

UNIVERSITE DE NANTES

FACULTE DE MEDECINE

Année 2004

N°40

THESE

pour le

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

Qualification en Médecine Générale

par

Nolwen Oiry

Née le 28.05.74 à Paris

Présentée et soutenue publiquement le 23 septembre 2004

L'APNEE ET SA PRATIQUE A LA REUNION

Président : Monsieur le Professeur LECONTE Philippe.

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur HARMS Jan-Dirk.

TABLE DES MATIERES

L'APNEE ET SA PRATIQUE A LA REUNION

INTRODUCTION.	page 1
I. PRESENTATION DE L'ILE DE LA REUNION.	page 2
I-1. Géographie.	page 2
<u>I-1.1. Situation géographique.</u>	page 2
<u>I-1.2. Géologie et relief.</u>	page 3
I-2. Climat.	page 4
I-3. Littoral et fonds sous-marins.	page 5
<u>I-3.1. Données générales.</u>	page 5
<u>I-3.2. Le récif corallien.</u>	page 6
<u>I-3.3. Etat actuel du milieu.</u>	page 8
I-4. Histoire et population.	page 8
<u>I-4.1. Repères historiques.</u>	page 8
<u>I-4.2. Situation actuelle.</u>	page 10
<u>I-4.3. Population.</u>	page 10
II. PHYSIOPATHOLOGIE DE L'APNEE.	page 13

II-1. Effets cardiovasculaires de l'immersion et de l'apnée.	page 13
<u>II-1.1. Modifications morphologiques.</u>	page 13
<u>II-1.2. Transfert sanguin.</u>	page 14
<u>II-1.3. Bradycardie d'immersion.</u>	page 16
<u>II-1.4. Homéostasie.</u>	page 17
<u>II-1.5. Mécanismes des réactions cardiovasculaires.</u>	page 17
<u>II-1.6. Anomalies électrocardiographiques.</u>	page 20
II-2. Diurèse d'immersion.	page 21
II-3. Conséquences respiratoires de l'apnée.	page 22
<u>II-3.1. Echanges d'oxygène.</u>	page 23
<u>II-3.2. Echanges de dioxyde de carbone.</u>	page 24
II-4. Effets de la profondeur en apnée.	page 26
<u>II-4.1. Evolution des pressions partielles de CO₂.</u>	page 26
<u>II-4.2. Evolution des pressions partielles d'O₂.</u>	page 27
<u>II-4.3. Cas particulier de l'azote.</u>	page 28
<u>II-4.4. Effet de la profondeur sur le système cardiovasculaire.</u>	page 29
II-5. Mécanismes de rupture de l'apnée.	page 31
<u>II-5.1. P_aO₂.</u>	page 33
<u>II-5.2. P_aCO₂.</u>	page 33
<u>II-5.3. Stimuli neurogènes.</u>	page 33
II-6. L'hyperventilation.	page 34
III. L'APNEE SPORTIVE.	page 37
III-1. Historique.	page 37

III-2. Organisation de l'apnée sportive.	page 39
<u>III-2.1. Fédérations et associations.</u>	page 39
<u>III-2.2. Autres sports pratiqués en apnée.</u>	page 40
<u>III-2.3. Catégories de records.</u>	page 40
III-3. Records actuels en apnée.	page 41
<u>III-3.1. Records internationaux.</u>	page 41
<u>III-3.2. Records réunionnais.</u>	page 42
III-4. L'entraînement : principes et effets.	page 43
<u>III-4.1. Principes d'entraînements pour l'apnée.</u>	page 43
<u>III-4.2. Retentissement physiologique de l'entraînement.</u>	page 45
III-5. Incidents et accidents.	page 47
<u>III-5.1. Barotraumatismes.</u>	page 48
<u>III-5.2. Epigastralgies.</u>	page 49
<u>III-5.3. Hypercapnie lente.</u>	page 49
<u>III-5.4. Perte de connaissance anoxique.</u>	page 49
<u>III-5.5. Morts d'origine cardiaque.</u>	page 52
<u>III-5.6. Accident de décompression en apnée.</u>	page 52
<u>III-5.7. Noyades non spécifiques.</u>	page 53
IV. L'APNEE A LA REUNION.	page 54
IV-1. Les clubs et les associations : historique et situation actuelle.	page 54
<u>IV-1.1. Historique.</u>	page 54
<u>IV-1.2. Les clubs et les associations en 2004 à La Réunion.</u>	page 56
IV-2. La population apnéiste à La Réunion.	page 57
<u>IV-2.1. Questionnaire.</u>	page 58

<u>IV-2.2. Résultats.</u>	page 58
<u>IV-2.3. Discussion.</u>	page 62
IV-3. Tentatives de records internationaux à La Réunion.	page 64
IV-4. Facteurs de réussite locale.	page 66
<u>IV-4.1. Capacités individuelles.</u>	page 66
<u>IV-4.2. Existence d'un collectif.</u>	page 67
<u>IV-4.3. Climat tropical.</u>	page 67
IV-5. Accidents recensés à La Réunion.	page 67
<u>IV-5.1. Accidents.</u>	page 67
<u>IV-5.2. Décès.</u>	page 68
V. LIMITES PHYSIOLOGIQUES DE L'APNEE.	page 70
V-1. Durée maximale de l'apnée.	page 70
V-2. Profondeur maximale théorique.	page 71
V-3. La compensation.	page 73
VI. SECURISATION DE LA PRATIQUE DE L'APNEE.	page 75
VI-1. Conseils concernant les apnéistes amateurs.	page 75
VI-2. Cas particulier des chasseurs sous-marins.	page 76
VI-3. Sécurisation de l'apnée en compétition.	page 77
<u>VI-3.1. L'apnée statique.</u>	page 77

<u>VI-3.2. L'apnée dynamique.</u>	page 78
<u>VI-3.3. Les épreuves de profondeur.</u>	page 78
VII. PLACE DU MEDECIN DANS LA PRATIQUE DE L'APNEE.	page 80
VII-1. Rôle du médecin dans la pratique de l'apnée.	page 80
VII-2. Contre-indications médicales à la pratique de l'apnée.	page 81
DISCUSSION.	page 83
CONCLUSION.	page 85
ANNEXES	page 87
LISTE DES CARTES, DESSINS ET FIGURES.	page 89
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	page 91
TABLE DES MATIERES.	page 96

A Monsieur le Professeur Philippe LECONTE

Vous avez accepté la présidence de ce jury.

Je vous exprime ma gratitude et mon plus profond respect.

A Monsieur le Docteur Jan-Dirk HARMS

Qui m'a encadrée et conseillée pour ce travail.

Je vous témoigne de ma reconnaissance.

A Messieurs les Professeurs Edmond CHAILLEUX

Et Christian GERAUT

Vous me faites l'honneur de vous compter parmi les membres de ce jury.

Soyez assurés de mes sincères remerciements.

A Monsieur le Docteur Vincent SOUDAY

Vous avez bien voulu participer à cette soutenance.

Permettez-moi ici de vous remercier.

L'APNEE ET SA PRATIQUE A LA REUNION

INTRODUCTION

L'homme, depuis toujours avide de découvertes, est intéressé par la vie sous la surface de l'océan. Il aimerait, comme Icare, voler dans le ciel et comme les sirènes vivre dans l'eau.

