectue entre les phénomènes connus de la navigation maritime (...) et ceux, beaucoup moins connus de la navigation aérienne (...), comporte des conceptions toutes nouvelles et qu'on peut croire fécondes. (...) Il me plait d'ailleurs de rendre hommage (...) à la sagesse du département de la Marine qui a toujours encouragé les initiatives de ses techniciens et qui a permis l'épanouissement en son sein de génies créateurs.*<sup>1560</sup>

---

<sup>1559</sup> Ibid.

<sup>1560</sup> DUMANOIS P. (Rapporteur), « Médailles d'or », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, n° 144, pp. 357-358.

L'interprétation que Kahn fait de la carte de Mercator, qu'il connaît bien en tant que marin, est d'ailleurs tout à fait en accord avec les avancées technologiques de son temps. Ce que nous pouvons relever lorsque le lieutenant-colonel Édouard de Martonne prône une modification de la liste des cartes réglementaires en aéronautique (voir chapitre 6), lors du Congrès d'aéronautique coloniale de 1932 :

*Le système cartographique [...] est déjà devenu inactuel, non pas tant à cause d'imperfections initiales qu'en raison des profondes modifications survenues depuis sa création, dans la navigation aérienne elle-même. L'extension du rayon d'action des aéronefs, la tendance à réduire au minimum l'encombrement dans l'équipement du bord (...).*<sup>1561</sup>

L'itinéraire Kahn arrive à point nommé pour compléter, voire remplacer, l'offre cartographique au début des années 1930.

Comme nous l'avons mentionné, Costes et Le Brix d'une part et Costes et Bellonte d'autre part bénéficient du soutien de l'avionneur Breguet pour effectuer leurs raids. Certains aviateurs privés peuvent rencontrer des difficultés financières pour tenter les records qu'ils envisagent, car ils doivent acheter leur avion. Le pilote Charles de Verneilh<sup>1562</sup> s'associe au navigateur militaire Max Dévé (voir chapitre 6) pour réussir la première liaison Paris-Nouméa.

### 3) La navigation aérienne sur les avions de tourisme : le cas de la liaison Paris-Nouméa par Verneilh, Dévé et Munch en 1932

La première liaison aérienne France-Nouvelle-Calédonie, effectuée du 6 mars 1932 au 5 avril 1932, s'inscrit dans les exploits réalisés par les propriétaires-pilotes d'avion de tourisme. Cette catégorie de l'aviation privée prend forme en Europe entre 1928 et 1930<sup>1563</sup>. Son développement s'accroît lorsque l'État décide, en 1931, d'accorder des primes aux particuliers acquéreurs d'avions de tourisme<sup>1564</sup>. L'État applique alors une politique de subventions à l'aviation privée, au même titre qu'à l'aviation commerciale. La prime est conséquente puisqu'elle peut atteindre les deux-tiers du prix d'achat de l'avion<sup>1565</sup>. Cette mesure, qui vise à développer l'aviation sous toutes les formes et à la faire apprécier du public,

---

<sup>1561</sup> MARTONNE (DE) E., « Le congrès d'aéronautique coloniale », *Annales de Géographie*, n° 229, 1932, p. 80.

<sup>1562</sup> Charles de Verneilh-Puyrazeau (1894-1933).

<sup>1563</sup> DOLLFUS Ch. et BOUCHÉ H., *Op. Cit.*, p. 486.

<sup>1564</sup> *Ibid.*

<sup>1565</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 333.



aboutit à l'ouverture de plusieurs aéro-clubs en province et permet à des particuliers d'acheter un avion<sup>1566</sup>.

Verneilh, ancien pilote de guerre et pionnier de l'Aéropostale (chef de l'aéropôle d'Agadir en 1928), a l'idée d'effectuer le raid Paris-Nouméa au début des années 1930. Il décide d'acheter un petit trimoteur conçu par le jeune avionneur René Couzinet<sup>1567</sup>, le *Biarritz*, un *Couzinet 33*. Il s'adresse à son camarade d'escadrille durant la guerre, Dédé, et lui propose d'assurer la navigation du raid.

Dédé, alors professeur de navigation à l'École militaire d'application de l'Aéronautique (voir chapitre 6) accepte, sous réserve d'accord de sa hiérarchie. Dédé écrit que les autorités militaires lui accordent son congé en précisant « que le voyage me permettrait d'expérimenter sur une grande échelle les méthodes de navigation que j'enseignais aux officiers-élèves »<sup>1568</sup>. Le mécanicien de la maison Couzinet, Émile Munch, complète l'équipage.

Comme de coutume chez les navigateurs, Dédé prépare rigoureusement la navigation du raid. Se procurer des renseignements et des cartes des territoires survolés et des aérodromes accessibles n'est pas simple. Dédé semble ne pas avoir eu recours aux itinéraires Kahn. Il indique avoir utilisé la carte générale aéronautique internationale, en projection de Mercator (échelle 3 cm pour 1 degré) jusqu'en Inde, et la carte internationale du monde au 1/1 000 000<sup>e</sup>. Outre ces deux routiers, les aviateurs disposent de cartes marines et de géographie au 1/4 000 000<sup>e</sup> et au 1/10 000 000<sup>e</sup><sup>1569</sup>.

Le poste de navigation de Dédé est muni d'un équipement standard (compas *Morel G.N.*, cinémo-dérivomètre *Dubois-Impar*, altimètre de précision et taximètre) destiné à la navigation à l'estime. Dédé utilise également un quadrant Favé à bulle sans marqueur moyenneur et un petit sextant de marine pour faire des mesures de hauteur d'astres. Ces instruments de mesure, associés à l'emploi des éphémérides nautiques, au carnet Bertin et à quelques abaques préparés à l'avance pour éviter des interpolations, permettent de pratiquer la navigation astronomique au cours du raid. En revanche, aucune navigation hertzienne n'est possible, l'avion n'étant muni que d'un émetteur radio type *M-303* à ondes courtes.

---

<sup>1566</sup> En juillet 1939, il y a en France, 748 avions privés et 662 avions dans les aéroclubs in CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 333.

<sup>1567</sup> René Couzinet (1904-1956).

<sup>1568</sup> DÉVÉ M., « Première liaison aérienne France-Nouvelle-Calédonie, Paris-Nouméa, 6 mars – 5 avril 1932 », *Revue du Secrétariat général de l'aviation civile*, 15 septembre 1972, p. 98.

<sup>1569</sup> DÉVÉ M., *Op. Cit.*, p. 100.



Figure 150 : Raid Paris-Nouméa en 1932.<sup>1570</sup>

La navigation pratiquée à bord du *Biarritz* semble proche de celle pratiquée quatre années auparavant par Costes et Le Brix à bord du *Nungesser-et-Coli* même si l'espace dont disposent les différents membres d'équipage à bord du *Couzinet 33* est un peu plus grand.

Le voyage, qui comporte 19 étapes, rencontre les habituels problèmes mécaniques et liés à la météorologie (« nous ferons grâce au lecteur des multiples incidents mécaniques qui marquèrent le voyage. Disons seulement que Munch n'avait guère le temps de s'amuser aux escales »<sup>1571</sup>). Une sérieuse révision de l'avion et des instruments s'impose lorsqu'ils arrivent à Brisbane, en Australie, le 30 mars 1932, après avoir volé 126 heures depuis Le Bourget. Dévé refait alors la compensation et la régulation des deux compas (celui de Verneilh et le sien)<sup>1572</sup>. Ils attendent ensuite jusqu'au 5 avril 1932 la fenêtre météorologique qui leur permet de rejoindre Nouméa. La navigation est peu précise du fait des grains qui les obligent à changer régulièrement de cap. Dévé fait le récit de la fin anxiogène de cette dernière navigation :

*Or, à différentes reprises, il a fallu changer de direction pour contourner des grains, ce qui nuisait à la précision de l'estime, d'autant plus que les mesures au cinémo-dérivomètre étaient incertaines. Il en était de même des mesures de hauteurs du soleil prises avec un quadrant à niveau à bulle.*

*Le navigateur estima alors prudent de prendre un cap 3° plus gauche, ce qui*

<sup>1570</sup> DÉVÉ M., *Op. Cit.*, p. 95. En haut à gauche le *Biarritz*, en haut à droite Charles Verneilh, en bas à droite Max Dévé, en bas à gauche Émile Munch, au centre le tracé du périple.

<sup>1571</sup> DÉVÉ M., *Op. Cit.*, p. 103.

<sup>1572</sup> DÉVÉ M., *Op. Cit.*, p. 108.

*devait faire arriver avec certitude sur l'île et, au cas où l'estime aurait été bonne, vers son milieu.*

*(...) 7h30 après le départ, le navigateur estima l'avion à moins de 300 km de la côte de Nouvelle-Calédonie, (...) il envoya, par radio, avec la position estimée, l'indication : « Comptons bientôt voir la terre ».*

*(...) Une heure plus tard je devais transmettre « Ne voyons pas encore la terre » et donnais un point estimé à 150 km des côtes.*

*(...) Le navigateur refait ses calculs, s'assure que le pilote ne se relâche pas dans la tenue du cap donné. D'après mes mesures et mes calculs, je suis sûr de la route mais un peu moins de la vitesse par rapport au sol. (...) J'aimais bien mes compagnons, mais mon affection pour eux grandit du fait qu'ils me gardent leur confiance et ne cherchent pas à discuter.*

*(...) Je demande à Verneilh de descendre très bas afin de voir nettement l'horizon de la mer ce qui me permettra de prendre – enfin ! – une bonne hauteur de soleil au sextant de marine et fixera notre position sur la route. La manœuvre est à peine commencée que Verneilh crie : « La terre ! ».<sup>1573</sup>*

L'atterrissage à Nouméa ne se fait pas sans mal, mais aucun membre de l'équipage n'est blessé dans l'accident.

D'autres propriétaires pilotes effectuent des raids ayant plus ou moins de retentissement comme la navigatrice Louise Morel de Foucaucourt (voir chapitre 6), qui avec son mari le baron Jean Morel de Foucaucourt<sup>1574</sup>, inspecteur général des finances et pilote privé, parcourent l'Afrique de 1933 à 1939.

#### 4) Les méthodes de navigation aérienne pratiquées par les navigatrices françaises (1928-1939)

S'il est assez difficile de trouver des informations sur les navigateurs aériens français, il l'est encore plus pour les navigatrices, d'autant qu'elles ne peuvent faire partie ni des formations militaires ni des personnels navigants des compagnies. Adrienne Bolland<sup>1575</sup> dans un premier temps, puis Maryse Bastié<sup>1576</sup>, Léna Bernstein<sup>1577</sup>, Maryse Hilsz<sup>1578</sup>, Hélène Boucher<sup>1579</sup> ou

---

<sup>1573</sup> DÉVÉ M., *Op. Cit.*, pp. 109-110.

<sup>1574</sup> Jean Morel de Foucaucourt (1896-1939).

<sup>1575</sup> Adrienne Bolland (1895-1975).

<sup>1576</sup> Maryse Bastié, née Marie-Louise Bombec (1898-1952).

<sup>1577</sup> Léna Bernstein (1906-1932).

<sup>1578</sup> Marie-Antoinette Hilsz dite Maryse Hilsz (1901-1946).

<sup>1579</sup> Hélène Boucher (1908-1934).

encore Claire Roman<sup>1580</sup>, Elisabeth Lion<sup>1581</sup>, Andrée Dupeyron<sup>1582</sup>, Madeleine Charnaux<sup>1583</sup> et quelques autres marquent de leur empreinte l'aviation de record française de l'entre-deux-guerres<sup>1584</sup>.

### *La navigation à l'estime des navigatrices françaises*

Le terme de « navigatrice » commence à être utilisé dans la presse à la fin des années 1920. Ainsi, il est écrit, dans un article de 1929 de la revue *Les Ailes*, relatant un voyage de Léna Bernstein : « alors qu'elle survolait la mer déjà à bonne distance de la côte française, elle s'aperçut d'une fuite à son réservoir d'essence. Sagement elle se dirigea vers l'Est et comme une navigatrice de vieille date, Léna Bernstein atteignit ce qu'elle voulait atteindre : la côte italienne »<sup>1585</sup>.

Les qualités de navigatrice de Maryse Bastié, la principale concurrente mais néanmoins amie de Léna Bernstein dans la lutte pour les records féminins de durée et de distance en ligne droite, sont également reconnues<sup>1586</sup>. D'ailleurs comment l'imaginer parcourir les 1 058 km de Paris à Treptow-sur-Rega (Poméranie occidentale) comme premier pilote en duo avec Maurice Drouin en 1928, ou les 2 976 km de Paris à Uhring (URSS) s'emparant ainsi du record féminin international de distance en 1931, sans maîtriser les instruments de navigation à l'estime. Ni non plus lorsqu'elle effectue la traversée Dakar-Natal, seule à bord de son avion un *Caudron Simoun*, le 30 décembre 1936 (3 161 km en 12 h 05mn)<sup>1587</sup>.

Les deux femmes ont choisi le métier d'aviatrice alors que les obstacles sont nombreux. Elles sont certes détentrices d'un brevet de transports publics qui leur permet « de faire du passager » mais sans pour autant accéder à un poste de navigant dans les compagnies aériennes ni dans l'aviation militaire<sup>1588</sup>. Elles peuvent faire des baptêmes de l'air, mais cette activité n'étant pas suffisamment rémunératrice, elles se tournent vers les records pour récolter de l'argent. De plus, elles doivent passer une visite médicale tous les quatre mois pour vérifier qu'elles ne sont pas enceintes<sup>1589</sup>, ce qui est plus contraignant que pour les hommes qui ne passent la visite médicale que tous les ans. Toutes ces difficultés réduisent le nombre de

---

<sup>1580</sup> Claire Roman (1906-1941).

<sup>1581</sup> Elisabeth Lion (1904-1988).

<sup>1582</sup> Andrée Dupeyron (1902-1988).

<sup>1583</sup> Madeleine Charnaux (1902-1943).

<sup>1584</sup> Voir pour plus d'informations sur les aviatrices : MARCK B., *Elles ont conquis le ciel*, Paris, Arthaud, 2009.

<sup>1585</sup> « Un voyage de Léna Bernstein », *Les Ailes*, 11 juillet 1929, p. 11.

<sup>1586</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 354.

<sup>1587</sup> ROBINEAU L. (Dir.), *Les Français du ciel*, Le cherche midi, 2005, p. 52.

<sup>1588</sup> BLANC E., *Toute l'aviation 4ème édition*, Paris, Société parisienne d'édition, vers 1937 ; p. 230. Et VILLATOUX M.-C., « Femmes et pilotes militaires dans l'armée de l'Air », *Revue historique des armées*, n° 272.

<sup>1589</sup> Une femme enceinte est momentanément interdite de vol.

françaises détentrices du brevet de transports publics à une dizaine en France, en 1933, contre 50 aux États-Unis.

Maryse Hilsz commence sa carrière aéronautique, après avoir obtenu son brevet de transports publics le 21 avril 1930, soit près de quatre ans après Bastié et Bernstein, mais ses qualités d'endurance physique<sup>1590</sup> en font une solide adversaire. Elle est considérée par certains, dont René Chambe, comme « peut-être la meilleure aviatrice française » avant la Seconde guerre mondiale<sup>1591</sup>. Hilsz participe au premier Tour de France aérien au printemps 1931 qui regroupe une quarantaine de concurrents professionnels de l'aéronautique ou touristes aériens. La nécessité de connaître vraiment les procédés de navigation se pose. Edmond Blanc<sup>1592</sup> qui fait un compte rendu du périple relève l'importance des cartes :

*Ce voyage dans le ciel de France, où les averses nous empêchèrent parfois de lire la carte, en a montré la nécessité. Il ne s'agit pas d'un raid ni d'une course. Le touriste veut à chaque instant savoir où il est. (...) Sa promenade à basse altitude d'où la flânerie n'est pas à exclure exige des facilités de navigation. A ce propos beaucoup d'entre nous abandonnèrent la carte aéronautique pour la carte d'É au 1/200 000, où apparaît le relief du sol (si important pour le vol à faible hauteur) qui décide souvent du choix de la route à suivre en raison des vents rabattants. Maryse Hilsz, qui se montra excellente navigatrice et fut même notre « capitaine » lors d'un vol de groupe, à Nîmes, se sert exclusivement de la carte au millionième.*<sup>1593</sup>

Les techniques de navigation ne semblent pas aussi poussées que pour les voyages au long cours mais cette citation met en avant la nécessité pour le touriste aérien de savoir au moins se servir d'une carte. Nous remarquons également que Hilsz effectue sa navigation avec la carte au millionième qui est moins détaillée que les cartes au 1/200 000<sup>e</sup>, mais qui donne une meilleure vue d'ensemble du parcours. Son choix de naviguer principalement au cap et à la montre semble judicieux puisqu'elle se place 8<sup>e</sup> à l'issue du Tour de France (voir extrait 21).

---

<sup>1590</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 356.

<sup>1591</sup> *Ibid.*

<sup>1592</sup> Edmond Blanc (1889-19 ?).

<sup>1593</sup> BLANC E., « Epilogue du Tour de France », *Les Ailes*, 21 mai 1931, p. 11.

| CLASSEMENT DES CONCURRENTS AYANT TERMINE LE "TOUR DE FRANCE" |                       |                               |                 |                         |                  |                  |                      |                                   |                 |                         |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------------|
| N° de classement                                             | Pilotes               | Avions et moteurs             | Moyenne horaire | Cv. par personne à bord | Nombre de points | N° de classement | Pilotes              | Avions et moteurs                 | Moyenne horaire | Cv. par personne à bord |
| 1                                                            | Massot .....          | Guerchais - Renault 95 CV.    | 154,080         | 31,6                    | 487              | 21               | Grillot .....        | Morane-Saulnier - Salmson 120 CV. | 149,760         | 60,0                    |
| 2                                                            | Avignon .....         | Farman 190 - Titan 230 CV.    | 171,720         | 38,2                    | 499              | 22               | Valliant-Letartre .. | Caudron 232 - Renault 95 CV.      | 118,440         | 47,5                    |
| 3                                                            | Herbodin-Nicolle ..   | Farman 231 - Renault 95 CV.   | 185,760         | 47,5                    | 391              | 23               | Malinvaud-Bianc ..   | Moth-Morane - Gipsy 85 CV.        | 104,400         | 42,5                    |
| 4                                                            | Lailouette .....      | Farman 231 - Renault 95 CV.   | 185,400         | 47,5                    | 390              | 24               | Maryse Bastié .....  | Caudron 230 - Salmson 95 CV.      | 114,840         | 47,5                    |
| 5                                                            | Arcaute .....         | Caudron 193 - Renault 95 CV.  | 162,000         | 47,5                    | 340              | 25               | Pégulu de Rovin-Baud | Potez 36 - Renault 95 CV.         | 114,750         | 47,5                    |
| 6                                                            | Thomas-Coadou .....   | Moth-Morane - Gipsy 85 CV.    | 143,640         | 42,5                    | 338              | 26               | Camion .....         | Potez 36 - Salmson 95 CV.         | 114,480         | 47,5                    |
| 7                                                            | Maryse Hilsz .....    | Farman 232 - Michel 100 CV.   | 165,840         | 50,0                    | 331              | 27               | Maloin-Prodhomme     | Farman 202 - Salmson 120 CV.      | 144,000         | 60,0                    |
| 8                                                            | Lefolcalvez .....     | Moth-Morane - Gipsy 85 CV.    | 139,680         | 42,5                    | 318              | 28               | Ripault .....        | Potez 36 - Renault 95 CV.         | 110,160         | 47,5                    |
| 9                                                            | Lebeau .....          | Moth D. H. 60 - Gipsy 85 CV.  | 135,360         | 42,5                    | 318              | 29               | Durandau-Blairon     | Potez 36 - Renault 95 CV.         | 109,440         | 47,5                    |
| 10                                                           | Maurel .....          | Farman 231 - Renault 95 CV.   | 149,760         | 47,5                    | 315              | 30               | Martinoff-Mermoz ..  | Potez 36 - Renault 95 CV.         | 108,000         | 47,5                    |
| 11                                                           | Maurens .....         | Moth-Morane - Gipsy 85 CV.    | 133,560         | 42,5                    | 314              | 31               | Labouchère .....     | Potez 36 - Salmson 95 CV.         | 107,280         | 47,5                    |
| 12                                                           | Roulin .....          | Farman 190 - Titan 230 CV.    | 173,880         | 57,5                    | 302              | 32               | Liétard .....        | Potez 36 - Salmson 95 CV.         | 106,560         | 47,5                    |
| 13                                                           | Mauler .....          | Caudron 232 - Renault 95 CV.  | 137,520         | 47,5                    | 289              | 33               | Luillery .....       | Potez 36 - Renault 95 CV.         | 105,120         | 47,5                    |
| 14                                                           | Perrier .....         | Caudron 128 - Salmson 120 CV. | 115,760         | 40,0                    | 284              | 34               | Cendré-Laporte ..... | Potez 36 - Renault 95 CV.         | 104,400         | 47,5                    |
| 15                                                           | Max André .....       | Caudron 232 - Renault 95 CV.  | 133,920         | 47,5                    | 281              | 35               | Collin .....         | Potez 36 - Salmson 95 CV.         | 103,320         | 47,5                    |
| 16                                                           | Chaise-Burlaton ..... | Caudron 230 - Salmson 95 CV.  | 131,040         | 47,5                    | 275,8            | 36               | Blanger .....        | Potez 36 - Renault 95 CV.         | 101,880         | 47,5                    |
| 17                                                           | Pharabod .....        | Caudron 230 - Renault 95 CV.  | 131,000         | 47,5                    | 275,8            | 37               | Saint-Cierge .....   | Potez 36 - Renault 95 CV.         | 81,720          | 47,5                    |
| 18                                                           | Moreau .....          | Farman 204 - Lorraine 110 CV. | 140,400         | 55,0                    | 258              | 38               | Marot-Joly .....     | Potez 36 - Renault 95 CV.         | 69,480          | 47,5                    |
| 19                                                           | Legendre .....        | Caudron 232 - Renault 95 CV.  | 120,960         | 47,5                    | 256              | 39               | Verceyryse .....     | Mauboussin - Salmson 40 CV.       | 51,120          | 40                      |
| 20                                                           |                       |                               |                 |                         |                  |                  |                      |                                   |                 |                         |

Extrait 21 : Classement des concurrents ayant atterri à Orly.<sup>1594</sup>

Hélène Boucher, titulaire de plusieurs records de vitesse, se tue à l'entraînement à bord de son avion le 30 novembre 1934 à l'âge de 26 ans. Elle venait d'être embauchée par la société Caudron-Renault pour tester les avions, lui permettant ainsi d'accéder à l'indépendance financière et un matériel de qualité. Son décès émeut l'opinion publique et une compétition d'aviation féminine « la coupe Hélène-Boucher » est créée pour lui rendre hommage en 1935. Dans cette compétition, les concurrentes doivent parcourir 689 km à une vitesse supérieure à 200 km/h. Maryse Hitz remporte la coupe la première année face à trois adversaires (les autres aviatrices inscrites ne remplissant pas les conditions de l'épreuve). La revue *Les Ailes* considère que la réussite de Hilsz tient autant à la qualité de son avion qu'à celle de sa navigation :

*Il serait injuste de dire que la victoire de Maryse Hilsz est uniquement due à l'emploi d'un avion plus puissant que ceux de ses concurrentes ; sa maîtrise de très grand pilote, son expérience, sa science de navigatrice consommée ont été les facteurs déterminants de son succès.*<sup>1595</sup>

Claire Roman remporte la coupe l'année suivante, en 1936, et là encore les « qualités de pilote et de navigatrice » de l'aviatrice sont relevées dans la presse aéronautique<sup>1596</sup>. *Les Ailes* ne sont pas en reste pour féliciter Roman :

*Mme Claire Roman est en même temps qu'une habile pilote, une excellente navigatrice qui a déjà remporté de nombreux succès. Tout l'A.-C. D. F. [Aéro-Club de France] adresse à l'une des plus aimable et brillantes élèves de ses cours, les plus vives félicitations pour sa belle victoire.*<sup>1597</sup>

Roman suit alors peut-être les cours de navigation aérienne de l'AéCF.

<sup>1594</sup> Ibid.

<sup>1595</sup> « Maryse Hilsz a gagné la Coupe Hélène-Boucher », *Les Ailes*, 5 septembre 1935, p. 11.

<sup>1596</sup> *L'Aérophile*, janvier 1936, p. 214.

<sup>1597</sup> *Les Ailes*, 20 mai 1937, p. 15.

Si nous avons relevé la mention des qualités de navigatrice de quelques aviatrices françaises dans la presse aéronautique, nous devons noter qu'il ne s'agit ici que de navigation à l'estime puisque les aviatrices sont la plupart du temps seules dans leur avion. Nous nous retrouvons ici à peu près dans la situation de la navigation aérienne au début des années 1920 même si les instruments de navigation et les avions sont plus performants. Ces aviatrices pratiquent-elles la navigation astronomique voire la navigation hertzienne ?



Figure 151 : Maryse Bastié en 1932<sup>1598</sup>, Léna Bernstein<sup>1599</sup>, Maryse Hilsz<sup>1600</sup>, Claire Roman<sup>1601</sup>.

### *Les méthodes de navigation au long cours pratiquées par les navigatrices françaises*

Il est possible que Maryse Bastié ait pratiqué l'une ou l'autre de ces navigations au long cours. Lorsqu'elle réalise un Paris-Madagascar aller-retour avec le mécanicien Dronne de janvier à mai 1932, ou son premier Paris-Tokyo avec le mécanicien Lemaire en avril 1933, avant d'effectuer un second Paris-Tokyo avec le mécanicien Prax entre janvier et mars 1934, les conditions sont réalisées pour qu'elle pratique la navigation astronomique ou même hertzienne. Nous n'avons toutefois pas trouvé d'informations en ce sens. En revanche, nous savons que Maryse Bastié n'a pas utilisé la navigation hertzienne lors de sa traversée de l'Atlantique Sud en décembre 1936 car elle était seule à bord et sans poste de radio<sup>1602</sup>.

<sup>1598</sup> Photographie Agence Mondial Photo-Presse sur le site <https://gallica.bnf>.

<sup>1599</sup> PEYRONNET DE TORRES R., « La femme sportive du jour : l'aviatrice Léna Bernstein », *Le Miroir des sports*, 6 mai 1930, p. 284.

<sup>1600</sup> PEYRONNET DE TORRES Roger, « Les sportifs du jour en aviation : l'Italien Agello et la Française Maryse Hilsz », *Le Miroir des sports*, 18 avril 1933, p. 242.

<sup>1601</sup> MATHIS S., « C'était un copain. Claire Roman », *Aviation française*, 13 mars 1946, NP.

<sup>1602</sup> BLANC E., *Toute l'aviation 4ème édition*, Paris, Société parisienne d'édition, vers 1937, p. 233.





Figure 152 : Maryse Bastié étudiant son itinéraire pour la traversée de l'Atlantique Sud en décembre 1936.<sup>1603</sup>

Deux navigatrices devraient avoir pratiqué la navigation au long cours : Suzanne Kohn et Louise Morel de Foucaucourt. En effet, elles sont toutes deux détentrices du Brevet supérieur de navigateur (voir chapitre 6). Kohn est la première Française à avoir obtenu ce brevet en novembre 1936, suivie en 1938 par la baronne de Foucaucourt. Si les navigations de Kohn semblent peu connues, la baronne de Foucaucourt sillonne, quant à elle, l'Afrique en assurant la navigation de l'avion que son mari pilote. Louise et Jean Morel de Foucaucourt traversent une première fois le Sahara en 1933 à bord du *Caudron Luciole F-AMHF*. Ils voyagent également en Afrique du Nord et en Afrique Noire, à partir de février 1936, à bord d'avions *Farman* ou du quadrimoteur britannique *Percival Vega Gull F-AQIR*. Leur *Percival*, baptisé *Inch Allah*, est équipé pour le vol de nuit et possède un rayon d'action de 2 000 km ce qui lui permet de survoler dans de bonnes conditions les territoires africains. Le pilote et sa navigatrice se tuent le 21 février 1939 alors qu'ils effectuent leur douzième voyage sur le continent africain<sup>1604</sup>.

<sup>1603</sup> PEYRONNET DE TORRES R., « Une Française, Maryse Bastié, survole l'Atlantique Sud dans un temps record », *Le Miroir des sports*, 5 janvier 1937, NP.

<sup>1604</sup> FERRY V., *Ciels impériaux africains 1911-1940*, éditions du Gerfaut, 2005, pp. 96-97.





**Figure 153 : Suzanne Kohn et le moniteur Coyco.<sup>1605</sup>**



**Figure 154 : Baronne de Foucaucourt devant son Farman 402 à Tunis.<sup>1606</sup>**

Il ressort de l'analyse des différents documents que nous avons consultés que les navigateurs de grands raids et « chasseurs de records » de la fin des années 1920 au début de la Première guerre mondiale pratiquent tous la navigation à l'estime et parfois la navigation astronomique si leur objectif en justifie l'utilisation. En revanche la navigation hertzienne semble secondaire, venant uniquement en appui des deux premières. Les navigateurs de l'aéronautique militaire et même maritime ont une tout autre approche de l'utilisation de la TSF en navigation aérienne.

<sup>1605</sup> *Le Ailes*, 9 décembre 1937, p. 13.

<sup>1606</sup> *Le Manche à balai*, mai 1935, p. 19.

## B) L'aviation militaire des années 1930, une utilisation prépondérante de la navigation à l'estime soutenue par la TSF

Les aviateurs « chasseurs de records » ont accompli leurs premiers vols dans l'aéronautique militaire ou navale. Ils appartiennent encore parfois à ces armes, mais ils ont demandé une mise en congé pour préparer et effectuer leur exploit. Ils peuvent ainsi satisfaire leur goût de la navigation au long cours, qui est peu pratiquée dans leurs escadrilles. De plus, les performances des avions de record ne doivent pas cacher l'état de la flotte aéronautique militaire française. En effet, bien que le ministère de l'Air ait engagé une « politique des prototypes », la flotte tarde à acquérir des avions « modernes »<sup>1607</sup>, même après le décret du 1<sup>er</sup> avril 1933 instituant la création de l'armée de l'Air.

La navigation à l'estime, tout comme pour la décennie précédente, reste prépondérante voire exclusive même sur les longs trajets. Le développement de la navigation hertzienne est inscrit dans les plans projetés puis mis en place à partir du début des années 1930 (voir paragraphe suivant). Enfin, la navigation astronomique peine à trouver une place au sein des escadrilles malgré les efforts de quelques militaires.

### 1) Les instruments de navigation dans les plans d'équipement et d'armement de l'armée de l'Air

Dès sa création le 14 septembre 1928, le ministère de l'Air tente de redonner un nouveau souffle à l'industrie aéronautique française qui s'était laissé distancer par les autres nations (États-Unis, Angleterre, Italie, etc.)<sup>1608</sup>. Albert Caquot, directeur général technique de l'aéronautique, lance ce qui sera nommé la « politique des prototypes » destinée à remplacer « une aviation de quantité » par une « aviation de qualité » et qui s'étale de 1929 à 1934<sup>1609</sup>. L'accent est mis dans un premier temps sur le développement des « moteurs suralimentés » mais aussi, par la suite, sur les cellules (recherche de la finesse maximum, augmentation de la part des constructions métalliques par rapport aux constructions en bois, ...). Les fruits de cette politique, jugée trop couteuse à l'époque (448 349 250 francs du 1<sup>er</sup> octobre 1928 au 1<sup>er</sup> mars 1933 dont 190 866 445 francs pour l'aéronautique militaire et navale), tardent à venir<sup>1610</sup>. Ainsi,

---

<sup>1607</sup> CUNY J. et DANIEL R., *L'aviation de chasse française (1918-1940)*, Larivière, Collection DOCAVIA 1973, p. 100.

<sup>1608</sup> CUNY J. et DANIEL R., *L'aviation française de bombardement et de renseignement (1918-1940)*, Larivière, Collection DOCAVIA 1979 p. 73.

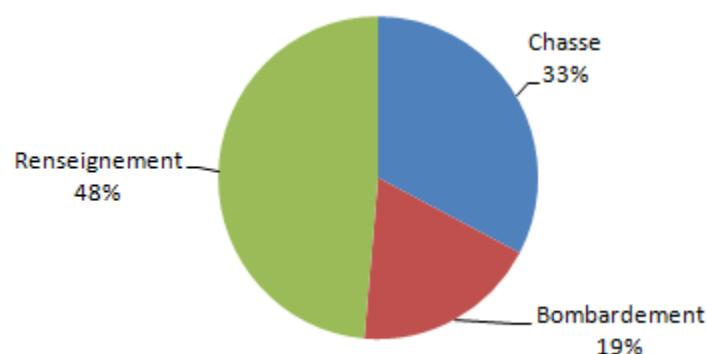
<sup>1609</sup> CUNY J. et DANIEL R., *L'aviation de chasse française (1918-1940)*, Op. Cit., p. 67.

<sup>1610</sup> Pour Cuny et Daniel il faut faire preuve de plus d'indulgence envers Caquot que ses contemporains en eurent car cette politique permit aux aviateurs français de rattraper une partie de leur handicap au milieu des années 1930. CUNY J. et DANIEL R., *L'aviation française de bombardement et de renseignement (1918-1940)*, Op. Cit., p. 75.

au début 1933, presque aucun appareil en service dans la jeune armée de l’Air n’est issu de la « politique des prototypes » et les 3579 appareils constituant la flotte (790 monoplaces de chasse, 631 avions de bombardement, 2158 biplaces de renseignement) sont pour la plupart périmés<sup>1611</sup>.

Pierre Cot, le ministre de l’Air et le général Denain, chef d’état-major de l’armée de l’Air, mettent en place un premier plan triennal (le plan I) alors que le contexte financier de la France est défavorable. Ce plan, initié lors des travaux de la Conférence mondiale du désarmement de Genève (1932-1934), doit à la fois viser une réduction des forces aériennes en ligne<sup>1612</sup>, mais également tirer le meilleur potentiel opérationnel d’un effectif réduit alors que les principales armées européennes et mondiales se développent (création du ministère de l’Air allemand le 27 avril 1933...) <sup>1613</sup>.

Connaître la répartition des avions selon les catégories est essentiel pour donner une indication sur le type de navigation pratiquée (voir graphique 2 et 3). En effet, les avions de chasse ont moins d’équipements de navigation (surtout s’ils sont monoplaces) que les avions de bombardement ou même ceux de renseignement (observation comme reconnaissance).



**Graphique 2 : Répartition des avions selon la catégorie en mars 1933.**<sup>1614</sup>

En 1933, les 2/3 des avions militaires français peuvent tirer profit de postes de pilotage, et surtout de navigation, bien équipés en compas, navigraphes, etc.

L’inventaire de mars 1934 indique que l’armée de l’Air et l’Aviation coloniale possèdent 3 905 avions de guerre (dont 1 481 en ligne) et l’Aéronautique maritime autonome possède 318 appareils (dont 185 en ligne). Les appareils, principalement stationnés en

<sup>1611</sup> CUNY J. et DANIEL R., *Op. Cit.*, p. 91.

<sup>1612</sup> Les avions à l’inventaire sont de trois catégories : en service en 1<sup>ère</sup> ligne, en réserve ou en stock, déclassés pour l’instruction. Les avions en ligne sont ceux qui sont directement opérationnels dans les escadrilles.

<sup>1613</sup> CUNY J. et DANIEL R., *L’aviation de chasse française (1918-1940)*, *Op. Cit.*, p. 97.

<sup>1614</sup> Graphique obtenu à partir des informations CUNY J. et DANIEL R., *L’aviation française de bombardement et de renseignement (1918-1940)*, *Op. Cit.*, p. 99.

métropole, sont de trois catégories : la chasse, le bombardement et le renseignement (voir tableau 40).

|                 | Chasse               |                          | Bombardement         |                          | Renseignement        |                          |
|-----------------|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
|                 | Nombre d'escadrilles | Nombre d'avions en ligne | Nombre d'escadrilles | Nombre d'avions en ligne | Nombre d'escadrilles | Nombre d'avions en ligne |
| Métropole       | 33                   | 465                      | 26                   | 240                      | 48                   | 500                      |
| Afrique du Nord | 2                    | 20                       | 3                    | 36                       | 16                   | 160                      |
| Levant          |                      |                          |                      |                          | 6                    | 60                       |

**Tableau 40 : Répartition des avions par catégorie en mars 1934.**<sup>1615</sup>

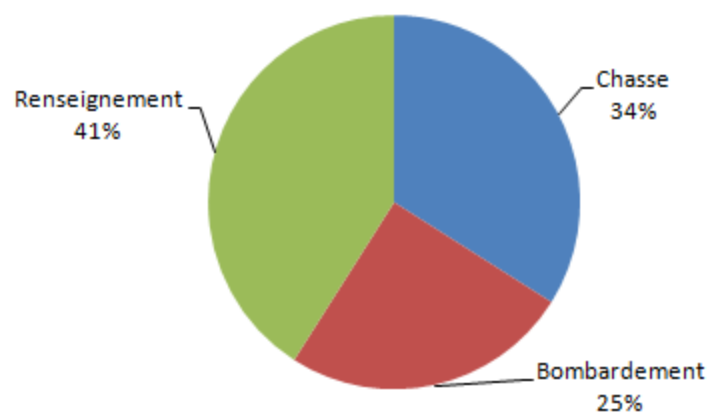
Le plan, outre un renouvellement par tranche de ces avions, tenant compte des derniers perfectionnements techniques, prévoit également la généralisation de la radiotéléphonie afin d'améliorer les méthodes de navigation<sup>1616</sup>.

Le plan est entériné par le Parlement le 6 juillet 1934, dans une atmosphère de psychose de guerre dû à l'accession au pouvoir d'Adolf Hitler et au réarmement de l'Allemagne. Mais il aboutit à une crise de l'industrie aéronautique car les aviateurs, faute de ressources humaines, financières et techniques, ne peuvent livrer le matériel dans les délais prévus<sup>1617</sup>. En juin 1936, l'armée de l'Air dispose de 1 509 appareils en ligne dont 894 anciens et 615 du plan I, la part des avions de renseignement diminuant au profit des avions de bombardement (voir graphique 3). La livraison des 600 avions, encore attendue suite au plan I, s'échelonne jusqu'au printemps 1938.

<sup>1615</sup> Tableau obtenu à partir des données de CUNY J. et DANIEL R., *L'aviation française de bombardement et de renseignement (1918-1940)*, Op. Cit., p. 99.

<sup>1616</sup> CUNY J. et DANIEL R., *Op. Cit.*, p. 95.

<sup>1617</sup> PARINGAUX A., *Des ailes et des hommes*, Paris, Zéphir, 2004, p. 32.



Graphique 3 : Répartition des avions selon la catégorie en juin 1936.<sup>1618</sup>

Pierre Cot, revenu au ministère de l’Air du gouvernement du Front Populaire formé en mai 1936, décide de nationaliser l’industrie aéronautique. Le plan II, lancé pour contrecarrer les capacités offensives de la Luftwaffe, prévoit 1500 appareils en ligne fin 1939. L’industrie aéronautique doit redoubler d’effort d’autant que le nouveau plan s’écarte des projets élaborés précédemment en privilégiant l’accroissement de l’aviation lourde (de bombardement)<sup>1619</sup>. 1937 marque un tournant dans la doctrine aérienne française<sup>1620</sup>. Une politique défensive faite de bombardements stratégiques et d’actions à l’arrière des lignes est envisagée en cas de conflit. Les capacités de la flotte française étant toujours insuffisantes pour faire face à la menace allemande, un nouveau projet de renforcement et de rénovation des forces aériennes (plan V) est approuvé le 15 mars 1938. Le plan V bénéficie enfin d’un important effort financier qui permet d’une part de passer commande à l’industrie aéronautique française (4000 avions) et également aux Américains (795 avions) et d’autre part d’augmenter sensiblement les effectifs de l’armée de l’Air. Le projet est ambitieux, mais n’a pas encore abouti quand le conflit éclate en mai 1940 ; la plupart des chasseurs sont dépassés et presque aucun bombardier moderne n’a été livré<sup>1621</sup>.

Il ressort de cet exposé rapide des différents plans élaborés par le gouvernement et l’armée de l’Air française durant les années 1930, un décalage entre les besoins et les moyens de les satisfaire, et surtout une course à la modernité qui n’a jamais été gagnée. Pour nous, ces retards se traduisent par la présence d’équipements de navigation parfois dépassés. Les

<sup>1618</sup> Graphique obtenu à partir des informations *L’aviation française de bombardement et de renseignement (1918-1940)*, Op. Cit., p. 137.

<sup>1619</sup> CUNY J. et DANIEL R., Op. Cit., p. 135.

<sup>1620</sup> FACON P., *L’histoire de l’armée de l’Air. Une jeunesse tumultueuse (1880-1945)*, Rennes, Larivière, coll. « Docavia », 2004, p. 84.

<sup>1621</sup> PARINGAUX A., Op. Cit., p. 34.

équipements radioélectriques ne sont pas à la pointe des avancées scientifiques et les postes de navigations tardent à être équipés de radiocompas.

Savoir naviguer scientifiquement n'est pas non plus essentiel pour une grande partie du personnel de l'armée de l'Air. Le lieutenant de vaisseau Antoine de Gail<sup>1622</sup> écrit d'ailleurs à ce propos en 1935 dans la *Revue du ministère de l'Air* qui est à l'époque l'organe officiel de l'Armée de l'Air :

*La science de la navigation n'intéresse directement que certaines catégories du personnel navigant, ou plus exactement n'intéresse le personnel navigant que dans certaines circonstances. Ce qui ne veut pas dire qu'elle doit être ignorée du reste du personnel.*<sup>1623</sup>

## 2) Les instruments de navigation à l'estime et astronomique à bord des avions militaires

### *La place des instruments de navigation sur les tableaux de bord des avions de chasse*

Piloter un avion de chasse n'est pas une circonstance favorable pour s'intéresser à la navigation qu'elle soit à l'estime ou astronomique. Cependant, les tableaux de bord des chasseurs se compliquent progressivement (voir tableau 41), les instruments de vol et de navigation prenant progressivement place au centre. Mais la part des instruments de navigation reste minime dans un avion de chasse.

| <i>Gourdou-Leseurre 32 (fin des années 1920)</i> | <i>Dewoitine 500 et 501 (1935)</i>                                                                                           | <i>Maurane-Saulnier 406 (1938-1939)</i>                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Montre,<br>Compas,<br>Altimètre,<br>Anémomètre.  | Montre,<br>Compas,<br>Altimètre,<br>Contrôleur de vol groupant l'anémomètre, les indicateurs de pente, de niveau, de virage. | Montre,<br>Compas,<br>Altimètre,<br>Anémomètre basses vitesses dit d'« atterrissage »,<br>Contrôleur de vol perfectionné,<br>Moyens de contrôle du pas de l'hélice, de l'armement, du train d'atterrissage escamotable, des freins... |

**Tableau 41 : Comparaison des instruments de trois types de chasseurs sur les années 1930.**<sup>1624</sup>

<sup>1622</sup> Antoine De Gail (1897-1943).

<sup>1623</sup> GAIL (DE) A., « Synthèse de navigation aérienne », *Revue du ministère de l'Air*, 15 octobre 1935, p. 1210.

<sup>1624</sup> Tableau établi à partir des données de CUNY J. et DANIEL R., *L'aviation de chasse française (1918-1940)*, Op. Cit., p. 234.

### *Les cinémo-dérivomètres des avions de bombardement*

Les avions de bombardement sont beaucoup mieux équipés à la fois pour la navigation à l'estime et astronomique. Ils possèdent évidemment un compas (souvent de la maison Aéra ou Vion<sup>1625</sup>) pour contrôler leur cap, et un « cinémo-dérivomètre » pour mesurer la dérive et la vitesse au sol.

Rappelons que le navigateur doit suivre un repère (terrestre ou marin) au travers de ces derniers appareils d'une part en gardant le long d'un fil la trajectoire apparente du repère (dérivométrie) et d'autre part en mesurant le temps de passage du repère sur une base (cinémométrie)<sup>1626</sup>. Plusieurs types de « cinémo-dérivomètres » sont disponibles dans les années 1930, les plus courants restant le type STAé (réglementaire dans l'armée) et le « cinémo-dérivomètre » Le Prieur qui sont tous les deux à base fixe. Mais les aviateurs peuvent également utiliser des appareils à base variable comme le « simple et robuste »<sup>1627</sup> « cinémo-dérivomètre » d'observateur Dubois-Impar (voir figure 155).

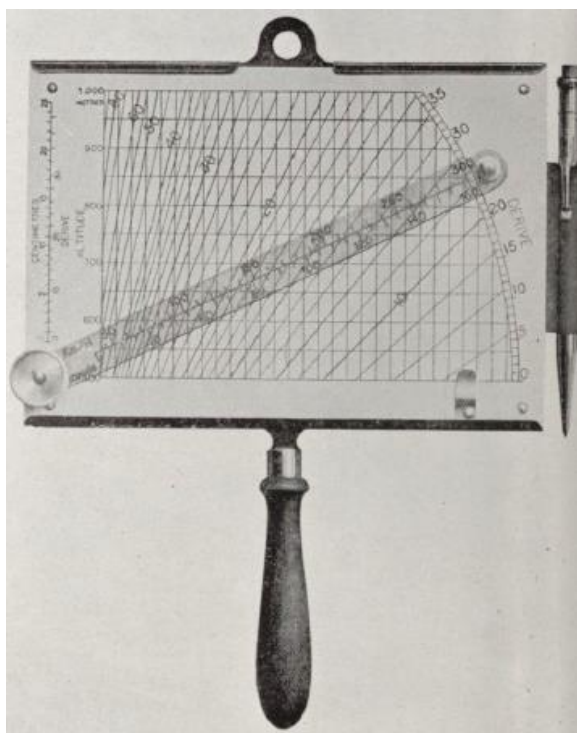


Figure 155 : Cinémo-dérivomètre Dubois Impar.<sup>1628</sup>

<sup>1625</sup> CUNY J. et DANIEL R., *L'aviation française de bombardement et de renseignement (1918-1940)*, Op. Cit., p. 373.

<sup>1626</sup> GAIL (DE) A., Op. Cit., p. 1217.

<sup>1627</sup> GAIL (DE) A., Op. Cit., p. 1218.

<sup>1628</sup> Ibid.

La dérive et la vitesse ayant été déterminées à l'aide du « cinémo-dérivomètre », le navigateur est à même de construire le triangle de vitesse pour résoudre les problèmes de l'estime (voir chapitre 6). Le navigateur peut là encore faire appel à divers instruments élaborés par les constructeurs : les « plateaux calculateurs ». Le « plateau calculateur Mailloux » est réglementaire dans l'armée de l'Air. Il représente le triangle de vitesse sous la forme habituelle des constructions graphiques, mais « présente l'inconvénient de rassembler trop d'index et de fils, ce qui en fait un appareil relativement fragile »<sup>1629</sup>. L'aéronautique maritime a fait le choix du plateau calculateur Richer-Protche. Cet appareil ne respecte pas le tracé habituel d'un triangle de vitesse, mais est d'une présentation « pratique et robuste »<sup>1630</sup> (voir figure 156).