Ce monde sous-marin, mal connu, souvent craint, nous renvoie à nos origines premières.

L'apnée est la discipline naturelle qui permet à l'homme d'approcher ce vieux rêve.

A La Réunion, île de l'Océan Indien, les fonds sous-marins sont particulièrement adaptés à l'exploration. L'apnée y est un loisir fort répandu.

Nous étudierons, après une présentation de l'île, les modifications physiologiques se produisant chez l'homme immergé.

Nous verrons ensuite le fonctionnement de l'apnée sportive, ses structures d'encadrement, les records actuels des différents champions.

La situation régionale de l'apnée à La Réunion sera évoquée, ainsi que les accidents recensés.

Enfin, nous envisagerons les limites physiologiques de l'apnée chez l'homme, la sécurisation de la pratique et la place du médecin dans l'encadrement de ce loisir.

Nous désirons, par cette étude, essayer de comprendre ce sport et ses pratiquants, où le dépassement de limites peut conduire à une issue fatale.

D'une superficie de 2512 km² (trois fois et demi plus petit que la Corse) et de forme elliptique, elle présente un diamètre maximal (axe nord-ouest / sud-est) de 72 km et un petit axe perpendiculaire de 51 km.

Sa circonférence est de 207 km.

I-1.2. Géologie et relief.

La Réunion est une île volcanique qui a surgi il y a 3 millions d'années, lors d'une percée de magma profond à travers la plaque tectonique africaine.

Le massif du Piton des Neiges (altitude 3070m) naquit de cette éruption. Il domine trois cirques d'effondrement (Mafate au Nord-Ouest, Salazie au Nord-Est et Cilaos au Sud) disposés en trèfle autour de lui. Le volcan est inactif depuis 30 000 ans.

Au Sud-Est se dresse le Piton de la Fournaise (formé il y a 500 000 ans) qui culmine à 2613 m et reste un des volcans les plus actifs de la planète.

Ces deux massifs sont séparés par une zone de hautes plaines, seul passage possible entre l'Ouest et l'Est.

Ce relief rend les communications et les déplacements difficiles ([carte 2](#)).



Carte 2 : la Réunion (source INSEE, 2003)

I-2. Climat.

Les Mascareignes sont des îles intertropicales au climat chaud que viennent adoucir l'influence de la mer et la présence d'alizés venants du Sud-Est.

A la Réunion vient s'ajouter l'influence de la géographie qui détermine une double opposition, d'une part entre le littoral et " les hauts " et d'autre part entre la côte Est dite " au vent " et la côte Ouest dite " sous le vent ".

Le relief compartimenté de l'île explique l'existence de nombreux microclimats.

Il est possible de distinguer grossièrement trois zones climatiques :

- la côte Est, chaude et humide,
- la côte Ouest, chaude et aride,
- les " hauts " et les cirques, aux précipitations abondantes et aux températures plus fraîches, voire négatives en hiver.

A la Réunion, deux saisons se succèdent :

-l'été austral : de novembre à avril, c'est une saison chaude et humide, caractérisée par des précipitations importantes et des températures pouvant atteindre 35° C sur le littoral. C'est également la période pendant laquelle peuvent se produire les dépressions tropicales et cyclones. La température moyenne est de 30° C.

-l'hiver austral de mai à octobre, c'est une saison plus fraîche et plus sèche, en altitude on peut relever des températures régulièrement négatives. L'île est sous l'influence des alizés, des vents frais de direction Est à Sud-Est, qui créent une houle importante. La température moyenne atteint 25°C.

I-3. Littoral et fonds sous-marins.

I-3.1. Données générales.

La Réunion est un cône volcanique, posé sur 4000 mètres au fond de l'océan.

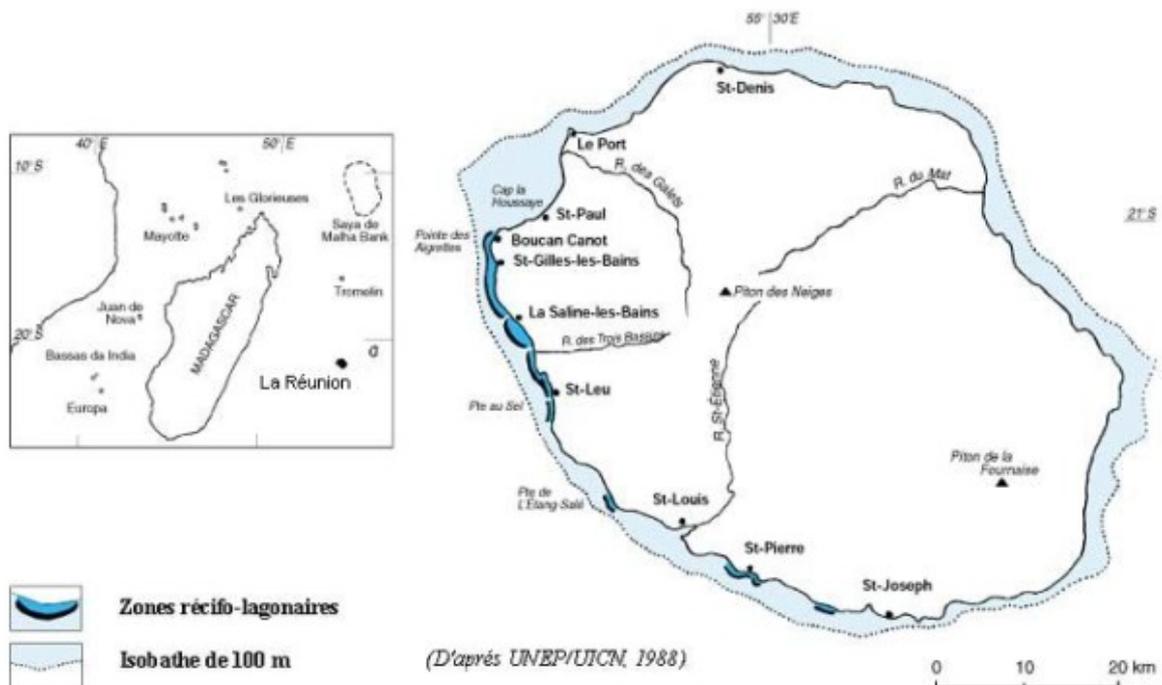
L'île possède 207 km de littoral, dont 25 km de zones récifo-lagonaires. Le lagon a une superficie de 12 km².

La zone économique exclusive (ZEE) s'étend sur 200 miles marins autour de l'île, représentant une vaste zone de pêche.

La température de l'eau reste clémente toute l'année, oscillant entre 23° C l'hiver et 28°C l'été en bord de mer.

Cela rend la pratique de la plongée possible toute l'année; les facteurs limitants sont la houle, le courant, l'eau trouble.

I-3.2. Le récif corallien.



Carte 3 : le littoral réunionnais (source UNEP/UICN, 1988)

Protégeant le littoral des houles australes et cycloniques qui se brisent sur leur front, les récifs de coraux ont donné quelques belles plages de sable blanc d'origine corallienne.

L'espace récifal est constitué de trois zones ([dessin 1](#)).