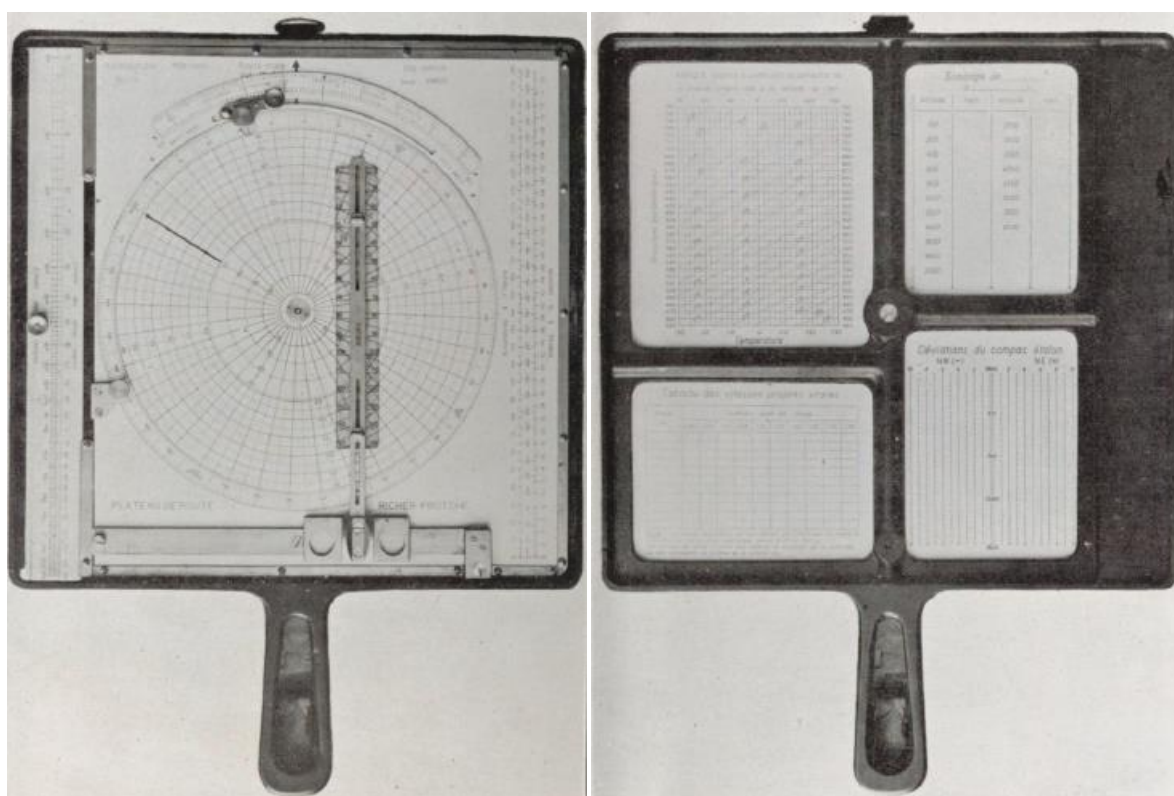


Figure 156 : Plateau calculateur Richer-Protche pour résoudre le triangle de vitesse.<sup>1631</sup>

Les avions et hydravions de gros tonnage, à grand rayon d'action, demandent, dans les années 1930, des installations de navigation plus complètes où l'information circule plus rapidement. Ces aéronefs commencent à être équipés de liaisons automatiques entre les divers membres de l'équipage (commandant, navigateur, pilote...). Le navigraphe Le Prieur, bien que de conception déjà ancienne, subit des transformations dans cette optique (voir figure 157) :

<sup>1629</sup> GAIL (DE) A., *Op. Cit.*, p. 1222.

<sup>1630</sup> GAIL (DE) A., *Op. Cit.*, p. 1224.

<sup>1631</sup> GAIL (DE) A., *Op. Cit.*, pp. 1222-1223.



*Nous savons qu'il est avant tout un dérivomètre. Transformé, plus récemment, par l'adjonction d'une chambre optique. Il est complété par un plateau de route, permettant, grâce au même appareil, la résolution des problèmes de l'estime.*

*L'installation complète comporte, enfin, un répéteur permettant de donner automatiquement au pilote les caps à prendre pour suivre sa route.<sup>1632</sup>*

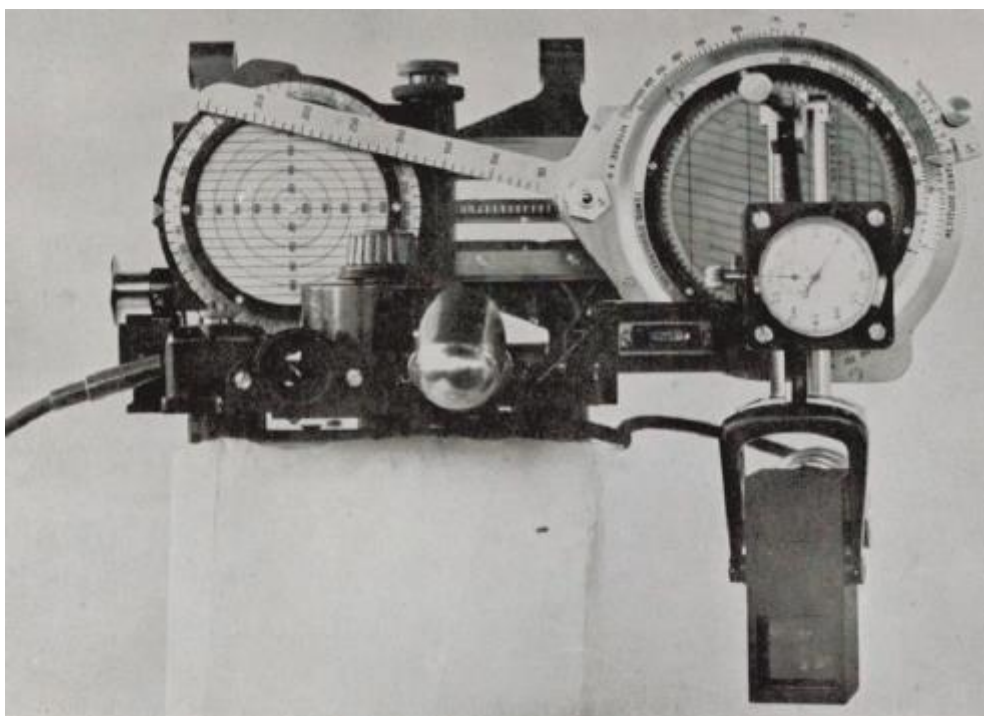


**Figure 157 : Navigraphe Le Prieur vers 1935.<sup>1633</sup>**

Bien que régulièrement cité, il n'est pas certain que le navigraphe Le Prieur, en raison de son important encombrement, ait toutefois été souvent utilisé dans l'armée de l'Air<sup>1634</sup>.

Les avions de bombardement pouvaient également être équipés d'instruments encore plus polyvalents comme l'« appareil directeur » du lieutenant de vaisseau Jean Camille Thédénat<sup>1635</sup> qui sert à la fois au pilotage, à la navigation et au bombardement<sup>1636</sup>.

Divers types d'instruments sont finalement proposés afin de faciliter la navigation à l'estime. Certains sont testés, mais peu sont retenus.

---

<sup>1632</sup> GAIL (DE) A., *Op. Cit.*, p. 1224.

<sup>1633</sup> GAIL (DE) A., *Op. Cit.*, p. 1225.

<sup>1634</sup> Cette remarque est présente dans CUNY J. et DANIEL R., *L'aviation française de bombardement et de renseignement (1918-1940)*, *Op. Cit.*, p.375, mais nous ne savons pas sur quelles informations se basent les auteurs pour mettre en doute l'utilisation de l'appareil dans l'Armée de l'Air.

<sup>1635</sup> Jean Camille Thédénat (1901-1935). Pilote de l'aéronautique maritime, inventeur d'instruments de navigation.

<sup>1636</sup> GAIL (DE) A., *Op. Cit.*, pp. 1225-1226.

### *Les instruments de navigation astronomique dans l'aéronautique militaire et maritime*

La navigation astronomique bénéficie de moins de recherches. En 1935, De Gail, dans sa synthèse de la navigation aérienne, ne cite que quatre instruments (quadrant ou sextant) pour mesurer les hauteurs d'astres. Nous retrouvons le « quadrant Favé », qui est réglementaire dans l'aéronautique maritime, où il est utilisé de façon assez courante<sup>1637</sup>, et qui peut être muni de dispositifs « enregistreurs » ou « marqueurs-moyenneurs » (procédé Le Prieur, procédé Le Petit). De Gail présente également des sextants étrangers : le sextant RAE V (réglementaire dans l'aéronautique britannique), le « sextant Coutinho » (qui est le premier à avoir été utilisé pour la traversée de l'Atlantique Sud en 1922 par le Portugais Cago Coutinho) et les sextants « Bureau of Standart » ou « Pioneer » utilisés dans l'aviation américaine, mais nous n'avons pas trouvé d'informations sur la présence courante de ces instruments à bord de la flotte française. Si l'aéronautique maritime était coutumière de la navigation astronomique, il semble que cette pratique ait eu beaucoup de mal à s'implanter dans l'armée de l'Air, ce qui expliquerait peut-être pourquoi aucun sextant n'y soit cité comme réglementaire.

La situation des « appareils de mesure du temps » est un peu meilleure que celle des « appareils de mesure d'hauteur d'astre ». Si, en 1935, les montres réglementaires à bord des avions de la marine sont encore les « montres de torpilleurs », comme sur les navires, des montres spéciales commencent à être mises en service. En 1939-1940, l'armée de l'Air, tout comme l'aéronautique maritime, dispose finalement de montres parfaitement adaptées à la navigation aérienne (montre Breguet, etc.)<sup>1638</sup>.

L'installation de ces instruments de navigation variés, à bord des avions de bombardement, a un double objectif. Ils servent à sécuriser une navigation sur un parcours plus ou moins long, mais peuvent également permettre des bombardements plus efficaces.

L'emploi des instruments diffère selon la méthode de bombardement choisie : bombardement à vue directe, bombardement par visée sur repère éloigné ou bombardement par réglage. Les navigateurs utilisent couramment un compas pour se situer au-dessus d'un repère en effectuant un relèvement par une méthode similaire à celle pour faire le point sur un navire en vue des côtes<sup>1639</sup>. Cette méthode peut être améliorée en utilisant un sextant, non pas comme pour une mesure d'astre avec les problèmes d'absence d'horizon en avion, mais pour mesurer un angle. Cet emploi du sextant ne pose aucun problème pour un officier de marine volant

---

<sup>1637</sup> GAIL (DE) A., *Op. Cit.*, p. 1227.

<sup>1638</sup> CUNY J. et DANIEL R., *Op. Cit.*, p.375.

<sup>1639</sup> ROUGERON C., « Le bombardement par temps couvert », *Revue du ministère de l'Air*, 15 octobre 1935, p. 1181.

puisque'il fait partie de son bagage en navigation maritime, mais il risque de rebuter davantage l'officier de l'armée de l'Air, selon la formation en navigation qu'il a reçue et intégrée.

Le bombardement par réglage sera plus adapté lorsque l'avion de bombardement s'éloignera de sa base de départ. Pour cette méthode, « il n'est pas nécessaire de voir l'objectif mais simplement de connaître ses coordonnées »<sup>1640</sup> grâce au soutien d'une observation terrestre, maritime ou aérienne transmise le plus souvent par TSF. Le point délicat reste toutefois d'être capable de placer l'avion précisément au point d'où part le réglage. Malheureusement, selon l'ingénieur en chef du génie maritime C. Rougeron :

*Les méthodes astronomiques de navigation, tout comme la navigation à l'estime sur de grands parcours, lorsqu'on ne connaît le vent que d'une manière assez imprécise, sont insuffisantes pour placer un bombardier au-dessus de la plupart des objectifs qui ne seront pas de très grandes dimensions.*<sup>1641</sup>

Rougeron préconise l'utilisation de bombes munies de fumigènes pour se positionner correctement. Mais la radiogoniométrie, en respectant certaines conditions d'utilisation, peut également être une aide efficace.

### 3) Les équipements radio et la radiogoniométrie

#### *Les utilisations de la radioélectricité dans l'aéronautique*

Le but premier de la radioélectricité, chez les militaires, est la liaison tactique, « c'est-à-dire l'échange de messages constamment variables, à des instants toujours différents, émis ou reçus par des avions aujourd'hui dans cette zone, demain dans telle autre »<sup>1642</sup>. La sécurité et le guidage des équipages viennent en deuxième objectif, contrairement à ce qui a cours dans l'aéronautique marchande pour laquelle ces deux derniers aspects sont primordiaux. L'équipement radio des aéronefs militaires n'est donc pas le plus souvent prévu pour faire de la navigation. Cependant, les liaisons unilatérales « avion-terre » peuvent servir lors de missions d'observation, d'accompagnement et de réglage, et de ce fait servir ultérieurement à la navigation (établir des cartes, repérer des objectifs à atteindre par les autres avions, etc.).

Il existe deux aspects à la radioélectricité de guidage : le guidage de navigation et le guidage d'atterrissage. Le guidage de navigation comporte également deux parties : les radiophares et la radiogoniométrie. Enfin, deux cas sont à envisager en radiogoniométrie selon

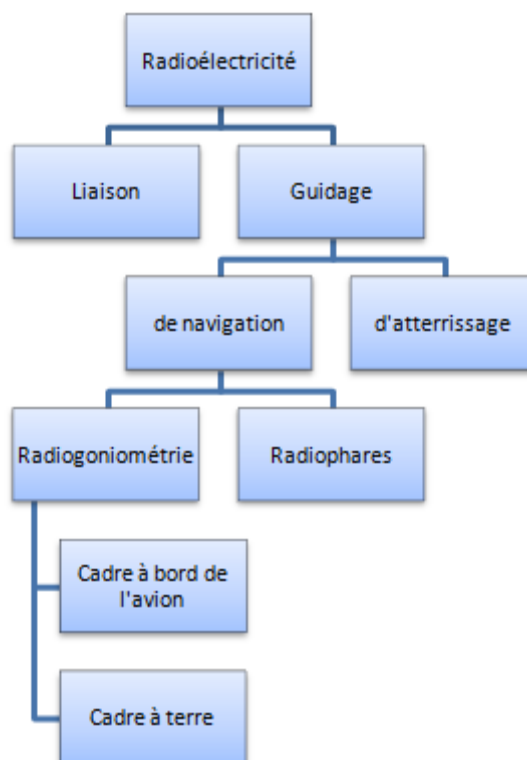
---

<sup>1640</sup> ROUGERON C., *Op. Cit.*, p. 1329.

<sup>1641</sup> ROUGERON C., *Op. Cit.*, p. 1339.

<sup>1642</sup> VERCOUTERT, « La radioélectricité à bord des avions militaires », *Revue du ministère de l'Air*, février 1935, p. 196.

l'emplacement du cadre (à bord de l'avion ou à terre) (voir chapitre 5). Nous obtenons ainsi l'organigramme suivant (voir organigramme 3) :



**Organigramme 3 : Usages possibles de la radioélectricité à bord des avions (vers 1935).**<sup>1643</sup>

La radiogoniométrie avec cadre à terre est peu pratique pour les avions militaires. En effet, dans ce cas, l'avion émet une onde afin que l'opérateur à terre puisse effectuer des mesures, ce qui est susceptible de trahir la présence de l'avion en temps de guerre. À l'inverse, l'avion peut être « muet » si le cadre est à bord, ce qui est capital pour la sécurité en temps de guerre. La deuxième méthode serait parfaite si le procédé était précis, mais l'extinction de l'émetteur, qui permet de le repérer, est peu nette et l'avion qui continue à se déplacer peut rendre les mesures et les tracés difficiles<sup>1644</sup>. Le remplacement des cadres radiogoniométriques à bord par un radiocompas permet d'améliorer la précision.

### *Les radiocompas*

Les premiers radiocompas sont testés à la fin des années 1920. Le 3 avril 1928, un équipage constitué du capitaine Girardot (pilote), du capitaine Rey (second pilote), du lieutenant Cornillon (navigateur) et du quartier maître Vigroux (mécanicien) s'envole à destination de Dakar via Colomb-Béchar à bord d'un *Amiot 122*. Outre l'objectif d'effectuer un

<sup>1643</sup> Organigramme construit par mes soins.

<sup>1644</sup> VERCOUTERT, *Op. Cit.*, p. 204.

vol rapide, l'équipage doit étudier la propagation radio en liaison avec cinq stations (Issy-les-Moulineaux, Colomb-Béchar, Bamako, Casablanca et Dakar) et tester un radiocompas, de jour et de nuit, en zone désertique. Notons que l'expérience n'a pas pu être menée correctement, car l'hélice de la génératrice fournissant l'énergie pour l'émetteur radio s'est brisée au-dessus d'Oran et n'a pu être réparée qu'à Bamako ; l'équipage s'est alors dirigé au compas et au sextant<sup>1645</sup>.

L'ingénieur Henri Busignies de la firme LMT a mis au point un radiocompas (voir figure 158), qui est un radiogoniomètre à lecture directe « c'est-à-dire sans autre manœuvre de l'opérateur que l'accord des circuits sur le poste à relever, la direction de ce dernier est automatiquement indiquée sur le cadran »<sup>1646</sup>. L'instrument, dont les premiers essais datent de 1930, va équiper progressivement l'armée de l'Air française à la veille de la Seconde guerre mondiale<sup>1647</sup> mais sans être d'un usage très courant.

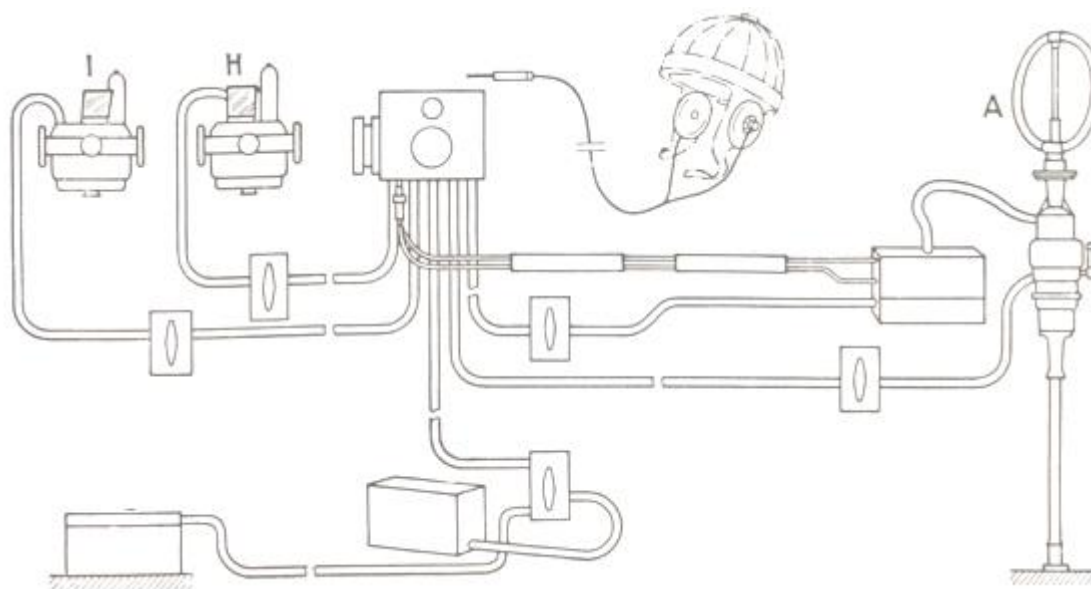


Figure 158 : Schéma d'ensemble d'une installation de radiocompas LMT type RC-5, pour avion (A : cadran, H : indicateur type navigateur, I : indicateur type pilote).<sup>1648</sup>

### Le radiophare

L'autre solution pour se guider est l'utilisation des radiophares. Le procédé est extrêmement simple<sup>1649</sup> puisqu'il s'agit pour l'opérateur de mesurer le temps écoulé à partir d'un signal émis par le radiophare (par exemple Nord ou Est) balayant l'horizon avec une vitesse de rotation constante :

<sup>1645</sup> FERRY V., *Op. Cit.*, p.60.

<sup>1646</sup> BOUTET P., « Navigation et radiogoniométrie », *Revue du ministère de l'Air*, 15 novembre 1935, p. 1570.

<sup>1647</sup> *Science et technique*, Société des ingénieurs civils de France, 1975, p.40. Brevet français n°786515 publié le 5 septembre 1935.

<sup>1648</sup> HOUSSIN J.-L., « La navigation aérienne avec un radiocompas », *L'Aéronautique*, décembre 1936, p. 323.

<sup>1649</sup> VERCOUTERT, *Op. Cit.*, p. 206.

*L'opérateur déclenche un chronographe au moment où il entend par exemple le signal Nord. Lorsque son antenne est balayée par le faisceau, le son (indicateur de radiophare) aux écouteurs est maximum. Il s'est alors écoulé un temps  $t$  depuis que le faisceau est passé face au Nord (...). Connaissant le sens et la vitesse de rotation du faisceau, il est facile d'en déduire l'angle dont il a tourné entre son passage par le Nord et son passage sur l'antenne de réception.*<sup>1650</sup>

Le navigateur calcule l'angle sous lequel a été entendu le signal par la formule :

$$\Theta = (180/T) \times t$$

où  $T$  est le temps d'une rotation de  $180^\circ$ ,  $t$  est le temps mesuré par l'opérateur entre le signal du Nord et l'intensité maximum.  $\Theta$  est alors le relèvement du récepteur par rapport au radiophare (à  $180^\circ$  près). Mais là encore, le procédé ne peut être que très imprécis notamment en raison de la difficulté pour l'opérateur d'apprécier précisément l'intensité maximale du signal sonore.

### *L'utilisation de la radionavigation*

Bien qu'imparfaits, l'état-major de l'armée de l'Air incite, en 1937, les aviateurs à pratiquer tous les types de radionavigation en indiquant qu'« une navigation correcte est un des facteurs principaux du succès des opérations aériennes »<sup>1651</sup> et en précisant :

*Dans ce dernier cas [radiogoniométrie], on utilise, soit les relèvements donnés par des postes de radiogoniométrie situés sur le sol, soit ceux donnés par des radiogoniomètres de bord (à cadre ordinaire ou radiocompas).*<sup>1652</sup>

Les équipements radio installés à bord des avions militaires revêtent donc une importance particulière. Et contrairement à l'aviation marchande qui privilégie un nombre assez restreint de postes d'un modèle uniforme, l'aviation militaire possède des postes très différents pour pouvoir répondre à tous les objectifs de la radioélectricité pour cette arme : téléphonie sans fil, télégraphie en ondes courtes, en ondes moyennes, en ondes longues...<sup>1653</sup>. Repérons les particularités de ces équipements selon la catégorie de l'aéronef.

Tout comme pour les instruments de navigation, les équipements radio ne sont pas toujours présents sur les monoplaces de chasse. Ainsi, si des *Gourdou-Leseurre 32* furent équipés expérimentalement d'appareils radio, les premiers *Dewoitine 500* étaient livrés uniquement avec l'aménagement prévu mais sans la radio. La radio fait cependant de plus en

---

<sup>1650</sup> *Ibid.*

<sup>1651</sup> MINISTÈRE DE L'AIR, *Instruction sur l'emploi tactique des grandes unités aériennes*, Ministère de l'air. État-major de l'Armée de l'Air, édition de 1937, p. 43.

<sup>1652</sup> *Ibid.*

<sup>1653</sup> VERCOUTERT, *Op. Cit.*, p. 197.

plus partie des équipements standards surtout à la fin des années 1930. Mais ces radios avaient une portée de simplement quelques dizaines de kilomètres ce qui est insuffisant pour les distances d'engagement des monoplaces modernes<sup>1654</sup>. Seuls les avions de commandement de chasse, multiplaces, ayant à la fois à diriger l'engagement et à servir d'avion-relais avec le commandement au sol, possèdent un double équipement radio (ondes courtes et ondes moyenne) qui leur permet de communiquer à plus grande distance. Cependant, si certains chasseurs sont équipés de radio, notons également que la radionavigation ne semble pas être pratiquée.

L'utilité des postes de radio à bord des avions de bombardement est reconnue depuis la Première guerre mondiale. Les équipements sont de plus en plus performants. Dans les années 1930, certains avions sont équipés de postes séparés travaillant en onde courtes et moyennes (AVL 40 et M535 sur *Bloch 200*), alors que d'autres sont équipés de postes uniques (RI21 sur *Potez 54*) (voir figure 159). En 1939-1940, de tels postes permettant d'utiliser plusieurs types d'ondes se généralisent<sup>1655</sup>. Les instruments de radiogoniométrie mettent du temps à se généraliser, mais les avions de bombardement « modernes » des années 1939-1940 sont tous équipés en série du radiocompas LMT type RC 5B. Le cadre (voir figure 158) qui mesure 30 cm de diamètre et est peu aérodynamique est soit escamotable sur les *LeO 451*, soit installés sous une des verrières des *Amiot 351-354* (voir figure 160) ou des *Bloch 174-175*<sup>1656</sup>.

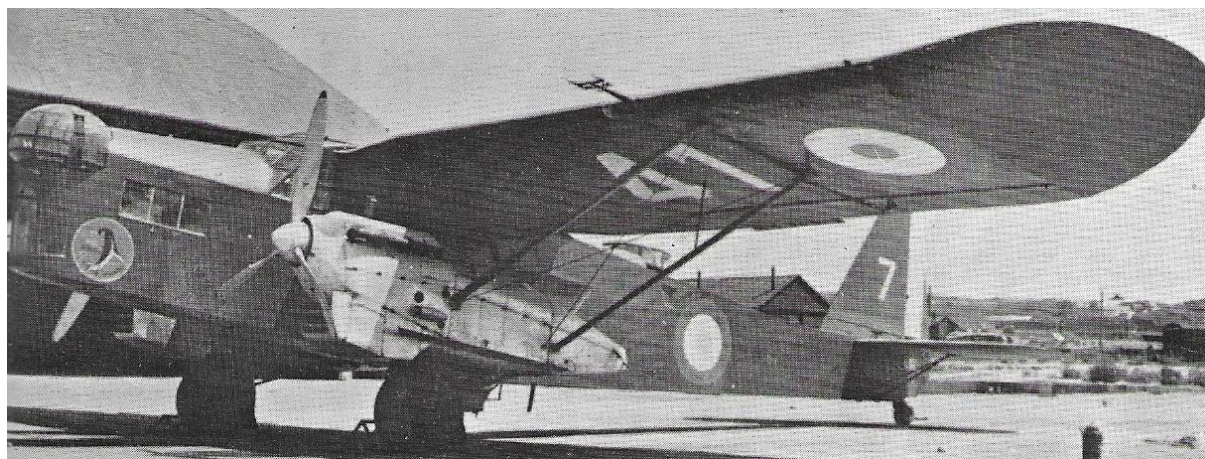


Figure 159 : *Potez 54*.<sup>1657</sup>

<sup>1654</sup> CUNY J. et DANIEL R., *L'aviation de chasse française (1918-1940)*, Op. Cit., p.235.

<sup>1655</sup> CUNY J. et DANIEL R., *L'aviation française de bombardement et de renseignement (1918-1940)*, Op. Cit., p. 378.

<sup>1656</sup> *Ibid.*

<sup>1657</sup> CUNY J. et DANIEL R., Op. Cit., p. 241.





Figure 160 : Amiot 354.<sup>1658</sup>

Les liaisons radioélectriques sont suffisamment efficaces pour que presque tous les avions soient munis d'installations radio à la veille de la Seconde guerre mondiale. Cependant, ces liaisons sont vulnérables. En temps normal, le matériel peut déjà présenter des troubles de fonctionnement, mais en temps de guerre, les ondes peuvent être brouillées, les phares éteints ou à caractéristiques modifiées sans préavis. De plus, les informations météorologiques, indispensables à une navigation à l'estime correcte, ne sont plus disponibles si les liaisons radioélectriques disparaissent. La navigation aérienne astronomique a alors toute sa place en redonnant de l'autonomie aux avions ; c'est en tout cas la thèse que défendent quelques aviateurs militaires face aux sceptiques.

#### 4) La navigation astronomique

Les auteurs français d'études sur la navigation aérienne astronomique dans les années 1930 (le capitaine au long cours A. Bastide, le lieutenant de vaisseau Henri Daillère, le capitaine Guyot) s'accordent avec les auteurs étrangers (italiens, américain, etc.) sur l'intérêt de cette navigation pour l'aviation militaire (et même l'aviation en général)<sup>1659</sup>. Une précision de 10' environ, c'est-à-dire « la possibilité de se situer dans un cercle de rayon 20 km »<sup>1660</sup> correspond à la précision moyenne espérée par le procédé. De ce fait, il est absurde d'utiliser la navigation astronomique sur les trajets de moins de 300 km, car la navigation à l'estime y est aussi précise<sup>1661</sup>. À l'inverse, il est absurde de négliger la navigation astronomique au-delà de 1 000 km<sup>1662</sup> car la

<sup>1658</sup> *Ibid.*

<sup>1659</sup> GUYOT, « La navigation astronomique et l'aviation », *Revue de l'Armée de l'Air*, juin 1935, p. 626.

<sup>1660</sup> *Ibid.*

<sup>1661</sup> DAILLÈRE H., « Le point astronomique dans la navigation aérienne (suite) », *Revue de l'Armée de l'Air*, mai 1933, p. 531.

<sup>1662</sup> *Ibid.*



précision des 20 km revient à naviguer au degré près. Guyot considère même que la navigation astronomique s'impose au-delà de 500 km<sup>1663</sup>.

Les détracteurs du procédé considèrent qu'il est lent et compliqué, ce qui est vrai dans une certaine mesure, mais peut être contrecarré en utilisant des instruments de mesure adaptés aux spécificités de l'aéronautique et surtout les bonnes méthodes.

Deux types de sextants (ou octants) sont en usage dans l'aéronautique en général dans les années 1930. Daillère est partisan du sextant à bulle, notamment le « quadrant Favé » qui est réglementaire dans l'aviation française. Il considère que cet instrument est adapté à la mesure des hauteurs d'étoiles car il « n'est ni plus encombrant, ni plus lourd qu'un sextant ordinaire. Son maniement est facile et l'observateur acquiert rapidement les réflexes nécessaires »<sup>1664</sup>. Ces sextants indiquent la verticale apparente et non la verticale vraie, ce qui est leur principal inconvénient. Or il faut que l'avion se déplace d'un mouvement rectiligne uniforme pour que la verticale apparente et la verticale vraie coïncident, ce qui n'est jamais rigoureusement possible. Des calculs ont été effectués qui montrent que l'erreur due aux accélérations est minimum dans l'axe de l'avion et acceptable dans les vingt degrés autour de cet axe<sup>1665</sup>. De ce fait, le navigateur pourra obtenir une mesure acceptable, d'une part, en observant « au voisinage de l'axe de l'appareil, vers l'avant ou vers l'arrière. Au besoin [en déroutant] pendant l'observation »<sup>1666</sup> et, d'autre part, en prenant « 5 ou 6 hauteurs à la cadence de 30 à 45 secondes pour avoir une bonne moyenne »<sup>1667</sup>. Daillère explique que le sextant gyroscopique, qui permet de faire des observations dans la Marine en l'absence d'horizon, n'a pas été retenu pour l'aéronautique car il est « lourd, encombrant [et] pratiquement inutilisable dans une carlingue »<sup>1668</sup>. Cette opinion n'est toutefois pas partagée par tous les aviateurs. Guyot considère qu'il faut privilégier les sextants gyroscopiques, car ce sont les seuls à même de définir précisément la verticale (qui peut être à la fois utilisée pour la navigation et le bombardement)<sup>1669</sup>.

Toutes les méthodes utilisées en France reposent sur le tracé de la droite de hauteur. Une première série de méthodes correspond à la détermination d'un point de la courbe de hauteur par lequel est menée la tangente ou droite de hauteur, la plus employée étant due à l'amiral

---

<sup>1663</sup> GUYOT, *Op. Cit.*, p. 626.

<sup>1664</sup> DAILLÈRE H., « Le point astronomique dans la navigation aérienne », *Revue de l'Armée de l'Air*, avril 1933, p. 399.

<sup>1665</sup> DAILLÈRE H., *Op. Cit.*, p. 396.

<sup>1666</sup> DAILLÈRE H., *Op. Cit.*, p. 397.

<sup>1667</sup> *Ibid.*

<sup>1668</sup> DAILLÈRE H., *Op. Cit.*, p. 396.

<sup>1669</sup> GUYOT, *Op. Cit.*, p. 622.

Marcq Saint-Hilaire (voir chapitre 2). Mais cette droite de hauteur doit se déterminer rapidement notamment en aviation militaire car « tout procédé empêchant l'observateur de surveiller l'extérieur pendant plus de quelques minutes, est à rejeter »<sup>1670</sup>. Rappelons en effet, que le navigateur fait également fonction d'observateur sur de nombreux avions. L'utilisation du calcul logarithmique n'est pas appropriée à la navigation aérienne car il demande environ 15 minutes ce qui est trop long. La méthode Bertin, réglementaire dans la Marine et appréciée dans l'aviation française en général, permet de résoudre le problème plus rapidement que la méthode logarithmique. La précision obtenue avec le carnet Bertin est de l'ordre du 1/10<sup>e</sup> de degré, soit 6 milles (11 km), ce qui est suffisant. Mais cette méthode nécessite de faire des interpolations qui prennent entre 8 et 10 minutes ce qui peut être encore trop long pour un observateur-navigateur. D'autres tables sont utilisées dans les armées de l'air étrangères (Angleterre, États-Unis, Italie) qui pourraient être une source d'inspiration intéressante pour les Français selon Daillère et Bastides. Les Français ont également à leur disposition des méthodes graphiques (procédé Kahn, procédé Favé-Brill). Le procédé Kahn, qui donne peut-être le résultat le plus précis<sup>1671</sup>, n'est pas totalement adapté à l'aéronautique militaire, car il est surtout avantageux sur les parcours déterminés à l'avance, ce qui n'est pas toujours le cas pour les avions militaires. Le procédé Favé-Brill (voir chapitre 6) semble plus approprié car « l'opération est extrêmement simple et rapide »<sup>1672</sup> de l'ordre de trois minutes pour un point par trois étoiles même s'il manque de précision en raison de l'échelle de la carte.

Même si les marins volants considèrent que les techniques de navigation astronomique peuvent être acquises par tout navigateur motivé, cette opinion n'est pas partagée par l'ensemble des aviateurs militaires. Il faudrait limiter au maximum l'étape des calculs préliminaires (voir chapitre 2) car le navigateur a diverses tâches à accomplir dans un avion militaire et surtout :

*Il faut aussi pour les aviateurs militaires tenir compte de la tension d'esprit considérable de l'équipage guetté dans sa mission de bombardement ou de reconnaissance lointaine par l'ennemi. Cette tension d'esprit, jointe à la fatigue provoquée par les bruits intenses de l'avion, le froid et l'altitude, diminue notablement les facultés de raisonnement des navigateurs.*<sup>1673</sup>

---

<sup>1670</sup> DAILLÈRE H., *Op. Cit.*, p. 401.

<sup>1671</sup> DAILLÈRE H., « Le point astronomique dans la navigation aérienne (suite) », *Revue de l'Armée de l'Air*, mai 1933, p. 532.

<sup>1672</sup> DAILLÈRE H., *Op. Cit.*, p. 521.

<sup>1673</sup> GUYOT, *Op. Cit.*, p. 625.

Un officier de marine répondrait à cet argument que le meilleur moyen pour lutter contre cette fragilité est de s'entraîner intensément afin d'automatiser la technique du point astronomique, mais encore faut-il avoir un personnel spécialisé. Il est possible d'instruire en ce sens en temps de paix, mais la guerre, qui semble de plus en plus proche dans les années 1930, modifierait la composition des équipages :

*En temps de guerre, la quantité d'avions à pourvoir en personnel, les pertes subies, le peu de temps dont on dispose pour faire l'instruction d'observateurs sur la navigation, le bombardement, le tir, la reconnaissance, la liaison, etc., oblige à faire des cours rapides à des gens dont certains sont de culture assez moyenne. Il est donc indispensable de rechercher des procédés d'usage simple, pouvant être enseignés rapidement au plus grand nombre d'individus.*<sup>1674</sup>

Cette équation n'est pas encore résolue en France. Pourtant, les équipages ont tout intérêt à maîtriser la navigation astronomique afin de ne pas craindre de quitter le sol de vue en passant au-dessus des nuages<sup>1675</sup>. La navigation astronomique pour les avions militaires permet de gagner en sécurité en temps de guerre. L'intérêt de cette navigation est également important pour l'aviation à grand rayon d'action ou coloniale.

##### 5) Les spécificités de la navigation aérienne dans l'aviation coloniale

La situation de l'aviation coloniale est particulière. Bien que les escadrilles des différents territoires de l'empire (Algérie-Tunisie, Maroc, Levant, Indochine, Afrique occidentale française, Afrique orientale française, Afrique équatoriale française, Côte française des Somalis) soient considérées comme détachées de l'aéronautique métropolitaine depuis février 1929<sup>1676</sup>, elles poursuivent l'action initiée dès la fin de la Première guerre mondiale. L'aviation d'outre-mer remplit une mission « civilisatrice » en collaborant à l'œuvre coloniale<sup>1677</sup> ayant de ce fait des caractéristiques très différentes de l'aviation militaire de métropole. Le général Denain, ministre de l'Air, résume le rôle de l'aviation coloniale en 1934 sur un ton courant à l'époque :

*L'aviation est un des outils de la grande œuvre et de l'unité de l'Empire colonial. [...] Quel rôle assigner à l'aviation dans la colonisation qui est une émancipation, une harmonie : rendre les populations et les terres nouvelles maniables à la civilisation et au génie français – l'aviation résout aux colonies tous les problèmes, elle ouvre des*

---

<sup>1674</sup> Ibid.

<sup>1675</sup> GUYOT, Op. Cit., p. 627.

<sup>1676</sup> Décret du 16 février 1929, *Journal Officiel*, 20 janvier 1929, p. 2113.

<sup>1677</sup> MANCHON J.-B., *L'aéronautique militaire française outre-mer 1911-1939*, Paris, PUPS, 2013, p. 209.

*itinéraires, établit des liaisons, sauve des malades, bénéficie d'une inépuisable force de suggestion, fortifie notre prestige, est en somme un instrument parfait d'autorité et de commandement.*<sup>1678</sup>

Il est ainsi parfois difficile de déterminer ce qui relève du domaine militaire ou du domaine commercial<sup>1679</sup>, les trois missions dévolues à l'aviation restant au début des années 1930 : maintenir l'ordre, aménager le territoire et assurer les liaisons. Elle effectue notamment des missions de police coloniale avec une utilisation occasionnelle et modérée des bombardements comme en Indochine (en pays Moï) en mars 1929<sup>1680</sup> ou pour surveiller les populations nomades du Levant (8 escadrilles en assurent la couverture aérienne jusqu'en 1932<sup>1681</sup>). Mais c'est dans l'aménagement et la mise en valeur des territoires ainsi que dans l'aviation de liaison que s'expriment le mieux les qualités des navigateurs de l'aviation coloniale.

La création de l'armée de l'Air et la montée d'un climat de guerre international aboutissent, à partir 1934, à la redéfinition des objectifs prioritaires de cette aviation qui d'« aviation aux colonies » devient « aviation impériale »<sup>1682</sup>. Sa principale tâche est alors la maîtrise de l'espace aérien et la défense des territoires d'outre-mer. De plus, les modalités de recrutement du personnel sont révisées afin d'attirer un personnel technique plus instruit dont des radionavigants et des photographes aériens.

Les missions d'exploration en Indochine et dans le Levant se raréfient dès la fin des années 1920. En effet, les territoires survolés étant de plus en plus familiers, les restrictions budgétaires des années 1925-1930 sont répercutées sur ce type d'expéditions<sup>1683</sup>. L'Afrique, en revanche, continue d'être explorée à la fois par les escadrilles coloniales et également par des pilotes ou des équipages (militaires ou de la marine) venus de métropole, jusqu'au milieu des années 1930.

### *Usage météorologique de la radiotélégraphie dans l'aviation coloniale*

L'exploration de ces territoires permet un développement progressif de la radiotélégraphie. Être capable d'utiliser la radiogoniométrie serait un atout, mais ce n'est pas la préoccupation principale des aviateurs. La première utilisation de la radioélectricité pour la navigation

---

<sup>1678</sup> ANDRÉ (élève administrateur), *Mémoire sur l'aviation*, Centre des archives d'Outre-mer d'Aix-en-Provence, 3 ECOL 22, in MANCHON J.-B., *Op. Cit.*, p. 652.

<sup>1679</sup> Voir sur cette question FERRY V., *Op. Cit.*

<sup>1680</sup> MANCHON J.-B., *L'aéronautique militaire française outre-mer 1911-1939*, Paris, PUPS, 2013, p. 373.

<sup>1681</sup> MANCHON J.-B., *Op. Cit.*, p. 377.

<sup>1682</sup> MANCHON J.-B., *Op. Cit.*, p. 526.

<sup>1683</sup> MANCHON J.-B., *Op. Cit.*, p. 351.

aérienne concerne la transmission d'informations météorologiques et la sécurité des vols qu'elle permet. Malheureusement, l'installation des matériels de radio-télécommunication à terre et à bord des avions est lente alors que de nombreuses stations météorologiques sont déjà en activité au milieu des années 1930 (le maillage météorologique de l'Afrique équatoriale française est achevé en 1936). Le capitaine Michel, commandant de l'Afrique équatoriale française faisait d'ailleurs remarquer en 1933 :

*La cause majeure qui empêche à l'heure actuelle un bon fonctionnement de la protection météorologique en Afrique équatoriale française vient de ce que ce problème n'a jamais été abordé sous son vrai jour, à savoir qu'un service météorologique ne peut assurer la protection de la navigation aérienne que s'il est doublé d'un réseau télégraphique chargé particulièrement de la transmission et de la réception des messages météo.*<sup>1684</sup>

Il semblerait que la situation soit meilleure en Indochine en 1937. En effet, les 46 stations météorologiques qui y sont disséminées peuvent transmettre leurs informations au travers des postes de Gialâm, Vientiane et Vinli, qui sont dotés de postes émetteurs ainsi d'ailleurs que de postes radiogoniométriques<sup>1685</sup>.

Certains territoires, comme ceux du Maroc ou du Levant, sont rapidement dotés en postes radiotélégraphiques terrestres destinés à l'aviation militaire (dès le début des années 1920), alors que ce n'est pas le cas dans le reste de l'Empire. Cette différence vient probablement des opérations militaires en cours durant les années 1920, la guerre du Rif au Maroc (avril 1925-mai 1926) et la révolte du Djebel Druze (juillet 1925-juillet 1927) qui ont nécessité d'intensifier les liaisons entre le commandement et les avions ainsi qu'entre avions. Comme les dotations de l'aviation coloniale en matériels radiotélégraphiques sont peu importantes, les espaces immenses restent difficiles à équiper. De ce fait, les aviateurs militaires utilisent régulièrement les postes radiotélégraphiques de l'armée de Terre ou ceux de l'aviation civile même à la fin des années 1930<sup>1686</sup>.

#### *Utilisation de la radiotéléphonie pour se repérer et s'orienter*

Les liaisons radioélectriques jouent un rôle essentiel dans l'ouverture de nouvelles routes en Afrique dans les années 1930. C'est le cas pour la création de la double liaison Maroc-Soudan par Taoudéni en novembre 1934. Il s'agissait là d'ouvrir la voie, d'une part, de M'Reïti à

---

<sup>1684</sup> CR n°106.1 du 7 octobre 1933, Brazzaville, SHD-Air, 6C2265, d. 3. In MANCHON J.-B., *Op. Cit.*, p. 365.

<sup>1685</sup> QUEVENEY Claude, « L'aviation en Indochine », *L'Action française*, 23 août 1937, p. 4.

<sup>1686</sup> MANCHON J.-B., *Op. Cit.*, p. 369.

Taoudeni grâce à une liaison combinée avion-auto et, d'autre part, de Chegga à Taoudeni via Terhazza, cette fois par une liaison purement aérienne. Dans les deux cas, un détachement de trois avions *Potez 25 TOE*, avec un avion sur deux muni d'un poste de radio E35 avec un groupe de secours (l'un des avions du second détachement est en plus équipé d'un poste OC6), assure la liaison aérienne<sup>1687</sup>. Les automobiles du premier groupe d'exploration sont en plus munies d'un poste de TSF mobile. Chaque détachement comprend un officier pilote, chef de mission, et un officier observateur, chargé de la navigation. Aucune carte n'étant encore disponible, ils utilisent des croquis « sans doute incomplets, [mais qui] avaient l'avantage de porter un certain nombre de points géographiques exacts, ce qui permit une navigation au compas relativement précise »<sup>1688</sup>. En plus du compas, les aviateurs ont eu recours à la radio. Dans la liaison conjugée des automobiles et des avions, « l'avion-radio restait en liaison avec le poste léger du convoi et celui d'Agadir »<sup>1689</sup>. La navigation est moins aisée pour l'autre liaison, car les renseignements dont ils disposent sont incomplets. Ils accomplissent l'étape Chegga-Terhazza « grâce à l'action combinée de la navigation et de la radio »<sup>1690</sup> puis atteignent Taoudéni « par simple navigation à l'estime, malgré les vents de sable »<sup>1691</sup>. Il semblerait que l'absence de carte fiable ait été l'élément le plus contraignant dans l'ouverture de cette route. Mais la participation à l'élaboration du cadastre ou à la réalisation de cartes précises entre dans les attributions de l'aviation coloniale.

### *L'élaboration du cadastre et des cartes grâce à la photographie aérienne*

Le cadastre en Indochine va servir de laboratoire pour l'utilisation de la photographie aérienne. Il fut demandé à l'aviation militaire, dès 1920, de pratiquer des essais de relevés photographiques aériens dans la province de Hadong. Mais le procédé mis en pratique durant la Première guerre mondiale pour réaliser des plans directeurs (voir chapitre 5) n'est pas assez précis pour l'élaboration du cadastre à l'échelle 1/1 000<sup>e</sup> demandée<sup>1692</sup>. La technique est en revanche suffisamment au point au début des années 1930 pour les plans à l'échelle du 1/1 000<sup>e</sup> ou même au 1/500<sup>e</sup> car il existe dorénavant des appareils de vue, ainsi que des appareils de restitution, perfectionnés<sup>1693</sup>. De plus, des techniques de vol, en vue de la photographie

<sup>1687</sup> BOUSCAT (Col.), « La liaison automobile et aérienne Maroc-Soudan par Taoudéni », *Revue de l'Armée de l'Air*, février 1936, pp. 131-144.

<sup>1688</sup> BOUSCAT (Col.), *Op. Cit.*, p. 138.

<sup>1689</sup> BOUSCAT (Col.), *Op. Cit.*, p. 139.

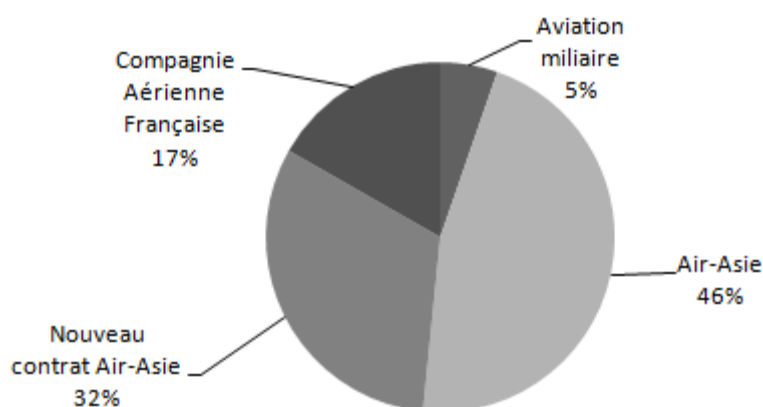
<sup>1690</sup> *Ibid.*

<sup>1691</sup> *Ibid.*

<sup>1692</sup> RÉNY Edmond., *Monographie générale du cadastre en Indochine*, Exposition coloniale (Paris, 1931), Montreuil-sous-Bois, Imprimerie de la Seine, 1931, p. 39.

<sup>1693</sup> RÉNY E., *Op. Cit.*, p. 43.

aérienne, ont également été mises au point, mais les militaires ne sont pas toujours à même de les appliquer. En effet, l'aviation coloniale ne dispose pas d'assez d'avions et ses pilotes et observateurs ne sont pas suffisamment formés pour effectuer tout le travail de relevés photographiques aériens attendus. Aussi est-il parfois fait appel à des sociétés privées pour effectuer des prises de vue et la part de l'aviation militaire s'en trouve fortement réduite comme au Cambodge de 1929 à 1931 (voir graphique 4).



**Graphique 4 : Contrats en cours ou en préparation à l'exercice de 1929-1930-1931 pour les photographies aériennes au Cambodge sur un budget de 568000 \$.**<sup>1694</sup>

L'aviation coloniale participe également aux travaux cadastraux au Levant à partir de 1927, bénéficiant ainsi des expérimentations en Indochine. Ses réalisations sont plus efficaces car ses officiers observateurs ont alors reçu une formation à la géodésie. Toutefois, la part de l'aviation coloniale dans l'élaboration du cadastre n'est pas non plus prépondérante dans cette région de l'Empire colonial français<sup>1695</sup>.

L'utilisation de la photographie aérienne pour la réalisation de cartes a une place plus importante que pour le cadastre en raison principalement des échelles utilisées (1/50 000<sup>e</sup>, 1/100 000<sup>e</sup>, 1/200 000<sup>e</sup> le plus souvent). Le travail d'équipe entre le pilote et son observateur y est essentiel car il s'agit pour le pilote de maintenir une altitude et un cap afin de permettre à l'observateur d'actionner un appareil de prises de vues verticales. L'avion effectue deux passages, le premier servant à la reconnaissance des détails caractéristiques du terrain, alors qu'une série de photographies stéréoscopiques panoramiques est effectuée lors du second<sup>1696</sup>. L'ensemble des clichés est traité de retour à la base par la section photographique pour donner soit une nouvelle carte de reconnaissance, soit un rectificatif pour les cartes d'état-major déjà

<sup>1694</sup> RÉNY E., *Op. Cit.*, p. 73.

<sup>1695</sup> MANCHON J.-B., *Op. Cit.*, p. 396.

<sup>1696</sup> MANCHON J.-B., *Op. Cit.*, p. 387.

réalisées<sup>1697</sup>. La fin des années 1920, et le début des années 1930, voient une coopération accrue entre l'aviation coloniale et les services géographiques. Le travail des marins de l'escadrille 5B2 sur le versant sud de la chaîne du Haut-Atlas est particulièrement apprécié. La place dont ils disposent dans leur *Farman Goliath* leur permettant l'utilisation combinée de deux appareils photographiques (en position verticale et oblique), mais probablement aussi leurs qualités de navigateurs alliées au grand rayon d'action de leur avion, sont à l'origine de ce succès. Les aviateurs prennent d'ailleurs 25 000 clichés supplémentaires de 1930 à 1935, permettant d'achever la carte du Maroc au 1/200 000<sup>e</sup>. Les autres territoires de l'Empire colonial français bénéficient de la même collaboration entre l'aviation militaire et les services géographiques comme Madagascar dont 700 000 hectares sont cartographiés en 1936 après 5 ans d'activité<sup>1698</sup>. De nombreuses prises de vues sont effectuées lors de missions cartographiques mais également lors d'expéditions de reconnaissance, du fait principalement de l'aviation coloniale mais aussi d'équipages venus de métropole.

### *L'Afrique, un territoire permettant de s'entraîner à la navigation aérienne*

Pierre Cot, ministre de l'Air, décide d'organiser une tournée aérienne en Afrique, connue dans la presse sous le nom de « Croisière noire », pour marquer l'indépendance de la nouvelle Armée de l'air créée en 1933. Cette entreprise, qui rassemble 28 *Potez 25 type TOE* fournis par les unités d'observation de métropole (voir figure 161), est commandée par le général Vuillemin. Les avions quittent Istres le 8 novembre 1933 pour atterrir au Bourget le 15 janvier 1934 après avoir parcouru plus de 25 000 km en 35 étapes et environ 170 heures de vol (voir carte 17)<sup>1699</sup>. La diversité des étapes en termes de distances et de paysages survolés permet aux équipages de s'entraîner à la navigation aérienne dans des conditions qu'ils ne rencontrent pas en métropole.



**Figure 161 : Avions de l'escadre Vuillemin à Istres.<sup>1700</sup>**

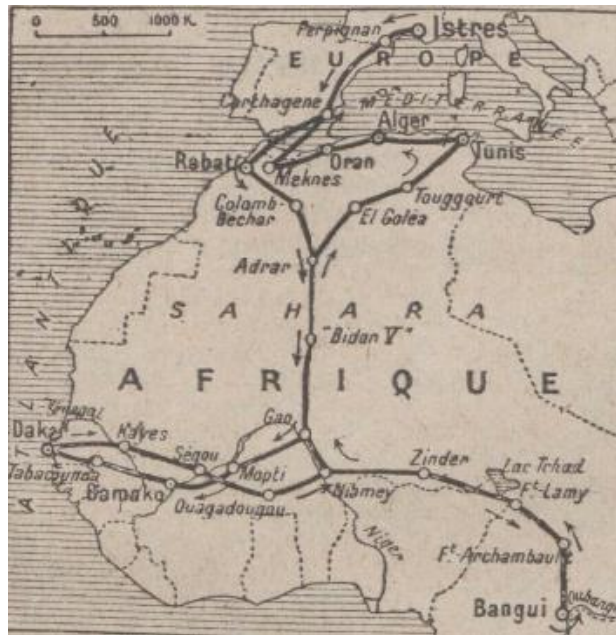
<sup>1697</sup> PENNÈS P., « Notes sur l'exploration aérienne des pays inaccessibles à l'exploration terrestre », *Revue de l'aéronautique militaire*, mai-juin 1927, pp. 52-59.

<sup>1698</sup> *Rapport de l'ingénieur en chef Hirschauer sur la ligne aérienne France-Madagascar*, Musée de l'Air et de l'espace du Bourget, F°2153.

<sup>1699</sup> MULLER G., *Une croisière pour célébrer la création de l'armée de l'air : la Croisière noire (1933-1934)*, <https://leblogsouslescocardes.wordpress.com>, consulté le 13 août 2018.

<sup>1700</sup> « Les premières étapes de l'escadre Vuillemin », *Les Ailes*, 16 novembre 1933, p. 11.





Carte 17 : Itinéraire prévu de la croisière en Afrique.<sup>1701</sup>

Cette importante démonstration répond à un triple objectif. Tout d'abord, il s'agit pour la France d'affirmer son rang de grande puissance aéronautique, principalement face à l'Italie fasciste. En effet, les ambitions italiennes en Afrique et les succès aériens de l'escadre d'Italo Balbo inquiètent les autorités françaises. Ensuite, c'est une œuvre de propagande vis-à-vis des populations africaines afin de leur montrer la « sollicitude » de la France et ses capacités unificatrices<sup>1702</sup>. Enfin le but est double vis-à-vis des équipages :

*Le Haut commandement veut que ce voyage soit une récompense pour les bons équipages de notre Aviation, une occasion pour eux de pousser à fond un certain nombre d'études et d'expériences de vol en escadre et de navigation.*<sup>1703</sup>

Nous remarquons donc que cette expédition est l'occasion de pratiquer la navigation hors des routes métropolitaines, même si l'itinéraire choisi présente assez peu de difficultés car il survole des régions reconnues et des terrains préparés. Les équipages rencontrent cependant des vents de sables qui compliquent la navigation<sup>1704</sup>.

L'escadre, divisée en quatre escadrilles, est principalement constituée de militaires, dont le capitaine Dévé (voir chapitre 6), navigateur dans la quatrième escadrille. La marine a fourni deux équipages pour l'expédition, dont le lieutenant de vaisseau Chassin (voir chapitre 6),

<sup>1701</sup> « Ce que sera le voyage de l'escadre Vuillemin », *Les Ailes*, 17 août 1933, p. 7.

<sup>1702</sup> FERRY V., *Op. Cit.*, p. 67.

<sup>1703</sup> « Ce que sera le voyage de l'escadre Vuillemin », *Op. Cit.*, p. 7.

<sup>1704</sup> FERRY V., *Op. Cit.*, p. 67.

navigateur dans la troisième escadrille. De retour en France, Dévé anime des conférences organisées par la Société française de navigation aérienne afin de présenter l'expédition.

La réussite de la croisière inspire l'état-major de l'armée de l'Air qui décide de réitérer les démonstrations de force en organisant une nouvelle croisière et des grandes manœuvres aériennes outre-mer. La croisière en Afrique du Nord, qui est constituée de douze *Amiot 143 Gnome-Rhone* de la 22<sup>e</sup> escadre (voir figure 162), quitte Chartres le 15 juin 1936. Une organisation similaire à celle qui a fait ses preuves pour la croisière de l'escadre Vuillemin est employée. Une attention particulière est portée à l'équipement radioélectrique des bimoteurs employés :

*Tous les avions étaient équipés d'un matériel de radio, double, qui leur permettaient de rester, d'une part, en liaison constante avec les postes terrestre de météorologie, de T.S.F. et de radiogoniométrie et d'autre part de communiquer à tout instant entre eux.*<sup>1705</sup>

La croisière de plus de 7 000 km, qui ramène la flottille à Chartres le 1<sup>er</sup> juillet 1936, se déroule en neuf étapes (entre 350 km et 1 600 km chacune), plus une journée dédiée aux exercices de bombardement près d'Oran.

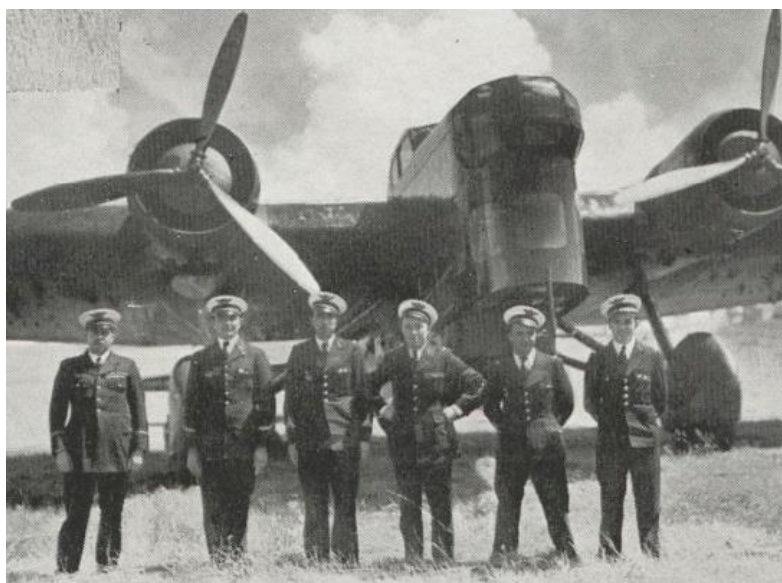


**Figure 162 : L'un des équipages de la croisière Nord Africaine devant un bimoteur Amiot 143 Gnome-Rhone.**<sup>1706</sup>

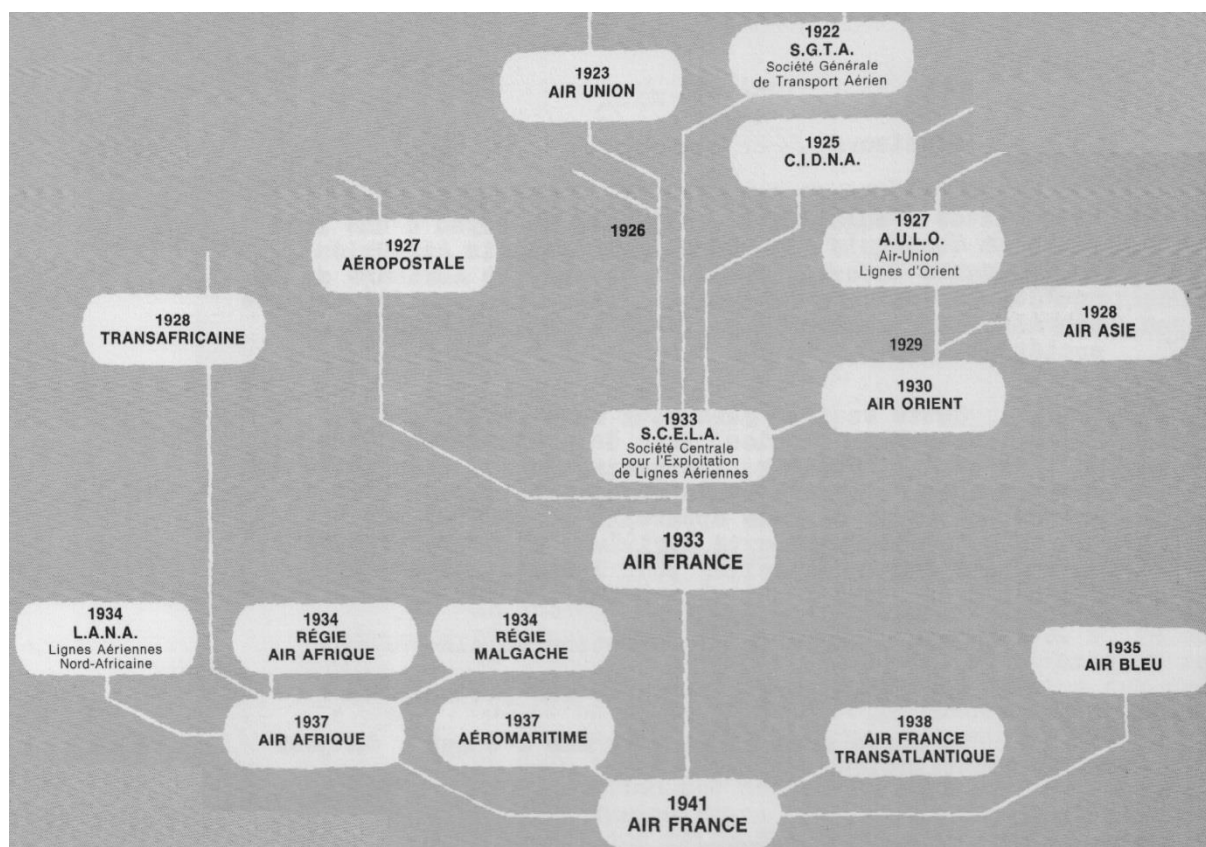
Les autorités militaires organisent l'année suivante, en novembre 1937, des grandes manœuvres aériennes en Afrique du Nord. 100 appareils des forces métropolitaines (1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> corps aérien), plus les avions des unités régulièrement stationnées en Afrique du Nord et aux

<sup>1705</sup> « La croisière Nord Africaine d'une flottille de la 22<sup>e</sup> escadre », *Plein ciel journal*, mai 1936, p. 18.

<sup>1706</sup> « La croisière Nord Africaine d'une flottille de la 22<sup>e</sup> escadre », *Op. Cit.*, p. 21.



cumulés chaque année entre 1929 et 1932) pour trois lignes dont la mythique France-AOF-Amérique du Sud qui atteint les 13 500 km de Toulouse à Santiago-du-Chili à partir de juillet 1929. Air Union assure notamment la ligne Paris-Londres, qui est celle ayant le plus gros trafic en Europe. La CIDNA, La SGTA et enfin la compagnie Air-Orient complètent l'offre française. Ces cinq compagnies fusionnent en une seule compagnie Air France.



**Organigramme 4 : Année de création et fusions éventuelles des compagnies aériennes françaises à partir de 1927 (suite de l'organigramme 2 du chapitre 7).<sup>1710</sup>**

Air France est créée le 30 août 1933 sur la base juridique de la loi du 11 décembre 1932 fixant le statut de l'aviation marchande<sup>1711</sup>. Cette loi prévoyait trois possibilités : soit les compagnies sont directement exploitées par l'État (en régie), soit elles sont privées et non subventionnées, soit elles restent subventionnées car elles assurent un service d'intérêt général. Dans un premier temps, la SCELA est constituée le 19 mai 1933 de la fusion d'Air Union, de la SGTA et de la CIDNA. La société d'économie mixte Air France voit le jour le 31 mai 1933 suite au rachat des actifs de la Compagnie Générale Aéropostale, qui est alors en liquidation

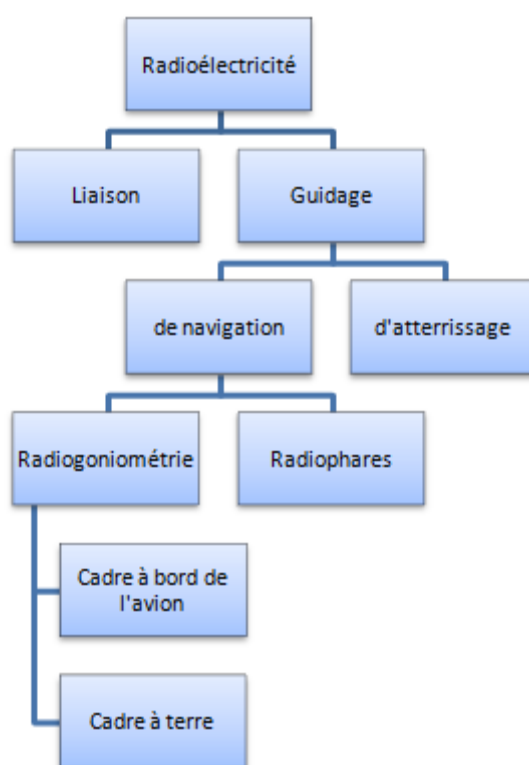
<sup>1710</sup> Extrait de LASSERE J. (Dir.) et PETIT E. (Dir.), « Air France et son histoire 1933-1983. Première partie 1933/1959 », *Icare*, mars 1983, p. 38.

<sup>1711</sup> Voir LASSERE J. (Dir.) et PETIT E. (Dir.), *Op. Cit.*

judiciaire depuis deux ans (voir organigramme 4). Le réseau d’Air France, composé d’une juxtaposition des lignes des anciennes compagnies qu’il regroupe, subit peu de transformations<sup>1712</sup>. Quelques lignes africaines sont attribuées à d’autres compagnies, l’aviation marchande en Afrique trouvant sa place parmi les compagnies subventionnées en raison de leur intérêt économique et politique.

### 1) La radioélectricité gage de sécurité aérienne : les Établissements régionaux autonomes (1930-1934)

La sécurité de la navigation de l’aviation marchande des années 1930 repose essentiellement sur la radioélectricité (voir organigramme 5).



**Organigramme 5: Usages possibles de la radioélectricité à bord des avions (vers 1935).**<sup>1713</sup>

Les avions de transport public sont pour la plupart munis d’équipements radio, manipulés par un personnel qualifié (muni d’une licence de télégraphiste), comme le stipule le décret signé par Gaston Doumergue le 19 août 1926 :

<sup>1712</sup> ROBINEAU L (Dir.), *Op. Cit.*, p. 646.

<sup>1713</sup> Rappel de l’organigramme construit par mes soins.

*Tout aéronef de transport public susceptible de recevoir au moins dix personnes, équipage compris, doit être muni d'un appareil de radiotélégraphie lorsqu'il doit parcourir plus de 160 kilomètres sans escale ou survoler la mer en s'écartant de plus de 12 kilomètres 500 de toute côte.*<sup>1714</sup>

Cette disposition est également rendue obligatoire au niveau international suite à la Convention radiotélégraphique internationale de Washington du 25 novembre 1927. Mais ces dispositions semblent malaisées à mettre en place puisqu'un décret du 27 décembre 1934 dispense une partie des avions de transport de les appliquer :

*Toutefois, s'ils sont exclusivement affectés au transport de la poste et des marchandises, si leur poids total n'excède pas 2.000 kilogr. et si enfin, dans le cas où ils se livrent à la navigation aérienne au-dessus de la mer, ils ne s'écartent pas de plus de 25 kilomètres des côtes, les aéronefs de transports publics sont dispensés de l'obligation contenue dans les articles précédents [notamment ceux du décret du 19 août 1926].*<sup>1715</sup>

La radionavigation est pourtant particulièrement adaptée à l'aviation civile. En effet, contrairement à l'aviation militaire, l'aviation marchande utilise le guidage radio à heure fixe suivant des itinéraires bien connus<sup>1716</sup>. De plus, le personnel radiotélégraphiste à terre, ou à bord des avions, est spécialement formé à la pratique de la radionavigation (« l'entraînement annuel [des radios-navigants à bord] est 4 à 5 fois supérieur à celui des radios navigants militaires »<sup>1717</sup>). Enfin, le matériel utilisé par les différentes compagnies est assez standardisé. La sécurité de la navigation aérienne est assurée jusqu'en mars 1930 par le SNAé. Si les équipements radio se multiplient à la fin des années 1920, les stations radio équipées de postes radiogoniométriques et les phares aériens, sont encore peu nombreux. La radiotéléphonie prévaut alors sur la radiotélégraphie car, bien qu'encombrante en bande passante, elle réussit à gérer le trafic puisque le nombre d'avions en vol est encore faible. La France possède uniquement six phares aériens en 1927 (Le Bourget, Villeneuve-Orly, Strasbourg, Lyon, Bordeaux et Marseille)<sup>1718</sup> alors que leur intérêt a été mis en lumière durant la Première guerre mondiale (voir chapitre 5). Les stations s'équipent progressivement en postes radiogoniométriques afin de ne pas troubler le trafic entre stations de contrôle (« avec les

---

<sup>1714</sup> Art. 2 du décret du 19 août 1926, *Journal Officiel* n° 205 du 3 septembre 1926, p. 9934. Les aéronefs susceptibles de recevoir moins de cinq personnes ou entre cinq et dix personnes (équipage compris) sont également concernées (Art. 3 et Art. 4) mais les caractéristiques des appareils de radiotélégraphie sont moins contraignantes.

<sup>1715</sup> Art. 10 bis du décret du 27 décembre 1934, *Journal Officiel* du 29 décembre 1934, p. 13112.

<sup>1716</sup> VERCOUTERT, *Op. Cit.*, p. 195.

<sup>1717</sup> VERCOUTERT, *Op. Cit.*, p. 196.

<sup>1718</sup> HUBERT J., *Chronique de la navigation aérienne*, Toulouse, édition ENAC, 1987, p. 90.

récepteurs de l'époque à large sélectivité et des émetteurs non pilotés par quartz il fallait éviter les brouillages »<sup>1719</sup>). 13 stations de Métropole et d'Afrique du Nord sont équipées de postes radiogoniométriques octobre 1928 et 10 autres sont prévus (voir carte 19).



Carte 19 : Situation des postes radiogoniométriques du SNAé (octobre 1928) établi d'après la revue professionnelle des radioélectriciens d'octobre 1928.<sup>1720</sup>

Le SNAé est supprimé le 1<sup>er</sup> avril 1930 au profit de trois Établissements régionaux autonomes installés à Paris, Marseille et Alger. L'effectif des stations s'élève à trois chefs de postes principaux, quarante chefs de postes ordinaires et 185 opérateurs plus du personnel administratif ainsi que des agents de maîtrise et des ouvriers<sup>1721</sup>. Ces établissements n'assurent la sécurité aérienne qu'en Métropole et en Afrique du Nord. Les autres territoires sont gérés par des opérateurs radio du ministère des colonies<sup>1722</sup>.

Le nombre d'avions en vol à gérer simultanément augmentant, les opérateurs délaissent la radiotéléphonie pour utiliser principalement la radiotélégraphie. La radiogoniométrie est encore un aspect secondaire de l'activité des opérateurs radio d'autant que l'« effet nuit »<sup>1723</sup> perturbe l'usage nocturne des radiogoniomètres. D'ailleurs, en avril 1933, les goniomètres du

<sup>1719</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 89.

<sup>1720</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 105.

<sup>1721</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 117.

<sup>1722</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 129.

<sup>1723</sup> La nuit les ondes se propagent mal, ce qui donne un relèvement imprécis. Les Britanniques font des essais pour mettre au point du matériel insensible à l'« effet nuit » au début des années 1930 mais pas les Français.

Bourget, de Strasbourg, de Tours et de Nancy n'ouvrent qu'à partir de 5 h 00 alors que les stations radio sont ouvertes dès 3 h 45 (pour le premier bulletin météo) et ferment à 20 h 00<sup>1724</sup>.

Ces stations suivent les vols des avions des compagnies françaises et des compagnies étrangères survolant le territoire.

## 2) La radiogoniométrie avec les pilotes de « l'Aéropostale » (1927-1934)

### *L'aéronautique en Afrique*

Le cas africain reste à part, car contrairement à l'aviation métropolitaine, l'aviation militaire continue à y dominer le secteur marchand.

Les hommes d'affaires français Paul-Louis Weiller<sup>1725</sup> et Marcel Bouilloux-Lafont ont certes les mêmes projets en Afrique, mais un équilibre financier est difficile à trouver faute de recettes commerciales. Le lieutenant Jean Dagnaux, mis en disponibilité de l'aviation militaire en 1928 pour prendre la direction de la Compagnie générale d'aviation Air-Afrique de Paul-Louis Weiller, a cette formule à propos de l'aviation en Afrique : « [l'avion] ne paie que dans des cas très rares et des conditions très particulières et (qu') il est une arme avant d'être un outil »<sup>1726</sup>.

Comme en métropole, l'État incite Air-Afrique de Paul-Louis Weiller et l'Aéropostale de Marcel Bouilloux-Lafont à se regrouper. La Compagnie transafricaine d'aviation (CTA ou « Transafricaine ») est créée en décembre 1929. C'est une compagnie privée dont le capital et l'organisation de l'état-major sont divisées à parts égales entre les deux hommes d'affaires et qui est dirigée par Dagnaux. Mais des problèmes dus à des malversations financières et amplifiés par les difficultés de l'Aéropostale empêchent la CTA de fonctionner. L'aviation militaire d'Algérie et d'AOF est même sollicitée pour combler l'absence d'aviation marchande au-dessus du Sahara (ce qui se traduit par seulement sept vols entre le 14 mars et le 2 mai 1933<sup>1727</sup>). Les retentissements de la « croisière noire » du général Vuillemin (voir paragraphe précédent) incitent les ministres de l'Air (Cot puis Denain) à créer une régie africaine. Deux lignes (Alger-Congo et Casablanca-Tunis) sont ouvertes suite au décret du 16 mai 1934 qui précise son organisation<sup>1728</sup>. Par ailleurs, l'exploitation d'une ligne de Tananarive à Madagascar

---

<sup>1724</sup> Informations données par le *Bulletin de la navigation aérienne* d'avril 1933 cité par HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 130. Ces informations sont partielles car elles ne concernent que les stations du nord de la France.

<sup>1725</sup> Paul-Louis Weiller (1893-1993).

<sup>1726</sup> Dagnaux cité par FERRY V., *Ciels impériaux africains 1911-1940*, éditions du Gerfaut, 2005, p.141.

<sup>1727</sup> FERRY V., *Op. Cit.*, p. 183.

<sup>1728</sup> FERRY V., *Op. Cit.*, p. 184.



jusqu'à Broken Hill en Rhodésie du Nord, escale d'une compagnie britannique la plus proche de la colonie française, débute en juillet 1934 (la Régie Malgache, voir organigramme 4).

L'Aéropostale a la particularité d'être comptée parmi les principales compagnies de France métropolitaine et d'opérer en partie en Afrique. Antoine de Saint-Exupéry et Pierre Viré<sup>1729</sup>, tous les deux aviateurs-écrivains<sup>1730</sup> de cette compagnie, restituent sous leur plume quelques épisodes de navigation aérienne en Afrique.

### *La radiogoniométrie avec Saint-Exupéry*

Une partie de la carrière de Saint-Exupéry à l'Aéropostale se déroule en Afrique puisqu'il a été pilote sur la ligne Toulouse-Casablanca-Dakar (1927-1928), chef de l'Aéropostale de Cap-Juby (1928) et de nouveau pilote sur la ligne d'Afrique et pilote d'hydravion sur Marseille-Alger (1931-1932). Il perfectionne ses connaissances en navigation aérienne en préparant le brevet supérieur de navigation aérienne au Cours de navigation de Brest (voir chapitre 6). Saint-Exupéry relate<sup>1731</sup>, dans *Terre des hommes*, l'une des mésaventures radiogoniométriques qu'il a connues dans le Sahara, en route vers Ciséros, avec son radionavigant Jacques Néri<sup>1732</sup> :

*Je me souviens aussi de l'une de ces heures où l'on franchit les lisières du monde réel : les relèvements radiogoniométriques communiqués par les escales sahariennes avaient été faux toute cette nuit-là, et nous avaient gravement trompés, le radiotélégraphiste Néri et moi. Lorsque, ayant vu l'eau luire au fond d'une crevasse de brume, je virai brusquement dans la direction de la côte, nous ne pouvions savoir depuis combien de temps nous nous enfoncions vers la haute mer.*

*Nous n'étions plus certains de rejoindre la côte, car l'essence manquerait peut-être. Mais, la côte une fois rejointe, il nous eût fallu retrouver l'escale. Or, c'était l'heure du coucher de la lune. Sans renseignements angulaires, déjà sourds, nous devenions peu à peu aveugles. La lune achevait de s'éteindre, comme une braise pâle, dans une brume semblable à un banc de neige. Le ciel, au-dessus de nous, à son tour se couvrait de nuages, et nous naviguions désormais entre ces nuages et cette brume, dans un monde vidé de toute lumière et de toute substance.*

---

<sup>1729</sup> Pierre Viré (1903-1949). Reçoit le « Grand Prix littéraire » de l'AéCF pour T.V.B. en 1937.

<sup>1730</sup> SIMARD-HOUDE M. « La plume et l'aile. L'épopée aéronautique française, entre presse et édition (1908-1945). », *Mémoires du livre*, volume 8, numéro 2, printemps 2017, doi :10.7202/1039698ar.

<sup>1731</sup> Entre 1929 et 1934.

<sup>1732</sup> SAINT-EXUPÉRY (DE) A., *Terre des hommes*, Paris, Gallimard, 1939.

*Les escales qui nous répondaient renonçaient à nous renseigner sur nous-mêmes : « Pas de relèvements... Pas de relèvements... » car notre voix leur parvenait de partout et de nulle part.*<sup>1733</sup>

C'est également dans cet ouvrage que Saint-Exupéry fait le récit de l'accident avec son mécanicien André Prévost dans le Sahara libyen alors qu'il a quitté Benghazi et « met(s) le cap sur le milieu du segment de droite qui joint Alexandrie au Caire »<sup>1734</sup>. La suite de la navigation se fait sans la possibilité d'utiliser la radio, car il n'y a pas d'équipement prévu pour la traversée de 1 050 km de désert. Saint-Exupéry pilote donc à l'estime :

*Je ne tente même pas d'observer autre chose que mon compas et mon sperry. Je ne m'intéresse plus à rien, sinon à la lente période de respiration, sur l'écran sombre de l'instrument, d'une étroite ligne de radium (...) Nous ne bénéficions point de la lune et nous sommes privés de radio.*<sup>1735</sup>

Ils percutent le sol quelques heures plus tard, totalement perdus dans le désert, sans eau. Cet épisode, qui se situe au début des années 1930, montre que les techniques de navigation en Afrique sont encore rudimentaires, la radionavigation n'étant pas disponible partout.

#### *Les aventures du navigateur Pierre Viré*

Quelques passages de *T.V.B.*, de Pierre Viré, paru en 1937, présentent également la pratique de la navigation aérienne dans l'Aéropostale de 1928 à 1934. Sa double casquette de marin et de navigateur permet à Viré de donner un éclairage original de la navigation aérienne. Viré obtient son brevet de radiotélégraphiste à Marseille puis accomplit son service militaire dans la Marine, ce qui lui permet d'être embauché sur les navires de dépannage des Lignes aériennes Latécoère en 1925. Il est affecté dans un premier temps au dépannage des hydravions de la ligne Marseille-Alger. Il se perfectionne en navigation puisqu'après l'obtention du Certificat d'opérateur radio de première classe et le Brevet élémentaire de navigateur aérien, il passe avec succès les épreuves du Brevet supérieur de navigateur<sup>1736</sup>. Fort de ces nouvelles compétences, il forme avec le pilote Féru, le 10 octobre 1928, l'équipage de l'hydravion *Laté-32 F-AITV*. Il accomplit plusieurs « prouesses aéro-sahariennes »<sup>1737</sup>, avec le pilote Charles Poulin<sup>1738</sup>, en réalisant de nombreux sauvetages.

---

<sup>1733</sup> SAINT-EXUPÉRY (DE) A., *Terre des hommes*, Paris, Gallimard, 1939, rééd. coll. Folio, 1972, pp. 23-24.

<sup>1734</sup> SAINT-EXUPÉRY (DE) A., *Op. Cit.*, p. 115. Cette citation illustre bien la formation scientifique de Saint-Exupéry.

<sup>1735</sup> SAINT-EXUPÉRY (DE) A., *Op. Cit.*, p. 116.

<sup>1736</sup> VIRÉ P., *T.V.B.*, Paris, Taranis, 1975, p. 9.

<sup>1737</sup> VIRÉ P., *Op. Cit.*, p. 10.

<sup>1738</sup> Charles Poulin (1893-1974).

Viré relate quelques-uns des sauvetages qu'il effectue comme radio à bord du *Colonel-Casse*, un ancien chasseur de sous-marins acquis par la compagnie en 1927. Il décrit le poste radio du navire :

*Le poste de T.S.F., raison d'être du bâtiment : une cabine minuscule pleine d'appareils, cloisons ripolinées hérissées d'autres appareils, laiton déjà marbré de vert-de-gris, ébonite suintant l'humidité, comme les cloisons, comme le plafond. Sur le linoléum, cinq centimètres d'eau noirâtre, courant affolée d'un bord à l'autre, au caprice d'un invraisemblable roulis qui fait grogner de mauvaise humeur l'opérateur cramponné au volant du cadre gonio qu'il s'entête à manœuvrer correctement.*<sup>1739</sup>

À l'aide du cadre goniométrique, le radio fouille l'espace et détermine la position de l'hydravion en perdition :

*Le gonio fait plusieurs tours sur lui-même, transformé en tourniquet ; devant l'index passe plusieurs fois le nombre salvateur que l'opérateur cherchait (...) 20 tribord, annonce la voix avec maintenant, des intonations de victoire.*<sup>1740</sup>

C'est au tour du capitaine du navire d'agir :

*Quelques secondes de réflexion : le crayon marque un point en pleine Méditerranée, parmi les droites chiffrées et les hachures. De ce point, vers le N.W., il trace une droite, la droite que vient de déterminer le gonio, la droite vers laquelle en se moment se trouvent trois hommes qui attendent la délivrance.*<sup>1741</sup>

La radio permet de sauver les équipages qui se sont abimés en mer, comme l'a montré l'extrait précédent, ou perdus sur les terres, mais peut également induire en erreur les sauveteurs comme l'a dénoncé Viré. Ainsi, Réginiensi et Touge, avec le radio Lénier débutent un voyage Paris-Tananarive le 29 janvier 1932 avec comme but principal d'étudier les liaisons radio sur ondes courtes et un radiogoniomètre inventé par Lénier. Le *Farman-190 F-ALHG* a un accident dans la région de Kanghet-el-Hadid le 1<sup>er</sup> février. Des avions militaires et un équipage de l'Aéropostale (Poulin, Viré, Picard) partent à la recherche des disparus. De plus un radiogoniomètre portatif est monté en hâte à Arak. Lénier a réussi à reconstituer un récepteur radio à partir du gonio brisé dans l'accident. Il est ainsi parvenu à déterminer la position de leur avion (15 kilomètres au sud de l'Erg Tessedjafi à 205 km dans le relèvement vrai 243 d'Arak<sup>1742</sup>) grâce aux émissions de radiodiffusion, mais ne peut pas les transmettre faute

---

<sup>1739</sup> VIRÉ P., *Op. Cit.*, p. 84.

<sup>1740</sup> VIRÉ P., *Op. Cit.*, p. 85.

<sup>1741</sup> *Ibid.*

<sup>1742</sup> VIRÉ P., *Op. Cit.*, p. 117.

d'émetteur. Pourtant un mystificateur va se faire passer pour eux et donner de mauvaises coordonnées à 500 km de leur position, ce qu'entendent abasourdis les trois hommes perdus dans le désert. Lénier démonte son récepteur, réussit à le transformer en simple émetteur, et émet leurs vraies coordonnées. Le SOS est réceptionné par le poste de l'Aéropostale de Saint-Louis du Sénégal. Vuillemin et Poulin récupèrent les aviateurs perdus le surlendemain. Là encore la radio a permis un sauvetage mais a également failli les tuer.

Viré a relaté différents sauvetages qu'il a effectués en Afrique alors qu'il travaillait pour l'Aéropostale. Saint-Exupéry a, de plus, publié des écrits ayant pour cadre l'Amérique du Sud, où il opère en tant que directeur de l'Aeroposta Argentina en 1929-1930, comme dans *Vol de nuit*<sup>1743</sup>, dont l'action se situe entre la Patagonie et Buenos-Aires. En effet, dès la fin des années 1930, les lignes de l'Aéropostale prennent de l'importance en Amérique du Sud.

### *La navigation de l'équipage de Mermoz lors de la traversée commerciale de l'Atlantique Sud*

Marcel Bouilloux-Lafont ouvre rapidement la première liaison Toulouse-Buenos Aires, le 1<sup>er</sup> mars 1928, afin de contrer la concurrence allemande. À cette époque, il n'existe pas encore d'aéronefs capables d'assurer une liaison commerciale traversant l'Atlantique Sud. Certes les Portugais Gago Coutinho et Sacadura Cabral avaient effectué la traversée Lisbonne-Rio de Janeiro en 1922, mais tout comme pour la traversée Saint Louis-Natal le 14 octobre 1927 par Costes et Le Brix lors de leur tour du monde, il s'agit d'exploits sportifs, bien différents de ce qui est attendu pour une ligne régulière. De ce fait, des avions *Breguet* transportent le courrier de Toulouse à Dakar, puis des avisos (loués à l'Aéropostale par la Marine) assurent la traversée Dakar-Natal, enfin d'autres avions prennent le relais en Amérique du Sud.

En 1927, en attendant mieux, la compagnie a reçu de la Marine six chasseurs de sous-marins, atteignant 20 nœuds en vitesse de pointe, qui seront rebaptisés avisos postaux (le *Péronne*, le *Reims*, le *Belfort*, le *Lunéville*, le *Revigny*, l'*Épernay*), ainsi que trois anciens patrouilleurs qui filent à 10 nœuds pour assurer le dépannage (le *Becfigue*, la *Cigogne*, le *Phocée*). Un ancien cargo-piège rejoint également la flotte de dépannage en 1928 (le *Bemtevi*)<sup>1744</sup>.

Didier Daurat, toujours directeur d'exploitation de la compagnie, tente de raccourcir le trajet des avisos par une double liaison Saint Louis-les îles du Cap-Vert et Naronha-Recife par des hydravions *Laté 24*. Le capitaine de marine marchande Roquefort, à bord du *Péronne*, est chargé d'aménager une base d'hydravions et un terrain muni d'une station radio au Cap-Vert

---

<sup>1743</sup> SAINT-EXUPÉRY (DE) A., *Vol de nuit*, Paris, Gallimard, 1931.

<sup>1744</sup> PIOUSSE G., *Le courrier doit passer*, Larousse, 2007, pp. 209-210.

en 1927. De nombreux bâtiments et installations sont construits en quelques mois à Calheta Sao Martinho, dont un poste émetteur et récepteur radio à grande puissance, flanqué d'une habitation pour les opérateurs. Roquefort se rend ensuite à Naronha pour y aménager une escale aéro-maritime. Cette petite île à 340 miles au large du continent américain sert de bagne pour 800 brésiliens, mais sa position privilégiée, sur la ligne Dakar-Pernambouc, a été repérée dès les débuts de la compagnie aérienne. L'Aéropostale y fait aménager, en 1928, une base d'hydravions, un terrain et une installation radioélectrique très complète<sup>1745</sup>. Les installations vont peu servir pour la double liaison Saint Louis-les îles du Cap-Vert et Naronha-Recife car l'expérience est rapidement abandonnée faute de fiabilité des *Laté 24*<sup>1746</sup>. Toutefois, l'infrastructure de la ligne Dakar-Natal est achevée en 1928, prête à guider par radio et goniométrie les navires et des aéronefs.

Il reste donc à attendre la construction d'aéronefs susceptibles d'assurer la traversée Saint Louis-Natal sans étape, avec deux contraintes : le ministère n'envisage pas d'avions mais uniquement des hydravions, et l'hydravion devra être obligatoirement français. Le ministère de l'Air lance un appel d'offres, le 7 avril 1928, pour la construction d'un tel aéronef<sup>1747</sup>. En 1929, un avion qui pourrait convenir commence à être produit en série : le *Laté 28*. Ce n'est pas un hydravion, mais sa version équipée de flotteurs (le *Laté 28-3* à moteur Hispano-Suiza de 600 ch.) pourrait traverser l'Atlantique Sud. Daurat fait revenir dans le sud de la France Mermoz, alors chef pilote à Rio de Janeiro. Mermoz s'initie au pilotage du *Laté 28-3* en compagnie du radionavigant Léo Gimié<sup>1748</sup> et du navigateur Jean Dabry<sup>1749</sup> au début de l'année 1930<sup>1750</sup>. Gimié a fait ses armes de télégraphiste dans la Marine avant d'être engagé par la Compagnie générale aéropostale en 1927 comme opérateur au sol puis comme radionavigant<sup>1751</sup>. Dabry, formé à l'École nationale de navigation de Marseille, est embauché à la Compagnie des messageries maritimes (où il commande l'un des avisos de la ligne Dakar-Natal de 1924 à 1927), puis commande une vedette de sauvetage des hydravions de l'Aéropostale à Marseille avant de devenir navigateur à l'Aéropostale en 1929<sup>1752</sup>.

L'équipage teste notamment les instruments de navigation, lorsqu'il commence par battre le record du monde de distance en circuit pour les hydravions, en effectuant plus de

---

<sup>1745</sup> VIRÉ P., *Op. Cit.*, p. 58.

<sup>1746</sup> PIOUFFRE G., *Op. Cit.*, p. 216.

<sup>1747</sup> *Ibid.*

<sup>1748</sup> Léopold Gimié (dit Léo) (1903-1943).

<sup>1749</sup> Jean Dabry (1901-1990).

<sup>1750</sup> CHADEAU E., *Mermoz*, Perrin, 2000, pp. 123-126.

<sup>1751</sup> ROBINEAU L (Dir.), *Op. Cit.*, p. 240.

<sup>1752</sup> ROBINEAU L (Dir.), *Op. Cit.*, p. 154.

4 300 km en un vol de 30 heures les 11 et 12 avril 1930 sur le triangle Marignane-Cap d'Agde-La Ciotat. Il s'agissait par-là de satisfaire les Services techniques du ministère de l'Air qui demandaient une « répétition générale » avant que soit tentées les premières traversées de l'Atlantique Sud en service commercial<sup>1753</sup>. L'hydravion *F-AJNQ* possède un équipement radiotélégraphique complet comportant notamment un poste Radio L.L. de 300 watts, à ondes courtes et longues, équipé pour la radiogoniométrie<sup>1754</sup>. L'équipement de navigation est également adapté aux navigations astronomiques et à l'estime puisqu'il comprend un sextant Coutinho, des cartes Kahn et un compas de relèvement<sup>1755</sup>. Comme le fait remarquer René Chambe : « on ne vole plus maintenant en comptant sur la seule valeur sportive de l'équipage, on vole rationnellement »<sup>1756</sup>.

La traversée de l'Atlantique Sud est programmée pour mai 1930 sur le même appareil baptisé *Comte de la Vaulx*. La compagnie a prévu de sécuriser au maximum la navigation. L'hydravion sera en liaison radio avec des émetteurs-récepteurs basés à terre ou sur les avisos qui suivront sur l'eau le même trajet que l'aéronef. Les installations du Cap-Vert et de Naronha ainsi que les navires de la compagnie seront mis à contribution. Enfin, les navires de guerre ou de commerce sur la zone traversée seront prévenus afin de pouvoir intervenir en cas d'amerrissage<sup>1757</sup>. La zone du « pot au noir » reste toutefois problématique car les ondes radios et les compas y sont perturbés.

L'aventure débute le samedi 10 mai lorsque le courrier quitte la gare d'Orsay par le train à destination de la gare de Toulouse (voir tableau 42). Le lundi 12 mai 1930, Mermoz, Dabry et Gimié s'élancent à bord de leur hydravion pour effectuer la première traversée commerciale de l'Atlantique Sud. Le *Comte de la Vaulx* est d'abord suivi par l'émetteur de Saint-Louis puis par celui du navire *Phocée* qu'il survole presque au ras des mâts, l'hydravion volant seulement à 150 mètres d'altitude<sup>1758</sup>. Lorsque le soir vient « commence alors, à vitesse réduite, une navigation à l'estime, corrigée au sextant chaque fois que la lune veut bien se montrer entre les nuages »<sup>1759</sup>. Vers 22 h 00 (GMT), l'équipage commence à affronter le « pot au noir ». Gimié émet sans relâche, mais les ondes ne passent pas. Le *Bemtevi*, qui croise à une cinquantaine de milles à l'Est de Noronha, reçoit enfin les appels de l'hydravion. Grâce au radiogoniomètre

---

<sup>1753</sup> *L'Aéronautique*, mai 1930, p. 156.

<sup>1754</sup> *Ibid.*

<sup>1755</sup> *Ibid.*

<sup>1756</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 313.

<sup>1757</sup> CHADEAU E., *Op. Cit.*, p. 125.

<sup>1758</sup> CHADEAU E., *Op. Cit.*, p. 134.

<sup>1759</sup> *Ibid.*

dont il a été équipé<sup>1760</sup>, le *Bemtevi* lui envoie sa position exacte qui a un peu dévié par rapport au plan de vol. Une heure et demie plus tard, le *Comte de la Vaulx* survole Naronha. À 7 h 30 Gimié reçoit les signaux radio de Natal, la terre ferme n'est plus très loin. L'hydravion a mis 21 heures et 10 minutes pour traverser l'Atlantique Sud. L'acheminement du courrier se poursuit (voir tableau 42) sur avions avec comme équipage un pilote et un mécanicien ou un radio. Le courrier parti de Paris arrive à Santiago du Chili en quatre jours et demi.