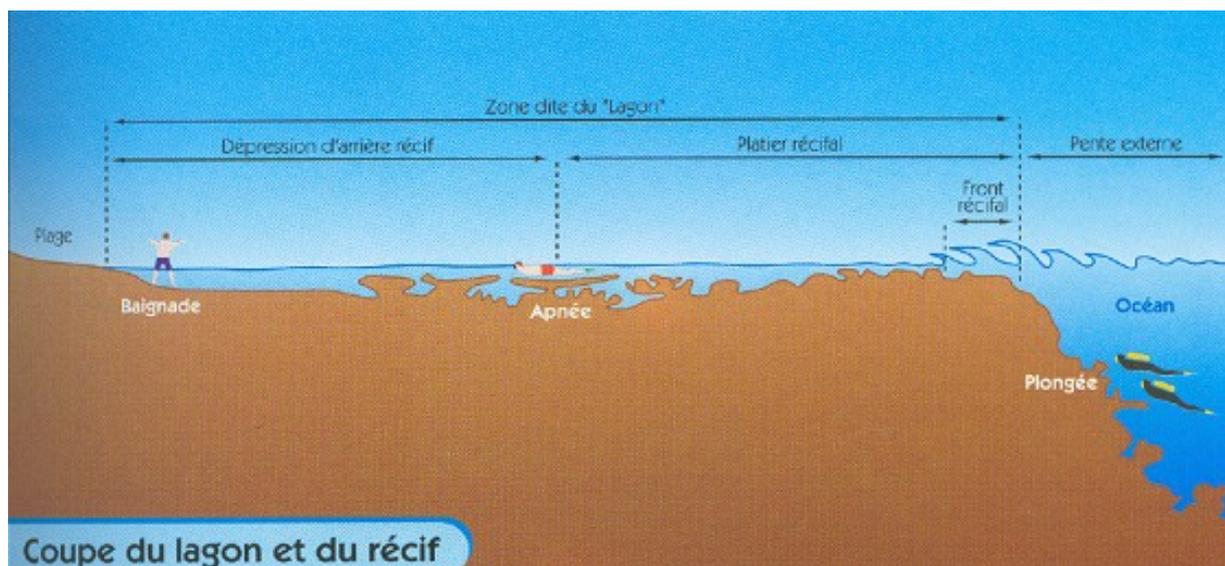
La dépression d'arrière récif, située entre la côte et la partie du récif qui émerge (platier), est un milieu relativement calme, propice à la baignade. On y rencontre du récif peu vivace, voire nécrosé.

Le platier récifal comprend la partie supérieure et horizontale du récif. Recouvert la plupart du temps de quelques centimètres d'eau, il est lessivé par les vagues qui se brisent sur son bord extérieur. Sa limite

intérieure, découpée et constituée d'une succession de vasques et de massifs de coraux, est la plus riche d'un point de vue biologique, recelant poissons et coraux juvéniles.

Ces deux zones forment ce qu'on appelle plus communément le "lagon". Elles sont séparées de la pente externe par une barrière corallienne étroite nommée *front récifal*, peuplé d'algues calcaires et d'hydrocoralliaires.

La pente externe, située face au large, est la zone de croissance active du récif où la vie corallienne atteint son apogée. Cette zone s'étend jusqu'à des zones de 30 ou 40 mètres selon les endroits. La physionomie de la pente externe, soumise à un fort hydrodynamisme, change en fonction de la profondeur.



Dessin 1 : coupe du lagon et du récif (selon Dutrieux, 1997).

La biodiversité est importante dans ce biotope.

On retrouve 55 genres et 149 espèces de coraux, 1000 espèces de poissons (évoluant pour la plupart entre 6 et 20 m).

La faune associée aux coraux est représentée par 156 espèces de crustacés (crabes, crevettes, langoustes), 8 espèces de mollusques

(escargots, moules, pieuvres), 34 espèces d'annélides (vers) et 31 espèces d'échinodermes (oursins, étoiles de mer).

I-3.3. Etat actuel du milieu.

Ce milieu naturel riche et intéressant à l'étude et à la découverte est dégradé par différentes pollutions.

Les pollutions chroniques telles que le déversement d'engrais agricoles et la négligence des baigneurs et des adeptes des sports d'eau détériorent le lagon.

Les cyclones ou autres accidents peuvent ponctuellement délabrer le milieu.

La pêche sauvage dans le lagon ou quelques pratiques de chasse sous-marine irréfléchies peuvent causer un tort parfois irréparable à certaines espèces.

I-4. Histoire et populations.

I-4. 1. Repères historiques.

La Réunion aurait été découverte en 1509 par les Européens. Ses côtes inhospitalières et la difficulté de mouillage firent retarder sa colonisation.

Les premiers habitants furent 12 mutins français, déportés en 1646. Ils vécurent trois ans sur l'île. Le récit de ces " exilés au paradis " favorisa la revendication de l'île par le roi de France en 1649.

Alors appelée l'île Bourbon, elle resta un comptoir de passage pour les navires en partance pour les Indes orientales jusqu'en 1715.

A cette période, la culture du café fut introduite dans l'île. Exigeant un travail intensif, cette production est à l'origine de la traite vers Bourbon d'esclaves malgaches et africains. Parallèlement, d'autres cultures commerciales se développent : les céréales, les épices et le coton.

Cette main d'œuvre devient rapidement majoritaire sur l'île, représentant en 1735 les 4/5 de la population (22 300 personnes en 1761).

La fin du XVIIIème siècle fut marquée par les premières révoltes d'esclaves. Certains, appelés " marrons ", réussirent à s'enfuir et furent les premiers habitants des hauteurs de l'île ainsi que des cirques.

Après la révolution française, l'île Bourbon devint l'île de la Réunion.

Au début du XIXème siècle, les troupes britanniques victorieuses des guerres de l'Empire s'emparèrent de la Réunion. Les Anglais rétrocédèrent l'île aux Français cinq années plus tard, après y avoir introduit la culture de la canne à sucre.

Cette réorientation de l'économie réunionnaise eut pour effet d'évincer de nombreux petits propriétaires, manquant de capitaux nécessaires à l'installation de la nouvelle monoculture. Ceux-ci allèrent chercher des terres vers l'intérieur de l'île. Ils sont devenus les " petits Blancs des Hauts ".

L'année 1848 est marquée par l'abolition de l'esclavage. L'île compte à cette période plus de 100 000 habitants, dont une majorité d'esclaves libérés.

L'industrie sucrière connut alors une grave pénurie de main d'œuvre. Les Français résolurent le problème de la même manière que les Britanniques à l'île Maurice. Ils firent venir d'Inde des travailleurs sous contrat ; près de 75 000 immigrants, dont une majorité d'hindous, arrivèrent ainsi en 1865.

L'âge d'or du commerce et du développement de la Réunion dura jusqu'en 1870, date à laquelle les différentes concurrences, ainsi que l'ouverture du canal de Suez mirent un coup de frein aux exportations locales et à l'économie.

Le passage, en 1946, du statut de colonie à celui de département d'outre-mer français (DOM) vint au secours de l'économie de l'île.

I-4. 2. Situation actuelle.

L'économie réunionnaise est dépendante pour une large part de la métropole ; les dépenses publiques représentant $\frac{1}{4}$ du produit intérieur brut (PIB).

L'agriculture est essentiellement représentée par la canne à sucre et représente 6% du PIB. Le tourisme s'est beaucoup développé. Le secteur tertiaire est prépondérant dans l'économie (80% du PIB).

Le taux de chômage est très élevé, atteignant 30 % en 2002.

La Réunion est une région monodépartementale depuis 1982. Elle est représentée à Paris par cinq députés et trois sénateurs.

I-4. 3. Population.

L'île compte 741 300 âmes au 1^{er} janvier 2002 faisant de la Réunion le département d'outre mer le plus peuplé.

La densité de la population dépasse 295 hab./km², chiffre élevé et ce d'autant plus que 80 % des habitants sont répartis sur une bande littorale large de 5 km.

La population réunionnaise connaît un métissage ancien, ce qui n'empêche pas de retrouver des groupes ethniques distincts :

- **La population d'origine africaine et malgache.**

Elle représente 50 % des habitants de l'île ; son niveau de vie est plutôt peu élevé, le taux de chômage est important dans cette frange de la population. A noter une immigration récente de Mahorais et de Comoriens musulmans.

- **La population d'origine asiatique.**

Originaires d'Inde et de Chine, elle est estimée à 25 % de la population.

-Les Indiens non musulmans originaires du sud de l'Inde, dits " Malabars " : ils sont arrivés en masse à la Réunion après l'abolition de l'esclavage pour travailler la terre. Ils constituent maintenant une population rurale et côtière et restent très attachés à leurs pratiques religieuses (hindouistes) et culturelles.

-Les Indiens musulmans, les " Z'arabes " : ils sont originaires du Gujerat (Nord-Ouest de l'Inde) et du Pakistan; arrivés vers 1860, peu nombreux, mais puissants économiquement grâce à leurs activités commerçantes.

-Les Chinois : immigrants de Canton, vers 1860, ils font le commerce de détail et d'alimentation. Ils restent aujourd'hui épiciers, patrons de grands magasins ou d'usines agro-alimentaires.

- **La population d'origine européenne.**

Elle compte un groupe sédentaire, d'immigration ancienne, les " Petits Blancs " et un groupe de passage, les " Z'oreils " et représente 25 % de la population.

-Les " Petits Blancs des hauts " : ils constituent la descendance de colons installés dans l'île parfois depuis le début de sa mise en valeur. Avec l'abolition de l'esclavage et la diminution de leurs revenus, ils ont migré vers les hauts de l'île.

-Les Z'oreils : ce sont les Français de métropole. Volontiers fonctionnaires, la plupart ont une durée de séjour limitée sur l'île à quelques années.

La Réunion est une terre de contrastes où les populations se mêlent et les paysages divers se succèdent. Elle peut attirer les amateurs de loisirs marins grâce à des fonds sous-marins riches et accessibles.

Le développement de l'apnée dans cette région est lié à cette nature généreuse.

II. PHYSIOPATHOLOGIE DE L'APNEE.

Etudiée depuis plus de 50 ans, la physiopathologie de l'apnée reste à découvrir. Les modifications physiologiques sont nombreuses sous l'eau, comme nous allons le voir.

II-1. Effets cardio-vasculaires de l'immersion et de l'apnée.

II-1.1. Modifications morphologiques.

L'immersion d'un sujet dans l'eau induit des modifications physiques, liées à l'application de la pression hydrostatique sur chaque point du corps.

On peut rappeler que, dans l'air, le corps est soumis à la pression atmosphérique qui est de 1 ATA (= 1 atmosphère).

Sous l'eau, la pression hydrostatique augmente avec la profondeur, à raison d'une atmosphère tous les 10 mètres.

A titre d'exemple, on retrouve une pression de 1.10 ATA à 1 mètre ; 2 ATA à 10 mètres, 3 ATA à 20 mètres et 11 ATA à 100 mètres.

Il en résulte des modifications de la morphologie corporelle (**fig. 1**) :

- la bosse abdominale antérieure est effacée,
- la masse viscérale abdominale est refoulée vers le haut,
- le diaphragme est repoussé vers la cage thoracique,
- le volume d'air pulmonaire est diminué par cette poussée et par l'écrasement relatif du thorax,
- le sang veineux est chassé vers la région du corps où la pression absolue est plus faible, c'est à dire la cavité thoracique.

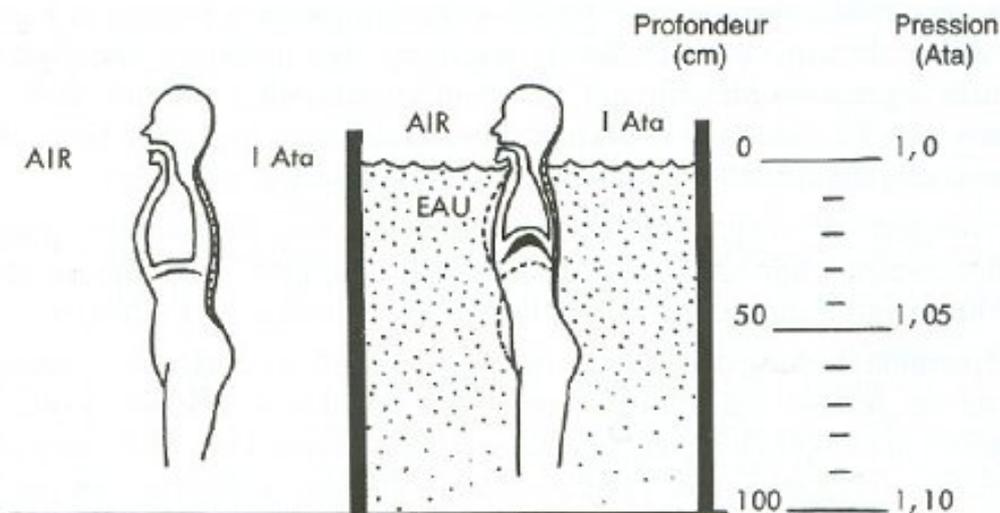


Fig. 1 : Répartition des pressions exercées sur l'homme debout, dans l'air (à gauche), immergé dans l'eau jusqu'au cou (à droite). Les courbes pointillées rappellent les positions des parois et du diaphragme dans l'air (extrait de S.K. Hong, 1976).

Après quelques heures d'immersion tête hors de l'eau, l'absence de pesanteur entraîne une bouffissure du visage, alors que les membres inférieurs prennent l'aspect dit "en pattes de poulet".

II-1.2. Transfert sanguin.

Dans l'air, le sujet debout accumule une grande partie du sang dans les parties déclives du corps, en particulier les membres inférieurs.

Lors du passage à la position allongée, un transfert sanguin favorisé par la pesanteur se fait en direction de la partie céphalique de l'organisme et le thorax particulièrement.

Un sujet immergé, tête hors de l'eau, subit des modifications circulatoires. L'immersion favorise une redistribution des volumes sanguins, avec un afflux de sang vers le thorax (fig. 2). Le cœur et les vaisseaux pulmonaires sont alors très dilatés. Ceci augmente les pressions intrathoraciques et modifie la pression pleurale qui, de négative, devient à peu près nulle selon Boehm et Eckert (1938).