Nous remarquons au vu de ce tableau qu'un navigateur (Dabry) n'est présent dans l'aéronef que pour la traversée de l'Atlantique Sud, alors que la navigation est réalisée par le second pilote, le mécanicien ou le radio (en complément du pilote) pour les autres étapes. La présence d'un navigateur est donc requise uniquement pour les liaisons les plus techniques.

| Samedi<br>10 mai | Durée<br>escale | D 17.10                 | Départ<br>Paris/Gare<br>d'Orsay                    | de | Temps<br>de vol | Équipages                                                  | Appareil<br>s                                                       |
|------------------|-----------------|-------------------------|----------------------------------------------------|----|-----------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Dimanche 11 mai  | 0.30            | GMT<br>A 4.40<br>D 5.10 | Gare<br>Montabiau<br>Toulouse-<br>Montaudran       |    | 25h30           | Claude<br>Beauregard<br>Pierre Andrault<br>Marcel Chaplain | Pilote<br>Second-<br>Pilote<br>Radio<br><br><i>Laté-28</i>          |
|                  | 0.10            | A 15.05<br>D 15.15      | Barcelone<br>Alicante<br>Casablanca<br>Agadir-Juby |    |                 | Laurent Guerrero<br>Jacques Néri                           | Pilote<br>Radio<br><br><i>Laté-26</i>                               |
| Lundi 12 mai     | 4.16            |                         | Cisneros-Port<br>Étienne                           |    | 21h24           | Jacques Emler<br>Alfred Guyomard                           | Pilote<br>Radio<br><br><i>Laté-26</i>                               |
|                  |                 | A 6.40<br>D 10.56       | Saint Louis du<br>Sénégal                          |    |                 | Jean Mermoz<br>Jean Dabry<br>Léo Gimié                     | Pilote<br>Navigateur<br>Radio<br><br><i>Laté-28 à<br/>flotteurs</i> |
| Mardi 13 mai     | 2.15            | A 8.20<br>D 10.35       | Natal<br>Recife<br>Bahia<br>Caravellas<br>Victoria |    | 41h50           | Raymond Vanier<br>Pierre Lièvre<br>(jusqu'à Victoria)      | Pilote<br>Mécanicien<br><br><i>Laté-25</i>                          |

<sup>1760</sup> PIOUFFRE G., *Op. Cit.*, p. 221.

|                 |              |         |                         |  |                                                                 |                                       |                                   |
|-----------------|--------------|---------|-------------------------|--|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Mercredi 14 mai | 3.50         | A 4.10  | Rio de Janeiro          |  | <i>puis</i><br>Olivario Chagas<br>Marcel Reine<br>Jean Macaigne | Radio<br>brésilien<br>Pilote<br>Radio | <i>Laté-26</i>                    |
|                 |              | D 8.00  | Santos                  |  |                                                                 |                                       |                                   |
|                 |              |         | Porto Alegre<br>Pelotas |  |                                                                 |                                       |                                   |
| Jeudi 15 mai    | 0.10<br>0.10 | A 22.20 | Montevideo              |  |                                                                 |                                       |                                   |
|                 |              | D 22.30 |                         |  |                                                                 |                                       |                                   |
|                 |              | A 23.55 | Buenos Aires            |  |                                                                 |                                       |                                   |
|                 |              | D 10.30 |                         |  |                                                                 |                                       |                                   |
|                 | 10.35        |         | Mendoza                 |  | Henri Guillaumet<br>Edgard Cruveilhaer<br>Henri Guillaumet      | Pilote<br>Radio<br>Pilote             | <i>Laté-26</i><br><i>Potez-25</i> |
|                 |              |         | Santiago du             |  |                                                                 |                                       |                                   |
|                 |              | 18.30   | Chili                   |  |                                                                 |                                       |                                   |

Tableau 42 : Retranscription du tableau synoptique par étape du premier service 100% aérien Toulouse-Santiago du Chili du 11 au 15 mai 1930 par la Compagnie Générale Aéropostale.<sup>1761</sup>

### 3) Vers une rationalisation des procédés de navigation aérienne avec Air France

#### *Les procédés de navigations utilisés sur les liaisons postales en Amérique du Sud*

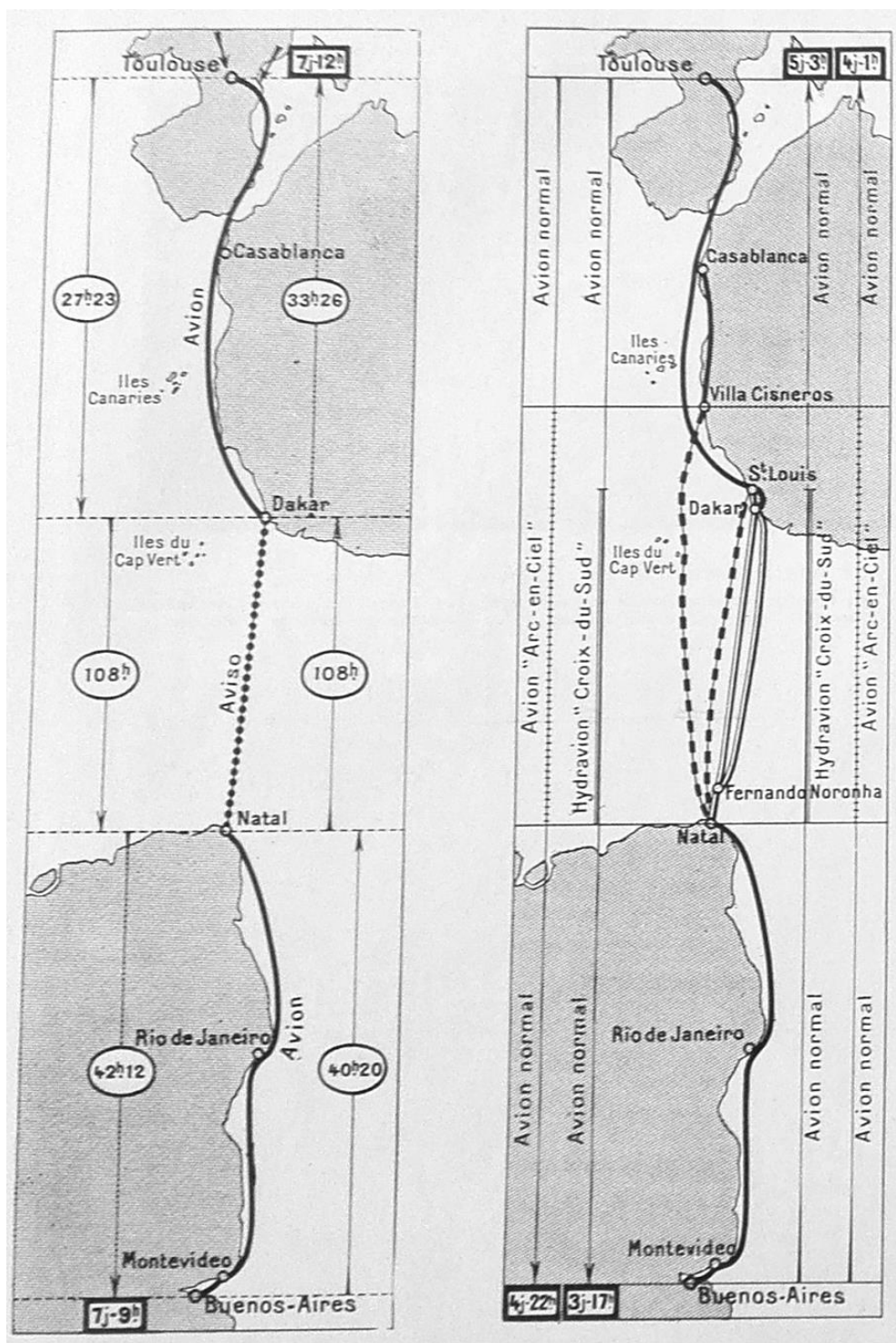
Bien que la traversée du *Comte de la Vaulx* en mai 1930 participe au premier Paris-Amérique du Sud commercial tout aérien, il s'agit encore d'un exploit sportif. Le courrier continue pendant quelques années à être acheminé vers l'Amérique du Sud en utilisant des avisos pour la liaison Sénégal-Natal.

En, 1934, trois types de liaisons sont possibles (voir carte 20). La liaison hebdomadaire normale, assurée par l'Aéropostale puis Air France, à partir de mai 1933, comporte l'utilisation d'avisos pour la traversée de Dakar à Natal. Ces navires, bien que rapides, mettent en moyenne 108 heures (4 jours et demi) pour couvrir les 3 000 km. Ce handicap est en partie comblé par une bonne organisation de la ligne aérienne (équipages motivés, vols de jour comme de nuit)<sup>1762</sup>. En 1934, 43 liaisons aller-retour de ce type ont été effectuées avec un temps moyen à l'aller de 7 jours et 9 heures et au retour de 7 jours et 12 heures (voir carte 20). Les deux autres types de liaisons effectuées par la France en 1934 sont entièrement aériennes. La traversée de l'Atlantique est effectuée soit par l'hydravion *Croix-du-Sud* ou par l'avion *Arc-en-Ciel*, ce qui permet de ramener le temps de trajet à l'aller à, en moyenne, respectivement 4 jours 22 heures et 3 jours 17 heures et au retour à 5 jours trois heures et 4 jours 1 heure.

<sup>1761</sup> MACAIGNE J., « 11-15 mai 1930 La première liaison aéropostale Toulouse-Santiago », *Navigation* (Paris), n°152, Octobre 1990, p. 517.

<sup>1762</sup> « Méthodes et premiers résultats du transport aérien à travers l'Atlantique-Sud », *L'épopée de l'aviation*, Les grands dossiers de l'Illustration, Le livre de Paris, 1987, p. 178.





Carte 20 : « Cartes intuitives » des méthodes mises en œuvre en 1934 pour le transport du fret postal à travers l'Atlantique Sud.<sup>1763</sup>

<sup>1763</sup> « Méthodes et premiers résultats du transport aérien à travers l'Atlantique-Sud », *L'épopée de l'aviation*, Les grands dossiers de l'Illustration, Le livre de Paris, 1987, p. 178.



Figure 163 : Croix-du-Sud en 1935.<sup>1764</sup>

La mise en place de ce service tout aérien entre dans le cadre de la politique de concurrence avec les lignes allemandes. En effet, le *Graf-Zeppelin* a mené à bien 21 liaisons entre l'Europe et l'Amérique du Sud entre 1931 et 1933 ainsi que 11 voyages de mai à novembre 1934. En moyenne, le trajet Friedrichshafen-Natal a pris 72 heures à l'aller et 84 heures au retour. Les allemands prévoient une liaison toutes les deux semaines reliant l'Europe à l'Amérique du Sud en cinq jours et demi, les dirigeables alternant durant l'été avec la liaison effectuée par la Deutsche Lufthansa. Comme les *Dornier-Wal* de la compagnie n'ont pas un rayon d'action suffisant pour effectuer la traversée de l'Atlantique, ils sont relayés par des navires (le *Westfalen* et le *Schwabenland*) sur le même principe qu'avait testé Daurat pour l'Aéropostale en 1928. La concurrence est sérieuse pour la France, en effet, la Deutsche Lufthansa transporte 32 fois le courrier entre le 2 février 1934 et le 31 octobre 1934. De plus le *Graf-Zeppelin* peut à la fois transporter du courrier et des passagers ce que ne font pas les Français. La Lufthansa offre à Air France d'exploiter « en pool » la ligne Europe-Amérique du Sud ce que refuse le général Denain, alors ministre de l'Air<sup>1765</sup>. La France redouble donc d'efforts pour assurer une liaison régulière entièrement aérienne sur cette ligne.

L'avion capable d'effectuer la traversée de l'Atlantique Sud est un *Arc-en-Ciel*, construit par René Couzinet. L'avion a beaucoup de défaut, mais les entreprises aéronautiques françaises ne proposent pas d'alternative à ce trimoteur pour effectuer la traversée océanique par

<sup>1764</sup> Photographie Agence de presse Meurisse sur le site <https://gallica.bnf>.

<sup>1765</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 315.

avion. Le ministère de l'Air ne croit toujours pas en les possibilités d'un avion terrestre de traverser les mers en sécurité, aussi tergiverse-t-il pour donner son accord pour le premier raid Europe-Amérique du Sud en janvier 1933. Six personnes prennent place à bord de l'avion : Mermoz (pilote), le capitaine Carretier (second pilote), Manuel (radionavigant), le capitaine Mailloux (navigateur), Jousse (mécanicien navigant) et Couzinet (constructeur) qui a tenu à prendre part au vol. L'avion quitte Istres le 12 janvier 1933 pour rejoindre le Sénégal. Le 16 janvier, Mermoz, reprenant la même route que celle qu'il a suivi sur le *Comte de la Vaulx* près de trois ans auparavant, atterrit à Natal après une traversée de 14 heures et 27 minutes. L'avion poursuit son périple en rejoignant Rio de Janeiro puis Buenos-Aires. Cette première liaison effectuée par un unique avion est accomplie en 6 jours et 11 heures, ce qui permet de concurrencer les Allemands. Même si elle n'est pas forcément reproductible, cette traversée a le mérite de prouver que l'avion, comme l'hydravion, a sa place sur cette ligne. Les services techniques du ministère de l'Air ne changent cependant pas de position : « les avions au-dessus des terres et les hydravions au-dessus des mers »<sup>1766</sup>.

Les autorités passent commande de plusieurs hydravions pour le tronçon uniquement maritime de la ligne française France-Amérique du Sud<sup>1767</sup>. Trois constructeurs ont été retenus : Latécoère avec le *Laté 300 Croix-du-Sud* (F-AKGF), Blériot avec le *B-5190 Santos-Dumont* (F-ANLE), Lioré et Olivier avec le *LéO 47* en cours d'élaboration<sup>1768</sup>. Les exigences du ministère de l'Air sont élevées :

*Que les appareils, mis en utilisation sur les 3.200 kilomètres de mer que comporte ce tronçon de ligne aériennes, puissent parcourir ce trajet même avec 50 kilom. de vent contraire ; il exige qu'ils puissent voler avec un moteur arrêté, qu'ils possèdent les qualités marines nécessaires pour se poser et partir sur une mer agitée, il exige enfin qu'il satisfassent aux dures épreuves du certificat de navigabilité français.*<sup>1769</sup>

Le *Croix-du-Sud* est livré en premier. Il termine le premier cycle des essais officiels en juin 1933. Bien qu'ayant un équipage de l'aéronautique maritime, il s'agit d'un hydravion commercial. Le *Croix-du-Sud* entame son raid le 31 décembre 1933 par une première étape de Marseille à Saint-Louis du Sénégal. Cinq marins composent l'équipage : le capitaine de corvette

---

<sup>1766</sup> PIOUSFRE G., *Op. Cit.*, p. 267.

<sup>1767</sup> Voir, pour le « prélude » sur l'Atlantique Sud, BONAME R., « Air France Transatlantique. La contribution française aux premières liaisons régulières sur l'Atlantique Nord », in « La conquête de l'Atlantique Nord, tome 2 : la France », *Icare*, février 1996, pp. 24-90.

<sup>1768</sup> *Ibid.*

<sup>1769</sup> BONNOT (Cdt), « Le voyage de l'hydravion « Croix-du-Sud » », *Les grandes conférences de l'aviation au théâtre des ambassadeurs*, Paris, Comité des Œuvres Sociales du Ministère de l'Air, p. 6.

Roger Bonnot<sup>1770</sup> (commandant et navigateur), le lieutenant de vaisseau Jean Pierre (officier en second et premier pilote), le premier-maître Gauthier (second pilote), le maître Emont (radiotélégraphiste), Durruthy (« mécanicien spécialiste »<sup>1771</sup> de la Maison Hispano-Suiza). Cette première partie du voyage, qui leur donne deux records du monde dont celui de distance en ligne (3 679 km), est sans histoire, comme le relate Bonnot :

*Convenablement restauré, chacun s'installe, le premier pilote dort sur la couchette, le deuxième pilote suit la côte vaguement surveillée par le navigateur, le mécanicien somnole sur son siège, seul le radio continue à inonder les auditeurs de mystérieux signaux.*<sup>1772</sup>

La deuxième partie du voyage, la traversée de l'Atlantique, se passe également sans inconvénient majeur. Même le « pot au noir » est franchi sans désagrément, entre 22 h 30 et 5 h 00, car les pilotes sont habitués au pilotage sans visibilité et les orages qui perturbent la TSF sont lointains. Ils doivent certes traverser une importante ligne de grains près de Noronha, mais Bonnot indique : « Je réussis rapidement à en prendre deux relèvements et à contrôler ainsi que nous sommes toujours bien en route »<sup>1773</sup>. L'hydravion se pose à Natal après 18 h 50 de vol dont 13 h 05 de nuit (voir carte 21).

Les États d'Amérique du Sud, enthousiasmés par la double réussite française (*l'Arc-en-Ciel* piloté par Mermoz et le *Croix-du-Sud* commandé par Bonnot), renouvellent à Air France les contrats accordés à l'Aéropostale<sup>1774</sup>. La flotte des avions de la ligne s'étoffe à point nommé. D'une part, les hydravions *Laté-301 Ville-de-Buenos-Aires*, *Ville-de-Rio-de-Janeiro* et *Ville-de-Santiago* puis le *Blériot 5190* rejoignent rapidement le *Croix-du-Sud* dans la compagnie. D'autre part, l'*Arc-en-Ciel* est rejoint par un *Farman 220* baptisé *Le Centaure*. Cet avion quadrimoteur effectue 24 traversées de l'Atlantique Sud entre le 3 juin 1935 et le 29 juin 1936.

Au mois d'août 1936, la France fête sa centième traversée entièrement aérienne de l'Atlantique Sud, mais la ligne est endeuillée le 7 décembre 1936 lorsque Mermoz disparaît en mer, avec quatre camarades, alors qu'il pilotait le *Laté-300 Croix-du-Sud*.

---

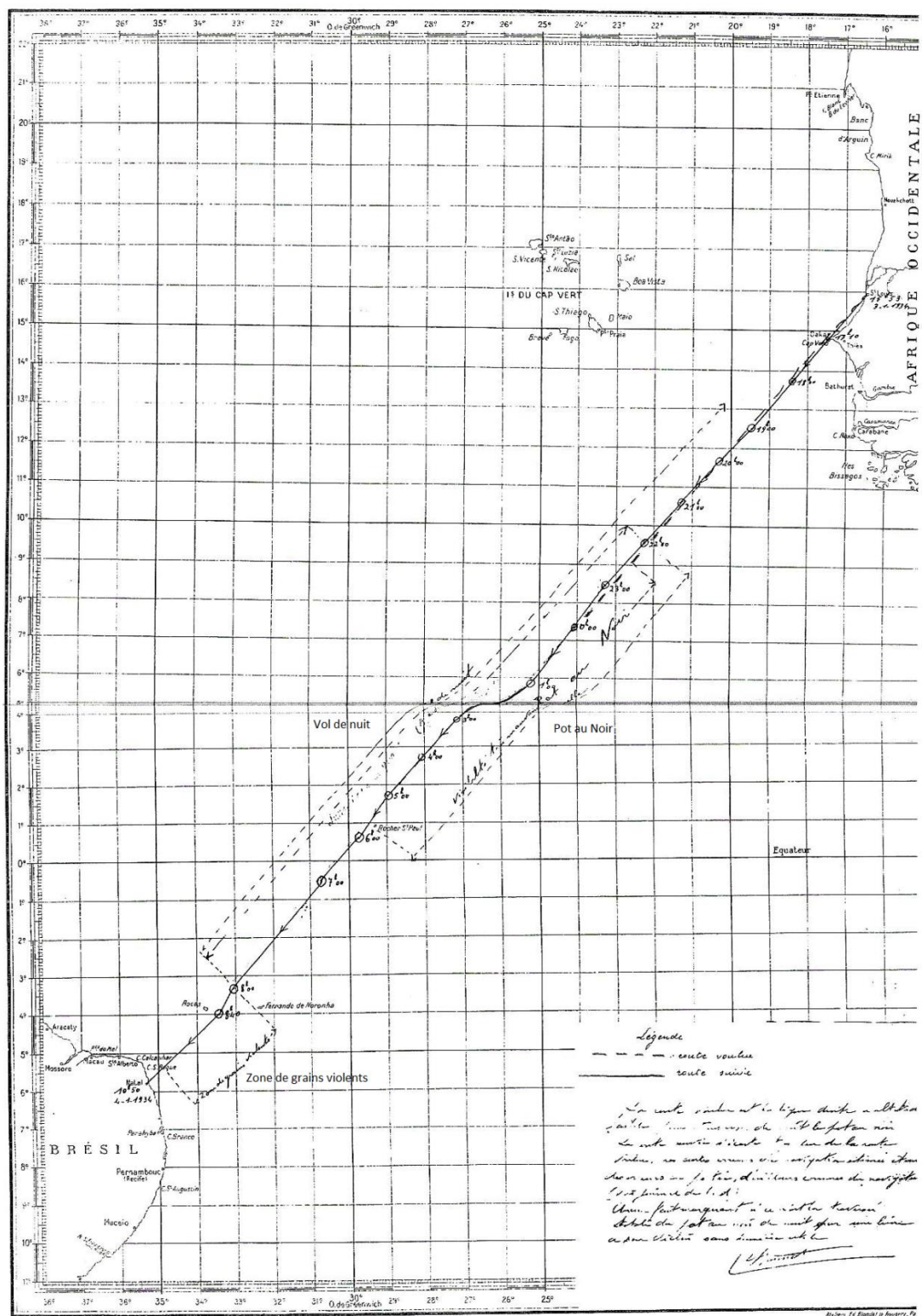
<sup>1770</sup> Roger Bonnot (1893-1973).

<sup>1771</sup> BONNOT (Cdt), *Op. Cit.*, p. 8.

<sup>1772</sup> BONNOT (Cdt), *Op. Cit.*, p. 11.

<sup>1773</sup> BONNOT (Cdt), *Op. Cit.*, pp. 17-18.

<sup>1774</sup> CHAMBE R., *Op. Cit.*, p. 316.



Carte 21 : Première traversée sans escale de l'Atlantique Sud effectuée par l'hydravion Croix du Sud (3 et 4 janvier 1934).<sup>1775</sup>

<sup>1775</sup> Reproduction de la carte originale de Bonnot communiquée par sa fille M<sup>me</sup> Mannevy et insérée à la fin de l'article MACAIGNE J., « 11-15 mai 1930 La première liaison aéro postale Toulouse-Santiago », *Navigation* (Paris), n°152, Octobre 1990, p. 522.

Le texte sous la légende est : « La route voulue est la ligne droite à altitude faible pour traverser de nuit le pot au noir. La route suivie s'écarte très peu de la route voulue, les seules erreurs de navigation estimées étant des erreurs

Pour battre la concurrence allemande, la ligne doit s'équiper d'aéronefs plus performants et surtout plus fiables. Air France passe commande, au début de l'année 1936, de quatre avions quadrimoteurs long-courriers, des *Farman 2200 (Centaure II)* amenés à remplacer les *Laté-300* et le *Blériot 5190*. Le *Ville de Montevideo (F-AOXE)*, le *Ville de Mendoza (F-AOXF)*, le *Ville de Saint Louis (F-AQCX)*, le *Ville de Natal (F-AQCY)* rejoignent la ligne en 1936, suivis par le *Farman 2220 Ville de Dakar (F-APKY)* en 1937. Ils effectuent 290 traversées de l'Atlantique Sud entre le 5 juillet 1936 et le 2 juillet 1940.

#### *Les instruments de navigation sur les « Farman postaux »*

Élie Saldo (voir chapitre 6), qui effectue 104 traversées sur les « Farman postaux » d'Air France entre 1936 et 1940, comme navigateur<sup>1776</sup>, donne quelques précisions sur la navigation aérienne à bord de ces quadrimoteurs<sup>1777</sup>. L'équipage de chaque *Farman 2200* comprend deux pilotes, un mécanicien, un radiotélégraphiste et un navigateur. L'avion dispose de trois postes : le poste de pilotage situé en haut du fuselage, le poste de navigation placé en bout de nez de fuselage et le poste radio situé derrière le poste de navigation au pied de l'escalier menant au poste de pilotage. Dans le poste de navigation, une petite tablette supporte un compas, mais le navigateur ne dispose pas de table pour les cartes. Les instruments de navigation à l'estime et une grande partie des instruments de navigation astronomique sont communs à tous les *Farman 2200* et utilisés par tous les navigateurs mais la note de Saldo permet de remarquer que les navigateurs sont libres d'employer les tables de calculs qu'ils souhaitent (voir tableau 43).

Nous remarquons également que les navigateurs disposent de suffisamment de place pour pratiquer la navigation astronomique dans des conditions correctes. Bien que le sextant soit un sextant aérien, Saldo indique qu'il était le plus souvent utilisé comme un sextant maritime :

*Une grande partie du voyage se faisait à basse altitude, de 200 à 600 m, et l'horizon de la mer était utilisé, ce qui donnait, à peu de chose près, la précision maritime. L'horizon vu dans les vitrages du nez, l'astre vu par la trappe ouverte. Il est arrivé d'avoir un point complet en dix minutes avec des hauteurs circumzénithales de soleil.*<sup>1778</sup>

---

en portée, d'ailleurs connues du navigateur ... Aucun fait marquant si ce n'est la traversée totale du pot au noir de nuit par une lune à son déclin sans lumière utile. » - Signé : Bonnot.

<sup>1776</sup> ROBINEAU L (Dir.), *Op. Cit.*, p. 472.

<sup>1777</sup> SALDO E., « Note sur la conduite de la navigation des Farman postaux d'Air France sur l'Atlantique Sud entre 1936 et 1940 », *Navigation* (Paris), n° 146, avril 1989, pp. 244-248.

<sup>1778</sup> SALDO E., *Op. Cit.*, p. 246.

Les navigateurs à l'inverse préfèrent éviter de faire un point d'étoile en haute altitude, nécessitant d'utiliser l'horizon artificiel, car le pilotage à la main crée une instabilité de l'avion qui entache d'erreur la mesure d'hauteur d'astre.

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Instruments de navigation à l'estime   | <p>À poste fixe :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• un compas BB.T. Krauss, à rose de 15 cm de diamètre muni d'une alidade permettant des relevés de déviation,</li> <li>• un altimètre,</li> <li>• un cinémo-dérivomètre STAé à très grande glace.</li> </ul> <p>Les cartes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• une carte marine à échelle moyenne de la côte brésilienne (de Fortaleza à Maceio),</li> <li>• une carte marine à échelle moyenne de la côte africaine (de Bissagos au Rio de Oro),</li> <li>• un routier anglais de l'Atlantique équatorial.</li> </ul> |
| Instruments de navigation astronomique | <p>Un sextant Plath système Coutinho.<br/> Deux grosses montres comme chronomètre.<br/> Les Éphémérides Aéronautiques françaises,<br/> Des tables de calculs variables d'un navigateur à l'autre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tables portugaises de Rinto très performantes mais introuvables en France,</li> <li>• tables de Cornet,</li> <li>• tables de Friocourt,</li> <li>• Carnet Bertin (commun à presque tous les navigateurs).</li> </ul>                                                                                                                           |

**Tableau 43 : Instruments de navigation à bord des Farman postaux d'Air France entre 1936 et 1940.**<sup>1779</sup>

Les aviateurs bénéficient également d'aides radioélectriques. Saldo rappelle qu'il n'y a pas de radiophares à l'époque sur leur trajet, donc les relèvements sont effectués au cadre radiogoniométrique, soit pris à bord (« relèvements généralement très bons, même à des distances de plus de 200 milles, de nuit »<sup>1780</sup>), soit au sol. Air France dispose alors de cinq stations pour suivre les avions lors de la traversée de l'Atlantique (déterminant leur position et leur donnant quelques informations météorologiques) : Dakar, Saint-Louis, Porto-Praia du Cap-Vert, Fernando de Noronha, Natal. Deux avisos, l'un stationné par 11°N23°W et l'autre par 2°S32°W assurent également la sécurité des avions jusqu'en août 1939 (« à partir de septembre 1939, ce courrier postal a été continué, sans couverture météorologique et sans aucun balisage du parcours (plus d'avisos, jusqu'en juin 1940) »<sup>1781</sup>).

<sup>1779</sup> Tableau obtenu à partir des informations de la note de Saldo, SALDO E., Op. Cit., pp. 246-247.

<sup>1780</sup> SALDO E., Op. Cit., p. 247.

<sup>1781</sup> SALDO E., Op. Cit., p. 248.

Les « Farman postaux » évitent de traverser le « Pot au noir » de nuit. Ils mettent en moyenne entre 14 heures et 15 heures 30 minutes pour faire la traversée d'Afrique en Amérique et entre 16 heures et 18 heures au retour.

Le 27 septembre 1937, le Farman 2220, *Ville de Dakar*, établit un nouveau record de vitesse lors de sa première traversée de l'Atlantique. Codos (pilote), Guerrero (copilote), Salvat (navigateur), Jellade (radio), Montet (mécanicien) ainsi que Louis Allègre (directeur général d'Air France) et Jean Foa (directeur d'exploitation) traversent l'océan en 12 heures 29 minutes à l'aller et 14 heures 27 minutes au retour.

La liaison France-Amérique du Sud et plus particulièrement la traversée de l'Atlantique Sud, outre son fort impact sur l'imaginaire collectif, a la particularité de mettre en pratique tous les aspects de la navigation aérienne. Il ne faudrait cependant pas oublier que cette ligne pèse peu dans l'activité commerciale d'Air France.

#### *Naviguer sur les lignes d'Air France de 1934 à 1940*

La mission d'Air France est double. À la fin des années 1930, elle relie la France quotidiennement à l'Afrique du Nord, à Dakar deux fois par semaine et à l'Indochine une fois par semaine au travers de son réseau colonial. Mais l'essentiel du trafic de la compagnie française est réalisé par son réseau international et plus particulièrement européen. En 1934, son réseau s'étend sur 37 235 km pour 19 lignes et, en 1938, il atteint 42 640 km pour 25 lignes. La ligne Paris-Londres concentre, comme avant la fusion des compagnies, l'essentiel du trafic passagers (28% en 1934 et 31% en 1938) et du fret (49% en 1934 et 23% en 1938)<sup>1782</sup>.

L'avion commercial, bien qu'en fort développement, reste un moyen de transport cher. Cependant son rôle diplomatique et le prestige national justifient l'importance des crédits qui lui sont alloués. L'État dirige et exploite la compagnie Air France mais quelques compagnies aériennes subventionnées par l'État cohabitent avec la Régie nationale (voir organigramme 4). Elles assurent le transport de passagers dans des régions dépourvues de chemin de fer (notamment en Afrique voir paragraphe correspondant) ou effectuent des liaisons postales entre différentes colonies et même en métropole.

Les voyageurs ne se contentent plus de confier leur courrier à la compagnie Air France, ils lui confient également leur personne, le trafic passager passant de 50 000 en 1934 à près de

---

<sup>1782</sup> Chiffres extraits de *L'année aéronautique* de 1934 et 1938. HIRSCHAUER L. et DOLLPHUS Ch., *L'année aéronautique*, Paris, Dunod, 1934, pp. 147-156 ; 1938, pp. 169-178.



105 000 en 1938<sup>1783</sup>. Ceci résulte des progrès techniques réalisés notamment en terme de sécurité dans la navigation aérienne.

*La sécurité aérienne renforcée par la radiogoniométrie à partir de 1934*

Saint-Exupéry a la nostalgie de l'époque des aviateurs-aventuriers lorsqu'il rédige *Terre des hommes* en 1939. Il présente la navigation aérienne en cette fin des années 1930 comme une simple suite de calculs :

*Le pilote, le mécanicien et le radio ne tentent plus une aventure, mais s'enferment dans un laboratoire. Ils obéissent à des jeux d'aiguilles, et non plus au déroulement de paysages. Au-dehors, les montagnes sont immergées dans les ténèbres, mais ce ne sont plus des montagnes. Ce sont d'invisibles puissances dont il faut calculer l'approche. Le radio, sagement, sous la lampe, note des chiffres, le mécanicien pointe la carte, et le pilote corrige sa route si les montagnes ont dérivé, si les sommets qu'il désirait doubler à gauche se sont déployés en face de lui dans le silence et le secret de préparatifs militaires.*

*Quant aux radios de la veille au sol, ils prennent sagement sur leurs cahiers, à la même seconde, la même dictée de leur camarade : « Minuit quarante. Route au 230. Tout va bien à bord. »*<sup>1784</sup>

Si l'utilisation efficace de la radioélectricité fait disparaître une partie de l'aventure vécue par les équipages de nombreuses compagnies aériennes françaises et étrangères, elle sécurise fortement les transports (même si les accidents existent encore).

Un décret du 10 mai 1934 crée l'Établissement métropolitain de la navigation aérienne (EMNAé) qui remplace les Établissements régionaux autonomes de Paris et Marseille (seul l'Établissement régional d'Alger reste autonome). Le territoire est divisé en dix circonscriptions radioélectriques (Le Bourget, Strasbourg, Tours, Dijon, Biarritz, Lyon, Toulouse, Marseille (Marignane), Bastia et Ajaccio). Ce découpage en circonscription, résultant d'une réglementation internationale issue de la CINA, sera généralisé en Europe<sup>1785</sup>.

En 1935, ces dix stations sont munies d'un radiogoniomètre et de ce fait « les mouvements des appareils sont pointés sur une carte et les opérateurs sont en mesure de déterminer les positions par des relèvements radiogoniométriques »<sup>1786</sup>. L'utilisation des radiogoniomètres associés au système des circonscriptions permet ainsi d'améliorer la sécurité

---

<sup>1783</sup> *Ibid.*

<sup>1784</sup> SAINT-EXUPÉRY (DE) A., *Terre des hommes*, Paris, Gallimard, 1939, rééd. coll. Folio, 1972, pp. 21-22.

<sup>1785</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 142.

<sup>1786</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 144.

des lignes aériennes ou d'autres types de vols. Jean Hubert a relevé quelques-uns de ces sauvetages.

Le 4 juillet 1935, l'hydravion italien, *I-REDI*, de la ligne régulière Barcelone-Rome via Marignane quitte Barcelone en direction de Marseille. Il commence par demander sa position à 8 h 12. Elle est déterminée par les relèvements radiogoniométriques de Marignane et Perpignan (42 18 N - 03 58 E). Il envoie à 8 h 18 un message de détresse. Un hydravion d'Air France décolle de Marignane, muni des coordonnées du *I-REDI*, pour se porter au secours de l'équipage et des passagers. Des navires, alertés, récupèrent les naufragés<sup>1787</sup>.

Le 25 août 1935, le goniomètre de Valenciennes - La Briquette permet à un avion de la 11<sup>e</sup> escadre, piloté par le sergent Leblanc, de retrouver sa route après s'être perdu dans un violent orage<sup>1788</sup>.

Le 30 août 1935, l'équipage Mermoz-Gimié est remis sur la route Casablanca-Paris. Gimié a établi la route à suivre en relevant les émissions de stations au sol à l'aide du goniomètre de bord de leur *De Havilland Comet F-ANPZ*. Pour cela, il s'est calé sur des stations (de radiodiffusion ou aéronautiques) qui émettent sur demande une série de traits ou un son continu de quelques secondes<sup>1789</sup>. Or le radiogoniomètre de la station principale de Tours le positionne à 13 h 08 à 5 km à l'est d'Angers ce qui n'est pas la bonne route. La station contacte d'équipage afin de les remettre sur le bon chemin<sup>1790</sup>.

Le radiogoniomètre a prouvé son intérêt, il reste maintenant à pouvoir l'utiliser à toute heure du jour et de la nuit. L'« effet nuit » est maîtrisé en 1935, lorsque les entreprises proposent un matériel basé sur les théories d'Adcock. Celui-ci préconise d'employer quatre antennes verticales reliées deux à deux car elles ne sont sensibles qu'à la composante verticale de l'onde radioélectrique. Plusieurs systèmes sont testés et c'est le matériel SET (voir figure 164) qui est choisi au Bourget. Ce nouveau système commence à remplacer les anciens cadres goniométriques à partir de novembre 1935.

---

<sup>1787</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 148.

<sup>1788</sup> *Ibid.*

<sup>1789</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 113.

<sup>1790</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 149.

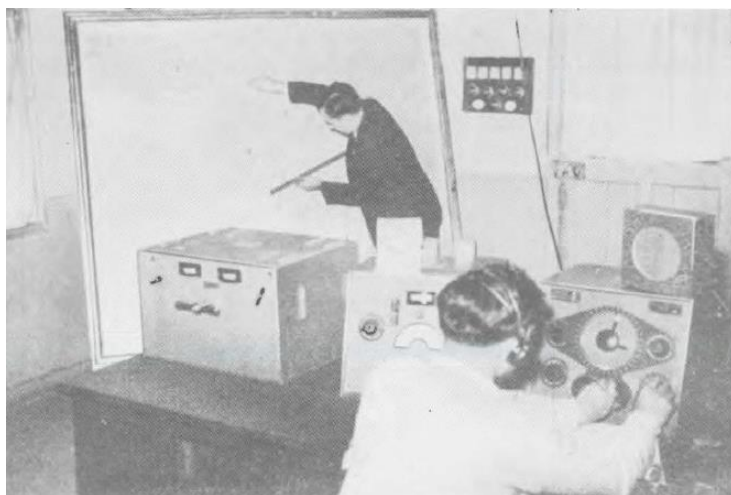


**Figure 164 : Radiogoniomètre de navigation (SET) au Bourget.<sup>1791</sup>**

Mais en août 1936, alors que des polémiques s'engagent dans la presse suite à l'accident aérien meurtrier dont sont victimes Gaston Génin, Savarit et Aubert, les radioélectriciens soulignent la nécessité de mettre en œuvre des gonios de nuit. Ils rappellent que seul celui du Bourget est alors officiellement en activité.<sup>1792</sup>

Les phares aériens se multiplient également. Ainsi les principales routes aériennes (Paris-Londres, Paris-Bruxelles, Paris-Strasbourg, Paris-Bordeaux, Paris-Lyon-Marseille, Marseille-Toulouse-Bordeaux) sont balisées par des phares aéronautiques (voir figure 165).

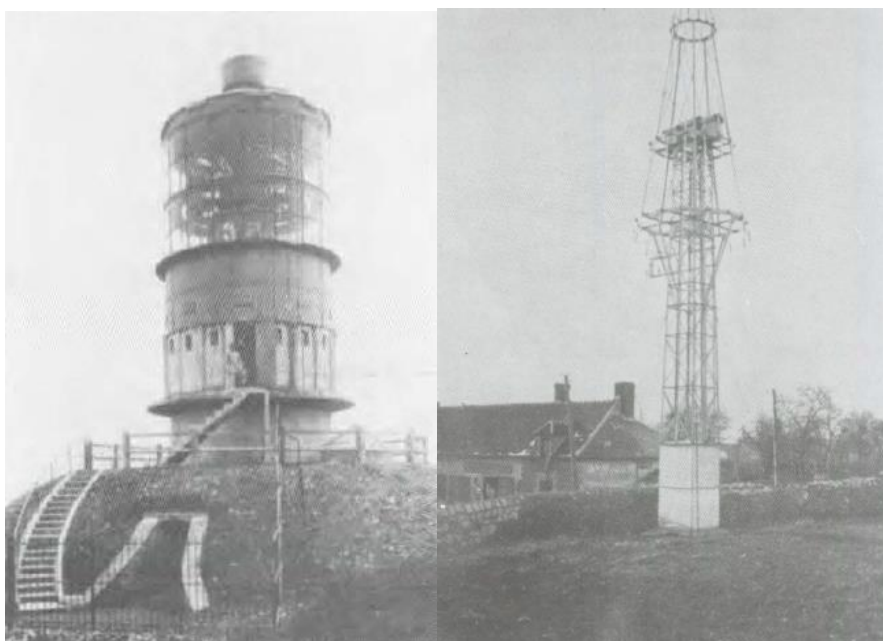


**Figure 165 : Deux modèles de phares aéronautiques vers 1936.<sup>1793</sup>**

<sup>1791</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 151.

<sup>1792</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 158.

<sup>1793</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, pp.165-166. Le phare à droite est celui de Morangles en Seine et Oise.

Les stations continuent de s'équiper pour gérer un trafic de plus en plus important et le territoire européen est quadrillé par de multiples postes radiogoniométriques (voir carte 22).



**Carte 22 : Carte des stations radiogoniométriques d'après le Règlement du Service International des Télécommunications Aéronautiques (janvier-février 1939).<sup>1794</sup>**

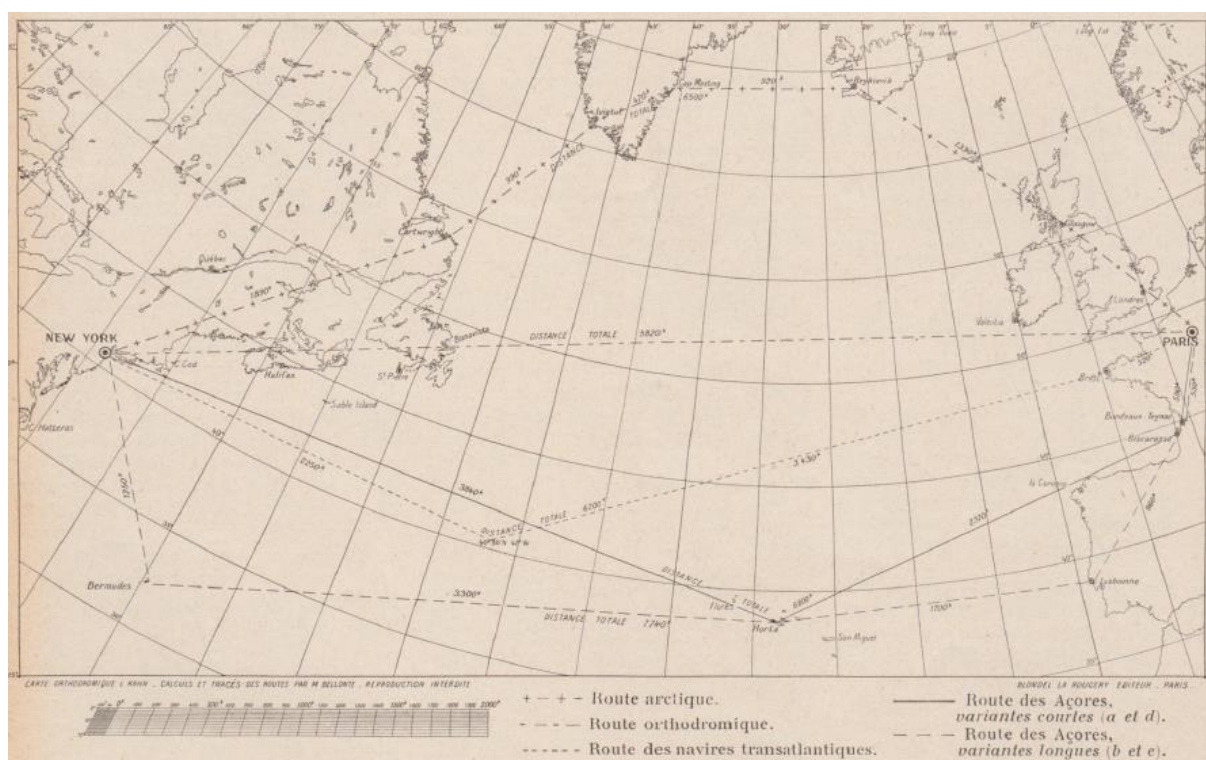
### *Les procédés de navigation utilisés lors des essais de traversées commerciales de l'Atlantique nord*

À la fin des années 1930, Air France est bien implantée en Europe, sa ligne vers l'Amérique du Sud supporte la concurrence allemande et sa liaison avec l'extrême-orient fonctionne correctement. Il lui reste à relever un défi : rejoindre l'Amérique du Nord.

Maurice Bellonte, au milieu des années 1930, fort de son expérience acquise lors du raid Paris-New York en août 1930, considère qu'un service commercial régulier France-Amérique du Nord est envisageable. Il se base pour cela non seulement sur les préparatifs lors de son raid

<sup>1794</sup> HUBERT J., *Op. Cit.*, p. 191.

de 1930, mais également sur les enseignements apportés par les voyages transatlantiques effectués entretemps ainsi que sur l'évolution du matériel aéronautique et son perfectionnement incessant<sup>1795</sup>. Il existe quatre routes pour rejoindre New York à partir de Paris (voir carte 23). La route arctique, qui passe par l'Écosse, l'Islande, le Groenland et le Labrador, a été empruntée d'Est en Ouest par Smith et Nelson en 1924 mais aussi par la croisière italienne du maréchal Balbo en août 1933 et Lindbergh pour un voyage d'étude pour la Pan American Airways également à l'été 1933. La route orthodromique (5 820 km) a été empruntée essentiellement d'Est en Ouest, par Alcock et Brown en 1919 et Lindbergh en mai 1927. Kölh, pilote de nuit de la Luft Hansa et spécialiste de la navigation, Von Hünefeld et Fitzmaurice, ont effectué le premier vol d'Ouest en Est, d'Irlande au Labrador, sur cette route en avril 1928. La route des transatlantiques (entre 6 100 km et 6 200 km) est empruntée, d'Ouest en Est, par Costes et Bellonte en septembre 1930. La route des Açores, qui a été utilisée pour la première traversée de l'Atlantique Nord d'Est en Ouest par trois équipages de l'US Navy le 16 mai 1919, peut être suivie avec ou sans escale aux Bermudes.



Carte 23 : Carte des quatre routes de l'Atlantique Nord.<sup>1796</sup>

<sup>1795</sup> BELLONTE M., « La navigation aérienne commerciale sur l'Atlantique Nord », *L'Aérophile*, mars 1936, pp. 51-59.

<sup>1796</sup> BELLONTE M., « La navigation aérienne commerciale sur l'Atlantique Nord », *L'Aérophile*, mars 1936, p. 52.

Le choix de la route à emprunter est essentiel. Selon Bellonte les conditions météorologiques doivent orienter ce choix :

*Il est hors de doute que la route à suivre commercialement est déterminée principalement par les conditions météorologiques. (...)*

*Nous serons conduits à choisir la route qui, en raison de ses conditions météorologiques, permettra d'obtenir la plus grande régularité commerciale, c'est-à-dire celle qui permettra au service aérien d'être effectué avec le minimum de jours d'interruption dans l'année.*<sup>1797</sup>

Bellonte exclut en conséquence la route arctique trop sujette aux perturbations météorologiques. La route orthodromique, soumise à de forts courants d'ouest et dont la force des vents augmente avec l'altitude, est à écarter dans le sens d'Ouest en Est. La route des transatlantiques, subissant les mêmes vents violents (mais un peu atténués) ne conviendra pas non plus. La route des Açores, bien que la plus longue, est à privilégier car :

*Malgré cette augmentation de la distance totale de Paris à New-York, les avantages qu'elle présente au point de vue météorologique doivent, en définitive, la faire choisir pour un service commercial.*<sup>1798</sup>

La direction d'Air France-Transatlantique suit le même raisonnement que celui de Bellonte, pour choisir les itinéraires, lorsqu'elle lance les voyages d'étude en 1938-1939. Six voyages, aller-retour, à travers l'Atlantique Nord sont organisés, entre fin août 1938 et fin août 1939, à bord de deux hydravions : le *Laté-521 Lieutenant-de-Vaisseau-Paris* et le *Laté 522 Ville-de-Saint-Pierre* (voir tableau 44). Henri Guillaumet y est à chaque fois pilote et chef de bord avec Leclaire ou Cariou comme second pilote selon la traversée effectuée. Paul Comet (voir chapitre 6) y est le navigateur. Néri et Bouchard y assurent la fonction d'opérateur-radio. L'équipage est complété par trois mécaniciens parmi Morvan, Roux, Chapatou, Coustaline et Montaubin.

---

<sup>1797</sup> *Ibid.*

<sup>1798</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 54.