Les transferts de sang résultants de l'immersion sont importants : pour un sujet debout respirant hors de l'eau, Arborelius et coll. (1972) ont mesuré des valeurs de 700 ml, inférieures cependant à l'estimation de Gauer de 1000 ml (1965).

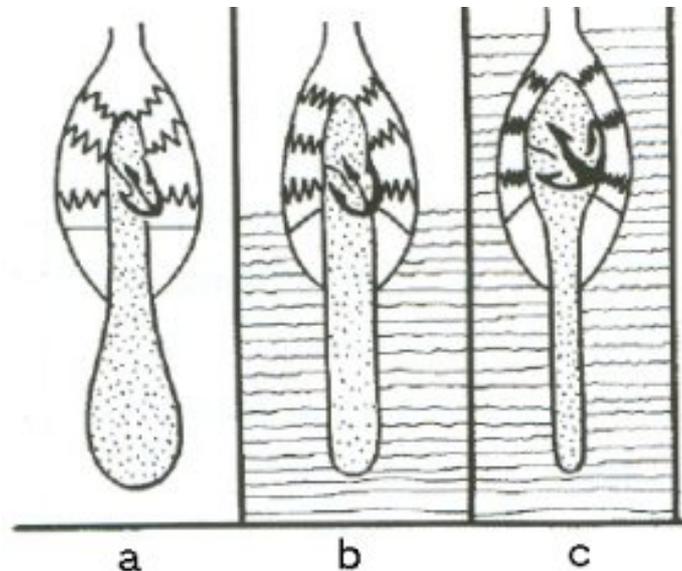


Fig. 2 : La poussée d'Archimède est antagoniste de la pesanteur.

- a- En position debout dans l'air, le lit vasculaire est distendu par le poids du sang.
 - b- L'immersion jusqu'à hauteur du diaphragme annule l'effet de la pesanteur sur le sang des jambes en lui opposant un gradient de pression hydrostatique égal et de sens opposé; la distribution sanguine approche celle obtenue en position couchée dans l'air.
 - c- Le sujet est immergé jusqu'au cou; la pression hydrostatique refoule une quantité importante de sang de la partie inférieure du corps vers la petite circulation.
- Les ressorts figurent l'élasticité pleuro-pulmonaire (d'après Gauer, 1955).

Le transfert sanguin est un phénomène passif, résultant de la différence de pression entre la cavité thoracique et le reste de l'organisme.

Il a reçu de K. Schaefer le nom de " *blood-shift* " souvent utilisé dans la littérature.

Ce premier transfert sanguin sera suivi d'un autre, de moindre importance, survenant en profondeur, lors du franchissement de la profondeur maximale théorique.

II-1.3. Bradycardie d'immersion.

La bradycardie d'immersion a d'abord été observée au XIX^e siècle chez des animaux plongeurs (canard, chien).

Le Français Colemieu, en 1899, avait noté l'existence d'un ralentissement du rythme cardiaque à l'émersion de plongeurs algériens chargés de l'entretien des puits des oasis du Sud.

Depuis, de nombreuses études ont prouvé ce phénomène.

La bradycardie est de nature réflexe ; elle ne provoque pas d'effondrement de la pression artérielle qui est maintenue par une vasoconstriction périphérique.

Caractères de la bradycardie :

- Elle commence dès les premières secondes et atteint son maximum à partir de la 20^e seconde d'immersion.
- Elle persiste pendant tout le séjour au fond ; des efforts musculaires importants peuvent en diminuer l'intensité.
- Elle se termine à l'émersion, lors de la reprise ventilatoire et est suivie d'une tachycardie transitoire et compensatoire.
- A l'immersion, il peut exister une tachycardie transitoire, conséquence de l'hyperventilation, du stress, de l'effort musculaire ou du contact avec l'eau froide.
- L'intensité de la bradycardie ne dépend pas du niveau initial de pression artérielle ; elle est très variable d'un sujet à l'autre mais demeure relativement stable d'une plongée à l'autre. Les ralentissements cardiaques sont généralement à hauteur de 25 à 30% de la fréquence initiale ; on constate rarement une baisse de plus de 50 %.
- Les bradycardies les plus prononcées sont le fait de plongeurs jeunes, entraînés, peu émotifs, pratiquant l'apnée sans efforts musculaires importants et sans manœuvre de Valsalva.

II-1.4. Homéostasie.

Nous avons vu les modifications liées à l'immersion, en particulier la bradycardie et le transfert sanguin vers la petite circulation. Malgré cela, la pression artérielle reste stable ou légèrement augmentée.

Une vasoconstriction périphérique accompagnée d'une augmentation des résistances permet un maintien de tension artérielle, prouvée par Heistad et coll. (1968).

La vasoconstriction porte sur les artérioles, mais aussi les artères, les muscles et la peau.

L'effort musculaire nécessiterait une vasodilatation d'autant plus forte que l'exercice est intense ; le conflit d'action est en faveur de la vasoconstriction ; le muscle utilise d'abord les réserves oxygénées de la myoglobine, puis fonctionne en anaérobiose. Cela permet aussi la conservation sur le lieu de production des métabolites acides résultants des mécanismes oxydatifs (CO_2 , lactates), retardant ainsi l'acidose métabolique.

La lactacidémie augmente seulement après l'émersion, est maximale à la 2^e minute et se normalise à la 6^e minute.

Le débit cardiaque diminue au cours des épisodes de bradycardie apnéique, ce qui a été montré par Kawakami et coll. (1967) : pour une valeur moyenne de 3.5 l/min.m², on retrouve une réduction à 3.2 l/min.m² par une apnée simple et à 2.5 l/min.m² par une apnée avec immersion de la face.

II-1.5. Mécanismes des réactions cardio-vasculaires.

Les voies effectrices de ces phénomènes d'homéostasie sont principalement le *nerf vague* (X) et les *catécholamines*. L'implication des

catécholamines n'a jamais été prouvée, compte tenu de la difficulté de l'expérimentation sur le vivant ; mais Heistad et coll. (1968) ont constaté chez l'homme que l'injection d'atropine à dose vagolytique abolit la réponse cardiaque.

Les centres nerveux participant à ces adaptations seraient situés dans la substance réticulée du tronc cérébral, représentés par le *centre cardiomodérateur du nerf vague* (bradycardie), le *centre bulbaire vasoconstricteur* et le *centre adrénalinosécréteur* (modifications vasculaires).

Des actions intercentrales jouent également un rôle important, en particulier avec les centres respiratoires.

Un réflexe conditionné a pu être observé chez certains plongeurs entraînés, avec l'apparition d'une bradycardie avant l'immersion, dès que l'ordre de s'immerger est donné (réflexe pavlovien).

Les voies sensibles sont sensibles à deux stimuli : l'immersion de la face et l'apnée.

- L'immersion de la face : la stimulation de *récepteurs cutanés thermiques et aqueux*, nombreux chez l'homme et répartis sur le visage, surtout dans la région labiale et périorale (**fig. 3**), déclenche la réponse bradycardique.