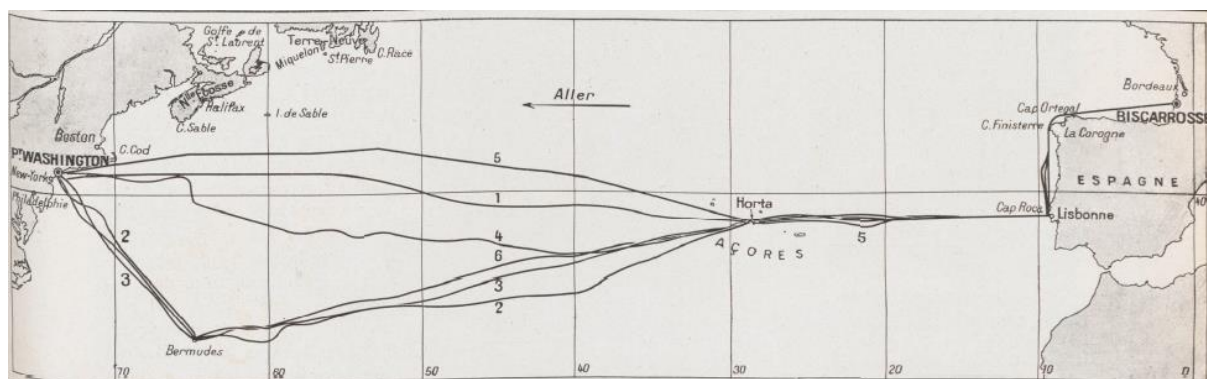


| Voyages.    | Date.                               | Appareil.                                                                           | Équipage.                                                                                       | Itinéraire.                                                | Kilo-<br>mètres. | Durée<br>totale. | Vitesse<br>commer-<br>ciale. | Heures<br>de vol. | Vitesse<br>moyenne<br>de vol. | Observations.                                                                      |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           | 23-31 août 1938                     | <i>Latécoère 521</i><br>" <i>Lieutenant</i><br><i>de Vaisseau</i><br><i>Paris</i> " | GUILLAUMET-LECLAIRE-<br>COMET-BOUCHARD-NÉRI-<br>ROUX-LE MORVAN-<br>CHAPATON                     | Biscarrosse-Lisbonne-<br>Horta-Port Washington             | 6 903            | h -              | km/h                         | h m               | km/h                          | L'appareil<br>est resté<br>6 jours<br>à Horta<br>à l'aller                         |
| Retour .... | 6-9 sept. 1938                      | "                                                                                   | "                                                                                               | Port Washington-Horta-<br>Lisbonne-Biscarrosse             | 7 403            | 46 01            | 97,4                         | 42 37             | 173,7                         |                                                                                    |
| 2           | 16-18 mai 1939                      | "                                                                                   | GUILLAUMET - CARLOT -<br>COMET - NÉRI-BOU-<br>CHARD - LE MORVAN -<br>CHAPATON - COUSTA-<br>LINE | Biscarrosse-Lisbonne-<br>Horta-Bermudes-Port<br>Washington | 7 570            | 64 07            | 118                          | 37 31             | 201,8                         |                                                                                    |
| Retour .... | 23-25 mai 1939                      | "                                                                                   | "                                                                                               | Port Washington-Horta-<br>Lisbonne-Biscarrosse             | 7 100            | 46 45            | 155,2                        | 34,11             | 207,7                         |                                                                                    |
| 3           | 16-18 juin 1939                     | <i>Latécoère 522</i><br>" <i>Ville-de-</i><br><i>Saint-Pierre</i> "                 | GUILLAUMET - CARLOT -<br>COMET - NÉRI-ROUX-<br>BOUCHARD-MONTAUDIN-<br>CHAPATON                  | Biscarrosse-Lisbonne-<br>Horta-Bermudes-Port<br>Washington | 7 560            | 48 32            | 155,7                        | 42 07             | 170,5                         |                                                                                    |
| Retour .... | 22-24 juin 1939                     | "                                                                                   | "                                                                                               | Port Washington-Horta-<br>Lisbonne-Biscarrosse             | 6 955            | 46 32            | 149,4                        | 34 20             | 203,5                         |                                                                                    |
| 4           | 7-10 juillet 1939                   | <i>Latécoère 521</i><br>" <i>Lieutenant</i><br><i>de Vaisseau</i><br><i>Paris</i> " | GUILLAUMET - CARLOT -<br>COMET - NÉRI-BOU-<br>CHARD - LE MORVAN -<br>CHAPATON - COUSTA-<br>LINE | Biscarrosse-Lisbonne-<br>Horta-Port Washington             | 7 040            | 64 43            | 108,7                        | 37 22             | 188,4                         | Retour<br>sans escale.<br>Arrêt d'un<br>moteur<br>après 15 <sup>h</sup><br>de vol. |
| Retour .... | 14-15 juillet 1939                  | "                                                                                   | "                                                                                               | Port Washington-<br>Biscarrosse                            | 5 875            | 38 27            | 206,5                        | 38 27             | 206,5                         |                                                                                    |
| 5           | 28-30 juillet 1939                  | <i>Latécoère 522</i><br>" <i>Ville-de-</i><br><i>Saint-Pierre</i> "                 | GUILLAUMET - CARLOT -<br>COMET - NÉRI-ROUX-<br>BOUCHARD - LE MOR-<br>VAN - MONTAUDIN            | Biscarrosse-Lisbonne-<br>Horta-Port Washington             | 6 780            | 30 31            | 171,5                        | 35 02             | 193,5                         |                                                                                    |
| Retour .... | 3-4 août 1939                       | "                                                                                   | "                                                                                               | Port Washington-<br>Botwood-Biscarrosse                    | 5 005            | 30 30            | 192,7                        | 27 54             | 211,8                         |                                                                                    |
| 6           | 19-21 juillet 1939<br><i>Quelle</i> | <i>Latécoère 521</i><br>" <i>Lieutenant</i><br><i>de Vaisseau</i><br><i>Paris</i> " | GUILLAUMET - CARLOT -<br>COMET - NÉRI-BOU-<br>CHARD - LE MORVAN -<br>CHAPATON - COUSTA-<br>LINE | Biscarrosse-Lisbonne-<br>Horta-Port Washington             | 7 530            | 59 27            | 156,7                        | 37 27             | 201,1                         |                                                                                    |
| Retour .... | 27-28 juillet 1939<br><i>Août</i>   | "                                                                                   | "                                                                                               | Port Washington-<br>Botwood-Biscarrosse                    | 6 035            | 32 27            | 186                          | 29 58             | 201,4                         |                                                                                    |

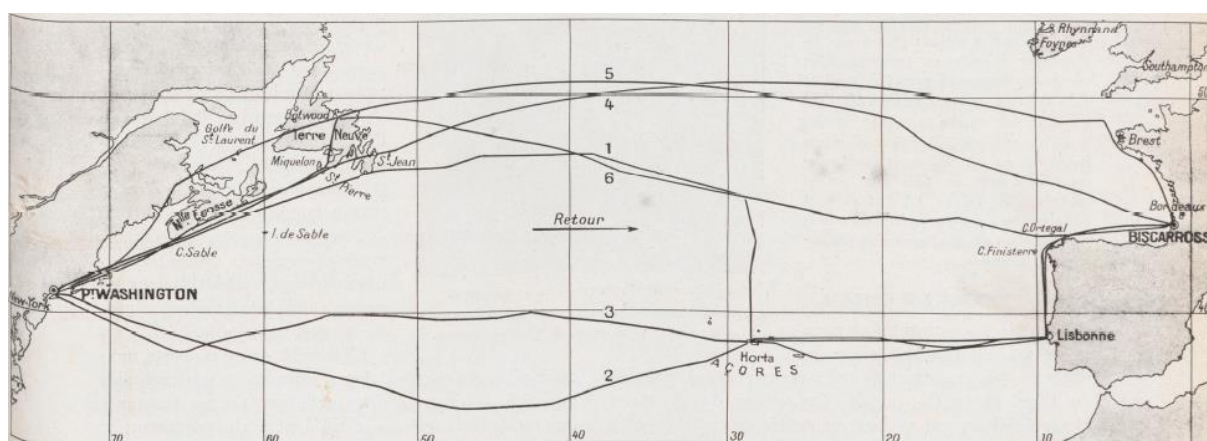
Tableau 44 : Voyages d'étude à travers l'Atlantique Nord de la compagnie Air France-Transatlantique (1938-1939).<sup>1799</sup>

<sup>1799</sup> BONAME R., « Note sur la préparation et l'exécution par Air France-Transatlantique des traversées aériennes régulières de l'Atlantique Nord », *L'Aéronautique*, novembre 1939, p. 428.

La route des Açores, avec escale à Horta, est à chaque fois suivie pour le trajet d'Ouest en Est mais avec des variantes (voir carte 24). Plusieurs routes sont testées sur le trajet de retour, la route orthodromique ayant été approchée lors de la cinquième traversée (voir carte 25). Ces itinéraires ont été choisis essentiellement en fonction des conditions météorologiques.



Carte 24 : Itinéraires empruntés sur l'Atlantique Nord à l'aller par les hydravions de la compagnie Air France-Transatlantique (1938-1939).<sup>1800</sup>



Carte 25 : Itinéraires empruntés sur l'Atlantique Nord au retour par les hydravions de la compagnie Air France-Transatlantique (1938-1939).<sup>1801</sup>

Au vu de ces six itinéraires, la direction de la compagnie envisage d'aménager des bases en Irlande, à Terre-Neuve, aux Açores et aux Bermudes. Elle y installerait le personnel et le matériel nécessaire aux éventuelles réparations qu'auraient à subir les hydravions, ainsi que des vivres et du carburant.

Les procédures en cours dans la compagnie Air France à la fin des années 1930 sont de plus en plus organisées. Déjà Bellonte, dans son exposé de novembre 1935, publié en mars

<sup>1800</sup> BONAME R., *Op. Cit.*, p. 429. Les chiffres correspondent à l'ordre chronologique des traversées données dans le tableau 44.

<sup>1801</sup> *Ibid.* Les chiffres correspondent à l'ordre chronologique des traversées données dans le tableau 44.



1936, remarquait l'utilisation judicieuse des comptes rendus des différents membres de l'équipage notamment en termes de météorologie (voir extrait 22). Il écrivait :

*Ces renseignements [météorologiques], groupés par la direction de la compagnie exploitante, et étudiés par les services centraux météorologiques, seront particulièrement précieux pour la conduite à tenir au cours des années suivantes.*

*Cette idée qui reçut un commencement d'exécution à la compagnie Air-Union dès 1926, sur l'initiative de M. Henri Bardel, est maintenant appliquée régulièrement par les pilotes d'Air-France.*

*Elle permet de préciser tout à fait objectivement les détails d'évolution du temps que les cartes ont permis de connaître.*<sup>1802</sup>

| AIR FRANCE-TRANSATLANTIQUE     |                  |               | FICHE DE MÉTÉOROLOGIE                                              |       |           |    |        |      |            |      |                                                                |                      |
|--------------------------------|------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------|-------|-----------|----|--------|------|------------|------|----------------------------------------------------------------|----------------------|
| SERVICE TECHNIQUE              |                  |               | Parcours de Port Hamilton à Port-Washington (Nombre de feuilles 1) |       |           |    |        |      |            |      |                                                                |                      |
| SECTION ETUDE ET DOCUMENTATION |                  |               |                                                                    |       |           |    |        |      |            |      |                                                                |                      |
| Date                           | Heure            | Position      | Vent surf.                                                         |       | Vent alt. |    | Altit. | Seb. | Visibilité | Ø    | ETAT DU TEMPS<br>& NATURE DES NUAGES                           | ETAT DE LA MER       |
|                                |                  |               | Dir.                                                               | V.    | Dir.      | V. |        |      |            |      |                                                                |                      |
| 18 mai 1939                    | 17 <sup>30</sup> | 55°26' 65°20' | NW                                                                 | 35    | NW        | 25 | 1400   | 1/10 | très bonne | +11° | Cu bourgeonnant sommets 1500/2000. Stratus à 1200. Pluie.      | agité                |
|                                | 18 <sup>00</sup> | 37°46' 67°39' | NW                                                                 | 20    | NW        | 20 | 1300   | 5/10 | T. B.      | +13° | Cu agglomérés par places. Sommets vers 1200. Cloud on descent. | petite houle de Nord |
|                                | 19 <sup>00</sup> | 30°05' 69°00' | NNE                                                                | 30    | NNE       | 35 | 1400   | 5/10 | A B.       | +12° | St. Cu. B.T.                                                   | agité                |
|                                | 20 <sup>00</sup> | 17°08' 70°30' | NW                                                                 | 40    | NW        | 40 | 1350   | 4/10 | +          | +14° | Cu et Cist.                                                    | grosse               |
|                                | 21 <sup>00</sup> | 12°32' 71°26' | W                                                                  | 35/40 | W         | 50 | 1200   | +    | +          | +15° |                                                                |                      |
|                                | 22 <sup>00</sup> | 40°14' 72°35' |                                                                    |       | SW        | 25 | -      |      |            |      |                                                                |                      |

Signature du Navigateur : P. Comet

Extrait 22 : Fiche météorologique complétée par Comet le 18 mai 1939 (aller du 2<sup>e</sup> voyage).<sup>1803</sup>

Chaque voyage augmente le nombre de données météorologiques permettant notamment d'affiner statistiquement le temps prévu sur chaque itinéraire en fonction du vent donné par la météo. Bellonte qui avait utilisé cette méthode avec succès lors du raid de 1930 donne un exemple des temps de parcours selon la situation météorologique des 8 et 9 novembre 1935 (voir extrait 23).

<sup>1802</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 56.

<sup>1803</sup> BONAME R., *Op. Cit.*, p. 416.

Nous remarquons dans cet extrait que Bellonte a calculé la vitesse de l'avion selon que le vent soit de face, de travers ou par l'arrière avec un minimum de 180 km/h et un maximum de 277 km/h pour une vitesse propre de 250 km/h. La vitesse prévue par Bellonte est largement plus élevée que celle atteintes par Guillaumet lors de ses six voyages de 1938-1939, mais il est vrai que les hydravions utilisés n'ont pas une vitesse propre de 250 km/h (voir tableau 44).

|                                                        |                                              |          |         |          |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------|---------|----------|
| DE<br>PARIS<br>A<br>NEW-YORK<br>PAR<br>L'ORTHODROMIE   | de Paris au 18° W .....                      | 1490 kms | 180 kmh | 8 h. 17  |
|                                                        | du 18° W au 25° W .....                      | 470 »    | 192 »   | 2 h. 27  |
|                                                        | du 25° W au 35° W .....                      | 690 »    | 222 »   | 3 h. 07  |
|                                                        | du 35° W au 50° W .....                      | 1070 »   | 205 »   | 5 h. 16  |
|                                                        | du 50° W au 60° W .....                      | 800 »    | 247 »   | 3 h. 15  |
|                                                        | du 60° W à New-York .....                    | 1300 »   | 264 »   | 4 h. 56  |
|                                                        |                                              | 5820 kms |         | 27 h. 18 |
|                                                        | Vitesse de route moyenne : <b>213 kmh.</b>   |          |         |          |
|                                                        | Pluie et grains entre Paris et 40° W.        |          |         |          |
|                                                        | Givre entre 50° W et 55° W.                  |          |         |          |
| DE<br>PARIS<br>A<br>HORTA<br>(a)                       | de Paris à Bordeaux (Biscarosse) .....       | 590 kms  | 240 kmh | 2 h. 28  |
|                                                        | de Bordeaux (Biscarosse) au 10° W .....      | 710 »    | 205 »   | 3 h. 28  |
|                                                        | du 10° W au 20° W .....                      | 860 »    | 242 »   | 3 h. 33  |
|                                                        | du 20° W à Horta .....                       | 800 »    | 265 »   | 3 h. 02  |
|                                                        |                                              | 2960 kms |         | 12 h. 31 |
|                                                        | Vitesse de route moyenne : <b>237 kmh.</b>   |          |         |          |
|                                                        | Pluie et grains jusqu'au 15° W.              |          |         |          |
| DE<br>HORTA<br>A<br>NEW-YORK (d)<br>TRAJET<br>DIRECT   | de Horta au 35° W .....                      | 580 kms  | 270 kmh | 2 h. 09  |
|                                                        | du 35° W au 45° W .....                      | 860 »    | 270 »   | 3 h. 11  |
|                                                        | du 45° W au 53° W .....                      | 660 »    | 250 »   | 2 h. 39  |
|                                                        | du 53° W au 55° W .....                      | 160 »    | 250 »   | 0 h. 38  |
|                                                        | du 55° W à New-York .....                    | 1580 »   | 265 »   | 5 h. 58  |
|                                                        |                                              | 3840 kms |         | 14 h. 35 |
|                                                        | Vitesse de route moyenne : <b>263 kmh.</b>   |          |         |          |
|                                                        | Pluie, grains et givre entre 53° W et 63° W. |          |         |          |
| DE<br>HORTA<br>AUX<br>BERMUDES (e)<br>ET A<br>NEW-YORK | de Horta au 35° W .....                      | 550 kms  | 270 kmh | 2 h. 02  |
|                                                        | du 35° W au 45° W .....                      | 880 »    | 270 »   | 3 h. 16  |
|                                                        | du 45° W au 53° W .....                      | 730 »    | 240 »   | 3 h. 03  |
|                                                        | du 53° W aux Bermudes .....                  | 1140 »   | 277 »   | 4 h. 07  |
|                                                        | des Bermudes à New-York .....                | 1250 »   | 246 »   | 5 h. 05  |
|                                                        |                                              | 4550 kms |         | 17 h. 33 |
|                                                        | Vitesse de route moyenne : <b>258 kmh.</b>   |          |         |          |
|                                                        | Pluie entre 53° W et 60° W.                  |          |         |          |
|                                                        | Averses entre 67° W et 69° W.                |          |         |          |

Extrait 23 : Temps de vol et vitesses moyennes de route en fonction des vents sur différents itinéraires entre Paris et New York pour un avion volant à 250 km/h de vitesse propre et un départ de Paris le 8 novembre 1935 au matin.<sup>1804</sup>

À chaque vol, les membres d'équipage des vols Air France-Transatlantique remplissent des fiches préparées à l'avance par le service technique de la compagnie afin de constituer un

<sup>1804</sup> BELLONTE M., *Op. Cit.*, p. 55.

historique complet de ces vols et de pouvoir les comparer entre eux et aux vols prévus. Parmi ceux-ci, le navigateur remplit une fiche météorologique (voir extrait 22) et une fiche de navigation (voir extrait 24), les opérateurs-radio remplissent un rapport général de leur spécialité tout comme le chef de bord.

| AIR FRANCE-TRANSATLANTIQUE     |                    |                           |               | FICHE DE NAVIGATION                                                |           |          |            |                     |             |            |                  |                      |      |                                                        |
|--------------------------------|--------------------|---------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|----------|------------|---------------------|-------------|------------|------------------|----------------------|------|--------------------------------------------------------|
| SERVICE TECHNIQUE              |                    |                           |               | Parcours de Port Hamilton à Port Washington (Nombre de feuilles 1) |           |          |            |                     |             |            |                  |                      |      |                                                        |
| SECTION ETUDE ET DOCUMENTATION |                    |                           |               |                                                                    |           |          |            |                     |             |            |                  |                      |      |                                                        |
| Date                           | Heure              | Position                  | Vent<br>Kms/H | Direction                                                          | V<br>aéro | V<br>aba | V<br>radio | Cap<br>ou<br>compas | Dérive<br>X | drift<br>d | Déclinaison<br>D | Route<br>vraie<br>Rv | Ab.  | OBSERVATIONS<br>(points de repère, bateaux)            |
| 18<br>mai<br>1939              | 15 <sup>h</sup> 49 | De l'océan                | 24            | SW                                                                 | 215       | 170      | 188        | 330                 | 0           | 0          | 12 NW            | 318                  | 1400 | Point estimé                                           |
|                                | 17 <sup>h</sup> 00 | 33°26'.66"20"             | 25            | NW                                                                 | 215       | 170      | 188        | 330                 | 0           | 0          | 12 NW            | 318                  | 1300 | —                                                      |
|                                | 18 <sup>h</sup> 00 | 34°40'.67"39"             | 30            | NW                                                                 | 215       | 170      | 188        | 330                 | 0           | 0          | 12 NW            | 318                  | 1400 | —                                                      |
|                                | 19 <sup>h</sup> 00 | 36°00'.09"00"             | 35            | N/NNE                                                              | 210       | 185      | 193        | 338                 | 8 A         | 0          | 12 NW            | 318                  | 1400 | —                                                      |
|                                | 20 <sup>h</sup> 00 | 37°08'.70"10"             | 40            | NW                                                                 | 210       | 171      | 188        | 336                 | 0           | 0          | 12 NW            | 324                  | 1350 | —                                                      |
|                                | 21 <sup>h</sup> 00 | 38°30'.71"20"             | 50            | W                                                                  | 210       | 171      | 188        | 336                 | 10 T        | 0          | 12 NW            | 324                  | 1200 | —                                                      |
|                                | 22 <sup>h</sup> 00 | 40°14'.72"35"             | 25            | SW                                                                 | 210       | 171      | 188        | 336                 | 10 T        | 0          | 12 NW            | 324                  | 1200 | Point observé par<br>général du bord<br>à 20.45 heures |
|                                | 22 <sup>h</sup> 26 | Arrivée à Port Washington |               |                                                                    |           |          |            |                     |             |            |                  |                      |      |                                                        |
|                                | 22 <sup>h</sup> 47 | Arrivée à Port Washington |               |                                                                    |           |          |            |                     |             |            |                  |                      |      |                                                        |

Kilométrage parcouru après 6 heures 58<sup>m</sup> = 1240 kms.  
Moyenne horaire : 178 km/h.  
Distance orthodromique : 1240 kilomètres  
Nombre d'heures de vol : 5<sup>h</sup>58<sup>m</sup> de nuit

Signature du Navigateur  
P. Comet

Extrait 24 : Fiche de navigation complétée par Comet le 18 mai 1939 (aller du 2<sup>e</sup> voyage).<sup>1805</sup>

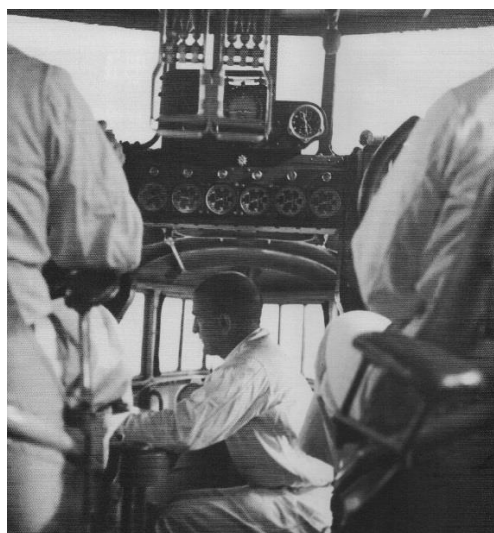


Figure 166 : Dans le cockpit du Lieutenant de vaisseau Paris, le navigateur Paul Comet est à son poste de travail au centre. De dos, Guillaumet à gauche et Leclair à droite.<sup>1806</sup>

<sup>1805</sup> Ibid.

<sup>1806</sup> BONAME R., « Air France Transatlantique. La contribution française aux premières liaisons régulières sur l'Atlantique Nord », in « La conquête de l'Atlantique Nord, tome 2 : la France », Icare, février 1996, p. 79.



Le navigateur est chargé d'assurer le recoupement des procédés de navigation à l'estime et au sextant (voir figure 169) par de fréquents relèvements radiogoniométriques (au moins une fois par heure<sup>1807</sup>) opérés par les radiotélégraphistes.

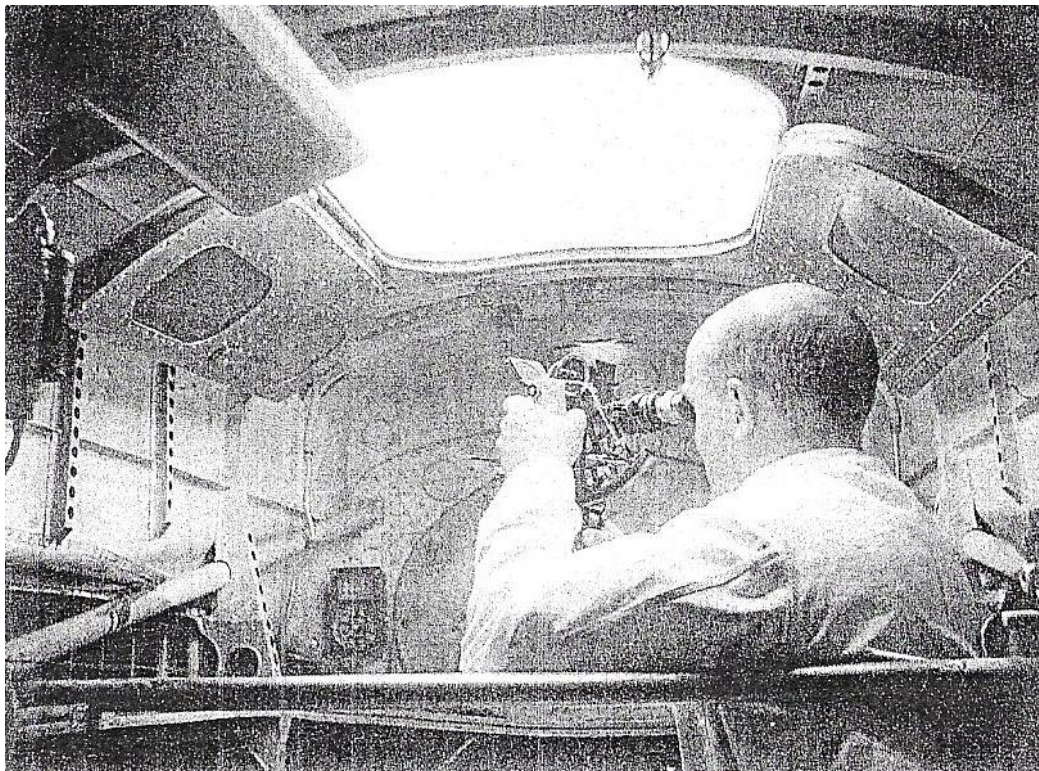


Figure 167 : Paul Comet faisant un point astronomique.<sup>1808</sup>

Les relèvements radiogoniométriques sont effectués sur onde courte par les stations au sol. La station goniométrique de Quimper relève les signaux émis par l'hydravion et le poste de Viry-Châtillon (avec transit par Saint-Pierre si nécessaire) communique à l'aéronef sa position sous forme d'un groupe de trois chiffres représentant le relèvement suivi d'un groupe de quatre chiffres représentant l'heure du relèvement<sup>1809</sup>. Les opérateurs-radio effectuent également des relèvements sur onde moyenne à partir du goniomètre de bord ou lors des relèvements par des bateaux. Les radiotélégraphistes sont munis de nombreux documents (voir extrait 25) pour obtenir les relèvements radiogoniométriques et pour entrer en liaison avec les différents postes sur le parcours.

<sup>1807</sup> BONAME R., « Note sur la préparation et l'exécution par Air France-Transatlantique des traversées aériennes régulières de l'Atlantique Nord », *L'Aéronautique*, novembre 1939, p. 418.

<sup>1808</sup> Photographie du Musée Air France jointe à l'article de Comet sur le retour de la traversée du 14-15 juillet 1939 (4<sup>ème</sup> voyage). COMET P., « La navigation sur l'Atlantique Nord il y a 56 ans... il y a 41 ans », *Navigation* (Paris), Octobre 1995, p. 531. La photographie n'étant pas datée, il n'est pas certain qu'elle date de 1939.

<sup>1809</sup> BONAME R., *Op. Cit.*, p. 418.

| STATIONS FIXES.                               |                   |                                              |                                                   |                          |                                  |                                                                                        |
|-----------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Poste. — Position géographique                | Indicatif d'appel | Fréquence                                    | Longueur d'onde                                   | Puissance dans l'antenne | Type d'émission                  | Observations                                                                           |
| Belle-Isle-Labrador<br>55° 21' W - 51° 52' N. | FCM               | 40<br>143<br>163<br>179<br>375<br>417<br>500 | m<br>2 100<br>1 840<br>1 676<br>800<br>719<br>600 | 1,6<br>1,6               | A <sub>2</sub><br>A <sub>3</sub> | Onde inter <sup>le</sup> appel                                                         |
| Botwood, .....                                | FOAB              | 3 082,5<br>5 692,5<br>8 240<br>12 300<br>333 | 97,32<br>52,70<br>36,41<br>24,35<br>901           |                          |                                  | Onde normale de radio.<br>Station de navire.<br>Onde inter <sup>le</sup> appel et dét. |
| Cap Race<br>53° 04' W - 46° 39' N.            | FCE               | 163<br>375<br>434<br>560                     | 1 840<br>800<br>661<br>600                        | 1,6                      | A <sub>2</sub>                   | Station de navire.<br>Onde normale de radio.                                           |
| Port-aux-Basques<br>50° 08' W - 47° 34' N.    | VOZ               | 500                                          | 600                                               | 0,015                    | A <sub>3</sub>                   | Onde inter <sup>le</sup> .                                                             |
| St-Johns<br>52° 41' W - 47° 34' N.            | VOJ               | 250                                          | 1 200                                             |                          |                                  |                                                                                        |

STATIONS RADIOGONIOMÉTRIQUES.

*Belle-Isle-Labrador.* — Position de l'antenne réceptrice : 55° 21' 44" W - 51° 52' 52" N. — Indicatif, « FCM », — Onde d'appel sur A<sub>2</sub>B, 600<sup>m</sup> ; pour transmettre signaux sur A<sub>3</sub>B, 800<sup>m</sup> ; pour transmission des relèvements A<sub>1</sub>, 800<sup>m</sup>.

*Cap Race.* — Position de l'antenne réceptrice : 53° 04' 15" W - 46° 39' 25" N. — Indicatif, « FCE », — Onde d'appel sur A<sub>2</sub>B, 600<sup>m</sup> ; pour transmettre signaux sur A<sub>3</sub>B, 800<sup>m</sup> ; pour les transmissions des relèvements sur B, 800<sup>m</sup>.

*St-Johns.* — Position de l'antenne réceptrice et de l'antenne émettrice : 52° 41' 04" W - 47° 34' 09" N. — Indicatif, « FON », — Onde d'appel sur A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>, 600<sup>m</sup> ; pour transmettre signaux sur A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>, 800<sup>m</sup> ; pour transmissions des relèvements A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>, 800<sup>m</sup>.

STATIONS ÉQUIPÉES D'UN RADIOPHARE.

STATIONS ÉMETTANT DES BULLETINS MÉTÉOROLOGIQUES RÉGULIERS.

| Nom de la Station<br>Position géographique         | Indicatif | Fréquence | Longueur<br>d'onde | Fréquence<br>modulation | Type           |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|--------------------|-------------------------|----------------|
| Cap Bauld Phare<br>55° 25' W - 51° 38' N...        | FGB       | 285       | 1053               | 1000                    | A <sub>2</sub> |
| Cap Ray Phare<br>50° 18' W - 47° 37' N...          | FGR       | 285       | 1053               | 1000                    | A <sub>2</sub> |
| Port-aux-Basques Phare<br>50° 08' W - 47° 34' N... | VOZ       | 313       | 958                | 1500                    | A <sub>2</sub> |
| Twillingate Phare<br>54° 49' W - 49° 41' N...      | VOJ       | 304       | 987                | 1000                    | A <sub>3</sub> |

| Nom de la Station<br>Position géographique      | Indicatif | Fréquence | Longueur<br>d'onde | Heures<br>d'émission     | Type           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------------|----------------|
| Belle-Isle-Labrador<br>55° 21' W - 51° 52' N... | FCM       | 484       | 620                | sur demande              | A <sub>2</sub> |
| Cap Race<br>53° 04' W - 46° 39' N...            | FCE       | 455       | 659                | 0430-1630<br>sur demande | A <sub>1</sub> |
| St-Johns<br>52° 41' W - 47° 34' N...            | FON       | 500       | 600                | 0400-1600                |                |

Extrait 25 : Dossier radio de la région de Terre-Neuve.<sup>1810</sup>

Le navigateur, muni à la fois des informations météorologiques (prévues et obtenues par radio) et des relèvements (obtenus au sextant et par radio) a pour rôle de diriger méthodiquement l'avion sur la route en donnant au pilote toutes les indications nécessaires au vol. C'est lui qui, normalement, choisit l'altitude à adopter en fonction des renseignements météorologiques. De ce fait il doit être en liaison rapide à la fois avec les opérateurs-radio et avec le chef de bord ou le pilote. Guillaumet, en tant que chef de bord, doit valider ou non les choix de Comet sur les traversées de 1938-1939.

<sup>1810</sup> BONAME R., *Op. Cit.*, p. 423.

Les voyages transatlantiques sont réalisés dans des conditions de confort que n'ont pas connues les équipages de raid. Comet raconte que quatre heures après le départ de Port-Washington (New York) le 14 juillet 1939, « les membres de l'équipage pouvaient, quittant leur poste à tour de rôle, descendre dans la vaste coque de l'hydravion, où la détente est favorisée par une table bien garnie et des couchettes confortables installées »<sup>1811</sup>. Notons d'ailleurs que Comet est, en plus de son poste de navigateur, chargé de l'intendance. Saint-Exupéry, qui rappelons-le se plaint de ne plus retrouver l'esprit de l'aviateur-aventurier dans les vols de la fin des années 1930, bénéficie également du confort de ce vol, y ayant pris place avec Louis Couhé, le directeur de la Compagnie.

La direction d'Air France-Transatlantique prévoyait d'ouvrir la ligne commerciale vers 1940-1941, l'article de Boname ayant été écrit et composé avant la déclaration de guerre. L'entrée en guerre de la France en septembre 1939 suspend les projets de traversée commerciale de l'Atlantique Nord par la France.

Si la ligne vers l'Amérique du Nord est suspendue, Air France continue d'exploiter sa ligne long-courrier d'Amérique du Sud jusqu'en 1940 (ligne interrompue de 1940 à 1946).

## Conclusion

Les expéditions lointaines prennent une nouvelle dimension à partir de 1927. Les avions de raid sont suffisamment performants pour envisager la traversée de l'Atlantique sans escale et la navigation au long cours qui l'accompagne

Charles Bertin, qui avait imaginé une méthode et des tables de calculs nautiques abrégées à destination des marins, propose un ensemble d'ouvrages particulièrement bien accueilli par l'aviation. Le Brix lors du tour du monde à bord du *Nungesser-et-Coli* en 1927, Dévé lors de la liaison Paris-Nouméa en 1932, Saldo sur les « Farman Postaux » d'Air France assurant la traversée de l'Atlantique Sud ou encore Comet pour les essais de traversée commerciale de l'Atlantique Nord témoignent de l'utilisation de cet instrument pour la réussite de leur entreprise. Les itinéraires Kahn, destinés notamment à la navigation orthodromique, prouvent également leur intérêt lors de la navigation astronomique effectuée par Bellonte pour le raid Paris-New York de 1930.

Mais ces quelques exemples ne reflètent pas l'essentiel de la navigation aérienne. Il est peu probable que les navigatrices (à l'exception peut-être de Suzanne Kohn et de Louise Morel de Foucaucourt qui sont titulaires du Brevet supérieur de navigateur aérien à la fin des années

---

<sup>1811</sup> COMET P., *Op. Cit.*, p. 530.

1930) aient eu recours à ces tables de calculs et à ces cartes. Il est plus probable qu'elles aient pratiqué la navigation à l'estime et hertzienne, tout comme la majorité de leurs homologues masculins de l'aviation militaire et marchande.

Si l'aviation de chasse a peu recours aux techniques de navigation, à l'exception de l'utilisation de la montre et du compas, les avions de bombardement et de reconnaissance sont mieux équipés en instruments de navigation. Les instruments de navigation à l'estime, hérités des années 1920, voire d'avant la Première guerre mondiale, tels que les compas ou le navigraphe Le Prieur, sont perfectionnés tandis que divers « cinémo-dérivomètre » sont testés. Les avions de l'aviation maritime sont réglementairement équipés de « quadrants Favé » destinés à la navigation astronomique, mais pouvant également servir pour régler des bombardements. Les aviateurs de l'Armée de l'air ne sont que rarement des adeptes de la navigation astronomique, qui est une technique et demande beaucoup d'entraînement. En revanche, ils fondent de grands espoirs sur la radionavigation. Ils ont recours à la radiotélégraphie et à la radiotéléphonie, en particulier dans les colonies. De plus le radiocompas équipe progressivement les avions de l'Armée de l'air. Enfin, les militaires utilisent la radiogoniométrie pour se situer et se diriger, mais en restant prudents. L'état-major est conscient que cet instrument ne peut pas s'utiliser de la même manière en temps de paix et en temps de guerre, aussi ont-ils tendance à se servir de cet instrument de manière à ce que les avions déterminent eux-mêmes leur position, par relevés radiogoniométriques, et non l'inverse où les installations à terre calculent la position de l'avion.

L'aviation marchande n'a pas les mêmes contraintes. Les impératifs de sécurité, qui ont d'ailleurs conduit à l'instauration des brevets de navigateur (voir chapitre 6) et à la présence à bord des avions de transport de radiotélégraphistes qualifiés, rendent la surveillance radio des avions indispensable. La radiotélégraphie, supplantant la radiotéléphonie, occupe majoritairement les employés des organismes de contrôle, mais la radiogoniométrie gagne peu à peu du terrain dans l'aéronautique civile. Les écrivains aviateurs Saint-Exupéry ou Viré relatent d'ailleurs leurs expériences de la TSF lors de leurs vols pour l'Aéropostale.

Ainsi, l'importance du rôle de la navigation maritime sur la navigation aérienne est in fine encore une réalité sur cette période de 1928 à 1940.

D'une part, des instruments de navigation utilisés dans l'aéronautique sont très couramment dérivés de ceux présents en mer avec en premier lieu les compas (Morel était officier de marine). Même destin pour les sextants dont le représentant le plus utilisé par les aviateurs est celui à bulle développé par l'ingénieur hydrographe Favé. De plus Bertin est

professeur d'hydrographie et Kahn, qui met au point un ensemble de cartes pour la navigation au long cours dérivé des cartes de Mercator, est ingénieur du Génie maritime.

D'autre part, les connaissances en navigation aérienne des aviateurs maritimes sont reconnues par les militaires. Et les marins, embauchés par l'Aéropostale pour assurer la sécurité des aviateurs et le cas échéant les secourir, décident parfois de faire carrière dans l'aéronautique en devenant navigateur ou radiotélégraphiste aérien.

Mais la navigation aérienne n'est pas uniquement une réinterprétation de la navigation maritime. Plusieurs instruments du poste de navigation n'ont pas leur équivalent dans la navigation maritime comme le navigraphe. Notons toutefois, là encore, que c'est un ancien marin qui l'a mis au point.



## Conclusion générale

Cette thèse porte sur les transferts, en France, en matière de navigation entre la marine et l'aéronautique dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Nous avons dégagé trois parties permettant de répondre aux problématiques suscitées par ce sujet.

Il ne saurait être question de navigation sans commencer par faire un état des lieux de celle-ci dans la marine. Les méthodes et connaissances en usage dans la marine française, au début du XX<sup>e</sup> siècle et jusqu'à la Première guerre mondiale, tant dans la navigation à l'estime qu'en navigation astronomique, sont efficaces mais demandent un apprentissage rigoureux et intensif. Les réformes à l'École navale et dans les écoles d'hydrographie mettent en place un enseignement de la navigation dans ce sens.

L'étude de manuels scolaires nous a permis de repérer trois types de connaissances de base – les systèmes de coordonnées, la résolution du « triangle de position », la « navigation par lieux géométriques » – dont nous avons fait une analyse comparative au regard du public visé. Ces notions sont l'un des aspects de la navigation à l'estime et de la navigation astronomique qui s'apprennent en cours lors de conférences.

Nous avons consacré un chapitre aux instruments de navigation, que les élèves découvrent à l'école, mais qui demandent à être mis en application à bord des navires. Le compas, auxiliaire privilégié de la navigation à l'estime, demande une étude poussée depuis que les métaux ont gagné les navires ; Marguet dans son cours de l'École navale lui consacre d'ailleurs une place à part<sup>1812</sup>. Au compas, s'ajoutent le sextant et le chronomètre qui sont les deux instruments de mesure emblématiques de la navigation astronomique.

Cette première présentation à la fois théorique et pratique (illustrée d'applications dans la marine militaire et marchande) a été complétée, d'une part, par les tables de calculs nautiques et les abaques pour mener à bien les calculs du point et d'autre part, par les cartes adaptées à la navigation loxodromique (cartes en projection de Mercator) ou à la navigation orthodromique (cartes de Hilleret ou de Gernez). Les élèves sont entraînés aux calculs nautiques, c'est-à-dire à résoudre les problèmes de navigation à l'aide d'algorithmes. Si le niveau scientifique élevé des élèves de l'École navale permet d'imaginer que les « bordaches » sauront effectuer les calculs logarithmiques sans trop de problèmes, le mode de recrutement des élèves dans les

---

<sup>1812</sup> Le *Cours de navigation et de compas de l'École navale* est divisé en deux parties distinctes dont la deuxième ne traite que du compas. MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École navale*, Paris, Augustin Challamel, 1<sup>re</sup> éd., 1913 ; 2<sup>e</sup> éd. revue et corrigée, 1921. MARGUET F., *Cours de navigation et de compas de l'École navale*, Paris, Société d'édition géographique, maritime et coloniale, 3<sup>e</sup> éd. revue et corrigée, 1932.

écoles d'hydrographie laisse entrevoir les efforts colossaux que beaucoup d'entre eux devront fournir pour arriver au même résultat.

Des enseignants, des marins et des ingénieurs tentent de faciliter le travail des navigateurs en leur proposant des tables abrégatives ou des méthodes graphiques. Mais ces procédés, bien que souvent suffisamment précis pour résoudre correctement les problèmes de navigation, ne rencontrent pas l'écho espéré par leurs concepteurs. Les navigateurs préfèrent utiliser les tables de logarithmes de Friocourt, pour ne pas passer pour des « fainéants » ou parce que la qualité des abaques ne leur semble pas suffisante. Il ressort de cet ensemble d'informations que le passage par l'École navale et par les écoles d'hydrographie forme fortement les méthodes et connaissances des navigateurs de la marine.

Nous avons traité des innovations en matière de navigation dans une deuxième partie, tout d'abord exclusivement dans l'aéronautique jusqu'en 1914, puis pour la marine et l'aéronautique durant la Première guerre mondiale.

En effet, la navigation est une préoccupation nouvelle pour l'aéronautique à partir de 1900. Les sociétés aéronautiques, avec en premier lieu la Société française de navigation aérienne (SFNA) et l'Aéro-Club de France (AéCF), proposent régulièrement des articles sur la navigation scientifique au travers de leurs organes de presse, suivies d'ailleurs dans cette démarche par la presse non spécialisée. Les aéronautes dans un premier temps, puis les aviateurs, s'initient à la navigation à l'estime en l'apprenant à partir de ces articles, ainsi qu'en suivant quelques conférences et au contact de « marins volants ». Découvrir qu'ils ne disposent pas d'instruments de navigation adaptés à leurs ballons ou à leurs avions, les incite à concevoir des boussoles originales et à construire les premières cartes aéronautiques.

Les transferts possibles entre la marine et l'aéronautique sont commentés à partir des années 1909-1910, alors que deux enseignes de vaisseau, Jean Conneau et Pierre Cayla, sont autorisés par le ministère de la Marine à suivre les cours de l'École supérieure d'aéronautique. Il est vrai que la Marine a tardé à s'intéresser officiellement à l'aéronautique contrairement à l'Armée qui dispose de l'Établissement central d'aérostation militaire de Chalais-Meudon depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Plusieurs marins (nous en avons relevé cinq) défendent les « méthodes maritimes » transposées à l'aéronautique entre 1909 et 1911, en regrettant les réticences de certains aéronautes et aviateurs à utiliser le compas. Georges Bellenger, alors capitaine d'artillerie, fort de navigations en compagnie de marins et de militaires, prône l'utilisation d'une « navigation mixte ». Selon lui, il faut à la fois utiliser le vol à vue en comparant la carte à l'itinéraire suivi (méthode plébiscitée par les militaires), et le vol à la montre et au compas (méthode employée par les « marins volants »). Cette préoccupation de la

navigation à l'estime la plus efficace ne concerne pas uniquement quelques officiers. Les civils en quête de records s'y intéressent également. C'est le cas d'Albert Senouque et Eugène Renaux qui indiquent avoir privilégié le compas d'embarcation – qu'ils ont appris à utiliser convenablement auprès d'un lieutenant de vaisseau – sur la boussole d'artilleur pour remporter le prix Michelin en 1911.

La situation de la navigation astronomique est différente. Nous avons relevé que plusieurs astronomes et météorologues s'intéressent à la technique du « point en ballon » suite au Congrès international d'aéronautique de 1900. L'ingénieur hydrographe Louis Favé, puis deux militaires (le capitaine Henri-Albert Noirel et le général Robert Bourgeois) se penchent également sur la question. Deux instruments s'imposent pour faire ce point : le sextant et un abaque. Le sextant marin classique étant écarté faute d'horizon, ces aéronautes testent différents appareils en indiquant leurs préférences : le sextant gyroscopique Fleuriais utilisé en France pour le point en mer, un sextant à niveau conçu pour l'artillerie prussienne (le « libellen quadrant »), un sextant marin à niveau modifié ou encore un astrolabe à palette inventé par Favé. Notons que les aéronautes se rapprochent ici des marins pour le choix de l'instrument de mesure de hauteur d'astres. En revanche, les aéronautes excluent l'utilisation des tables (même abrégatives) et privilégient des abaques originaux qu'ils conçoivent eux-mêmes ou font construire. La pratique du point en dirigeable se généralise avant-guerre, mais nous n'avons pas trouvé de traces de navigation astronomique pratiquée alors à bord des avions.

Les besoins de la Première guerre mondiale en procédés de repérage sont importants, or la navigation sert, par définition, à se repérer et à se diriger. De ce fait, elle a connu des avancées substantielles comme d'autres domaines techniques et scientifiques ; avancées que nous avons mises en exergue en repérant les trois orientations qui suivent.

Durant la Première guerre mondiale, la « navigation électrique » prend son essor, essentiellement dans la marine, mais également dans l'aéronautique pour repérer les zeppelins ennemis. Quelques navires français sont équipés de compas gyroscopiques pour lesquels l'Américain Elmer Sperry avait déposé un premier brevet en 1908, la marine française ayant peu investi dans cette technique avant le conflit. Des essais de radiogoniométrie avaient en revanche été effectués en France dès les années 1907-1908, mais il faut attendre l'invention de la lampe à trois électrodes pour que les performances du procédé deviennent intéressantes pour les marins. Remarquons que cette nouvelle forme de navigation ne fait pas encore partie du bagage des officiers de marine et n'a pas été pratiquée à bord des dirigeables français.

L'expertise des marins pour le repérage est reconnue par le Service géographique des Armées dont les apports en matière de navigation sont multiples. Favé y poursuit ses recherches

sur le « point en ballon » et surtout, les militaires développent les travaux en cartographie, en incluant la cartographie aérienne permise grâce à des procédés photographiques adaptés aux objectifs assignés au Service.

Enfin, la multiplication des tâches allouées à l'aéronautique, qui ajoute à la reconnaissance le bombardement et la chasse, donne de nouvelles raisons de pratiquer la navigation scientifique. Nous avons montré comment l'aviation militaire et l'aviation maritime l'utilisent au sein des unités de bombardement, en mettant l'accent sur les apports des « marins volants » prêts à l'Armée avant 1916. Par ailleurs, la Marine récupère les dirigeables de l'Armée et augmente considérablement sa flotte de « plus légers que l'air » ainsi que le personnel alloué. La Marine peut ainsi mettre en pratique ses procédés de navigation, tout au moins dans les dirigeables munis de nacelles assez grandes. La Première guerre mondiale a ainsi été l'occasion de transferts de connaissances et de méthodes, d'une part, de la Marine vers l'Armée au sein des escadrilles de bombardement que les lieutenants de vaisseau Jean de Laborde, Charles Dutertre et Pierre Cayla commandent durant quelques mois et, d'autre part, entre la Marine et l'aéronautique maritime au sein des escadrilles d'hydravions de bombardement et des unités de dirigeables. Les freins à la généralisation de la navigation scientifique dans l'aéronautique militaire perdurent – plusieurs militaires ne sont pas convaincus de la fiabilité des compas – malgré les succès de la « méthode maritime » lors des bombardements nocturnes et lointains. Nous avons également relevé que le personnel navigant de l'aéronautique maritime est minoritairement constitué d'officiers de marine et de ce fait n'a pas bénéficié de l'enseignement de la navigation à l'École navale ou dans les cours supérieurs des écoles d'hydrographie.

La troisième partie a été consacrée à l'analyse de la navigation aérienne de novembre 1918 à 1940. Nous avons relevé que la situation est différente dans les années 1920 et dans les années 1930 en étudiant les offres de formation en navigation aérienne, avant de passer aux méthodes appliquées tant dans l'aviation militaire que maritime ou au sein de l'aviation marchande.

Les aéronautes et les aviateurs peuvent encore tirer profit de la lecture d'ouvrages destinés à la marine, mais nous avons montré comment les autorités civiles, au sein du Service de la navigation aérienne (SNAé), aidées par l'AéCF et les revues spécialisées dans l'aéronautique, initient les cours de navigation aérienne dès décembre 1919. La part de ces premiers formateurs, qui ont eux-mêmes bénéficié d'une formation maritime, est prépondérante : Maurice Thierry est capitaine de corvette, Charles Villain est ingénieur hydrographe de la marine, André-B. Duval est enseigne de vaisseau de réserve. Nous avons

également présenté les réponses apportées à ce problème de formation par l'Armée et par la Marine dans les années 1920. L'Armée propose des formations en navigation aérienne au sein de l'École militaire et d'application de l'aéronautique de Versailles qui permet de passer le Brevet élémentaire de navigateur aérien, mais la Marine assure la formation complémentaire au sein du Cours supérieur de navigation aérienne de Brest pour pouvoir accéder au Brevet supérieur de navigateur aérien.

La création du ministère de l'Air (1928), suivie cinq ans plus tard de la création de l'armée de l'Air (1933-1934) et de la compagnie Air France (1933), rationalisent l'aéronautique ainsi que les offres de formation. Les méthodes inventées par l'ingénieur hydrographe Favé restent au programme des écoles de l'Armée, de la Marine et des écoles civiles durant l'entre-deux-guerres, mais elles commencent à être supplantées par celle qui est mise au point par l'officier de Marine américain Philip Van Horn Weems en 1928.

La navigation aérienne se perfectionne de la fin de la Première guerre mondiale jusqu'aux années 1927-1928. La « méthode marine » est utilisée à bord des dirigeables de la Marine. Il s'y pratique principalement la navigation à l'estime mais également la navigation astronomique, notamment à bord des grands dirigeables, le *Dixmude* et le *Méditerranée*, qui sont des zeppelins reçus par la France en dédommagement de la guerre. La catastrophe du *Dixmude* en 1923 annonce la fin des dirigeables en France ; la navigation aérienne sera dès lors pratiquée à bord des avions et des hydravions. Les militaires « défrichent » les routes africaines dès 1919. Là encore, les préventions à l'encontre du compas divisent les navigateurs aériens, mais la participation des « marins volants » à la guerre du Rif réaffirme les qualités de navigateur des aviateurs de la Marine. Les pilotes de guerre, puis ceux formés dans l'aéronautique militaire, pratiquent également la navigation à l'estime au sein de l'aviation marchande dans laquelle ils se sont reconvertis. Finalement, la période 1919-1928 présente peu d'innovations en matière de navigation aérienne, à l'exception des inventions du lieutenant de vaisseau Yves Le Prieur qui illustrent encore une fois l'apport de la Marine dans ce domaine. De même, les compas mis au point par le capitaine de frégate Louis Morel vont équiper progressivement de nombreux aéronefs, principalement à partir de la fin des années 1920.

Les avions et hydravions construits à la fin des années 1920 et durant les années 1930 ont enfin les capacités de transporter les équipages sur des raids au long cours sans escale, créant ainsi de nouveaux besoins en navigation. Les tables abrégatives imaginées par le professeur d'hydrographie Charles Bertin arrivent à point nommé pour faciliter ces vols de même que les cartes pour la navigation orthodromiques fabriquées par l'ingénieur du Génie maritime Louis Kahn. Mais, ce sont les instruments de radionavigation qui gagnent en importance dans

l'aviation militaire et dans l'aviation marchande. L'apport de la marine, au travers des instruments de navigation, des méthodes de direction et de calcul, de la place des hommes formés dans la marine dans les équipages des aéronefs – nombre de navigateurs de l'aéronautique ont eu au moins une formation initiale maritime – reste grand. Mais les aviateurs privilégient également des pratiques qui leur sont propres : ils choisissent parmi les méthodes maritimes celles qui leur semblent les plus adaptées à l'aéronautique, même si parfois elles ne sont qu'anecdotiques dans la marine – les aviateurs n'ont pas la même prévention que les marins pour les solutions abrégatives.

Nous pouvons conclure que les aéronautes et les aviateurs n'ont pas attendu les marins pour rechercher des méthodes propres à la navigation aérienne. Toutefois, la richesse et l'aboutissement auxquels étaient parvenus les « méthodes maritimes » avant la Première guerre mondiale ne pouvaient qu'inspirer et orienter les recherches en aéronautique. De ce fait, les transferts existent de la marine vers l'aéronautique militaire et civile, mais également de la Marine vers l'aéronautique maritime.

Un problème se pose alors en termes de formation à la navigation aérienne. En effet, les méthodes et connaissances maritimes demandent une formation poussée. Si les besoins en formation de la navigation astronomique sont évidents en raison de la complexité des procédés, il est faux de croire que la navigation à l'estime peut se passer d'un enseignement de qualité. C'est probablement cette erreur qui explique les réticences de nombreux aviateurs à utiliser le compas – un compas doit être compensé et compris pour être utilisé – réticences qui perdurent jusqu'en 1940. L'appropriation des « méthodes maritimes » se fait différemment selon les individus. Certains – mais les témoignages sont rares en ce sens – souhaitent faire le calcul du point astronomique comme dans la marine à l'aide des tables de Friocourt alors que d'autres se tournent vers les tables abrégatives et les abaques qu'avaient tendance à rejeter les marins. La plus grande différence se révèle en matière d'instruments. Les compas, sextants, chronomètres et cartes prévus pour les navires ne sont que rarement utilisables en l'état dans les nacelles de ballons et les carlingues d'avions. Il faut au minimum les adapter ou en inventer de nouveaux, plus conformes à ce qui est permis et attendu dans un aéronef. Mais là encore, l'apport maritime se fait sentir puisque nombre de ces instruments sont issus de l'imagination de marins.

### *Perspectives et prolongements*

Les liens entre la navigation maritime et la navigation aérienne en France, surtout en matière d'histoire des mathématiques, ont peu inspiré les travaux universitaires jusqu'ici. Notre travail ouvre de ce fait plusieurs pistes de recherches complémentaires. D'une part, il aurait gagné à

être complété de ressources archivistiques – notamment dans les régions ayant un long passé aéronautique – dans la mesure où nous avons, pour notre part, privilégié les manuels scolaires et la presse. Par ailleurs, nous n’avons pas détaillé la plupart des méthodes mathématiques développées pour la navigation maritime ou aérienne, ayant considéré que cela aurait dispersé notre propos, mais la présentation succincte de celles-ci mériterait d’être complétée. Enfin, le choix de restreindre l’étude des navigations à la France, pour des raisons liées au temps limité d’une thèse, s’est parfois révélé frustrant, car nous avons repéré des transferts intéressants dans d’autres pays qui mériteraient d’être étudiés.

Ne pratiquant ni la navigation maritime, ni la navigation aérienne, nous avons essayé de traiter le sujet en évitant au maximum les erreurs qu’un navigateur professionnel pourrait encore repérer dans cette thèse. Cependant, nous considérons que la lecture d’une historienne, quoique néophyte au plan pratique, peut apporter des idées nouvelles sur la question.

Dinard le 20 août 2018





# Bibliographie

## A) Sources primaires

### 1) Archives

Lettres de Perret, fond d'archives nomographiques de Maurice d'Ocagne, École des Ponts ParisTech, Marne-la-Vallée.

SHM Vincennes SSGa 151 « Rapport du lieutenant de vaisseau de Laborde, 7 juin 1915 ».

ANDRÉ (élève administrateur), *Mémoire sur l'aviation*, Centre des archives d'Outre-mer d'Aix-en-Provence, 3 ECOL 22.

CR n°106.1 du 7 octobre 1933, Brazzaville, SHD-Air, 6C2265, d. 3.

*Rapport de l'ingénieur en chef Hirschauer sur la ligne aérienne France-Madagascar*, Musée de l'Air et de l'espace du Bourget, F°2153.

### 2) Ouvrages et articles

ALLARD Émile, *Cours d'aéronautique*, Paris, Dunod, 1932.

ANDOYER Henri, *Table donnant en fonction de l'angle horaire, la hauteur vraie et l'azimut d'un astre compris entre le parallèle Nord et Sud de 30° pour la latitude 37° Nord*, Paris, Imprimerie nationale, 1916.

ANDOYER Henri *Table donnant en fonction de l'angle horaire, la hauteur vraie et l'azimut d'un astre compris entre le parallèle Nord et Sud de 30° pour la latitude 50° Nord*, Paris, Imprimerie nationale, 1916.

ANDRAUD Antoine, *Exposition universelle de 1855, une dernière annexe au Palais de l'industrie, sciences industrielles, beaux-arts, philosophie*, Paris, Guillaumin, 1855.

Anonyme, *France Commission Supérieure : rapports / Expositions internationales, Londres 1871*, Paris, J. Claye, 1872.

Anonyme, « Programme des connaissances exigées pour l'obtention du certificat d'aptitude à la conduite des ascensions libres, annexé à l'instruction ministérielle du 20 mars 1902 », *Journal militaire*, n° 14, 1902, pp. 948-949.

Anonyme, « La marine et l'aéronautique », *Ouest-Éclair*, 12 octobre 1909, p. 1.

Anonyme, « Allemagne », *Revue Maritime*, janvier 1909, pp. 607-616.

Anonyme, « La Photographie et la Télégraphie sans fil en Aéroplane », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> février 1911, p. 57-59.

Anonyme, « Les obsèques du lieutenant Byasson », *Ouest-Éclair*, 20 avril 1911, p. 1.

Anonyme, « La Carte Aéronautique Internationale », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> juillet 1911, pp. 317-318.

Anonyme, *L'officier de quart moderne*, éditions L. Le Borgne, 1912.

Anonyme, « États-Unis », *Revue Maritime*, avril 1912, pp. 112-120.

Anonyme, « Bulletin de l'École supérieure d'aéronautique », *La Revue aérienne*, 25 décembre 1912, p. 707.

Anonyme, « Le « point » en appareil aérien », *L'Aérophile*, février 1913, pp. 59-60.

Anonyme, « École préparatoire à l'École Supérieure d'Aéronautique », *L'Aérophile*, 15 novembre 1913, p. 517.

Anonyme, « Roget et Coli avant le raid Paris-Maroc », *Le Miroir*, 8 juin 1919, p. 10.

Anonyme, « Les grands voyages aériens », *L'Aéronautique*, octobre 1919, pp. 197-205.

Anonyme, « L'avion au Sahara », *L'Aéronautique*, mai 1920, pp. 509-522.

Anonyme, « Concours de l'Union pour la Sécurité en aéroplane », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup>-15 juin 1921, p. 165.

Anonyme, « La navigation aérienne au-dessus du désert », *Les Ailes*, 26 mars 1925, pp. 1-2.

Anonyme, « Costes rend compte de son voyage », *L'Ouest-Éclair*, 22 octobre 1927, p. 3.

Anonyme, « Costes et Le Brix ont pris le départ hier du Bourget, à bord du « Nungesser-Coli » », *Ouest-Éclair*, 11 octobre 1927, p. 1.

Anonyme, « Le compas Morel pour avions », *Le Génie civil*, 29 septembre 1928, pp. 306-307.

Anonyme, « Un voyage de Léna Bernstein », *Les Ailes*, 11 juillet 1929, p. 11.

Anonyme, « Nécessité d'une école de navigation aérienne. », *La Nature. Revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*, n° 2730, 31 juillet 1926.

Anonyme, *Manuel de l'élève sous-officier du personnel navigant. Livre II : la navigation aérienne*, Imprimerie de l'École militaire et d'application de l'Aéronautique, 1933.

Anonyme, « Les premières étapes de l'escadre Vuillemin », *Les Ailes*, 16 novembre 1933, p. 11.

Anonyme, « Ce que sera le voyage de l'escadre Vuillemin », *Les Ailes*, 17 août 1933, p. 7.

Anonyme, « Maryse Hilsz a gagné la Coupe Hélène-Boucher », *Les Ailes*, 5 septembre 1935, p. 11.

Anonyme, « La croisière Nord Africaine d'une flottille de la 22<sup>e</sup> escadre », *Plein ciel journal*, mai 1936, p. 18.

Anonyme, *Plan d'une classification générale relative à l'aéronautique*, Service technique et des recherches scientifiques de l'aéronautique, 1937.

Anonyme, *École de navigation maritime et aérienne - Année scolaire 1938-39*, Paris, Imprimerie Graphique, 1937.

Anonyme, « Les grandes manœuvres aériennes d'Outre-mer », *L'Air*, 20 novembre 1937, N.P.

Anonyme, *Conditions d'admission à l'École de l'air*, 1938.

Anonyme, *Brevets... Conditions d'admission dans les écoles nationales de navigation maritime*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1938.

Anonyme, *Instruction aéronautiques, Section. Aide-mémoire de navigation aérienne astronomique*, Paris, Blondel La Rougery, 1945 et 1947.

ARCANGUE (D'), *Cours d'aviation de l'Ecole Navale*, Imprimerie de l'École Navale, 1952.

AUBUSSON DE CAVARLAY Édouard, *Cours d'électricité professé à l'école d'application du génie maritime*, Paris, Augustin Challamel, 1899, p. 345.

AUTHEVILLE (D') Francis, *La Navigation aérienne simplifiée*, Paris, Berger-Levrault, 1935.

AUTHEVILLE (D') Francis, *La Navigation aérienne simplifiée*, Paris, Berger-Levrault, 1938.

BALAFRÉ, *Cours élémentaire de navigation aérienne*, Ministère de l'air, Publication interne de l'école de Cazaux, division de tir et de bombardement, 1939.

BALDIT Albert et BROUCKERE (DE) Léon, « L'ascension de « La Ville De Bruxelles » », *L'Aérophile*, juin 1907, p. 147.

BARATOUX Marcel, « Quelques remarques sur la façon de se repérer en ballon », *Dunkerque-sports*, 7 mars 1909, 14 mars 1909, 28 mars 1909, NP.

BARBE Georges, *Météorologie et navigation aérienne*, Paris, Berger-Levrault, 1946.

BARON A., « De la direction automatique des engins volants dans l'espace et de l'« Anémoboussole » », *La Revue Aérienne*, 10 décembre 1910, pp. 677-680.

BASTIDE A., « Contribution italienne à la navigation aérienne astronomique », *Revue des Forces Aériennes*, n° 70, mai 1935, pp. 498-510.

BASTIDE A., « De quelques contributions étrangères à la navigation aérienne astronomique », *Revue des Forces Aériennes*, n° 48, juillet 1933, pp. 761-774.

BELL Herbert, « Note on Captain Weir's Azimuth Diagram and its anticipation of a Spherical Triangle Nomogram », *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, vol. 36, 1916, pp. 192-198.

BELLENGER Georges, « La direction en aéroplane », *L'Aérophile*, février 1911, pp. 82-84.

BELLINI Ettore, « Avec le radiocompas on peut déterminer l'emplacement des postes de T.S.F. », *La science et la vie*, octobre 1915, pp. 517-525.

BELLONTE Maurice, « Notre raid sur l'Atlantique », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, n° 145, 1931, pp. 488-490.

BELLONTE Maurice, « La navigation aérienne commerciale sur l'Atlantique Nord », *L'Aérophile*, mars 1936, pp. 51-59.

BELLONTE Maurice, *Le premier Paris-New York*, Paris, Plon, 1976.

BELLONTE Maurice, « La navigation du « Point d'interrogation » sur le premier vol Paris-New-York », *Navigation* (Paris), n° 102, avril 1978, pp. 168-181.

BERTIN Charles, « La table de point sphérique ou essai d'une navigation sans logarithmes », *Revue Maritime*, janvier-février-mars 1914, pp. 25-36.

BERTIN Charles, *Carnet azimutal pour le réglage rapide et précis de la montre et du compas*. Paris, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1919.

BERTIN Charles, *Tablette de Point Sphérique*, Paris, Gauthier-Villars, 1919.

BERTIN Charles, *Cours de navigation*, Paris, École du Génie civil, 1925.

BERTIN Charles, « La randonnée nocturne de "L'America" sur la région de l'Ouest », *Ouest-Éclair*, 29 juillet 1927, pp. 1-2.

BERTIN Charles, *Carnet Bertin*, Paris, Paris, Gauthier-Villars et C<sup>ie</sup>, 1928.

BERTIN Charles, *Cours de complément de navigation pour lieutenants au long cours navigation*, Paris, École du Génie civil, 1928.

BERTIN Charles, *Cours de navigation*, Paris, École du Génie civil, 1928.

BERTIN Charles, *Mignonette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars, 1928.

BERTIN Charles, *Tablette Bertin*, Paris, Gauthier-Villars, 1929.

BERTIN Charles, « Sur la détermination du point par la radiogoniométrie. », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, T. 193, juillet-décembre 1931, pp. 394-395.

BERTIN Charles, *Tablette Bertin pour faire le point*, Paris, Gauthier-Villars, 1939.

BESSON L., « Méthode graphique pour la détermination de l'azimut d'un astre et la variation du compas », *Revue maritime et coloniale*, octobre 1873, pp. 644-651.

BLANC Edmond, *Toute l'aviation*, Paris, Société parisienne d'édition, 1930-1931.

BLANC Edmond, *Toute l'aviation 4ème édition*, Paris, Société parisienne d'édition, 1937.

BLANC Edmond, « Epilogue du Tour de France », *Les Ailes*, 21 mai 1931, pp. 10-11.

BLOND Georges, « Pour les grands voyages. Le sextant est indispensable », *L'intransigeant*, 27 décembre 1928, p. 6.

BLONDEL André, « Les radiophares », *Annales des ponts et chaussées. 1ère partie. Mémoires et documents relatifs à l'art des constructions et au service de l'ingénieur*, A100, T2, 1930, pp. 227-356.

BOGAERT Edouard W., « Les compas gyroscopiques, suite et fin », *Ciel et Terre*, vol. 36, 1920, pp. 157-165.

BONAME Robert, « Note sur la préparation et l'exécution par Air France-Transatlantique des traversées aériennes régulières de l'Atlantique Nord », *L'Aéronautique*, novembre 1939, pp 413-430.

BONNOT Roger (Cdt), « Le voyage de l'hydravion « Croix-du-Sud » », *Les grandes conférences de l'aviation au théâtre des ambassadeurs*, Paris, Comité des Œuvres Sociales du Ministère de l'Air, SD.

BORDA Jean-Charles et LÉVÊQUE Pierre, « Rapport sur le mémoire et la carte trigonométrique présentés par le Citoyen Maingon, Lieutenant de Vaisseau », *Procès-verbaux de l'Académie des sciences de l'Institut de France*, 1798, p. 465-473.

BOUNY François et DAVIOT Louis « L'orientation du développement de la navigation aérienne, en général, et de la navigation par hauteur d'astre en particulier », *Ciel et terre*, n° 4, avril 1941, pp. 1-5.

BOURDIN M.J., « Sur un instrument analogue au compas aéronautique, décrit par M. Janssen », *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, séance du 6 mars 1871, T. 72, p. 256-257.

BOURGEOIS Robert, *Conférence sur le point en ballon*, France, Géographique de l'Armée, 1914.

BOURSIN Jean, « Ferrié, un génial organisateur », *Poste* 85, 1932. Reproduit dans LEFEBURE Antoine, CNAM, AIHTI, « La TSF militaire au service de la Grande Guerre », *Réseaux*, Volume 4, n° 17, 1986, numéro thématique : Science, télécommunication et militaire, p. 39.

BOUSCAT, « La liaison automobile et aérienne Maroc-Soudan par Taoudéni », *Revue de l'Armée de l'Air*, février 1936, pp. 131-144.

BOUTET Paul, « Navigation et radiogoniométrie », *Revue du ministère de l'Air*, 15 novembre 1935, pp. 1565-1590.

BRACHET F. et DUMARQUE J., *Cosmographie – Classe de philosophie*, Paris, Delagrave, 1943.

BREGUET Louis, « Communication sur les caractéristiques et la construction du Point d'Interrogation », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, n°145, 1931, pp. 349-350.

BROUCKERE (DE) Léon, « A propos du « Point astronomique en Ballon » », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> juin 1910, p. 257.

BYASSON Louis, « Notions simples sur l'aide apportée par l'usage du compas dans les navigations aériennes au-dessus des terres », *L'Aérophile*, février 1911, pp. 88-91.

CAILLET Vincent, *Tables de logarithmes et co-logarithmes des nombres et des lignes trigonométriques à six décimales*, Paris, Renou et Maulde, 1858.

CALVET X., « Au sujet d'un projet de table pour le calcul de la droite de hauteur de Marcq », *Navigation* (Paris), n° 9, janvier 1955, pp. 98-100.

CHEVALIER J., « Le bombardement de nuit par avion », *La guerre aérienne illustrée*, 12 juillet 1917, pp. 547-549.

COMET Paul et SALDO Élie, *Air France. Cours de navigation aérienne*, Chambéry, Air France, 1943.

COMET Paul, « La navigation sur l'Atlantique nord il y a 56 ans ... il y a 41 ans », *Navigation* (Paris), n° 172, octobre 1995, pp. 527-544.

CONDROYER L., « Le compas de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, 1919, pp. 387-395.

CONSTAN Paul, *Cours élémentaire d'astronomie et de navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 1<sup>re</sup> partie, 1903 ; 2<sup>e</sup> partie, 1904.

CONSTAN Paul, *Cours de trigonométrie sphérique à l'usage des marins et des personnes qui ont en vue l'étude de l'astronomie ou de la géodésie*, Paris, Augustin Challamel, 1906.

CONSTAN Paul., *Tables graphiques d'azimut*, Paris, Augustin Challamel, 1906.

CONSTAN Paul, *Tables graphiques d'azimut et tables nautiques*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1927.

CONSTAN Paul, *Cours d'astronomie et de navigation. Tome 3*, Paris, Gauthier-Villars, 1936.

CORNET Charles, *Cours de navigation aérienne*, Paris, Bibliothèque d'Enseignement Polytechnique, 1948.

CORNET Charles, *Cosmographie et Navigation*, Paris, Gauthier-Villars, 1925.

CORVIT Maurice, « Le navigraphe Le Prieur », *Les Ailes*, 23 juin 1921, NP.

COSTES Dieudonné, « La traversée aérienne de l'Atlantique Nord, de l'est à l'ouest par D. Costes et M. Bellonte », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, n° 145, 1931, pp. 486-488.

COT Donatien, *Aperçu sur les principales projections employées pour la construction des cartes géographiques*, Paris, Service de documentation et d'information technique de l'aéronautique, 1957.



COUDURIER Louis, *Brest-Touriste*, Brest, Imprimerie de la « Dépêche », 1906.

COURBET Pierre, « Comment on fait le point en dirigeable », *La Croix*, 22 août 1916, NP.

COUSIN Albert, *Notions d'arithmétique et de géométrie exigées des candidats au brevet de maître de cabotage et au diplôme d'officier de la marine marchande*, Paris, Augustin Challamel, 1904.

COUSIN Albert, *Résumé pratique de navigation*, Paris, Augustin Challamel, 1<sup>re</sup> éd., 1905 ; 2<sup>e</sup> éd., 1917.

COUSIN Albert et RENAUD F., *Mathématiques Algèbre Géométrie Trigonométrie*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1928.

COUSIN Albert et RENAUD F., *Navigation*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1928.

CRONEAU A., « Les progrès récents de la marine », *Revue maritime et coloniale*, 1894, pp. 449-488.

DAGNAUX Jean, « Les méthodes de navigation aérienne, leur emploi dans l'aéronautique militaire, la nécessité et les conséquences de leur diffusion », *La Revue de l'Aéronautique Militaire*, janvier-février 1922, in *Navigation* (Paris) n° 191, juillet 2000, pp. 86-92.

DAILLERE Henri, « Le point astronomique dans la navigation aérienne », *Revue des Forces Aériennes*, n° 45, avril 1933, pp. 391-411 ; n°46, mai 1933, pp. 511-534.

DALOTZ G., « Boussole aérienne G. Dalotz », *L'Aérophile*, décembre 1910, pp. 531-533.

DAVIOT Louis, « Méthodes proposées pour le point en avion », *Annales Françaises de Chronométrie*, vol. 5, 1935, pp. 267-285.

DAVIOT Louis, SCHNERB P. et BASTIEN André, *Théorie succincte de la navigation astronomique aérienne*, Publications scientifiques et techniques du ministère de l'Air n° 76, Paris, E. Blondel La Rougery et Gauthier-Villars, 1937.

DECANTE Édouard, *Tables d'azimut*, Paris, Gauthier Villars, 1889.

DELAUNAY Achille, « Etude sur l'emploi, par la Marine militaire des appareils de locomotion aérienne », *L'Aérophile*, août 1910, pp. 344-348.

DELAUNAY Achille, « L'emploi du dirigeable dans la marine », *La Revue aérienne*, 10 octobre 1912, pp. 557-558.

DELRIEU E., *Aide-mémoire de navigation aérienne, à l'usage des pilotes de tourisme*, Lyon, Imprimeries réunies, 1948.

DEMUYTER Ernest, *La navigation aérienne et les randonnées victorieuses du Belgica*, Expansion Belge vers le Levant, 1925.

DENIÉLOU Albert, « T.S.F. et navigation aérienne », *L'Aéronautique*, novembre 1920, pp. 233-238.

DESDEMAINES-HUGON E., « Marins et aviateurs », *La Revue Aérienne*, 10 avril 1911, pp. 169-172.

DÉVÉ Max et FAURE Raymond, *Navigation aérienne astronomique*, Gauthier-Villars, 1952.

DÉVÉ Max, *Cours de Navigation aérienne*, Imprimerie de l'École Militaire de l'Aéronautique, Typo-Litho de l'École militaire de l'aéronautique de Versailles, 1928.

DÉVÉ Max, « Première liaison aérienne France-Nouvelle-Calédonie, Paris-Nouméa », *Revue du Secrétariat général de l'aviation civile*, 15 septembre 1972, pp. 95-120.

DOLLFUS Charles, « Mise en œuvre technique du « Graf-Zeppelin » », *L'Aéronautique*, janvier 1933, pp. 15-20.

DRIENCOURT Ludovic., *Le planisphère de Mercator et la navigation maritime ou aérienne par relèvements radiogoniométriques pris du bord*, Annales hydrographiques, Imprimerie nationale, 1934.

DUCHENE, *L'aéroplane étudié et calculé par les mathématiques élémentaires*, Paris, Chapelot, 1910.

DUGIT, « Méthodes et procédés de navigation », *Documentation aéronautique moderne*, Paris, Blondel la Rougery, 1947.

DUMANOIS Paul (Rapporteur), « Médailles d'or », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, n° 144, 1930, p. 357.

DUMAS A., « Constructions navales. Les paquebots « Lorraine » et « Savoie » de la Compagnie générale Transatlantique », *Le Génie civil*, 16 novembre 1901, pp. 33-43.

DUNOYER Louis, *Études sur les compas de marine et leurs méthodes de compensation. Un nouveau compas électro-magnétique*, Paris, Gauthier-Villars, 1909.

ESTIENNE Jean, « Pour se repérer en aéroplane », *La Vie au Grand Air*, 24 décembre 1910, p. 940.

FAURE Raymond, *Aide-Mémoire de navigation aérienne astronomique*, Paris, Blondel la Rougery, 1945.

FAURE-FAVIER Louise, « Le premier voyage aérien nocturne : Paris – Londres – Paris », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup>-15 juin 1922, pp. 178-179.

FAVÉ Louis et ROLLET DE L'ISLE Maurice, « Détermination graphique du point à la mer », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, T. 118, janvier 1894, pp. 24-27.

FAVÉ Louis et ROLLET DE L'ISLE Maurice, *Abaque pour la détermination du point à la mer*, Annales hydrographiques, Paris, Imprimerie nationale, 1892.

FAVÉ Louis, « Le point sans horizon de la mer », *Revue maritime*, 1910, pp. 5-92.

FAYOLLE (DE) (Comte), « Boussole spéciale pour Aéroneutes », *L'Aérophile*, mai 1909, pp. 229-230.

FERRIÉ Gustave, JOUAUST R., MESNY René, PEROT Alfred, « Études de radiogoniométrie », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 3 janvier 1921, pp. 54-57.

FLEURIAIS Georges, « Gyroscope-collimateur. Substitution d'un horizon artificiel à l'horizon de la mer », *Revue maritime et coloniale*, décembre 1886, pp. 452-500.

FLEURIAIS Georges, « Horizon gyroscopique », *Revue maritime et coloniale*, décembre 1892, pp. 5-53 et 161-197.

FOUCAULT Léon, « Sur les phénomènes d'orientation des corps tournants entraînés par un axe fixe à la surface de la Terre. - Nouveaux signes sensibles aux mouvement diurne », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, T. 35, juillet 1852, pp. 424-427.

FOURNIER François Ernest, *Notice sur le Commandant Émile Guyou*, Publications de l'Institut n°8, 1921, pp. 1-9.

FONVIELLE (DE) Wilfried, « Portraits d'aéronautes contemporain – M. Louis Vernanchet », *L'Aérophile*, décembre 1900, pp. 161-163.

FONVIELLE (DE) Wilfrid, *Histoire de la navigation aérienne*, Paris, Hachette, 1907.

FONVIELLE (DE) Wilfrid, « Notes sur ma carrière aéronautique », *L'Aérophile*, 15 mai 1914, pp. 232-233.

FONVIELLE (DE) Wilfrid, « Planchette aérienne », *L'Aéronaute*, décembre 1870, pp. 185-187.

FRANÇOIS L., « Les progrès de la T.S.F. en France pendant la guerre », *La science et la vie*, avril-mai 1920, pp. 413-425.

FRANÇOIS L., « Les progrès de la T.S.F. en France pendant la guerre », *La science et la vie*, août-septembre 1920, pp. 248-261.

FRANCK P., « La radiotélégraphie et la navigation aérienne » in « Les problèmes actuels de l'aéronautique », *L'Aéronautique*, décembre 1919, pp. 291-295.

FRANCK P., « Communication sur les méthodes et les instruments de navigation aérienne », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, 1928, pp. 545-546.

FRANCK P., « La navigation aérienne et les instruments de bord », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, 1928, pp. 809-821.

FRANCK P. *Leçons sur la navigation aérienne : deuxième partie : deuxième année 1930-1931*, France, École nationale supérieure de l'aéronautique, 1931.

FRANCK P. *Leçons sur la navigation aérienne : [cours de] deuxième année. Tome premier*. France, École nationale supérieure de l'aéronautique, 1935.

FREIESLEBEN H-C., « Nouvelles tables de calcul simplifié de droites de hauteur », *Navigation* (Paris), n° 12, octobre 1955, pp. 370-373.

FRIOCOURT Georges, *Tables de logarithmes à six décimales*, Paris, Augustin Challamel, 1922 ; 28<sup>e</sup> éd., 1957.

GAIL (DE) Antoine, « Synthèse de navigation aérienne », *Revue du ministère de l'Air*, 15 octobre 1935, pp. 1210-1242.

GATINEAU A., *Navigation aérienne*, France, École nationale supérieure de l'aéronautique, 1954.

GAUJOUR Robert, *Les compas d'aviation*, Nancy, Charles-Lavauzelle, 1936.

GENTY Robert, *La Navigation aérienne (cours élémentaire)*, Paris, Fournié, 1938.

GENTY Robert, *Le Point astronomique à terre, sans instrument*, Publications scientifique et technique du Ministère de l'air, bulletin des services techniques n° 111, Paris, Gauthier-Villars, 1949.

GENTY Robert, *Méthode nouvelle de navigation astronomique aérienne*, Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'air, 1948.

GERNEZ Désiré, « Tracé et usage des cartes pour la navigation orthodromique construite sur les plans tangents aux pôles », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, T. 156, 1913, pp. 445-447.

GOUDET, *Cours de navigation aérienne*, Groupe des écoles de l'air de Versailles, 1940.

GOURGECHON Auguste, « L'Ecole Navale française », *Armée et Marine*, 6 avril 1902, pp. 249-267.

GRAFFIGNY (DE) Henry, *Catéchisme de l'aviation à la portée de tout le monde*, Paris, Bernard Tignol, 1911.

GRARD Charles (G<sup>al</sup>), « L'École nationale supérieure de l'Aéronautique », *L'Aérophile*, 15 août 1930, p. 225.

GUILHAUMON Joseph-Barthélemy, *Eléments de navigation et de calcul nautique*, Nancy, Berger-Levrault, 1891.

GUILHAUMON Joseph-Barthélemy, *Eléments de cosmographie précédés de notions de trigonométrie sphérique*, Paris, Berger-Levrault, 2<sup>e</sup> éd., 1897 ; 3<sup>e</sup> éd., 1902 ; 4<sup>e</sup> éd., 1906.

GUILHAUMON Joseph-Barthélemy, *Exercices de trigonométrie sphérique, de cosmographie, de navigation et de calculs nautiques*, Paris, Berger-Levrault, 1902.

GUYOT, « La navigation astronomique et l'aviation », *Revue de l'Armée de l'Air*, n° 71, juin 1935, pp. 619-627.

GUYOU Émile, *Tables de poche donnant le point observé et les droites de hauteur*, Paris, Berger-Levrault, 1884.

GUYOU Émile, « Rapport de M. Guyou sur les travaux de M. Souillagouët », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, T. 119, 1894, pp. 1062-1063.

GUYOU Émile, *Manuel des instruments nautiques*, Paris, Imprimerie nationale, 1907.

GUYOU Émile., « Nouvelle méthode pour déterminer le point à la mer », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1909, pp. 956-960.

HAMEL Georges-R., *Éléments de navigation aérienne pratique*, Paris, Librairie des sciences aéronautiques F.-Louis Vivien, 1930.

HAMEL Georges-R., *Éléments de navigation aérienne pratique. 2e édition, revue et considérablement augmentée*, Paris, Librairie des sciences aéronautiques F.-Louis Vivien, libraire-éditeur, 1939.

HÉBRARD Léo, « Le bombardement de nuit et les problèmes de la navigation aérienne », *L'Aéronautique*, 1920, pp.158-163.

HÉBRARD Léo et DUVAL André-B., « Traité pratique de navigation aérienne », *L'Aéronautique*, février 1921, pp. 81-86 ; mars 1921, pp. 121-125 ; avril 1921, pp. 161-163 ; mai 1921, pp. 201-205 ; juin 1921, pp. 241-244 ; juillet 1921, pp. 281-285 ; août 1921, pp. 321-

325 ; septembre 1921, pp. 361-365 ; octobre 1921, pp. 401-408 ; novembre 1921, pp. 453-454 et 459-461 ; décembre 1921, pp. 509-516.

HÉBRARD Léo et DUVAL André-B., *Traité pratique de navigation aérienne*, Paris, Gauthier-Villars, 1<sup>re</sup> éd., 1922 ; 2<sup>e</sup> éd., 1928 ; 3<sup>e</sup> éd. revue et augmentée, 1935 ; 4<sup>e</sup> éd. revue et mise à jour, 1940.

HEC Albert, « L'École supérieure d'Aéronautique », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> décembre 1909, pp. 538-539.

HENNEQUIN Jean, *Règle à calcul pour la navigation aérienne*, Toulouse, Imprimerie du centre, 1939.

HILLERET Gustave, « Théorie générale des circumméridiennes », *Revue Maritime et Coloniale*, 1875.

HILLERET Gustave, *Étude sur les courbes de hauteur et sur le procédé pratique consistant à les remplacer par des droites dites de hauteur*, Paris, Dupont, 1875.

HILLERET Gustave, « Nouveau système de cartes marines pour la navigation par arcs de grands cercles », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, T. 82, 1876, pp. 1095-1098.

HILLERET Gustave, *Instruction sur les cartes pour la navigation par arc de grand cercle*, Paris, Imprimerie nationale, 1878.

HILLERET Gustave, « De l'Excentricité dans les instruments à réflexion et des moyens d'y remédier », *Revue maritime et coloniale*, 1886.

HIRSCHAUER Louis et DOLLFUS Charles, *L'année aéronautique*, Paris, Dunod, 1920 ; 1932 ; 1933 ; 1934 ; 1938.

HOMMEY Louis, *Table d'angles horaires*, Paris, Mallet-Bachelier, 1863.

HOUARD Georges, « La cartographie aérienne », *La Science et la vie*, juin-juillet 1917, pp. 37-48.

HOUNAU et COMET Paul, « Solution du problème de Douwes par résolution des équations canoniques », *Navigation* (Paris), n° 153, janvier 1991, pp. 116-123.

HOUSSIN J.-L., « La navigation aérienne avec un radiocompas », *L'Aéronautique*, décembre 1936, pp. 323-329.

JACQUOT Albert, « Les dirigeables à la guerre », *La guerre aérienne illustrée*, 6 mars 1919, pp. 157-158.

JACQUOT L., « A propos de la boussole aérienne », *La Revue Aérienne*, 10 janvier 1911, pp. 17-18.

JANSSEN Jules, « Compas aéronautique », *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, T. 72, 1871, pp. 222-225.

JANSSEN Jules, « Sur le compas aéronautique », *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, T. 72, 1871, pp. 291-292.

JUILLOT Eugène, « L'aviation appliquée à la topographie », *Bulletin de la Société de topographie*, janvier 1920, pp. 7-15.

KAHN Louis, *Nouvelles cartes aériennes*, Association Technique Maritime et Aéronautique. Paris, Imprimerie et librairie centrales des chemins de fer, 1928.

KAHN Louis, « Sur une carte conforme utilisable comme carte orthodromique pour les grands itinéraires », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, T. 186, janvier 1928, pp. 496-498.

KAHN Louis, « Sur la détermination astronomique du point à l'aide d'une carte conforme, utilisable comme carte orthodromique », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, T. 187, juin 1928, pp. 284-286.

KAHN Louis, *Sur une extension de la projection de Mercator, les nouvelles cartes aériennes*, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1929.

KAHN Louis, « Sur les méthodes de navigation employées par MM. Costes et Bellonte », *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, T. 191, 1930, pp. 706-708.

KAHN Louis, « La traversée aérienne de l'Atlantique Nord, de l'est à l'ouest par D. Costes et M. Bellonte », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, n° 145, 1931, pp. 629-642.



KAHN Louis, « Méthode de navigation aérienne, *L'Illustration*, 3 janvier 1931.

LA BAUME-PLUVINEL (DE) Aymar, « La détermination du point en ballon », *L'Aérophile*, janvier 1904, pp. 20-22.

LA BAUME-PLUVINEL (DE) Aymar, « La détermination du point en ballon », *L'Aérophile*, mai 1908, pp. 158-161.

LA BAUME-PLUVINEL (DE) Aymar, « Recherche sur la détermination du « point » et expériences de télégraphie sans fil en ballon », *L'Aérophile*, décembre 1908, pp. 504-505.

LA PORTE A., « Étude de quelques sextants au point de vue de l'excentricité », *Revue Maritime*, juillet-septembre, 1889, pp. 239-256.

LABROSSE Ferdinand, *Tables des Azimuts*, Paris, Arthus-Bertrand, 1868.

LACLAVERE, *Emploi des cartes en projection conique conforme pour la solution graphique des problèmes de navigation radiogoniométrique aérienne ou maritime*, Service géographique de l'armée, 1938.

LAINE André et GUET G., *Comment devenir aviateur*, Paris, Librairie des sciences aéronautiques F.-Louis Vivien, 1931.

LALLEMAND Charles, « Les repères et la carte aéronautique », *L'Aérophile*, juin 1912, pp. 261-262.

LATOUR B., « La télégraphie sans fil au service de la navigation », *La Croix*, 17 décembre 1919, NP.

LE CALVÉ A., *Cours de Navigation*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, t. 1, 1952 ; t. 2, 1953.

LE PRIEUR Yves, « Le correcteur de route », *L'Aéronautique*, novembre 1920, pp. 227-232.

LECOINTE Georges, « Travaux hydrographique et instructions nautiques », *Expédition antarctique Belge – Résultats du voyage du S. Y. Belgica en 1897-1898-1899 – Rapports scientifiques*, Anvers, J.-E. Buschmann, 1903-1905.

LECORNU Joseph Louis, *La Navigation aérienne : histoire documentaire et anecdotique*, Paris, Vuibert, 1913.

LEDIEU Alfred, *Les nouvelles méthodes de navigation*, Paris, Dunod, 1877.

LEGRAND J., « Procédés de navigation », *La Revue aérienne*, 25 septembre 1910, pp. 536-540.

LEROUX Émile et FORTANT G., *Cours d'aéronautique : professé à l'École d'application du génie maritime*, Paris, C. Béranger, 1927.

LESAGE André, « VII<sup>e</sup> exposition internationale de locomotion aérienne », *Le Génie civil*, 26 novembre 1921, pp. 464-468.

LESTONNAT Raymond, « L'Aviation Navale », *Navigazette*, 1<sup>er</sup> septembre 1910, p. 1.

LESTONAT Raymond, « La protection contre la brume par les radiocompas et les radiophares », *Navigaztte*, 10 novembre 1910, pp. 1-3.

LESTONNAT Raymond, « L'Atterrissage en temps de brume », *Navigazette*, 1<sup>er</sup> décembre 1910, pp. 1-2.

LEVY Paul, *Analyse mathématique : année préparatoire 1934*, France, École nationale supérieure de l'aéronautique, France, 1934.

LUCAS Alfred, « Des Phénomènes Gyroscopique et de leurs principales applications à la navigation », *Revue de la marine marchande*, octobre 1917, pp. 55-72.

MARCHIS Lucien, *Leçons sur la navigation aérienne*, Université de Bordeaux, Faculté des sciences, Paris, Dunod, 1903-1904.

MARCHIS Lucien, *Cours d'aéronautique*, Paris, Dunod & Pinat, 1910.

MARCQ DE BLOND DE SAINT-HILAIRE Adolphe, « Note sur la détermination du point », *Revue maritime et coloniale*, octobre 1873, pp. 41-57.

MARCQ DE BLOND DE SAINT-HILAIRE Adolphe, « Calcul du point observé – Méthode des hauteurs estimées », *Revue maritime et coloniale*, septembre 1875, pp. 314-376 et 714-742.

MARGUET François, *Cours de navigation et de compas de l'École navale*, Paris, Augustin Challamel, 1<sup>re</sup> éd., 1913 ; 2<sup>e</sup> éd. revue et corrigée, 1921.

MARGUET François, *Cours d'Astronomie de l'École Navale*, Paris, Augustin Challamel, 1916.

MARGUET François, « Les applications du gyroscope dans la marine », *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 1917, pp. 230-242.

MARGUET François, « Le point en ballon », *L'Aéronautique*, mars 1922, p. 81.

MARGUET François, *Cours d'astronomie de l'École navale*, Paris, Société d'édition géographique, maritime et coloniale, 2<sup>e</sup> éd., 1926.

MARGUET François, *Cours de navigation et de compas de l'École Navale*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 3<sup>e</sup> éd., 1932.

MARTONNE (DE) Emmanuel, « Le congrès d'aéronautique coloniale », *Annales de Géographie*, n° 229, 1932, pp. 77-80.

MARTONNE (DE) Emmanuel, *Géographie aérienne*, Paris, Albin Michel, 1948.

MASSE Daniel, *Pour choisir une carrière*, Paris, Larousse, 1907.

MASSENET Georges et PEIRONET J., *Compléments de mathématiques – Brevet ordinaire*, Paris, Augustin Challamel, 1910.

MASSENET Georges, *Eléments de calcul infinitésimal*, Paris, Augustin Challamel, 1912.

MASSENET Georges et VALLEREY Jules, *Cosmographie et navigation, manuel à l'usage des capitaines au cabotage et des officiers de la marine marchande*, Paris, Augustin Challamel, 1920.

MASSENET Georges., « La récente réforme de l'enseignement.», *Le journal de la Marine Marchande*, n° 94, janvier 1921, pp. 53-54.

MASSENET Georges et HARDANT W., *Traité de Navigation*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 2 vol., 1923.

MATHIS Suzy, « C'était un copain. Claire Roman », *Aviation française*, 13 mars 1946, NP.

MINISTÈRE DE L'AIR, *Instruction sur l'emploi tactique des grandes unités aériennes*, État-major de l'Armée de l'Air, édition de 1937.

MINISTÈRE DE L'AIR, *Manuel d'aviation*, direction de l'aéronautique civile, 1939.

MINISTÈRE DE LA GUERRE, *Cours de navigation aérienne de l'école de perfectionnement de navigation de Brest*, Polycopié du Ministère de la guerre, vers 1927.

MINISTÈRE DE LA MARINE ET DES COLONIES, *Bulletin officiel de la Marine*, Paris, Imprimerie nationale, 1912, N25 T125, pp. 313-321.

MICHAUD, *Etude sur la Navigation astronomique*, Nancy, 1936.

MONTJOU (DE) Guy, « La légende du « Dixmude » », *Journal des débats politiques et littéraires*, 5 janvier 1924, p. 1.

MONVILLE A.-P., COSTA A. et GOURBEYRE J., *L'art du pilotage* (5<sup>e</sup> édition), Paris, Chiron, 1946.

MOREUX Théophile (Abbé), « Raids nocturnes d'avions et de dirigeables », *Le petit journal*, 3 août 1916, p. 2.

MORTANE Jacques, « L'As des raids lointains. Les impressions du Lieutenant Roget », *La Vie aérienne*, 10 juillet 1919, pp. 442-444.

MORTANE Jacques, *La chevauchée des mers*, Paris, Baudinière, 1927

MORTANE Jacques, *Les Vainqueurs de l'Atlantique Sud : Costes et Le Brix*, Paris, Bernardin-Béchet, 1928.

MORTANE Jacques, « 58.410 kilomètres autour du monde en 44 étapes », *L'Air*, 1<sup>er</sup> mai 1928, pp. 14-18.

MOUCHET V., « La photographie aérienne pendant la guerre 1914-1918 », *Bulletin mensuel de l'Association de Anciens Élèves de l'École centrale lyonnaise*, n°173, juillet 1922, pp. 3-16.

NANSOUTY Max, « Aérostation Aviation (extrait d'un ouvrage de 1911) », *Navigation* (Paris), n° 183, juillet 1998, pp. 360-366.

NOIREL Henri-Albert, « Le point en Ballon ou en Aéroplane », *L'Aérophile*, mars 1913, pp. 106-108.

NOIREL Henri-Albert, *Les cartes et la topographie de guerre*, Centre d'Études tactiques d'Artillerie de Metz, avril 1921.

NORDMANN Charles, « Zeppelins et T.S.F. », *Le Matin*, 2 novembre 1917, p. 1.

OCAGNE (D') Maurice, *Principes usuels de nomographie avec application à divers problèmes concernant l'artillerie et l'aviation*, Paris, Gauthier-Villars, 1920.

ORTHLIEB Jean (Bernard), *L'Aéronautique, hier et demain*, Paris, Masson, 1920.

PARFAIT Th., « Emploi des tables de Decante dans les évolutions d'escadre », *Revue maritime et coloniale*, 1879, pp. 235-237.

PENNÈS P., « Notes sur l'exploration aérienne des pays inaccessibles à l'exploration terrestre », *La Revue de l'aéronautique militaire*, mai-juin 1927, pp. 52-59.

PERPILLOU Aimé, *Géographie de la circulation. Navigation maritime et navigation aérienne : le domaine atlantique*, Les Cours de Sorbonne, Paris, Centre de Documentation Universitaire, 1952.

PERRET Eugène, « Note sur quelques applications de la nomographie à l'astronomie nautique », *Annales hydrographiques*, Paris, Imprimerie nationale, 1904.

PERRET Eugène, *Sur l'application de la nomographie aux principales tables nautiques*, Comptes rendus de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, 1905.

PERRET Eugène, *Nomogrammes à points alignés pour la préparation des observations circumméridiennes à l'astrolabe à prisme*, Annales hydrographiques, Imprimerie nationale, 1905.

PERRET Eugène, *Note sur la construction d'un nomogramme à points alignés pour le calcul de l'équation des hauteurs correspondantes du soleil*, Paris, Chapelot, 1905.

PERRET Eugène, *Navigation*, Paris, Doin, 1908.

PERRET Eugène, *Cours autographiés de l'École navale*, SD.

PERRIN Édouard, *Nouvelles tables destinées à abrégé les calculs nautiques*, Paris, Augustin Challamel, 5<sup>e</sup> éd., 1916.

PESCE G.-L., « Congrès et commission permanente internationale d'aéronautique », *L'Aérophile*, juillet 1901, pp. 155-157.

PEYRONNET DE TORRES Roger, « La femme sportive du jour : l'aviatrice Léna Bernstein », *Le Miroir des sports*, 6 mai 1930, p. 284.

PEYRONNET DE TORRES Roger, « Le raid glorieux de Costes et Bellonte », *Le Miroir des sports*, 9 septembre 1930, pp. 226-227.

PEYRONNET DE TORRES Roger, « Les sportifs du jour en aviation : l'Italien Agello et la Française Maryse Hilsz », *Le Miroir des sports*, 18 avril 1933, p. 242.

PEYRONNET DE TORRES Roger, « Une Française, Maryse Bastié, survole l'Atlantique Sud dans un temps record », *Le Miroir des sports*, 5 janvier 1937, NP.

PLESSIS (DU) Joachim, *La vie héroïque de Jean Du Plessis Commandant du « Dixmude » 1892-1923*, Paris, Plon, 1924.

PLESSIS (DU) Joachim, *Les grands dirigeables dans la Paix et dans la Guerre ; T1 : leur passé, leur avenir, l'expérience du Dixmude*, Paris, Plon, 1925.

POLLACCHI Paul, « La carte aéronautique du service géographique de l'Armée », *Annales de Géographie*, 1911, pp. 311-315.

POULAIN Madeleine, « Le colonel Wateau », *Les Ailes*, 30 juin 1932, p. 8.

POUVREAU Georges, *Les nouvelles tables de mer pour le calcul de la hauteur, de l'heure et de l'azimut*, Paris, Gauthier-Villars, 1885.

PRADE G., « L'anémo-boussole », *Le Journal*, 28 novembre 1910, p. 6.

QUEVENEY Claude, « L'aviation en Indochine », *L'Action française*, 23 août 1937, pp. 3-4.

R.D., « La précision des observations astronomiques à la mer », *Navigation* (Paris), n° 20, octobre 1957, p. 392.

REAU, *Cours de Navigation de l'École Navale*, 1930.

REMY E., « La détermination de la position géographique dans la navigation ancienne et la navigation moderne », *Ciel et Terre*, 1909, pp. 8-16.

RENARD Paul, « L'année aéronautique », *La Revue hebdomadaire*, 2 janvier 1909, pp. 5-22.

RENARD Paul, « Une École Supérieure d'Aéronautique », *L'Aérophile*, 15 juin 1909, pp. 269-270.

RENARD Paul, « La traversée aérienne de l'Atlantique Nord, de l'est à l'ouest par D. Costes et M. Bellonte », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, n° 145, 1931, pp. 450-452.

RÉNY Edmond, *Monographie générale du cadastre en Indochine*, Exposition coloniale, Paris, Montreuil-sous-Bois, Imprimerie de la Seine, 1931.

RIO Alphonse, « La récente réforme de l'Enseignement Maritime par M. Buisson fut en réalité une désorganisation de plus », *Le journal de la Marine Marchande*, n° 53, 8 avril 1920, pp. 337-339.

RIO Alphonse, « L'abandon de la réforme de l'enseignement maritime », *Le journal de la Marine Marchande*, n° 83, 4 novembre 1920, pp. 1081-1082.