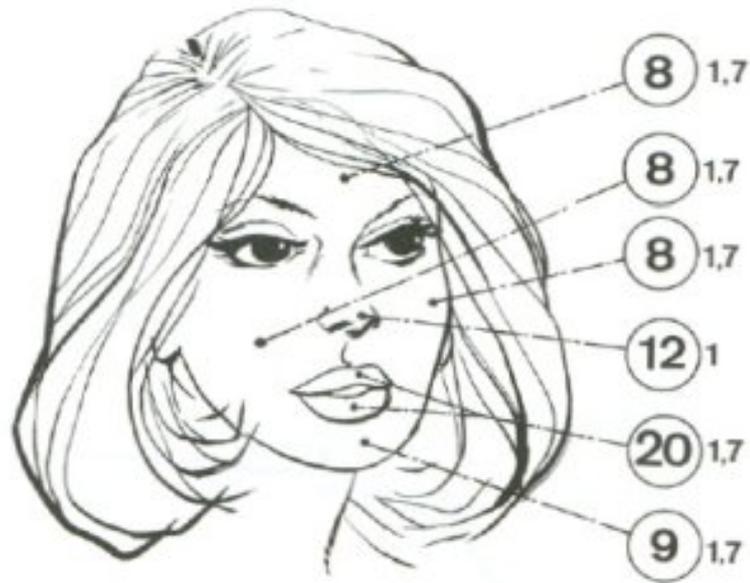


Fig. 3 : Localisation sur la face des récepteurs cutanés thermosensibles (au froid, entourés d'un cercle; au chaud, non cerclés) ; les chiffres indiquent leur nombre par cm² de peau (d'après Corriol, 1993).

Il existe une proportionnalité entre la température de l'eau et l'intensité de la bradycardie (Corriol et coll., 1968), mais les températures extrêmes (inférieures à 10°C ou supérieures à 40°C) donnent une bradycardie plus modérée.

- L'apnée :

Sachant que l'apnée inspiratoire volontaire provoque une bradycardie, que l'intensité de la bradycardie est fonction du remplissage pulmonaire et de l'entraînement du sujet et que la bradycardie disparaît au profit d'une tachycardie si le sujet pratique une manœuvre de Valsalva, on a envisagé l'intervention hypothétique de *récepteurs d'étirement (stretch-receptors)*, situés dans la plèvre et dont la stimulation induirait une vasoconstriction périphérique (Corriol, 2002).

La manœuvre de Valsalva crée une pression positive intrapulmonaire, sollicitant les récepteurs d'étirement parenchymateux (tachycardisants) mais relâchant les récepteurs pleuraux (bradycardisants).

D'autres hypothèses font intervenir des *barorécepteurs intrathoraciques*, sensibles aux variations de pression thoracique.

Les stimuli immersion de la face et apnée se cumulent pour donner une bradycardie plus marquée que l'action de chacun d'entre eux.

Ces réactions cardio-vasculaires à l'apnée et à l'immersion, en restreignant la circulation du sang dans les organes résistants bien et longtemps à l'asphyxie (peau, muscles, organes splanchniques), permettent de réserver les bénéfices d'une circulation normale aux organes nobles, indispensables mais peu résistants à l'anoxie, tels que le cœur et le système nerveux central.

II-1.6. Anomalies électrocardiographiques.

Inconstantes et variables, elles sont fréquentes chez l'homme, les plus importantes survenant en fin d'apnée.

L'anomalie la plus souvent retrouvée est la diminution d'amplitude de l'onde P, qui n'a pas de répercussion clinique.

Une étude des arythmies chez des adolescents plongeurs en bonne santé réalisée en 1987 par McDonough et coll. retrouvait un nombre important d'anomalies pendant l'apnée, réparties comme suit :

- 53% d'extrasystoles ventriculaires (risque relatif 14 par rapport à l'air libre),
- 23% de contractions unifocales prématurées (risque relatif 80),
- 12% d'arythmies ventriculaires complexes (risque relatif 11),
- 6% de pauses excédant 1.5 seconde ou 1.25 fois l'intervalle RR précédent (anomalie non retrouvée à l'air libre).

Les auteurs suggèrent que l'immersion provoque ces arythmies, par le remplissage accru de la petite circulation et des cavités cardiaques. Les fibres myocardiques de l'oreillette droite en particulier sont étirées et induisent des réflexes complexes.

Nous pouvons noter que manifestement, l'homme n'est pas l'animal le plus adapté à la vie sous-marine (**tableau 1**) :

	Animaux plongeurs	Homme
Délai d'établissement de la bradycardie:	< 10 s	> 20 à 30 s
Valeur maximale (% fréquence de repos) :	> 50 %	10 à 30 %
Arythmie cardiaque	rare	fréquente
Action de la température	nulle	nette
Pression artérielle	stable	augmentation modérée
Débit cardiaque	décroit beaucoup	décroit peu
Economie d'énergie	importante	douteuse

Tableau 1 : Comparaison des réponses cardio-vasculaires à la plongée en apnée chez les animaux plongeurs et l'homme (d'après Schilling et coll., 1976).

II-2. Diurèse d'immersion.

Le transfert sanguin crée un afflux de sang intrathoracique, réalisant une surcharge de la petite circulation. La régulation de la masse sanguine mise en jeu freine la réabsorption tubulaire de l'eau, réduisant ainsi la masse sanguine et créant une augmentation de la diurèse.

Les volorécepteurs impliqués seraient les récepteurs d'étirement de l'oreillette gauche et de la partie terminale des veines pulmonaires. De même, la distension de l'oreillette droite provoque un accroissement de l'excrétion sodée rénale.

Les effecteurs en sont le facteur atrial natriurétique (FAN), sécrété lors de la dilatation de l'oreillette droite et l'hormone anti-diurétique (ADH), dont la libération est diminuée par la distension de l'oreillette gauche.

II-3. Conséquences respiratoires de l'apnée.

Nous utiliserons, dans ce chapitre, le millimètre de mercure (mmHg) comme unité caractérisant la pression partielle des différents gaz.

Rappelons que 1 ATA (pression en valeur absolue) est égale à 760 mmHg et équivalente à 101.3 kPa (le Pascal (Pa) est l'unité de pression résultant d'une force de 1 Newton exercée sur 1 m²).

Par conséquent, 100 mmHg valent 13.3 kPa.

Parfois utilisé par des auteurs plus anciens et retrouvé sur certaines figures dans les pages à venir, le torr équivaut au millimètre de mercure.

Les gaz intervenant dans la respiration et les échanges alvéolo-capillaires sont l'oxygène (O₂) et le dioxyde de carbone (CO₂). A noter la présence pathologique d'azote dissous dans le sang dans certains cas particuliers de plongées itératives (Héran, 1990).

Pendant l'apnée, la consommation d'O₂ est plus importante que la production de CO₂ qui est fixé par les substances tampons. La pression alvéolaire d'oxygène (P_AO₂) diminue de façon quasiment linéaire pendant la durée de l'apnée, tandis que la pression alvéolaire de dioxyde de carbone (P_ACO₂) augmente peu (fig. 4).