ROCHON Alexis, *Mémoire sur l'astronomie nautique*, Paris, Prault, 1798.

ROGET Henri, « Ce que doit être un raid. Comment l'effectuer », *L'Aéronautique*, juin 1919, pp. 25-26.

ROUCH Jules, « Les conditions pratiques de navigation aérienne polaire », *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, 1928, pp. 572-584.

ROUCH Jules, *Le compas de navigation aérienne*, Paris, Masson, 1921.

ROUCH Jules, « Le compas de navigation aérienne », *L'Aérophile*, 1<sup>er</sup> au 15 mars 1921, pp. 88-90.

ROUGERON C., « Le bombardement par temps couvert », *Revue du ministère de l'Air*, 15 octobre 1935, pp. 1181-1196.

ROUSSILHE Henri, « Application de la photographie aérienne aux levés topographiques », *La Géographie*, juin 1922, pp. 1-30.

SAILOR, « La boussole et les cartes en Aéronavigation », *L'Aérophile*, juillet 1910, pp. 326-327.

SAINT-EXUPERY (DE) Antoine, *Vol de nuit*, Paris, Gallimard, 1931.

SAINT-EXUPERY (DE) Antoine, *Terre des hommes*, Paris, Gallimard, 1939 ; rééd. coll. Folio, 1972.

SALDO Élie, « Note sur la conduite de la navigation des Farman Postaux d'Air-France sur l'Atlantique sud entre 1936 et 1940 », *Navigation* (Paris), n° 146, avril 1989, pp. 244-248.

SAUVAIRE JOURDAN A., *La Marine de Guerre*, Paris, Vuibert, 1910.

SAZERAC DE FORGE Léonide, *La conquête de l'air*, Paris, Berger-Levrault, 1910.

SEDEYN Émile, « Histoire de l'aérostation », *Revue des Forces Aériennes*, n° 41-52, 1933.

SEJO, *Comment on devient aviateur*, Paris, Bernardin-Béchet, 1932.

SENOUQUE Albert, « Comment fut gagné le Grand Prix « Michelin » », *L'Aérophile*, mars 1911, pp. 122-125.

SENOUQUE Albert, « L'ascension de l'« Altaïr » », *L'Aérophile*, juin 1907, pp. 144-145.

SERRES Élie, *Tables condensées pour le calcul rapide du point observé*, Paris, Gauthier-Villars, 1891.

SERVICE GÉOGRAPHIQUE DE L'ARMÉE, *Rapport sur les travaux exécutés du 1<sup>er</sup> août 1914 au 31 décembre 1919*, Paris, Imprimerie du Service géographique de l'armée, 1936.



SINBAD, « La navigation aérienne et la méthode Bertin », *Ouest-Éclair*, 12 octobre 1927, p. 2.

SINBAD, « La navigation aérienne et la méthode Bertin (suite de notre article d'hier) », *Ouest-Éclair*, 13 octobre 1927, p. 2.

SIZAIRE Pierre et DURAND-VIEL Georges, *Astronomie nautique : cours à l'usage des élèves de l'École navale et des navigateurs marins et aériens*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1951.

SOREAU Rodolphe, *Nomographie ou Traité des abaques*, Paris, Chiron, 1921.

SOUILLAGOUËT Ferdinand. *Tables du point auxiliaire pour trouver rapidement la hauteur et l'azimut estimés*, Toulouse, Douladoure-Privat, 1894.

TALON A., « Projet de Carte aéronautique avec Repères », *L'Aérophile*, 15 janvier 1911, pp. 32-35.

THIERRY Maurice, *Méthodes générales de navigation aérienne*, Compte rendu de conférence publié par le SNAé, 1920.

THIERRY Maurice, « Navigation aérienne et navigation maritime », *L'Aéronautique*, 1920, pp. 466-471.

TISSANDIER Gaston, *La Photographie en ballon*, Paris, Gauthier-Villars, 1886.

TISSERAND F. et ANDOYER Henri, *Leçons de cosmographie*, Paris, Armand Colin, 1912.

TOUTAIN, « Statistique des naufrages et autres accidents de mer pour l'année 1898 », *Revue Maritime*, avril 1901, pp. 1092-1119.

VALLAUX Camille, «L'enseignement dans les écoles d'hydrographie», *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 1906, pp. 1021-1027.

VALLEREY J., *Arithmétique Algèbre Trigonométrie*, Paris, Augustin Challamel, 1897.

VAUCHEZ P., « La navigation dans l'aéronautique navale », *Navigation* (Paris), n° 1, janvier 1953, pp. 33-35.

VAZIAGA Charles-Jean-Ferdinand, *Manuel du navigateur aérien. Cours en usage à l'école navale*, Paris, Blondel La Rougery, 1947.

VERCOUTERT, « La radioélectricité à bord des avions militaires », *Revue du ministère de l'Air*, février 1935, pp. 195-212.

VILLAIN Charles, « Emploi des cartes en Navigation aérienne », *BNAé*, n°10, janvier 1921, pp. 75-186 ; n°11, février 1921, pp. 205-210 ; n°12, mars 1921, pp. 221-225.

VILLARCEAU Yvon et MAGNAC (AVED DE) Henri, *Nouvelle Navigation Astronomique*, Paris, Gauthier-Villars, 1877.

VIRÉ Pierre, *T.V.B.*, Paris, Taranis, 1975.

VIVENT Jacques, *Notre aviation marchande*, Paris, Sansot, 1926.

VOITOUX G., *La navigation aérienne transatlantique*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1930.

VOLMORANGE A., « La route aérienne » in « Les problèmes actuels de l'aéronautique », *L'Aéronautique*, décembre 1919, pp. 301-303.

WEEMS Philip Van Horn, *Star-altitude for obtaining a fix*, San Diego, R. Stokes, 1928.

### 3) Revues et journaux

*L'Action française*

23/08/1937.

*L'Aéronaute*

04/1868, 12/1870, 08/1896.

*L'Aéronautique*

06/1919, 10/1919, 12/1919, 05/1920, 11/1920, 01/1921, 02/1921, 03/1921, 04/1921, 05/1921, 06/1921, 07/1921, 08/1921, 09/1921, 10/1921, 11/1921, 12/1921, 03/1922, 05/1930, 01/1933, 12/1936, 11/1939.

*L'Aérophile*

01/1901, 07/1901, 01/1904, 12/1906, 06/1907, 05/1908, 12/1908, 05/1909, 15/06/1909,  
01/12/1909, 01/06/1910, 07/1910, 08/1910, 12/1910, 15/01/1911, 02/1911, 03/1911,  
07/1911, 06/1912, 02/1913, 03/1913, 15/11/1913, 01/05/1914, 15/05/1914, 01/03/1921,  
01/06/1921, 01/06/1922, 15/08/1930, 01/1936, 03/1936.

*Les Ailes*

23/06/1921, 26/03/1925, 11/07/1929, 21/05/1931, 30/06/1932, 17/08/1933, 16/11/1933,  
05/12/1935, 20/05/1937.

*L'Air*

01/05/1928, 20/11/1937.

*Almanach du Marin Breton*

1900, 1903, 1906.

*L'Animateur des temps nouveaux*

n° 120.

*Annales de géographie*

1911, 1932.

*Armée et Marine*

14/07/1901, 06/04/1902.

*Armée Marine Colonie*

05/1928.

*L'Astronomie*

1903, 1905.

*L'Avion*

09/1936.

*Bulletin de la Navigation Aérienne (BNAé)*

03-04-05/1920, 10/1920, 12/1920, 01/1921, 02/1921, 03/1921, 07/1922, 01/1923,  
12/1924, 12/1925, 03/1926, 09/1926, 01/1927, 05/1929, 04/1931, 05/1936.

*Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*

1928, 1930, 1931.

*Bulletin de la Société de topographie*

01/1920.

*Bulletin mensuel de l'Association des Anciens élèves de l'École centrale lyonnaise*

07/1922.

*Ciel et Terre*

1909, 04/1941.

*Comptes Rendus de l'Académie des sciences*

27/02/1871, 06/03/1871, 13/03/1871, 1894, 1876, 1894, 1909, 1913, 03/01/1921,  
01/1928, 06/1928, 1930, 1931.

*La Croix*

22/08/1916, 17/12/1919.

*Dunkerque-sport*

07/03/1909.

*Le Génie Civil*

14/10/1899, 17/02/1900, 11/02/1911, 26/11/1921, 29/09/1928.

*La géographie*

1922.

*La guerre aérienne illustrée*

12/07/1917, 06/03/1919.

*L'Humanité*

03/12/1908.

*L'Illustration*

03/01/1931.

*L'Intransigeant*

30/03/1928, 12/04/1928, 21/12, 1928, 21/10/1929.

*Le Journal*

28/11/1910, 26/12/1910, 02/04/1913.

*Journal des débats politiques et littéraires*

05/01/1924.

*Le journal de la Marine Marchande*

08/04/1920, 04/11/1920, 01/1921.

*Journal Officiel de la République Française - Lois et décrets*

11/11/1897, 28/06/1900, 01/11/1906, 06/08/1907, 30/09/1913, 20/01/1929.

*Le Matin*

02/11/1917.

*La Nature. Revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*

31/07/1926.

*Navigazette*

01/09/1910, 01/12/1910, 10/1911, 07/1914.

*Ouest-Éclair*

16/06/1900, 03/06/1902/ 06/06/1902, 23/08/1902, 27/03/1903, 11/11/1903, 20/12/1903,  
11/09/1906, 10/06/1907, 11/08/1907, 30/08/1908, 01/03/1909, 12/10/1909, 25/03/1910,  
30/09/1910, 20/04/1911, 26/03/1913, 01/03/1914, 26/10/1921, 25/11/1925, 29/07/1927,  
11/10/1927, 12/10/1927, 13/10/1927, 22/10/1927.

*Le petit journal*

03/08/1916.

*Plein ciel journal*

Mai 1936.

*Le Radical*

02/12/1910.

*La Revue aérienne*

25/09/1910, 10/12/1910, 10/01/1911, 10/04/1911, 10/10/1912, 25/12/1912.

*Revue de l'aéronautique militaire*

01-02/1922, 05-06/1927.

*Revue de l'Armée de l'Air*

06/1935, 02/1936.

*Revue des Forces Aériennes*

01/1933, 04/1933, 05/1933, 07/1933, 05/1935.

*Revue générale des sciences pures et appliquées*

1906, 1917.

*La Revue hebdomadaire*

02/01/1909.

*Revue de la marine marchande*

10/1917.

*Revue Maritime*

04/1901, 01/1909, 1910, 04/1912, 1914.

*Revue maritime et coloniale*

10/1873, 09/1875, 1879, 1886, 12/1886, 1889, 12/1892.

*Revue du ministère de l'Air*

02/1935, 15/10/1935, 15/11/1935.

*La science et la vie*

10/1915, 06-07/1917, 04-05/1920, 08-09/1920.

*Le Temps*

11/11/1908.

*L'Univers*

10/12/1910.

*La Vie au Grand Air*

24/12/1910.

## B) Sources secondaires

### 1) Ouvrages et articles (y compris en ligne)

Aéro-Club de France, *Mémorial des pionniers de l'aviation, 1909-1921*, Paris, ARDHAN, 1998.

ALBERT Pierre, « Les tables de journaux : des guides de recherche trop mal connus », *Le Temps des médias*, 2007/1 (n° 8), pp. 253-266.

AMOUDRY Michel, « Le Général Ferrié (1868-1932), un soldat au service de la radioélectricité », *Bulletin de la Sabix*, n° 48, 2011, pp. 29-39.

Anonyme, « Les fonctions des tables de navigation », *Navigation* (Paris), n° 3 juillet 1953, pp.78-85.

Anonyme, *Table méthodique de la Revue Maritime 1862-1957*, Musée national de la Marine, 1957.

Anonyme, « 14-18, ou la géographie des désastres », *IGN Magazine*, n° 74, avril-mai-juin 2014, pp. 6-20.

Anonyme, « Méthodes et premiers résultats du transport aérien à travers l'Atlantique-Sud », *L'épopée de l'aviation*, Les grands dossiers de l'Illustration, Le livre de Paris, 1987, p. 178.

Anonyme, « L'aviation de Paix », *L'épopée de l'aviation*, Les grands dossiers de l'Illustration, Paris, Le livre de Paris, 1987, p. 116.

ARCHBOLD Rick et MARSCHALL Ken, *Dirigeables, l'épopée des géants du ciel*, Paris, Gallimard, 1997.

ARGOTE Linda et INGRAM Paul, « Knowledge transfer: A Basis for Competitive Advantage in Firms » in *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, volume 82, issue 1, may 2000, pp. 150-169.

ASKEN Claude, *Nouveau traité de navigation - La navigation astronomique*, Paris, Chiron, 1983.

AUBIN David et BRET Patrice, « Introduction », *14/18 Aujourd'hui. Today. Heute*, dossier « Le Sabre et l'Éprouvette. L'invention d'une science de guerre 1914/1939 », 6, mars 2003, pp. 43-47.

AUBIN David et BIGG Charlotte « Neither Genius nor Context Incarnate: Norman Lockyer, Jules Janssen and the Astrophysical Self », *The History and Poetics of Scientific Biography*, ed. Thomas Söderqvist, Ashgate Publ, 2007, pp. 51-70.

AUBIN David, GISPERT Hélène, GOLDSTEIN Catherine, « The Total War of Paris Mathematicians », 2013, <hal-00830377v2>.

AUBIN David, GOLDSTEIN Catherine, *The War of Guns and Mathematics: Mathematical Practices and Communities in France and Its Western Allies around World War I, History of Mathematics (vol. 42)*, USA, American Mathematical Society, 2014.

AUBIN David, « Les rôles du savant en guerre : l'exemple de l'astrophysicien Nordmann ». FRIDENSON Patrick et GRISET Pascal, *L'industrie dans la Grande Guerre : Colloque des 15 et 16 novembre 2016*, Paris, Institut de la gestion publique et du développement économique, 2018, pp. 201-206. <<http://books.openedition.org/igpde/4957>>, consulté le 13 août 2018.

BAYLE M., « Quelques désirs du navigateur aérien en ce qui concerne la navigation astronomique », *Navigation* (Paris), n° 18, avril 1957, pp. 153-163.

BEAUBOIS Henry, *Dirigeables*, Office du livre S.A. Fribourg, 1973.

BEDEL Pierre, *Tables de Martelli*, 12 mars 2016, <http://fer3.com/arc/imgx/Martelli-version2.pdf>, consulté le 13 août 2018.

BEDEL Pierre, *Diagrammes et abaqes*, novembre-décembre 2013, p. 12, <http://fer3.com/arc/imgx/Diagrammes-abaqes.pdf>, consulté le 13 août 2018.

BELHOSTE Bruno, « La préparation aux grandes écoles scientifiques au XIX<sup>e</sup> siècle : établissements publics et institutions privées », *Histoire de l'éducation*, vol. 90, n° 2, 2001, pp. 101-130.

BELLENGER Claude, GODECHOT Jacques, GUIRAL Pierre, TERROU Fernand (dir.), *Histoire générale de la presse française. Tome 3 : De 1871 à 1940*, Paris, Presses Universitaires de France, 1972.

BERNARD Philippe, « À propos de la stratégie aérienne pendant la première guerre mondiale : mythes et réalités », *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, tome 16, n°3, juillet-septembre 1969, pp. 350-375.

BERTHIAU Jean André, « Des maîtres entretenus aux ingénieurs (1819-1971) », *Techniques & Culture*, n° 45, 2005, mis en ligne le 22 mai 2008. URL : <http://journals.openedition.org/tc/1401> ; DOI : 10.4000/tc.1401, consulté le 13 août 2018.

BEURIER Joëlle, « La Grande Guerre, matrice des médias modernes », *Le Temps des médias*, 2005/1 (n° 4), pp. 162-175.

BODENEZ Georges, « Le problème de « Douwes » », *Navigation* (Paris), n° 153, janvier 1991, pp. 110-115.

BOISTEL Guy, *L'Astronomie nautique au XVIII<sup>e</sup> siècle en France : Tables de la Lune et longitudes en mer*, thèse de doctorat de l'université de Nantes, Centre François Viète, 2001.

BOISTEL Guy, « De quelle précision a-t-on réellement besoin en mer ? Quelques aspects de la diffusion des méthodes de détermination astronomique et chronométrique des longitudes en mer en France, de Lacaille à Mouchez (1750-1880) », *Histoire & mesure*, volume XXI, n° 2, 2006, pp. 121-156.

BOISTEL Guy, « De la suppression des écoles d'hydrographie aux écoles nationales de navigation maritime 1870-1920. Cinquante années de flou pour l'enseignement maritime », *La Revue Maritime*, mai 2012, pp. 14-17.



BOISTEL Guy, « De la suppression des écoles d'hydrographie à la création des écoles nationales de navigation maritime, 1886-1920 : trente-quatre années de flou pour l'enseignement maritime. Le cas des écoles de l'estuaire de la Loire : Paimboeuf, Saint-Nazaire, Le Croisic, Nantes », *Cahiers François Viète*, Centre François Viète, Université de Nantes, 2016, *Entre Ciel et Mer. Des observatoires pour l'enseignement de l'astronomie, des sciences maritimes et le service de l'heure, en France et en Europe, de la fin du XVIIIe au début du XXe siècle : institutions, pratiques et cultures*, Série II (8-9), pp. 61-102.

BOISTEL Guy, « Profession calculateur du Bureau des longitudes et de la Connaissance des temps. Du (presque) bénévolat à la professionnalisation, 1795-1905 », in SCHIAVON Martina et ROLLET Laurent, *Pour une histoire du Bureau des longitudes, 1795-1932*, Nancy, Presses Universitaires de Nancy - éditions universitaires de Lorraine, 2017, pp. 43-89.

BONAME Robert, « Les grandes traversées de l'Atlantique Nord », *Icare*, mars 1994.

BONAME Robert, « Air France Transatlantique. La contribution française aux premières liaisons régulières sur l'Atlantique Nord », in « La conquête de l'Atlantique Nord, Tome 2 : la France », *Icare*, février 1996, pp. 24-90.

BOULANGER Philippe, *La géographie militaire française (1871-1939)*, Paris, Economica, 2002.

BOURBON Philippe, *La navigation astronomique : fondements, applications, perspectives. Synthèses*, Institut océanographique, 2000.

BOWDITCH Nathaniel, *American practical navigator*, USA, US Navy Hydrographic Office, 1958.

BOWDITCH Nathaniel, *American practical navigator, Vol I*, USA, Defense Mapping Agency Hydrographic Center, 1977.

BRÉZET François-Emmanuel, *La guerre sous-marine allemande 1914-1945*, Paris, Perrin, 2017.

BROELMANN Jobst, « Hermann Anschütz-Kaempfe - Richtungsweiser ohne Spuren », *Deutsches Schiffsarchiv*, n°25, Bremerhaven 2002, pp. 41-55.

CABANEL Patrick, « La république contre les catholiques ? », in *Serviteurs de l'État*, Paris, La Découverte, « Espace de l'histoire », 2000, pp. 167-180. URL : <https://www.cairn.info/serviteurs-de-l-etat--9782707133694-page-167.htm>, consulté le 13 août 2018.

CAILLOU Michel, LAURENT Dominique et PERCIER François, *Traité de navigation*, Rennes, Infomer, 1998.

CARPENTIER Jean, *Cent vingt ans d'innovations en aéronautique*, Paris, Hermann, 2011.

CASPARD Pierre, « Un chantier déserté. L'histoire de l'enseignement technique », pp. 193-197, in *Formation Emploi* Numéro spécial. L'enseignement technique et professionnel, repères dans l'histoire (1830-1960), n° 27-28, 1989.

CASTILHO (DE) Jorge, BEIRES (DE) Sarmiento, *Le voyage de l'Argos, le premier vol de nuit à travers l'Atlantique sud commémoration du cinquantième 1927-1977*, Lisbonne, Divisao grafica de TAP, 1977.

CHABAT-BEYLOT Agnès, GALLIEN Pascal (dir.), « Archives de l'aéronautique militaire de la Première Guerre mondiale. Répertoire numérique détaillé de la série A (1914-1919) et guide des sources », Vincennes, Service historique de la Défense, 2008.

CHADEAU Emmanuel, *Mermoz*, Paris, Perrin, 2000

CHADEAU Emmanuel, « Laurent-Eynac et l'aéronautique », *Cahiers de la Haute-Loire*, 1982, p.195-210.

CHADEAU Emmanuel, *Saint-Exupéry*, Paris, Perrin, 2000.

CHAPUIS Olivier, *À la mer comme au ciel. Beutemps-Beaupré & la naissance de l'hydrographie moderne (1700-1850)*, Paris, Presses de l'université Paris-Sorbonne, 1999.

CHASSIN Guillaume (Lionel), « Ce grand diable taillé à la serpe », *Icare*, 1974, pp. 188-190.

CHASSIN Guillaume (Lionel), « Souvenirs sur Le Brix », *La Revue Maritime*, 2<sup>e</sup> semestre 1950.

CHATZIS Konstantinos, BRET Patrice et HILAIRE-PEREZ Liliane, *La presse et les périodiques techniques en Europe, 1750-1950*, Paris, L'Harmattan, 2008.

CHATZIS Konstantinos, « Un « ingénieur-savant » tardif : le cas de Philibert Maurice d'Ocagne (1862-1938) », *Séminaire d'Histoire des mathématiques de l'IHP « Maurice d'Ocagne (1862-1938) : questions historiques et historiographiques soulevées par ses archives (séance préparée par Dominique Tournès)*, Paris, 20 mars 2015. <https://f-origin.hypotheses.org/wp-content/blogs.dir/2187/files/2015/03/S%C3%A9minaire-IHP-20-mars-2015-Exos%C3%A9-de-K.-Chatzis.pdf>, consulté le 13 août 2018.

CHAMBE René, *Histoire de l'aviation*, Paris, Flammarion, 1949.

CHOPPIN Alain, « Le manuel scolaire, une fausse évidence historique », *Histoire de l'éducation*, 117 | 2008, pp. 7-56.

COCHOIS Jean-Baptiste, *Le Versailles de la mer : histoire de l'École navale à terre*, Guingamp, Editions de Plomée, 2000.

Collectif, « La Marine nationale et la Première Guerre mondiale : une histoire à redécouvrir », *Revue d'histoire maritime*, Presses de l'université Paris-Sorbonne, n°20, 1<sup>er</sup> mai 2015.

COMET Paul, « Evolution et aspect actuel de la navigation aérienne », *Navigation* (Paris), n° 1, janvier 1953, pp. 23-32.

COTTER Charles Henry, *A History of the Navigator's Sextant*, Glasgow, Brown, 1983.

COUTAU-BEGARIE Hervé, *Réflexion sur l'école française de stratégie navale*, [http://www.institut-strategie.fr/PN1\\_HCBREFLFRA.html#Note45](http://www.institut-strategie.fr/PN1_HCBREFLFRA.html#Note45), consulté le 13 août 2018.

COUTAUD Germain et ANDLAUER Louis, *La navigation aérienne*, Paris, Presses Universitaires de France, 1953.

CUNY Jean et DANIEL Raymond, *L'aviation de chasse française (1918-1940)*, Paris, Larivière, Collection DOCAVIA, 1973.

CUNY Jean et DANIEL Raymond, *L'aviation française de bombardement et de renseignement (1918-1940)*, Paris, Larivière, Collection DOCAVIA, 1979.

DANIEL Raymond, *Les Pionniers de l'Aviation commerciale, les lignes Latécoère 1918-1927*, Toulouse, Privat, 1986.

DAVAL Nathalie, *La circulation de la nomographie dans les journaux de la période 1890-1930*, Colloque CIRMATH – Autour de la base de données des journaux mathématiques, Nancy, 3 et 4 novembre 2015, <https://cirmath.hypotheses.org/101-2/colloque-cirmath-autour-de-la-base-de-donnees-des-journaux-mathematiques>, consulté le 13 août 2018.

DELEVOIE Caroline, DUTAILLY Bruno, MORA Pascal et VERGNIEUX Robert, « Un point sur la photogrammétrie », *Archéopages*, juillet 2012, mis en ligne le 01 juillet 2012. URL : <http://journals.openedition.org/archeopages/410>, consulté le 13 août 2018.

DELORAIN E. –M, « La navigation aérienne électronique », *Académie de marine*, tome 1, 1953-1954, pp. 84-113.

DOLLFUS Charles et BOUCHÉ Henri, *Histoire de l'aéronautique*, Paris, Collection des grands ouvrages de « l'Illustration », 1938.

DUBREIL-VILLATOUX Marie-Catherine., « L'aéronautique militaire dans la grande guerre vers l'institutionnalisation », *Archives de l'aéronautique militaire de la première guerre mondiale*, Vincennes, Service historique de la Défense, 2008, pp. 9-44.

ESPEROU Robert, « L'état et le transport aérien », actes du colloque *Pour mémoire*, n° 4, printemps 2008, pp. 48-65.

EVENO Patrick, « Médias et publicité : une association équivoque mais indispensable », *Le Temps des médias*, 2004/1 (n°2), pp. 17-27.

FANNING A.E., « La navigation astronomique depuis 1884 », *Navigation* (Paris), n° 133, janvier 1986, pp. 102-110.

FAUQUE Danielle, « Un nouvel instrument pour observer les hauteurs, inventé par M. Grandjean de Fouchy », *Revue d'histoire des sciences*, janvier 2008, Tome 61, pp. 63-88.

FAUQUE Danielle, « Revue critique. De l'art de naviguer à la science nautique au Siècle des lumières », *Revue d'histoire des sciences*, janvier 2010, Tome 63, pp. 189-219.

FACON Patrick, *L'histoire de l'armée de l'Air. Une jeunesse tumultueuse (1880-1945)*, Paris, Larivière, Collection DOCAVIA, 2004.

FERRY Vital, *Aviation populaire ou aviation prolétaire*, Paris, éditions du Gerfaut, 2007.

FERRY Vital, *Ciels impériaux africains 1911-1940*, Paris, éditions du Gerfaut, 2005.

FERRY Vital, *Des formations aéronautiques. Du pingouin au jet. 1911-1960*, Paris, éditions du Gerfaut, 2008

FERRY Vital, « Le premier service de la navigation aérienne, le SNAé », in *Le temps de ingénieurs de la navigation aérienne – Mémoires techniques 1945-1985*, Paris, DGAC, Collection mémoire de l'aviation civile, 2013, pp. 40-43.

FEUILLOY Robert, « L'aéronautique navale » in *Les Français du ciel*, ROBINEAU L (Dir.), Paris, Le cherche midi, 2005, pp. 601-607.

FEUILLOY Robert, *Les dirigeables de la marine française (1915-1937)*, Paris, ARDHAN, 2008.

FEUILLOY Robert, « Les débuts de l'aviation maritime (1910-1918) », sur la page <http://www.aeronavale.org/almana/debut%20avia%20maritime.htm>, consulté le 13 août 2018.

FORCADE Olivier, « Voir et dire la guerre à l'heure de la censure (France, 1914-1918) », *Le Temps des médias*, 2005/1 (n° 4), pp. 50-62.

GADAL Serge, « Le premier plan de bombardement stratégique : “le plan Gorrell” (1917) », *Stratégie*, vol. 102, n° 1, 2013, pp. 205-209.

GAIGNARD Henri-Georges, « Essai sur l'enseignement maritime à Saint-Malo », *Annales de la société d'histoire et d'archéologie de l'arrondissement de Saint-Malo*, 1969, pp. 158-193.

GALVEZ-BEHAR Gabriel. « Le savant, l'inventeur et le politique le rôle du sous-secrétariat d'état aux inventions durant la première guerre mondiale », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, vol. 85, n° 1, 2005, pp. 103-117.

GARCIN Claude, « Réflexions d'un physicien sur les problèmes de formation », *Techniques & Culture*, 45 | 2005, mis en ligne le 22 mai 2008. URL : <http://journals.openedition.org/tc/1335> ; DOI : 10.4000/tc.1335, consulté le 13 août 2018.

GAUJA Pierre, *Les fondations de l'Académie des sciences (1881-1915)*, Hendaye, Imprimerie de l'Observatoire d'Abbadia, 1917.

GAULTIER Pierrick, *Hommage – Jules Rouch, Père du domaine « Météoc » dans les armées*.  
<http://www.colsbleus.fr/articles/10616>, consulté le 13 août 2018.

GEISTDOERFER Patrick, « La formation des officiers de marine : de Richelieu au XXI<sup>e</sup> siècle, des gardes aux « bordaches » », *Techniques & Culture*, 45 | 2005, mis en ligne le 22 mai 2008.  
URL : <http://journals.openedition.org/tc/1467> ; DOI : 10.4000/tc.1467, consulté le 13 août 2018.

GERVAIS Thierry, « Un basculement du regard », *Études photographiques*, 9 mai 2001, mis en ligne le 10 septembre 2008. URL : <http://journals.openedition.org/etudesphotographiques/916>, consulté le 13 août 2018.

GIBOUIN E., « Une rétrospective sur les systèmes de navigation basés à terre », *Navigation* (Paris), n° 163, juillet 1993, pp. 406-411.

GIET Armand, *Abaques ou nomogrammes*, Paris, Dunod, 1965.

GILLET André, *Une histoire du point en mer*, Paris, Belin, 2000.

GINOUX Jean-Marc, *Analyse mathématique des phénomènes oscillatoires non linéaires : le carrefour français (1880-1940)*, thèse de doctorat de l'université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, 2011.

GINOUX Jean-Marc et GERINI Christian, *Henri Poincaré : une bibliographie au(x) quotidien(s)*, Paris, Ellipses, 2012.

GINSBURGER Nicolas, *La guerre la plus terrible des érosions » cultures de guerre et géographes universitaires Allemagne-France-Etats-Unis (1914-1921)*, Thèse soutenue le 30 novembre 2010, Université Paris Ouest Nanterre-La Défense, école doctorale « milieux, cultures et sociétés du passé et du présent ».

GRAS Alain, MORICOT Caroline, POIROT-DELPECH Sophie, SCARDIGLI Victor, *Face à l'automate : Le pilote, le contrôleur et l'ingénieur*, Paris, Publications de la Sorbonne, 1994.

GRIGAUT Claude (G<sup>al</sup>), « L'École de l'air », *Revue historique des armées*, HS n°1, 1969, p. 152.

HAMILTON David, « What is a textbook? », *Paradigm*, 3, July 1990, pp. 5-8.

HARISMENDY Patrick, « L'évolution de la maquette de l'*Ouest-Éclair* » in LAGRÉE Michel (dir.), HARISMENDY Patrick (dir.) et DENIS Michel (dir.), *L'Ouest-Éclair. Naissance et essor d'un grand quotidien régional*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2000, pp. 133-147.

HARTMANN Gérard, « L'aéronautique dans la presse », sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

HARTMANN Gérard, « Quand l'Aéronautique tenait Salon au Grand Palais des Champs-Élysées à Paris », sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

HARTMANN Gérard, « Georges Besançon (1866-1934), Perpétuel Sinon Immortel », sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

HARTMANN Gérard, « Clément-Bayard, sans peur et sans reproche (suite et fin) », sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

HARTMANN Gérard, « Les Nieuport de la guerre », sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

HARTMANN Gérard, « Les premiers Nieuport à flotteurs », sur le site <http://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

HARTMANN Gérard, « Le développement du transport aérien en Europe (1919-1932) », sur le site <https://www.hydroretro.net>, consulté le 13 août 2018.

HUBERT Jean, *Chronique de la navigation aérienne*, Toulouse, ENAC, 1987.

HUGHES Thomas Parke, *Elmer Sperry: Inventor and Engineer*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1993.

HUGON Pierre, « Comment navigue-t-on actuellement sur les navires français ? », *Navigation* (Paris), n° 1, janvier 1953, pp. 7-22.

HUGON Pierre et NOMY Henri, *Le point astronomique simplifié dans les régions polaires*, Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'air, 1950.

HUGON Pierre, « Étude sur une conception nouvelle d'une table de point astronomique », *Navigation* (Paris), n° 60, octobre 1967, pp. 430-456.

HUGON Pierre, « Le point astronomique à la mer par deux observations simultanées – Le problème de Douwes », *Navigation* (Paris), n° 89, janvier 1975, pp. 47-60.

IFLAND Peter, « Taking the Stars », Krieger Publishing Company, 1998.

JUHEL Pierre, *Histoire de la boussole*, France, éditions Quae, 2013.

KASPRZYK-ISTIN Marie-Cécile, *Charles Bertin, professeur d'hydrographie et auteur d'une méthode de calculs nautiques au début du XX<sup>e</sup> siècle*, Mémoire de master de recherche en histoire des sciences sous la direction de Dominique Bénard, Nantes, Centre François Viète, Université de Nantes, 2011.

KASPRZYK-ISTIN Marie-Cécile, « Regards sur l'enseignement dans les écoles d'hydrographie au début du XX<sup>e</sup> siècle », *La Revue Maritime*, mai 2012, pp. 18-21.

KASPRZYK-ISTIN Marie-Cécile, « Itinéraires Kahn – Une alternative aux cartes orthodromiques, développée à la fin des années vingt », *Navigation* (Paris), n° 245, octobre 2014, pp. 42-52.

KERISEL Jean et KERISEL Thierry, « 1928-1940 Deux retours à l'aviation », *Bulletin de la Sabix*, n° 28, 2001, pp. 35-40.

KERISEL Jean, *Albert Caquot, 1871-1976 : Savant, soldat et bâtisseur*, Paris, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, 2001.

KRUGLER Gilles, « La puissance aérienne dans la guerre du Rif », *Revue historique des armées*, n° 268, 2012, pp. 32-44.

LAGRÉE Michel (dir.), HARISMENDY Patrick (dir.) et DENIS Michel (dir.), *L'Ouest-Éclair. Naissance et essor d'un grand quotidien régional*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2000

LAGUËS Michel, BEAUDOUIN Denis, CHAPOUTIER Georges, *L'invention de la mémoire. Écrire, enregistrer, numériser*. Paris, CNRS éditions, 2017.

LASSERE Jean (Dir.) et PETIT Edmond (Dir.), « Air France et son histoire 1933-1983. Première partie 1933/1959 », *Icare*, mars 1983.



LAUROUA Pierre, *L'aviation civile. Une administration dans Paris. 1919-2009*, Paris, DGAC Collection mémoire de l'aviation civile, 2012.

LE GARS Stéphane et MAISON Laetitia, « Janssen, Rayet, Cornu : Trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890) », *Revue d'histoire des sciences*, 2006/1, Tome 59, pp. 51-81. DOI 10.3917/rhs.591.0051

LE ROY Thierry, *Les Bretons et l'aéronautique : des origines à 1939*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2002.

LE ROY Thierry, « Le personnel de l'aérostation maritime française (1917-1919) », *Revue historique des armées*, 252 | 2008, mis en ligne le 17 septembre 2008. URL : <http://journals.openedition.org/rha/3313>, consulté le 13 août 2018.

LEFEBURE Antoine, CNAM, AIHTI, « La TSF militaire au service de la Grande Guerre », *Réseaux*, vol. 4, n° 17, 1986, numéro thématique : Science, télécommunication et militaire, pp. 37-39.

LEGRAND Catherine et LEGRAND Jacques (Dir.), *Chronique de l'aviation*, Paris, Acropole, 2000.

LEHMANN Éric, « Giulio Douhet et la naissance de l'*Air Power* », *Nacelles*, La Grande Guerre. Regards croisés franco-italiens, Dossier thématique / Thematic Section, mis à jour le 28 novembre 2017. URL : <http://revues.univ-tlse2.fr/pum/nacelles/index.php?id=349>, consulté le 13 août 2018.

LENOBLE Benoît, « L'aéroplane et le ballon vus par le journal. Technique aérienne et imaginaire médiatique en France (de 1906 au début des années 1920) », *Hypothèses*, vol. 9, n° 1, 2006, pp. 209-220.

LEGRAND Catherine et LEGRAND Jacques (Dir.), *Chronique de l'aviation*, Paris, Acropole, 2000.

LEHMANN Éric, « Giulio Douhet et la naissance de l'*Air Power* », *Nacelles*, La Grande Guerre. Regards croisés franco-italiens, Dossier thématique / Thematic Section, mis à jour le : 28/11/2017, URL : <http://revues.univ-tlse2.fr/pum/nacelles/index.php?id=349>, consulté le 13 août 2018.

LENOBLE Benoît, « L'aéroplane et le ballon vus par le journal. Technique aérienne et imaginaire médiatique en France (de 1906 au début des années 1920) », *Hypothèses*, vol. 9, n° 1, 2006, pp. 209-220.

LEVALLOIS Jean-Jacques, *Géodésie générale. Tome II, Géodésie classique bidimensionnelle*, Paris, Eyrolles, 1970.

LHEUREUX P., « Au sujet des tables de navigation destinées au calcul de l'angle horaire », *Navigation* (Paris), n° 12, octobre 1955, pp. 374-380.

LOCHER Fabien, « Les sciences et les techniques dans l'enseignement supérieur français (XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles) », *Histoire de l'éducation*, 122 | 2009, mis en ligne le 01 janvier 2014 URL : <http://journals.openedition.org/histoire-education/1939> ; DOI : 10.4000/histoire-education.1939, consulté le 13 août 2018.

LOWCZYK, Olivier, « Le général Bourgeois, un militaire imposé ? L'influence de l'état-major français sur le Comité d'études en 1917 », *Guerres mondiales et conflits contemporains*, mars 2008, n° 229, pp. 5-19.

MACAIGNE Jean, « 11-15 mai 1930 La première liaison aéro postale Toulouse-Santiago », *Navigation* (Paris), n° 152, octobre 1990, pp. 507-523.

MANCHON Jean-Baptiste., *L'aéronautique militaire française outre-mer 1911-1939*, Paris, PUPS, 2013.

MANNEVY Pierre, « Cinquante ans de navigation », *Navigation* (Paris), n° 202, avril 2003, pp. 83-105.

MARCHAND P., « Points d'étoiles », *Navigation* (Paris), n° 8, octobre 1954, pp. 317-330.

MARCHAND Philippe, « L'enseignement technique et professionnel en France 1800-1919 », *Techniques & Culture*, 45 | 2005, mis en ligne le 22 mai 2008. URL : <http://journals.openedition.org/tc/1343> ; DOI : 10.4000/tc.1343, consulté le 13 août 2018.

MARCK Bernard, *Elles ont conquis le ciel*, Paris, Arthaud, 2009.

MARGUET François, *Histoire de la longitude à la mer au XVIII<sup>e</sup> siècle en France*, Paris, Augustin Challamel, 1916.

MARGUET François, *Une Histoire de la Navigation (1550-1750)*, Paris, Augustin Challamel, 1918.

MARGUET François, *Histoire générale de la navigation du XV<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle*, Paris, Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 1931.

MARKOVIC Sacha, « Le rôle de l'Etat dans la naissance de l'aviation commerciale française (1918-1933) », *Revue belge de philologie et d'histoire*, tome 78, fasc. 3-4, 2000. Histoire médiévale, moderne et contemporaine - Middeleeuwse, moderne enhedendaagse geschiedenis. pp. 969-991.

MARIET Vincent, *Rochefort dans la Grande guerre. L'Aérostation et les ballons de la Marine*, Mémoire Master Histoire RIHMA, 2015-2016.

MARTINANT DE PRÉNEUF Jean, « La politique de républicanisation de la Marine à la belle Epoque », *Revue d'histoire maritime*, n°14, 2011, pp. 29-60.

MORAREAU Lucien, FEUILLOY Robert, COURTINAT Jean-Louis., LE ROY Thierry, ROSSIGNOL Jean-Paul, *L'aviation maritime française pendant la grande guerre*, Paris, ARDHAN, 1999.

MORAREAU Lucien, « L'escadrille 5B2 au Maroc », *Les cahiers de l'ARDHAN n°16*, ARDHAN, 2008.

MÖRZER BRUYNS W.F.J. et DUNN Richard, *Sextants at Greenwich: A Catalogue of the Mariner's Quadrants, Mariner's Astrolabes, Cross-staffs, Backstaffs, Octants, Sextants, Quintants, Reflecting Circles and Artificial Horizons in the National Maritime Museum, Greenwich*, Oxford, OUP, 2009.

MAY K. et HOFGREN G., « Radionavigation aérienne et aides à l'atterrissage – Résultats d'une coopération internationale », *Navigation* (Paris), n° 100, octobre 1977, pp. 439-454.

MILDE Michael, *International air law and ICAO*, Eleven international publishing, 2008.

MOULIN-BOURRET Annie, *Guerre et industrie : Clermont-Ferrand, 1912-1922 : la victoire du pneu*, Publications de l'Institut d'études du Massif Central, 1997.

MOREEL Léon, *Yves le Prieur : l'homme, le marin, l'inventeur*, Paris, Académie de marine (Houilles, imprimerie de marine), 1965.

MULLER Guillaume, *Une croisière pour célébrer la création de l'armée de l'air : la Croisière noire (1933-1934)*, sur le site <https://leblogsouslescocardes.wordpress.com>, consulté le 13 août 2018.

NIVET Philippe (Dir.), COUTANT-DAYÉ Coraline (Dir.), STOLL Mathieu, *Archives de la grande guerre, des sources pour l'histoire*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2014

PARINGAUX Alexandre, *Des ailes et des hommes*, Paris, Zéphir, 2004.

PESLIN Ch.-Yves, « Antoine de Saint-Exupéry à Brest et le Cours Supérieur de navigation aérienne », *Les Cahiers de l'Iroise*, n°1, janvier-mars 1975, pp. 23-26.

PIOUFFRE Gérard, *Le courrier doit passer*, Paris, Larousse, 2007.

PONNOU Claude, « Les canevas de tir » in NIVET Philippe (Dir.), COUTANT-DAYÉ Coraline (Dir.), STOLL Mathieu, *Archives de la grande guerre, des sources pour l'histoire*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2014, pp. 141-142.

RANDIER Jean, *L'instrument de marine*, Paris, MDV éditions, 1999.

RAVEL Christian, « « la plus ancienne publication aéronautique » l'Aéronaute », *Magazine du Musée Régional de l'Air*, n° 123, été 2015, p. 11.

REY Alain (dir.), *Dictionnaire Historique de la langue française*, Paris, Le Robert-Sejer, édition enrichie 2006, p. 2352.

RIBADEAU-DUMAS Louis, « La guerre électronique en 1914-1918 : deux faits marquants », *La guerre électronique en France au XX<sup>e</sup> siècle*, actes du colloque organisé le 20 avril 2000 à l'École militaire, Comité pour l'histoire de l'armement Association Guerrelec, Centre d'étude d'histoire de la Défense, 2002, pp. 15-17.

ROBÈNE Luc, *L'homme à la conquête de l'air : Des aristocrates éclairés aux sportifs bourgeois* - Tome 1 : *Le règne des aéronautes XVIII et XIXe siècles*, Paris, L'Harmattan, 1998.

ROBÈNE Luc, *L'homme à la conquête de l'air : Des aristocrates éclairés aux sportifs bourgeois* - Tome 2 : *L'aventure aéronautique et sportive XIXe-XXe siècles*, Paris, L'Harmattan, 1998.

ROBÈNE Luc et BODIN Dominique, « Le feuilleton aéronautique à la Belle Époque », *Le Temps des médias*, vol. 9, n° 2, 2007, pp. 47-62.

ROBÈNE Luc, BODIN Dominique, HÉAS Stéphane, « Pau et l'invention de l'aviation « sportive » (1908-1910). Des enjeux technologiques aux plaisirs mondains : naissance d'un loisir et nouveaux pouvoirs du corps », *Staps*, vol. 87, n° 1, 2010, pp. 13-31.

ROBÈNE Luc, « L'aviation c'est du sport ! Images et représentations de l'aéronautique dans la presse sportive de la Belle Époque. L'exemple de La Vie au Grand Air (1900-1914) », *Nacelles*, Pour une histoire sociale et culturelle de l'aéronautique au XX<sup>e</sup> siècle, Dossier thématique/Thematic Section, mis à jour le 21 octobre 2016. URL : <http://revues.univ-tlse2.fr/pum/nacelles/index.php?id=145>, consulté le 13 août 2018.

ROBINEAU Lucien (Dir.), *Les Français du ciel*, Paris, Le cherche midi, 2005.

ROUSSEL Yves « L'histoire d'une politique des inventions, 1887-1918 », *Cahiers pour l'histoire du CNRS, 1939-1989*, 1989, p. 19-57.

RUSSO François, « L'hydrographie en France au XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècle : écoles et ouvrages d'enseignement », in TATON René (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII<sup>e</sup> siècle*, Paris, Hermann, 1964, pp. 419-440.

SAUZEREAU Olivier, « Les observatoires de la Marine au XIX<sup>e</sup> siècle, lieux de formation pour les marins », *La Revue Maritime*, septembre 2012, pp. 24-28.

SCHIAVON Martina, « Des savants-officiers entre science, armée, État et industrie de précision : les géodésiens du Service géographique de l'armée, 1887-1920 », in *Le sabre et l'éprouvette. L'invention d'une science de guerre 1914/1939*, Paris, Agnès Viénot, 2003, pp. 61-74.

SCHIAVON Martina, *Itinéraires de la précision : Géodésiens, artilleurs, savants et fabricants d'instruments de précision en France (1807-1930)*, Nancy, Presses Universitaires de Nancy - éditions universitaires de Lorraine, 2014.

SCHIAVON Martina et ROLLET Laurent, *Pour une histoire du Bureau des longitudes, 1795-1932*, Nancy, Presses Universitaires de Nancy - éditions universitaires de Lorraine, 2017.

SÉGÉRIC Jean-José, *Histoire du point astronomique en mer*, Rennes, Marines éditions, 2006.

SIMARD-HOUDE Mélodie, « La plume et l'aile. L'épopée aéronautique française, entre presse et édition (1908-1945). », *Mémoires du livre*, volume 8, numéro 2, printemps 2017. URL : <http://id.erudit.org/iderudit/1039698ar>, doi:10.7202/1039698ar, consulté le 13 août 2018.

SOBEL Dava, *Longitude*, Paris, J.-C. Lattès, 1996.

TAILLEMITE Étienne, *Dictionnaire des marins français*, Paris, Tallandier, 2002.

TISON Stéphane (dir.) et LUCBERT Françoise (dir.), « Introduction », *L'imaginaire de l'aviation pionnière : Contribution à l'histoire des représentations de la conquête aérienne, 1903-1927*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2016.

TOBIN WILLIAM (traduction LEQUEUX JAMES), *Léon Foucault, le miroir et le pendule*, Paris, EDP sciences, 2002.

TOURNÈS Dominique, « Pour une histoire du calcul graphique », *Revue d'histoire des mathématiques*, (6) 2000, pp. 127-161.

TOURNÈS Dominique, « Construire pour calculer », in *Les constructions mathématiques avec des instruments et des gestes*, Évelyne Barbin (éd.), Paris, Ellipses, 2014, pp. 265-296.

TOURNÈS Dominique, *Abaques et nomogrammes*, 2016, < hal-01484563 >.

VILLATOUX Marie-Catherine, « Le renseignement photographique dans la manœuvre. L'exemple de la Grande Guerre », *Revue historique des armées*, n° 261, 2010, mis en ligne le 09 novembre 2010. URL : <http://journals.openedition.org/rha/7090>, consulté le 13 août 2018.

VILLATOUX Marie-Catherine, « Femmes et pilotes militaires dans l'armée de l'Air », *Revue historique des armées*, n° 272, 2013, mis en ligne le 22 novembre 2013, URL : <http://journals.openedition.org/rha/7776>, consulté le 13 août 2018.

VILLATOUX Marie-Catherine et VILLATOUX Paul, *L'extraordinaire épopée du lieutenant Marchal : pilote de missions spéciales pendant la Grande Guerre*, Paris, Histoire & Collections, 2014.

WODKA-GALLIEN Philippe, « Applications navales de la radiogoniométrie en France entre les deux guerres », *La guerre électronique en France au XX<sup>e</sup> siècle*, actes du colloque organisé le 20 avril 2000 à l'École militaire, Comité pour l'histoire de l'armement Association Guerrelec, Centre d'étude d'histoire de la Défense, 2002, pp. 19-23.

## 2) Revues et journaux

*Archéopages*

07/2012.

*Annales de la société d'histoire et d'archéologie de l'arrondissement de Saint-Malo*

1969.

*Bulletin de la Sabix*

2001.

*Les Cahiers de l'Iroise*

01-03/1975.

*Cahiers de la Haute-Loire*

1982.

*Cahiers François Viète*

2016.

*Cahiers pour l'histoire du CNRS*

1989.

*Guerres mondiales et conflits contemporains*

03/2008.

*Histoire de l'éducation*

2001, 2002, 2008, 2009.

*Histoire & Mesure*

2006.

*Hypothèses*

2006.

*Icare*

1974, 03/1983, 03/1994, 02/1996.

*IGN Magazine*

04-05-06/2014.

*Magazine du Musée Régional de l'Air*

Été 2015.

*Mémoires du livre*

Printemps 2017.

*Navigation* (Paris)

01/1953, 07/1953, 10/1954, 01/1955, 10/1955, 04/1957, 10/1957, 10/1967, 01/1975,  
07/1977, 10/1977, 04/1978, 01/1986, 01/1988, 04/1989, 10/1990, 01/1991, 04/1993,  
07/1993, 10/1995, 07/1998, 07/2000, 04/2003.

*Revue belge de philologie et d'histoire*

2000.

*Revue d'histoire des mathématiques*

06/2000.

*Revue d'histoire des sciences*

01/2008, 01/2010.

*Revue d'histoire maritime*

2011, 2015.

*La Revue Maritime*

1950, 09/2012.

*Revue du Secrétariat général de l'aviation civile*

15/09/1972.

*Revue historique des armées*

1969, 2010, 2012, 2013.

*Science et technique, Société des ingénieurs civils de France*

1975.

*Staps*

2010.

*Technique et culture*

2005.



## *Le Temps des médias*

2004, 2005, 2007.

### 3) Sites

#### *Parcours de vie dans la royale (espace tradition de l'École navale)*

<http://ecole.nav.traditions.free.fr>

dont les pages (consultées le 13 août 2018) :

<http://ecole.nav.traditions.free.fr/pdf/BYASSONLouis.pdf>

[http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers\\_rouch\\_jules.htm](http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers_rouch_jules.htm)

[http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers\\_delaborde\\_jean.htm](http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers_delaborde_jean.htm)

[http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers\\_dutertre\\_charles.htm](http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers_dutertre_charles.htm)

[http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers\\_cayla\\_pierre.htm](http://ecole.nav.traditions.free.fr/officiers_cayla_pierre.htm)

#### *Dead Reckonings, Lost Art in the Mathematical Sciences*

<http://www.myreckonings.com/wordpress>

dont les pages(consultées le 13 août 2018) :

<http://myreckonings.com/wordpress/2010/05/05/lallemands-labaque-triomphe-hexagonal-charts-and-triangular-coordinate-systems-part-i/>

<http://myreckonings.com/wordpress/2010/05/05/lallemands-labaque-triomphe-hexagonal-charts-and-triangular-coordinate-systems-part-ii/>

#### *Site sur l'aéronautique d'Albin Denis*

<http://albindenis.free.fr>

dont les pages(consultées le 13 août 2018) :

[http://albindenis.free.fr/Site\\_escadrille/debut\\_aviation\\_militaire5.htm](http://albindenis.free.fr/Site_escadrille/debut_aviation_militaire5.htm)

[http://albindenis.free.fr/Site\\_escadrille/debut\\_aviation\\_militaire3.htm](http://albindenis.free.fr/Site_escadrille/debut_aviation_militaire3.htm)

[http://albindenis.free.fr/Site\\_escadrille/debut\\_aviation\\_militaire5.htm](http://albindenis.free.fr/Site_escadrille/debut_aviation_militaire5.htm)

[http://albindenis.free.fr/Site\\_escadrille/Aerostation\\_Regiments.htm](http://albindenis.free.fr/Site_escadrille/Aerostation_Regiments.htm)

[http://albindenis.free.fr/Site\\_escadrille/Aerost\\_Dirigeables\\_Combat.htm](http://albindenis.free.fr/Site_escadrille/Aerost_Dirigeables_Combat.htm)

#### *La Coupe Schneider et hydravions anciens. Dossiers historiques hydravions et moteurs (dossiers réalisés par Gérard Hartmann)*

<http://www.hydroretro.net>

dont les pages (consultées le 13 août 2018) :

[https://www.hydroretro.net/etudegh/l\\_aeronautique\\_dans\\_la\\_presse.pdf](https://www.hydroretro.net/etudegh/l_aeronautique_dans_la_presse.pdf)  
[http://www.hydroretro.net/etudegh/Georges\\_Besancon\\_Perpetuel\\_sinon\\_Immortel.pdf](http://www.hydroretro.net/etudegh/Georges_Besancon_Perpetuel_sinon_Immortel.pdf)  
[http://www.hydroretro.net/etudegh/Quand\\_l\\_Aeronautique\\_tenait\\_salon\\_au\\_Grand\\_Palais\\_debut.pdf](http://www.hydroretro.net/etudegh/Quand_l_Aeronautique_tenait_salon_au_Grand_Palais_debut.pdf)  
[http://www.hydroretro.net/etudegh/clement-bayard\\_sans\\_peur\\_et\\_sans\\_reproche\\_suite\\_fin.pdf](http://www.hydroretro.net/etudegh/clement-bayard_sans_peur_et_sans_reproche_suite_fin.pdf)  
[http://www.hydroretro.net/etudegh/les\\_nieuports\\_de\\_la\\_guerre.pdf](http://www.hydroretro.net/etudegh/les_nieuports_de_la_guerre.pdf)  
<http://www.hydroretro.net/etudegh/nieuportflotteurs.pdf>  
<http://www.hydroretro.net/etudegh/devtranspaeurope191932.pdf>

#### *Site de l'ARDHAN*

<http://www.aeronavale.org>  
dont la page (consultée le 13 août 2018) :  
<http://www.aeronavale.org/almana/debut%20avia%20maritime.htm>

#### *COMPASSIPEDIA Musée encyclopédique des boussoles et compas*

<http://compassmuseum.com>  
dont les pages (consultées le 13 août 2018) :  
[http://compassmuseum.com/aero/aero\\_f.htm](http://compassmuseum.com/aero/aero_f.htm)  
[http://compassmuseum.com/aero/aero\\_f.htm#DALOZ](http://compassmuseum.com/aero/aero_f.htm#DALOZ)  
[http://www.compassmuseum.com/hand/hand\\_f2.htm#DOIGNON](http://www.compassmuseum.com/hand/hand_f2.htm#DOIGNON)  
[http://www.compassmuseum.com/aero/aero\\_f.htm#BORDE](http://www.compassmuseum.com/aero/aero_f.htm#BORDE)  
[http://www.compassmuseum.com/aero/aero\\_f.htm#AEROSTAT](http://www.compassmuseum.com/aero/aero_f.htm#AEROSTAT)  
[http://www.compassmuseum.com/aero/aero\\_f2.html#LEPAUTE](http://www.compassmuseum.com/aero/aero_f2.html#LEPAUTE)  
[http://www.compassmuseum.com/aero/aero\\_f.htm#DEPERDUSSIN](http://www.compassmuseum.com/aero/aero_f.htm#DEPERDUSSIN)

#### *Blog « Sous les cocardes » (consulté le 13 août 2018)*

<https://leblogsouslescocardes.wordpress.com>

#### *Site de météofrance*

<http://www.meteofrance.fr>  
dont la page (consultée le 13 août 2018) :  
<http://www.meteofrance.fr/la-meteo-au-temps-de-la-grande-guerre/la-science-meteo-a-l-epoque/meteo-et-armees/la-somme-essor-de-la-meteorologie-militaire>

*Le magazine de la Marine Nationale*

<http://www.colsbleus.fr>

dont les pages (consultées le 13 août 2018) :

<http://www.colsbleus.fr/articles/10616>

<http://www.colsbleus.fr/articles/8432>

*Site de la mémoire de l'aviation civile en France*

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/laviation-civile-en-france-et-memoire>

*Site de l'Institut de Stratégie Comparée (ISC)*

<http://www.institut-strategie.fr>

dont la page (consultée le 13 août 2018) :

[http://www.institut-strategie.fr/PN1\\_HCBREFLFRA.html#Note45](http://www.institut-strategie.fr/PN1_HCBREFLFRA.html#Note45)

*Site du « Royal Museums Greenwich »*

<http://collections.rmg.co.uk>

dont la page (consultée le 13 août 2018) :

<http://collections.rmg.co.uk/collections/objects/43451.html#Uhm5lhKt0fHK7jwk.99>

*Site de la Bibliothèque Nationale de France*

<https://gallica.bnf>

*Site de Google Livre*

<https://books.google.fr>



## Index des personnes citées

I : introduction générale ; PP. : préambule partie ... ; Ch. : chapitre ... ; C : conclusion générale ; \* : lorsque les dates de naissance et de mort sont présentes

|                                 |                                                   |
|---------------------------------|---------------------------------------------------|
| ABRAHAM .....                   | Ch. 5                                             |
| ACHARD .....                    | Ch. 8                                             |
| ADCOCK .....                    | Ch. 8                                             |
| ALCOOK .....                    | Ch. 8                                             |
| ALLÈGRE Louis .....             | Ch. 8                                             |
| ANCELIN .....                   | Ch. 8                                             |
| ANDOYER Henri .....             | Ch. 5*                                            |
| ANDRAUD Antoine .....           | Ch. 5                                             |
| ANDRAULT Pierre .....           | Ch. 8                                             |
| ANSCHÜTZ-KAEMPFE Hermann .....  | Ch. 5*                                            |
| APPEL Pierre .....              | Ch. 3                                             |
| ARDON Pierre Isaac Robert ..... | Ch. 5*                                            |
| ARMENGAUD .....                 | Ch. 6                                             |
| AUBERT .....                    | Ch. 8                                             |
| AUTHEVILLE (D') Francis .....   | Ch. 6                                             |
| BALAFRÉ .....                   | Ch. 6                                             |
| BALBO Italo .....               | Ch. 8                                             |
| BALDIT Albert .....             | Ch. 4* ; Ch. 5                                    |
| BARATOUX Marcel .....           | Ch. 4*                                            |
| BARDEL Henri .....              | Ch. 8                                             |
| BARÈS Édouard .....             | PP. 2                                             |
| BARÈS Joseph .....              | Ch. 6                                             |
| BARON Auguste .....             | Ch. 4*                                            |
| BASTIDE .....                   | Ch. 6 ; Ch. 8                                     |
| BASTIÉ Maryse .....             | Ch. 8*                                            |
| BASTIEN André .....             | Ch. 6                                             |
| BATTET Robert .....             | Ch. 6*                                            |
| BEAUREGARD Claude .....         | Ch. 8                                             |
| BELLENGER Georges .....         | Ch. 4* ; C                                        |
| BELLIÉNI Henri .....            | Ch. 5                                             |
| BELLINI Ettore .....            | Ch. 5*                                            |
| BELLONTE Maurice .....          | PP. 3* ; Ch. 6 ; Ch. 8                            |
| BELZ .....                      | Ch. 6                                             |
| BERGER .....                    | Ch. 6                                             |
| BERNARD Félix .....             | PP. 2                                             |
| BERNSTEIN Léna .....            | Ch. 8*                                            |
| BERTIN Charles .....            | I ; Ch. 1* ; Ch. 3 ; Ch. 5 ; Ch. 6 ;<br>Ch. 8 ; C |
| BESANÇON Georges .....          | Ch. 4*                                            |
| BIENAIMÉ Maurice .....          | Ch. 7                                             |
| BIGUET .....                    | Ch. 5                                             |
| BIRD John .....                 | Ch. 3                                             |
| BIZARD .....                    | Ch. 7                                             |
| BLANC Edmond .....              | Ch. 8                                             |
| BLANCHET .....                  | Ch. 6                                             |

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| BLÉRIOT Louis .....            | PP. 2 ; Ch. 4*             |
| BLOND Georges .....            | Ch. 8                      |
| BLONDEL André .....            | Ch. 5*                     |
| BOGAERT Edouard W. ....        | Ch. 5                      |
| BOKANOWSKI Maurice .....       | PP. 3                      |
| BOLLAND Adrienne .....         | Ch. 8*                     |
| BONAME Robert .....            | Ch. 8                      |
| BONAPARTE Roland .....         | Ch. 4                      |
| BOND .....                     | Ch. 3                      |
| BONNEAU .....                  | Ch. 7                      |
| BONNOT Roger .....             | Ch. 6; Ch. 8*              |
| BORD .....                     | Ch. 1                      |
| BORDA (DE) Jean-Charles .....  | Ch. 1* ; Ch. 3             |
| BORDÉ Paul .....               | Ch. 4*                     |
| BOSSOUTROT Lucien .....        | Ch. 6 ; Ch. 7              |
| BOUASSE .....                  | Ch. 6                      |
| BOUCARUT Alcide .....          | Ch. 4*                     |
| BOUCHARD .....                 | Ch. 8                      |
| BOUCHER Hélène .....           | Ch. 8*                     |
| BOUILLOUX-LAFONT Marcel .....  | Ch. 7* ; Ch. 8             |
| BOURDELLES Léon .....          | Ch. 5                      |
| BOURDIN .....                  | Ch. 4                      |
| BOURGEOIS Émile .....          | Ch. 1                      |
| BOURGEOIS Robert .....         | Ch. 3* ; Ch. 4 ; Ch. 5 ; C |
| BOUSCAT .....                  | Ch. 6                      |
| BOUSSOT .....                  | Ch. 7                      |
| BOUTAN Jacques .....           | Ch. 5*                     |
| BOUVAIST .....                 | Ch. 8                      |
| BRENOT .....                   | Ch. 5                      |
| BRILL Alfred .....             | Ch. 5*; Ch. 6              |
| BRINDEJONC-DES-MOULINAIS ..... | PP. 3                      |
| BROGLIE (DE) Maurice .....     | Ch. 5                      |
| BROUCKERE (DE) Léon .....      | Ch. 4*                     |
| BROWN .....                    | Ch. 8                      |
| BRUN Jean .....                | PP. 2                      |
| BUREAU .....                   | Ch. 6                      |
| BUSIGNIES Henri .....          | Ch. 8                      |
| BYASSON Louis .....            | PP. 2* ; Ch. 4*            |
| BYGRAVE Leonard Charles .....  | Ch. 6                      |
| BYRD .....                     | Ch. 8                      |
| CABRAL Sacadura .....          | Ch. 8                      |
| CAILLET Vincent-Marie .....    | Ch. 3*                     |
| CAMERMAN Félix .....           | PP. 3*                     |
| CAMPBELL Jean .....            | Ch. 3                      |
| CAQUOT Albert .....            | PP. 3*; Ch. 8              |
| CARIOU .....                   | Ch. 8                      |
| CARRETIER .....                | Ch. 8                      |
| CATALAN .....                  | Ch. 6                      |
| CATALANO (DE) Erick .....      | Ch. 3                      |
| CATALANO (DE) Michel .....     | Ch. 3                      |

|                               |                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| CATHENOD Henri .....          | Ch. 5*                                |
| CAUSSIN .....                 | Ch. 5                                 |
| CAYLA Pierre .....            | Ch. 4*; Ch. 5 ; C                     |
| CHAGAS Olivario .....         | Ch. 8                                 |
| CHAMBE René .....             | Ch. 8                                 |
| CHAMBERLAIN .....             | Ch. 8                                 |
| CHAPATOU .....                | Ch. 8                                 |
| CHAPLAIN Marcel .....         | Ch. 8                                 |
| CHARCOT Jean-Baptiste .....   | Ch. 1 ; Ch. 4 ; Ch. 8                 |
| CHARNAUX Madeleine .....      | Ch. 8*                                |
| CHASSIN Guillaume .....       | Ch. 6* ; Ch. 8                        |
| CHEVALLIER J. ....            | Ch. 5                                 |
| CLAUDE François Auguste ..... | Ch. 3*                                |
| CLEMENCEAU Georges .....      | PP. 3                                 |
| CLEMENTEL Étienne .....       | Ch. 1 ; Ch. 6                         |
| CODOS Paul .....              | Ch. 6 ; Ch. 8*                        |
| COLI François .....           | PP. 3* ; Ch. 7 ; Ch. 8                |
| COMET Paul .....              | Ch. 6* ; Ch. 8                        |
| CONDROYER L. ....             | Ch. 5                                 |
| CONNEAU Jean .....            | Ch. 4* ; C                            |
| CONSTAN Paul .....            | I; PP. 1*; Ch. 1; Ch. 2; Ch. 3; Ch. 6 |
| CORNET Charles .....          | Ch. 6*                                |
| CORNILLON .....               | Ch. 8                                 |
| COSTES Dieudonné .....        | PP. 3* ; Ch. 6 ; Ch. 8                |
| COT Donatien .....            | Ch. 5*                                |
| COT Pierre .....              | PP. 3 ; Ch. 6 ; Ch. 8                 |
| COTY François .....           | Ch. 8                                 |
| COULON .....                  | Ch. 5                                 |
| COUPET Léon .....             | Ch. 7                                 |
| COUPET Lucien .....           | Ch. 7                                 |
| COURBET Pierre .....          | Ch. 5                                 |
| COURTIER André .....          | Ch. 5*                                |
| COUSIN Albert .....           | I; Ch. 1*; Ch. 2 ; Ch. 3 ; Ch. 6      |
| COUTINHO Cago .....           | Ch. 8                                 |
| COUZINET René .....           | Ch. 8*                                |
| COYCO .....                   | Ch. 8                                 |
| CRAS Jean .....               | Ch. 1* ; Ch. 6                        |
| CROUSTALINE .....             | Ch. 8                                 |
| CRUVEILHER Edgard .....       | Ch. 8                                 |
| DABRY Jean .....              | Ch. 8*                                |
| DAGALLIER Jean François ..... | Ch. 5*                                |
| DAGNAUX Jean .....            | Ch. 6* ; Ch. 7 ; Ch. 8                |
| DAILLÈRE Henri .....          | Ch. 6* ; Ch. 8                        |
| DALLOZ Gaston .....           | Ch. 4                                 |
| DARLAN François .....         | Ch. 8                                 |
| DAURAT Didier .....           | Ch. 7* ; Ch. 8                        |
| DAVELUY René .....            | PP. 2                                 |
| DAVIOT Louis .....            | Ch. 6                                 |
| DELANNOY .....                | Ch. 1                                 |
| DÉAT Marcel .....             | PP. 3                                 |

|                                    |                                              |
|------------------------------------|----------------------------------------------|
| DECANTE Édouard .....              | Ch. 3*                                       |
| DEFFORGES Gilbert Étienne .....    | Ch. 4                                        |
| DELAFOND .....                     | Ch. 6                                        |
| DELAGE Paul .....                  | Ch. 4*                                       |
| DELCAMBRE Émile .....              | PP. 3                                        |
| DENAIN Victor .....                | PP. 3; Ch. 8                                 |
| DENIÉLOU Albert .....              | Ch. 7*                                       |
| DEPAGNE .....                      | Ch. 8                                        |
| DEPERDUSSIN Armand .....           | Ch. 4*                                       |
| DERRIEN Edmond .....               | Ch. 6*; Ch. 7                                |
| DESDEMAINES-HUGON E. ....          | Ch. 4                                        |
| DESTRENE .....                     | Ch. 8                                        |
| DEUTSCH DE LA MEURTHER Henry ..... | Ch. 7*                                       |
| DEVÉ Auguste .....                 | Ch. 4*                                       |
| DÉVÉ Max .....                     | Ch. 6* ; Ch. 8                               |
| DION (DE) Albert .....             | Ch. 4                                        |
| DITTE .....                        | Ch. 5                                        |
| DOIGNON Abel-Louis .....           | Ch. 4*                                       |
| DOMINO .....                       | Ch. 6                                        |
| DOUHET Guilio .....                | Ch. 5*                                       |
| DOUMERGUE Gaston .....             | Ch. 8                                        |
| DRIENCOURT Ludovic .....           | Ch. 5* ; Ch. 6                               |
| DRONNE .....                       | Ch. 8                                        |
| DROUIN Maurice .....               | Ch. 8                                        |
| DUBOURDIEU André .....             | Ch. 7*                                       |
| DUFEAU de Laroque .....            | Ch. 6                                        |
| DUMANOIS Paul .....                | Ch. 8                                        |
| DUMESNIL Jacques-Louis .....       | PP. 3* ; Ch. 7                               |
| DUMOULIN-FROMENT Pierre .....      | Ch. 5                                        |
| DUNOYER Louis .....                | Ch. 4* ; Ch. 5*                              |
| DUPEYRON Andrée .....              | Ch. 8*                                       |
| DURR .....                         | Ch. 6                                        |
| DURRUTHY .....                     | Ch. 8                                        |
| DUSSERT .....                      | Ch. 5                                        |
| DUTERTRE Charles .....             | Ch. 5* ; C                                   |
| DUVAL André-B .....                | Ch. 5; Ch. 6; Ch. 7; Ch. 8 ; C               |
| DYÈVRE .....                       | Ch. 8                                        |
| EBSTEIN .....                      | Ch. 3                                        |
| EMLER Jacques .....                | Ch. 8                                        |
| EMONT .....                        | Ch. 8                                        |
| ESCUDIER .....                     | Ch. 6                                        |
| ESTÉVÉ .....                       | Ch. 6                                        |
| ESTIENNE Jean .....                | Ch. 4*                                       |
| FABRE Henri .....                  | PP. 2                                        |
| FAIVRE Georges .....               | Ch. 5*                                       |
| FARMAN Henri .....                 | PP. 2; Chap. 7                               |
| FAVÉ Louis .....                   | Ch. 3* ; Ch. 4; Ch. 5*; Ch. 6 ;<br>Ch. 8 ; C |
| FAYET .....                        | Ch. 8                                        |
| FAYOLLE (DE) Félix .....           | Ch. 4                                        |



|                                     |                                |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| FÉQUANT .....                       | Ch. 5                          |
| FERRIÉ Gustave .....                | Ch. 1* ; Ch. 5 ; Ch. 7 ; Ch. 8 |
| FICHOT Eugène .....                 | Ch. 5*                         |
| FITZMAURICE .....                   | Ch. 8                          |
| FLEURIAIS Georges .....             | Ch. 1* ; Ch. 3 ; Ch. 4 ; Ch. 6 |
| FOA Jean .....                      | Ch. 8                          |
| FOCH Ferdinand .....                | PP. 2 ; Ch. 5                  |
| FONVIELLE (DE) Wilfrid .....        | Ch. 4*                         |
| FOUCAULT Léon .....                 | Ch. 5                          |
| FOURNIÉ .....                       | Ch. 3                          |
| FOURNIER .....                      | Ch. 6                          |
| FOURNIER François Ernest .....      | Ch. 1                          |
| FRANCK P. ....                      | Ch. 6                          |
| FREYCINET (DE) Charles .....        | Ch. 5                          |
| FRIOCOURT Georges .....             | Ch. 1* ; Ch. 3                 |
| FROCHOT .....                       | Ch. 8                          |
| GAÏL (DE) Antoine .....             | Ch. 6 ; Ch. 8                  |
| GALOPIN Julien .....                | Ch. 6                          |
| GAMBETTA Léon .....                 | PP. 2                          |
| GARCIE Pierre (dit FERRANDE) .....  | Ch. 3                          |
| GARROS Rolland .....                | PP. 2 ; PP. 3                  |
| GAUJOUR Robert .....                | Ch. 6                          |
| GAUTHIER .....                      | Ch. 8                          |
| GÉNIN Gaston .....                  | Ch. 8                          |
| GENTY Maxime .....                  | PP. 2*                         |
| GENTY Robert .....                  | Ch. 6*                         |
| GERGAUD .....                       | Ch. 8                          |
| GERNEZ Désiré .....                 | Ch. 3*                         |
| GIMIÉ Léo .....                     | Ch. 8*                         |
| GIRARDOT Émile .....                | Ch. 5 ; Ch. 8                  |
| GODFREY Thomas .....                | Ch. 3                          |
| GOUDET .....                        | Ch. 6                          |
| GOURGUECHON Auguste .....           | Ch. 1                          |
| GOÿS (DE) Louis .....               | Ch. 7                          |
| GRANDJEAN DE FOUCHY Jean-Paul ..... | Ch. 3                          |
| GRARD Charles .....                 | Ch. 6*                         |
| GREGORY .....                       | Chap. 3                        |
| GUERRERO Laurent .....              | Ch. 8                          |
| GUILHAUMON Joseph-Barthélémy .....  | I ; Ch. 2 ; Ch. 3              |
| GUILLAUME Charles Édouard .....     | Ch. 4*                         |
| GUILLAUMET Henri .....              | Ch. 7* ; Ch. 8                 |
| GUILLEMOT .....                     | Ch. 7                          |
| GUILLOUD .....                      | Ch. 6                          |
| GUYOMARD Alfred .....               | Ch. 8                          |
| GUYOT .....                         | Ch. 8                          |
| GUYOU Émile .....                   | Ch. 1* ; Ch. 3 ; Ch. 8         |
| HADLEY .....                        | Ch. 3                          |
| HAGUENEAU .....                     | Ch. 7                          |
| HAMEL Georges R. ....               | Ch. 6.                         |
| HARDANT W. ....                     | Ch. 6                          |

|                                    |                            |
|------------------------------------|----------------------------|
| HARRISON John .....                | Ch. 2                      |
| HAUTEFEUILLE Jean .....            | Ch. 4*                     |
| HÉBRARD Léo .....                  | Ch. 5 ; Ch. 6              |
| HENRY-LEPAUTE .....                | Ch. 4                      |
| HERMITE Gustave .....              | Ch. 4*                     |
| HILLERET Gustave .....             | Ch. 1* ; Ch. 3             |
| HILSZ Maryse .....                 | Ch. 8*                     |
| HOMMEY Louis .....                 | Ch. 3*                     |
| HOOKE .....                        | Ch. 3                      |
| HOUARD Georges .....               | Ch. 5                      |
| HOUËL Charles .....                | Ch. 3                      |
| HÜE .....                          | Ch. 4                      |
| HUGON Pierre .....                 | Ch. 3                      |
| HÜNEFELD (VON) .....               | Ch. 8                      |
| HURLIMANN-LORIEUX .....            | Ch. 3                      |
| IGNOUF Jules Alexandre .....       | Ch. 1                      |
| JANSSEN Jules .....                | Ch. 4*                     |
| JELLADE .....                      | Ch. 8                      |
| JOFFRE Joseph .....                | PP. 2                      |
| JOUSSE .....                       | Ch. 7 ; Ch. 8              |
| JOUX .....                         | Ch. 5                      |
| KAHN Louis .....                   | PP. 3* ; Ch. 6 ; Ch. 8 ; C |
| KANNAPELL Alfred .....             | Ch. 4                      |
| KOHN Suzanne .....                 | Ch. 6* ; Ch. 8             |
| KÖLH .....                         | Ch. 8                      |
| KREBS Arthur-Constantin .....      | PP. 2 ; Ch. 5*             |
| LA BAUME PLUVINEL (DE) Aymar ..... | Ch. 4*                     |
| LA CHAMBE Guy .....                | PP. 3                      |
| LABORDE (DE) Jean .....            | Ch. 5* ; Ch. 6 ; Ch. 8 ; C |
| LABOUCHÈRE René .....              | Ch. 7*                     |
| LABROSSE Ferdinand .....           | Ch. 3*                     |
| LACAZE Lucien .....                | PP. 2                      |
| LACROIX .....                      | Ch. 8                      |
| LAFANNECHÈRE .....                 | Ch. 6                      |
| LAFON Charles .....                | Ch. 4*                     |
| LALANNE Léon .....                 | Ch. 3                      |
| LALLEMAND Charles .....            | Ch. 3* ; Ch. 4             |
| LAMOTTE .....                      | Ch. 6                      |
| LATÉCOÈRE Pierre .....             | PP. 3* ; Ch. 7             |
| LATOUR Marius .....                | Ch. 5                      |
| LAURENS .....                      | Ch. 5                      |
| LAURENT Albert .....               | Ch. 3*                     |
| LAURENT-EYNAC André .....          | PP. 3* ; Ch. 6 ; Ch. 7     |
| LAUSSEDAT Aimé .....               | Ch. 5*                     |
| LAUT .....                         | Ch. 5                      |
| LAVIEUVILLE G. ....                | Ch. 6                      |
| LE BRIX Joseph .....               | Ch. 6* ; Ch. 8             |
| LE PORD Jules .....                | PP. 2 ; Ch. 4*             |
| LE PRIEUR Yves .....               | Ch. 6* ; Ch. 7 ; C         |
| LE SORT .....                      | Ch. 6                      |

|                                     |                                                |
|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| LEBLANC Alfred .....                | Ch. 4*                                         |
| LEBLANC .....                       | Ch. 8                                          |
| LECLAIRE .....                      | Ch. 8                                          |
| LECOINTE Georges .....              | I; Ch. 3*                                      |
| LECORNU Joseph .....                | PP. 2                                          |
| LÉCRIVAIN Émile .....               | Ch. 7*                                         |
| LEDIEU A. ....                      | Ch. 3                                          |
| LEFRANC Henri .....                 | PP. 3*; Ch. 7                                  |
| LEGRAND J. ....                     | Ch. 4                                          |
| LEMAIRE .....                       | Ch. 8                                          |
| LEMAIRE Pierre .....                | Ch. 5*                                         |
| LEMAÎTRE Henry .....                | Ch. 7                                          |
| LENIAU .....                        | Ch. 3                                          |
| LÉNIER .....                        | Ch. 8                                          |
| LEPARMENTIER .....                  | Ch. 6                                          |
| LEQUERRÉ André .....                | Ch. 8*                                         |
| LEROY .....                         | Ch. 5                                          |
| LESAGE Gaston Émile .....           | Ch. 5*                                         |
| LESPERT .....                       | Ch. 6                                          |
| LESTONNAT Raymond .....             | Ch. 5                                          |
| LÉVÊQUE Pierre .....                | Ch. 3*                                         |
| LEVY Lucien .....                   | Ch. 5                                          |
| LEYGUES Georges .....               | Ch. 8                                          |
| LHEUREUX P. ....                    | Ch. 3                                          |
| LIÈVRE Pierre .....                 | Ch. 8                                          |
| LINDBERGH Charles .....             | PP. 3 ; Ch. 8*                                 |
| LION Elisabeth .....                | Ch. 8*                                         |
| LORFÈVRE André .....                | Ch. 5*                                         |
| LOUDES .....                        | Ch. 8                                          |
| LUCAS Alfred .....                  | Ch. 5 ; Ch. 8                                  |
| LYAUTEY Hubert .....                | Ch. 7                                          |
| MACAIGNE Jean .....                 | Ch. 8                                          |
| MAGNAC (AVED DE) Henri Julien ..... | Ch. 2*                                         |
| MAGNIN .....                        | Ch. 6                                          |
| MAILLOUX Louis .....                | Ch. 6* ; Ch. 8                                 |
| MANUEL .....                        | Ch. 8                                          |
| MARCHAL Anselme .....               | Ch. 5*                                         |
| MARCHIS Lucien .....                | Ch. 4*                                         |
| MARCONI Guglielmo .....             | Ch. 5*                                         |
| MARCQ SAINT-HILAIRE Adolphe .....   | I; PP. 1*; Ch. 2 ; Ch. 3 ; Ch. 8               |
| MARCUSE A. ....                     | Ch. 4                                          |
| MARGUET Frédéric .....              | I; Ch. 1*; Ch. 2 ; Ch. 3 ; Ch. 6 ;<br>Ch. 8; C |
| MARTELLI .....                      | Ch. 3                                          |
| MARTI Pierre .....                  | Ch. 5*                                         |
| MARTIN .....                        | Ch. 8                                          |
| MARTONNE (DE) Édouard .....         | Ch. 8                                          |
| MARTONNE (DE) Emmanuel .....        | Ch. 5                                          |
| MASCART Léon .....                  | Ch. 4                                          |
| MASSENET Georges .....              | Ch. 1*; Ch. 6                                  |

|                                   |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| MAXANT Léon .....                 | Ch. 4                          |
| MERCATOR Gérard .....             | Ch. 3*                         |
| MERCIER .....                     | Ch. 5                          |
| MERMOZ Jean .....                 | Ch. 7*; Ch. 8                  |
| MESNY René .....                  | Ch. 1* ; Ch. 6 ; Ch. 7 ; Ch. 8 |
| MICHEL .....                      | Ch. 8                          |
| MICHELIN André .....              | Ch. 4*                         |
| MIX Edgar .....                   | Ch. 4*                         |
| MOLFINO .....                     | Ch. 3                          |
| MONTAUBIN .....                   | Ch. 8                          |
| MONTET .....                      | Ch. 8                          |
| MONTJOU (DE) Guy .....            | Ch. 7                          |
| MONTRELEY Octave .....            | Ch. 7                          |
| MOREL Camille .....               | Ch. 8* ; C                     |
| MOREL DE FOUCAUCOURT Jean .....   | Ch. 8                          |
| MOREL DE FOUCAUCOURT Louise ..... | Ch. 6* ; Ch. 8                 |
| MOREUX Théophile .....            | Ch. 5*                         |
| MORTANE Jacques .....             | Ch. 7* ; Ch. 8                 |
| MORVAN .....                      | Ch. 8                          |
| MOUCHARD .....                    | Ch. 6                          |
| MOUCHEZ Ernest .....              | Ch. 2*                         |
| MOUREAUX Théodule .....           | Ch. 4*                         |
| MULOT .....                       | Ch. 7                          |
| MUNCH Émile .....                 | Ch. 8                          |
| NADAR .....                       | Ch. 5                          |
| NAPIER James Robert .....         | Ch. 3*                         |
| NÉANT .....                       | Ch. 6                          |
| NELSON .....                      | Ch. 8                          |
| NÉRI Jacques .....                | Ch. 8*                         |
| NEWTON .....                      | Ch. 8                          |
| NIVELLE Robert .....              | Ch. 7                          |
| NOIREL Henri-Albert .....         | Ch. 4* ; C                     |
| NUNGESSER Charles .....           | Ch. 8*                         |
| OCAGNE (D') Maurice .....         | I ; Ch. 1 ; Ch. 3* ; Ch. 5     |
| ODIC .....                        | Ch. 7                          |
| OGURA Sinkiti .....               | Ch. 8                          |
| ORTEIG Raymond .....              | Ch. 8                          |
| ORTHLIEB Jean .....               | Ch. 7                          |
| PAINLEVE Paul .....               | PP. 3*                         |
| PAQUILLAC .....                   | Ch. 1                          |
| PAQUIER Étienne .....             | Ch. 5*                         |
| PAQUIGON .....                    | Ch. 5                          |
| PARFAIT Th. ....                  | Ch. 3                          |
| PASQUIER .....                    | Ch. 3                          |
| PÉGOUD Adolphe .....              | PP. 3                          |
| PELISSIER Léon .....              | Ch. 5*                         |
| PELLETIER-DOISY Georges .....     | Ch. 7                          |
| PEROT Alfred .....                | Ch. 7*                         |
| PERRET Eugène .....               | I ; Ch. 1* ; Ch. 3 ; Ch. 4     |
| PERRI .....                       | Ch. 5                          |

|                                  |                        |
|----------------------------------|------------------------|
| PERRIN Édouard .....             | Ch. 3*; Ch. 8          |
| PESCI Giuseppe .....             | Ch. 3                  |
| PETIT .....                      | Ch. 6                  |
| PETYST DE MORCOURT .....         | Ch. 3                  |
| PICHON Louis .....               | Ch. 5                  |
| PIERRE Jean .....                | Ch. 8                  |
| PIERRON Louis .....              | Ch. 4*                 |
| PINTO .....                      | Ch. 8                  |
| PITAUD .....                     | Ch. 8                  |
| PLESSIS (DU) Jean .....          | PP. 3* ; Ch. 7         |
| PLESSIS (DU) Joachim .....       | PP. 3                  |
| PLUSQUELLEC Albert .....         | Ch. 6                  |
| POISSON Siméon Denis .....       | Ch. 3*                 |
| POLLACHI Paul .....              | Ch. 4*                 |
| POULIN Charles .....             | Ch. 8*                 |
| POUVREAU Georges .....           | Ch. 3                  |
| PRADE Georges .....              | Ch. 4                  |
| PRAX .....                       | Ch. 8                  |
| PRÊCHEUR .....                   | Ch. 5                  |
| PRÉVOST André .....              | Ch. 8                  |
| PUJO Bertrand .....              | PP. 3*                 |
| QUINTON René .....               | Ch. 4*                 |
| RACLOT .....                     | Ch. 3                  |
| RADLER DE AQUINO Francisco ..... | Ch. 3                  |
| RAFÉ .....                       | Ch. 8                  |
| RAULT J. ....                    | Ch. 3                  |
| REDIER .....                     | Ch. 4                  |
| RÉGINENSI .....                  | Ch. 8                  |
| REINE Marcel .....               | Ch. 7* ; Ch. 8         |
| REMY E. ....                     | Ch. 2                  |
| RENARD Charles .....             | PP. 2* ; Ch. 4         |
| RENARD Paul .....                | PP. 2* ; Ch. 4 ; Ch. 8 |
| RENAUD .....                     | Ch. 6                  |
| RENAUX Eugène .....              | Ch. 4* ; C             |
| RÉVEILLE Jean .....              | Ch. 1* ; Ch. 3         |
| REY .....                        | Ch. 8                  |
| RICARD Lucien .....              | Ch. 5*                 |
| RICHARD Félix .....              | Ch. 4                  |
| RICHARD Jules .....              | Ch. 4*                 |
| RIO Alphonse .....               | Ch. 6                  |
| ROBBE .....                      | Ch. 6                  |
| ROBERT .....                     | Ch. 8                  |
| ROCHE Jean-Baptiste .....        | Ch. 4* ; Ch. 6         |
| ROCHON (DE) Alexis Marie .....   | Ch. 3                  |
| ROGET Henry .....                | PP. 3*; Ch. 7          |
| ROIG Joseph .....                | Ch. 7*                 |
| ROLLAND .....                    | Ch. 7                  |
| ROLLET DE L'ISLE Maurice .....   | Ch. 3*                 |
| ROMAN Claire .....               | Ch. 8*                 |
| ROUCH Jules .....                | Ch. 5*                 |

|                                       |                                |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| ROUGERON C. ....                      | Ch. 8                          |
| ROUHAUD .....                         | Ch. 7                          |
| ROUSSELET .....                       | Ch. 6                          |
| ROUSSILHE Henri .....                 | Ch. 5*                         |
| ROUX .....                            | Ch. 8                          |
| SABLÉ Louis .....                     | Ch. 5*                         |
| SAINT-EXUPÉRY (DE) Antoine .....      | Ch. 6* ; Ch. 7 ; Ch. 8         |
| SALDO Élie .....                      | Ch. 6* ; Ch. 8                 |
| SALES .....                           | Ch. 6                          |
| SALVAT .....                          | Ch. 8                          |
| SANTOS DUMONT Alberto .....           | PP. 2                          |
| SAVARIT .....                         | Ch. 8                          |
| SCHEIMPFLUG Theodor .....             | Ch. 5*                         |
| SCHMULTZ .....                        | Ch. 7                          |
| SCHNERB P. ....                       | Ch. 6                          |
| SCHWERER .....                        | Ch. 3                          |
| SEGUIN Augustin .....                 | Ch. 4                          |
| SEIVE .....                           | Ch. 6                          |
| SÉJO .....                            | Ch. 6                          |
| SENOUQUE Albert .....                 | Ch. 4* ; Ch. 7 ; C             |
| SERPETTE Albert .....                 | PP. 2*                         |
| SERPETTE Paul .....                   | Ch. 6*                         |
| SERRES Élie .....                     | Ch. 3*                         |
| SIEMENS Oscar .....                   | Ch. 5                          |
| SMITH Archibald .....                 | Ch. 3*                         |
| SMITH .....                           | Ch. 8                          |
| SOUILLAGOUËT Ferdinand .....          | PP. 1* ; Ch. 2 ; Ch. 3 ; Ch. 8 |
| SPERRY Elmer Ambrose .....            | Ch. 5* ; C                     |
| SUMNER Thomas Hubbard .....           | Ch. 2                          |
| TALON A. ....                         | Ch. 4                          |
| TAPISSIER Jean .....                  | PP. 2*                         |
| THÉDENAT Jean Camille .....           | Ch. 8                          |
| THIERRY Maurice .....                 | Ch. 5* ; Ch. 6 ; Ch. 7 ; C     |
| THOMSON William .....                 | Ch. 3* ; Ch. 5                 |
| TILLY .....                           | Ch. 6                          |
| TISSANDIER Gaston .....               | Ch. 5                          |
| TIXIER .....                          | Ch. 5                          |
| TONNELLE Jean .....                   | Ch. 3                          |
| TOSI Alessandro .....                 | Ch. 5*                         |
| TOUGE .....                           | Ch. 8                          |
| VALETTE (DE LA) Henri .....           | Ch. 4                          |
| VALLAUX Camille .....                 | Ch. 1                          |
| VALLEREY Jules .....                  | Ch. 6                          |
| VANIER Raymond .....                  | Ch. 8                          |
| VANSSAY DE BLAVOUS (DE) Antoine ..... | Ch. 5*                         |
| VAULX (DE LA) Henry .....             | I ; PP. 2                      |
| VERNANCHET Louis .....                | Ch. 4                          |
| VERNEILH (DE) Charles .....           | Ch. 8*                         |
| VIGROUX .....                         | Ch. 8                          |
| VILLAIN Charles .....                 | Ch. 3 ; Ch. 5* ; Ch. 6 ; C     |

|                             |               |
|-----------------------------|---------------|
| VILLARCEAU Yvon .....       | Ch. 2*        |
| VION Th. ....               | Ch. 4         |
| VIRÉ Pierre .....           | Ch. 8*        |
| VOISIN .....                | Ch. 6         |
| VOLMAT Joseph .....         | Ch. 5*        |
| VOLMERANGE .....            | Ch. 7         |
| VUILLEMIN Joseph .....      | Ch. 7 ; Ch. 8 |
| WACKENHEIM .....            | Ch. 6         |
| WEEMS Philip Van Horn ..... | Ch. 6* ; C    |
| WEILLER Paul-Louis .....    | Ch. 8*        |
| WRIGHT Edouard .....        | Ch. 3         |
| ZOLLINGER Ernesto .....     | Ch. 5         |





## Rerum

*Termes dont la signification aide à la compréhension de la thèse*

Abaque ou nomogramme : p. 145 (chap. 3)  
Angle horaire d'un astre (notée  $AHag$ ) : p. 73 (chap. 2)  
Avionneur : p. 180 (préambule partie 1)  
Azimut d'un astre : p. 72 (chap. 2)  
Baromètre : p. 233 (chap. 4)  
Calque Favé : pp. 355-358 (chap. 6)  
Canevas d'une carte : p. 163 (chap. 3)  
Carte générale aéronautique : p. 366 (chap. 6)  
Carte Kahn : p. 489 (chap. 8)  
Carte normale : p. 366 (chap. 6)  
Compas (ou boussole) : p. 98 (chap. 3)  
Compas gyroscopique : pp. 268-269 (chap. 5)  
Compensation d'un compas : p. 98 (chap. 3)  
Courbes d'étoiles de Weems : p. 393 (chap. 6)  
Déclinaison d'un astre (notée  $\mathcal{D}$ ) : p. 73 (chap. 2)  
Déclinaison  $D_m$  (due aux caractéristiques magnétiques du lieu) : p. 98 (chap. 3)  
Dérive des aéronefs : p. 372 (chap. 6)  
Déviation »  $\delta$  de l'aiguille d'un compas (due aux caractéristiques du navire) : p. 98 (chap. 3)  
Distance polaire d'un astre (notée  $\delta$ ) : p. 73 (chap. 2)  
Droite de hauteur : p. 89 (chap. 2)  
Groupe de canevas de tir : p. 276 (chap. 5)  
Gyroscope Fleuriais : pp. 117-121 (chap. 3)  
Hauteur d'un astre : p. 72 (chap. 2)  
Instruments de navigation aérienne (en liste) : pp. 370-371 (chap. 6)  
Latitude (notée  $L$  ou  $\varphi$ ) : p. 78 (chap. 2)  
Libellen-quadrant : p. 241 (chap. 4)  
Longitude (notée  $G$ ) : p. 78 (chap. 2)  
Loxodromie : p. 162 (chap. 3)  
Méthode Bertin : pp. 476-478 (chap. 8)  
Méthode maritime : p. 222 (chap. 4)

Navigation à l'estime : p. 69 (chap. 2)  
Navigation astronomique : p. 69 (chap. 2)  
Navigation orthodromique : p. 43 (chap. 1)  
Navigraphe Le Prieur : p. 371 (chap. 6) ; pp. 426-430 (chap. 7)  
Photogrammétrie : p. 284 (chap. 5)  
Plan directeur : p. 276 (chap. 5)  
Point auxiliaire : p. 137 (chap. 3)  
Point déterminatif : p. 91 (chap. 2)  
Professeur d'hydrographie : p. 14 (introduction générale)  
Radiogoniomètre ou radio compas : p. 270 et p. 275 (chap. 5) ; p. 344 (chap. 6)  
Radiophare : p. 522 (chap. 8)  
Régulation d'un compas : p. 98 (chap. 3)  
Relations fondamentales de la trigonométrie sphérique : p. 82-84 (chap. 2)  
Route compas : p. 98 (chap. 3)  
Route vraie : p. 98 (chap. 3)  
Table abrégative : p. 129 (chap. 3)  
Triangle de position : pp. 80-81 (chap. 2)  
Triangle des vitesses : p. 373 (chap. 6)



---

**Titre :** De la navigation maritime à la navigation aérienne : transferts de méthodes mathématiques et de connaissances en France dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle

**Mots clés :** navigation maritime, navigation aéronautique, 1900-1940, histoire des mathématiques, enseignement, instruments

**Résumé :** La navigation scientifique est déjà bien établie dans la marine lorsque l'aéronautique des « plus légers que l'air » (ballons libres et dirigeables), puis des « plus lourds que l'air » (avions et hydravions) commence à avoir besoin d'instruments et de techniques de navigation à l'estime et astronomique. Dans cette thèse, nous recherchons et nous analysons les transferts qui existent en France en matière de navigation entre la marine et l'aéronautique militaire et civile, et également entre la Marine et l'aéronautique maritime dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, en mettant en avant les mathématiques en jeu et les techniques. Après avoir établi un état des lieux de la méthode de navigation maritime, tant au niveau de la formation que de la pratique, avant la Première guerre mondiale, nous présentons les innovations dans la navigation aérienne et les apports pendant la Première guerre

mondiale, tels que la radionavigation. Tous les éléments sont présents pour que la navigation aérienne prenne son essor : ceci est le propos de la troisième partie de la thèse, toujours en recherchant les éventuels transferts. Notre thèse s'appuie sur l'étude de la formation des praticiens de la navigation, les écoles et les manuels. Elle se focalise aussi sur les instruments de navigation – compas, chronomètres, sextants, tables de logarithmes, tables abrégées, abaquages et nomogrammes, cartes pour la navigation loxodromique ou orthodromique, etc. Nous montrons et nous qualifions ainsi l'importance du rôle de la marine sur la navigation aéronautique, mais cette dernière a connu aussi des innovations et des inventions lorsque cela a été nécessaire.

---

**Title :** From high seas navigation to aerial navigation: transfers of mathematical methods and knowledge in France in the first half of the twentieth century

**Keywords :** high seas navigation, aerial navigation, 1900-1940, history of mathematics, teaching, instruments

**Abstract :** Scientific navigation had already been well established in the Navy and merchant navy when aeronautics of "lighter than air" (free balloons and airships), then "heavier than air" (planes and seaplanes) began to need instruments and techniques of dead reckoning and astronomic navigation. The aim of this thesis is to research and analyze the transfers that exist in France in terms of navigation between the Navy and merchant navy, and air force and civil aviation, and also between the Navy and high seas aeronautics in the first half of the twentieth century, highlighting the mathematics at stake and techniques. After having established an inventory of the method of high seas navigation, both in terms of training and practice, before the First World War, a focus on the innovations in aerial navigation and contributions,

occurring during this war, such as radio navigation, is made. Everything is present for the air navigation to take off: this is the purpose of the third part of the thesis, always looking for possible transfers. This thesis is based on the study of training of navigators, schools and textbooks. It is also focussed on navigational instruments - compasses, stopwatches, sextants, log tables, abbreviated tables, *abaques* and nomograms, charts for loxodromic or orthodromic navigation, etc. The importance of the role of the navy and merchant navy in aerial navigation is thus shown and qualified, but the latter also experienced innovations and inventions when necessary.