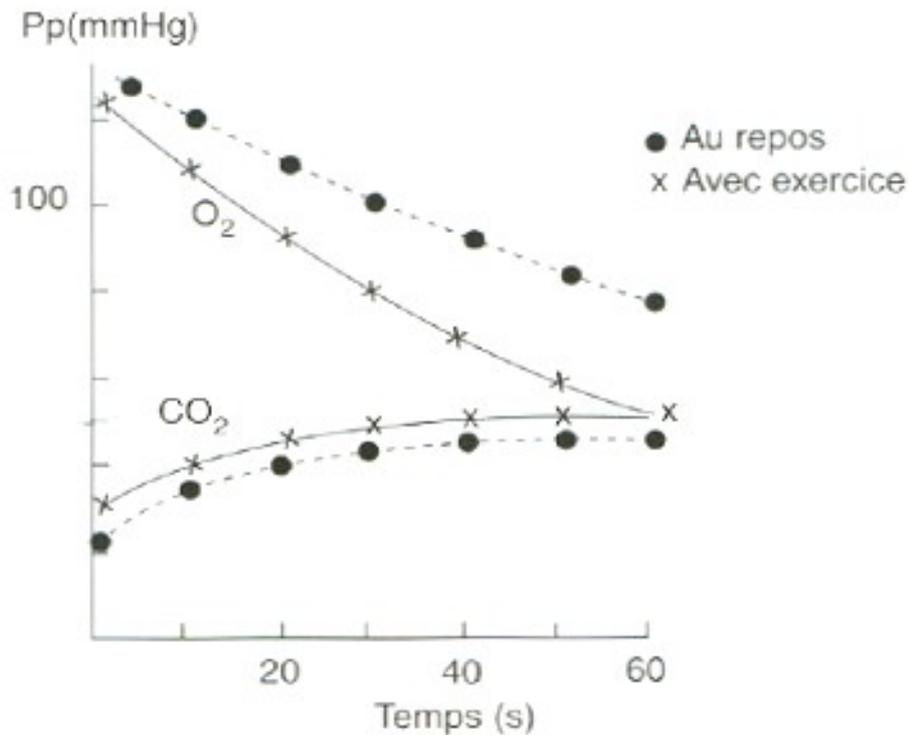


Fig. 4 : Valeurs des pressions partielles alvéolaires d'oxygène et de dioxyde de carbone au cours de l'apnée simple, avec ou sans travail (d'après Lanphier et Rahn, 1963).

II-3.1. Echanges d'oxygène.

La réserve d'oxygène de l'organisme est d'environ 2 litres, dont 75% sont utilisables avant que de graves troubles n'apparaissent. Un litre d'oxygène est présent dans l'air alvéolaire, un litre est fixé dans le sang sous forme d'oxyhémoglobine, quelques dizaines de millilitres sont dissous dans le milieu intérieur et une très faible quantité est fixée à la myoglobine et utilisable uniquement dans le muscle.

Les échanges alvéolaires d'oxygène diminuent avec la baisse de $P_{A}O_2$ (fig. 5), les gradients entre $P_{A}O_2$, P_aO_2 (pression artérielle d'oxygène) et P_vO_2 (pression veineuse d'oxygène) se réduisent ; ces trois paramètres s'égalisent après environ 4 minutes d'apnée au repos, pour atteindre 30 mmHg (fig. 6).

II-3.2. Echanges de dioxyde de carbone.

Le stock de dioxyde de carbone est estimé à environ 120 à 150 litres, répartis comme suit :

- 2% dans le sang, très rapidement mobilisable,
- 17 % dans les tissus mous, mobilisable en quelques minutes à quelques heures,
- 81 % dans les os et les graisses, très lentement mobilisable (plus de 24 heures).

Le CO₂ le plus rapidement accessible est constitué par le CO₂ sanguin combiné sous forme de tampons *acide carbonique-bicarbonate* et *acide carbonique-carbaminohémoglobine*, ainsi que par le CO₂ dissous dans le milieu intérieur.

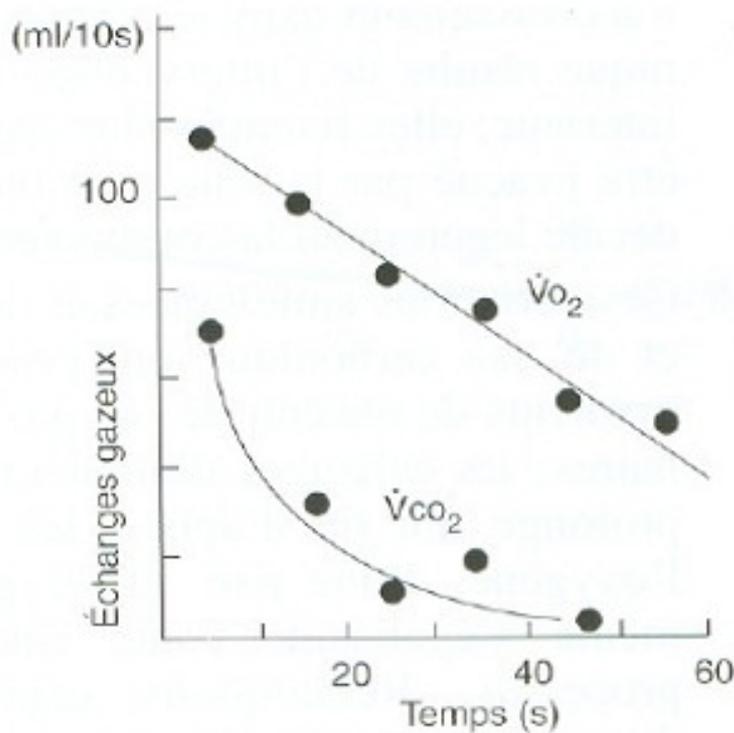


Fig. 5 : Evolution des échanges gazeux alvéolo-capillaires au cours de l'apnée simple (d'après Lanphier et Rahn, 1963).

Dans les premières dizaines de secondes d'apnée, la pression alvéolaire de CO_2 croît lentement pour atteindre une asymptote avoisinant 55 à 60 mmHg. $P_a\text{CO}_2$ vaut initialement 40 mmHg, elle rejoint $P_A\text{CO}_2$ en 1 minute d'apnée, puis atteint environ 51 mmHg en 4 minutes (fig. 6).

Les échanges alvéolaires diminuent de façon très significative en fin d'apnée (fig. 5).

80% du CO_2 produit est retenu dans le sang et les tissus.

Le pH artériel décroît régulièrement pendant l'apnée ; il peut descendre à 7.29 à la fin de la 4^e minute (fig. 6).

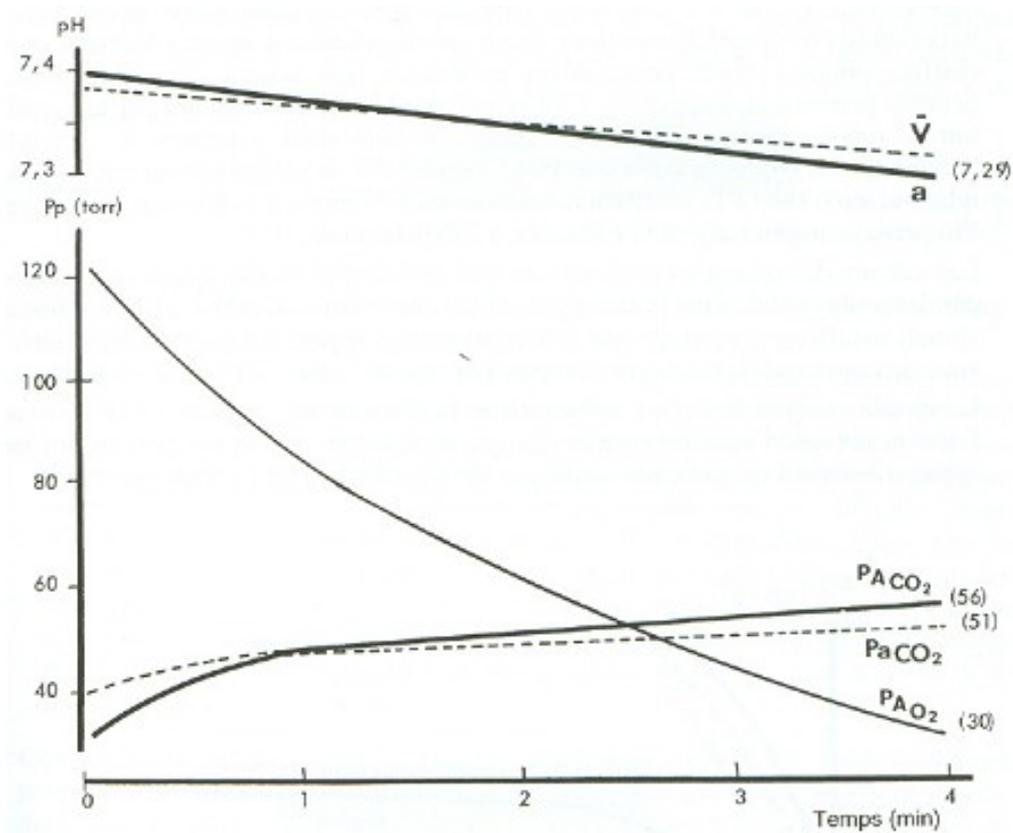


Fig. 6 : Evolution temporelle, au cours d'apnées volontaires de 4 minutes, du pH et des pressions partielles d'oxygène et de dioxyde de carbone sur 9 sujets d'âge moyen 30 ans (d'après des valeurs de Hong et coll., 1971 b, selon Corriol, 1993).

II-4. Effets de la profondeur en apnée.

Comme vu précédemment, la pression hydrostatique augmente avec la profondeur. La loi de Boyle-Mariotte va s'appliquer aux volumes contenus dans l'organisme.

$$\text{Loi de Boyle-Mariotte : } P_1V_1 = P_2V_2$$

où P_1 est la pression initiale et V_1 le volume initial occupé par les gaz, P_2 est la pression finale et V_2 le volume final des gaz.

II-4.1. Evolution des pressions partielles de CO₂.

De 0 à 8 mètres, on note une faible augmentation de $P_A\text{CO}_2$.

A 8 mètres de profondeur, $P_A\text{CO}_2$ rejoint $P_a\text{CO}_2$. Les échanges alvéolaires de dioxyde de carbone sont très fortement réduits, voire abolis.

Après 8 mètres, la $P_A\text{CO}_2$ augmente faiblement, la diffusion du CO₂ se fait vers le sang, par une grande absorption de l'excès de CO₂ au niveau des substances tampons (fig. 7).

A la remontée, la pression alvéolaire diminue, les échanges alvéolaires reprennent, mais la diffusion de CO₂ est plus lente.

En surface, $P_A\text{CO}_2$ peut être inférieure à sa valeur initiale, d'autant plus que la remontée est rapide et il n'existe pas d'hypercapnie à l'émersion.

Le CO₂ excédentaire est stocké par les substances tampons et sur son lieu de production musculaire ; la diffusion de l'excédent est retardée après l'émersion et le retour à une capnie normale sera tardif, environ 20 minutes dans des conditions normales et 30 minutes en cas d'hyperventilation.

II-4.2. Evolution des pressions partielles d'O₂.

Pendant la descente en apnée, on va avoir une augmentation de la pression alvéolaire d'oxygène liée à la profondeur ; par ailleurs, il existe une diminution de la pression artérielle d'oxygène liée à la consommation.

En surface, P_AO₂ : 100 mmHg.

A 8 mètres, P_AO₂ : 150 mmHg.

A 30 mètres, P_AO₂ : 335 mmHg. (fig. 8).

Pendant la remontée, la consommation d'O₂ est importante (effort musculaire) et les pressions partielles diminuent ; ce phénomène synergique crée une chute brutale de P_AO₂, c'est le moment propice à la perte de connaissance anoxique.

Au retour à la surface, la P_AO₂ peut être inférieure à 30 mmHg, la P_aO₂ est égale à 30 mmHg (fig. 7).

La reconstitution des stocks d'oxygène est réalisée par la ventilation en quelques minutes.

Le volume pulmonaire d'O₂ est diminué par la consommation pendant l'apnée, le CO₂ produit est transféré à l'alvéole. Les échanges carboniques étant plus lents, le volume gazeux pulmonaire est diminué pendant l'apnée ; à l'émersion, la perte de volume pulmonaire serait de 0.3 litre (estimation variable selon la durée et la profondeur de l'apnée).

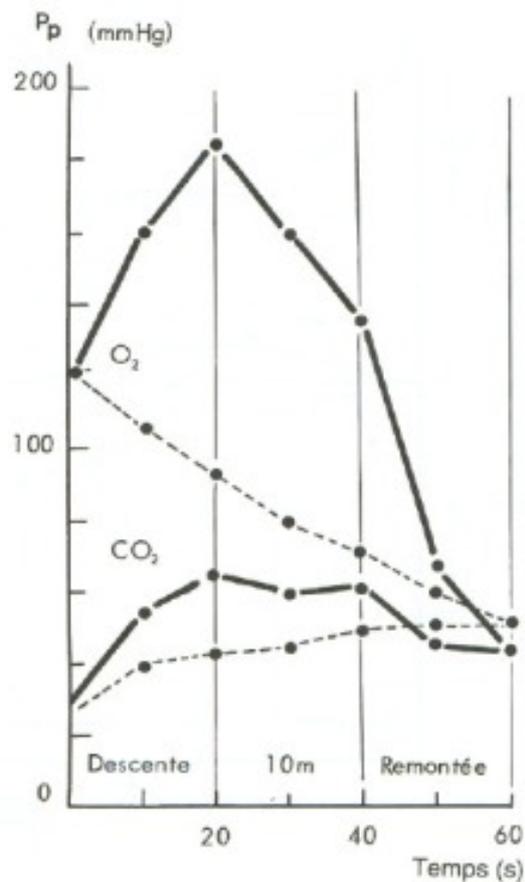


Fig. 7 : Evolution de $P_{A}CO_2$ et $P_{A}O_2$ au cours d'une apnée de 60 secondes comportant une descente à 10 mètres, un palier à 10 mètres et la remontée; chaque étape dure 20 secondes. Les courbes en pointillés rappellent les valeurs correspondant à une apnée en surface avec un travail léger (d'après Lanphier et Rahn, 1963).

II-4.3. Cas particulier de l'azote.

Une faible quantité d'azote passe de l'alvéole au sang et aux tissus. Cette quantité est proportionnelle à la pression subie et à la durée de l'apnée. L'azote sanguin et tissulaire est lentement éliminé au retour en surface.

Le danger peut donc venir des plongées itératives, profondes et de longue durée (Héran, 1990), comme nous le verrons dans le paragraphe III-5.6., page 52.

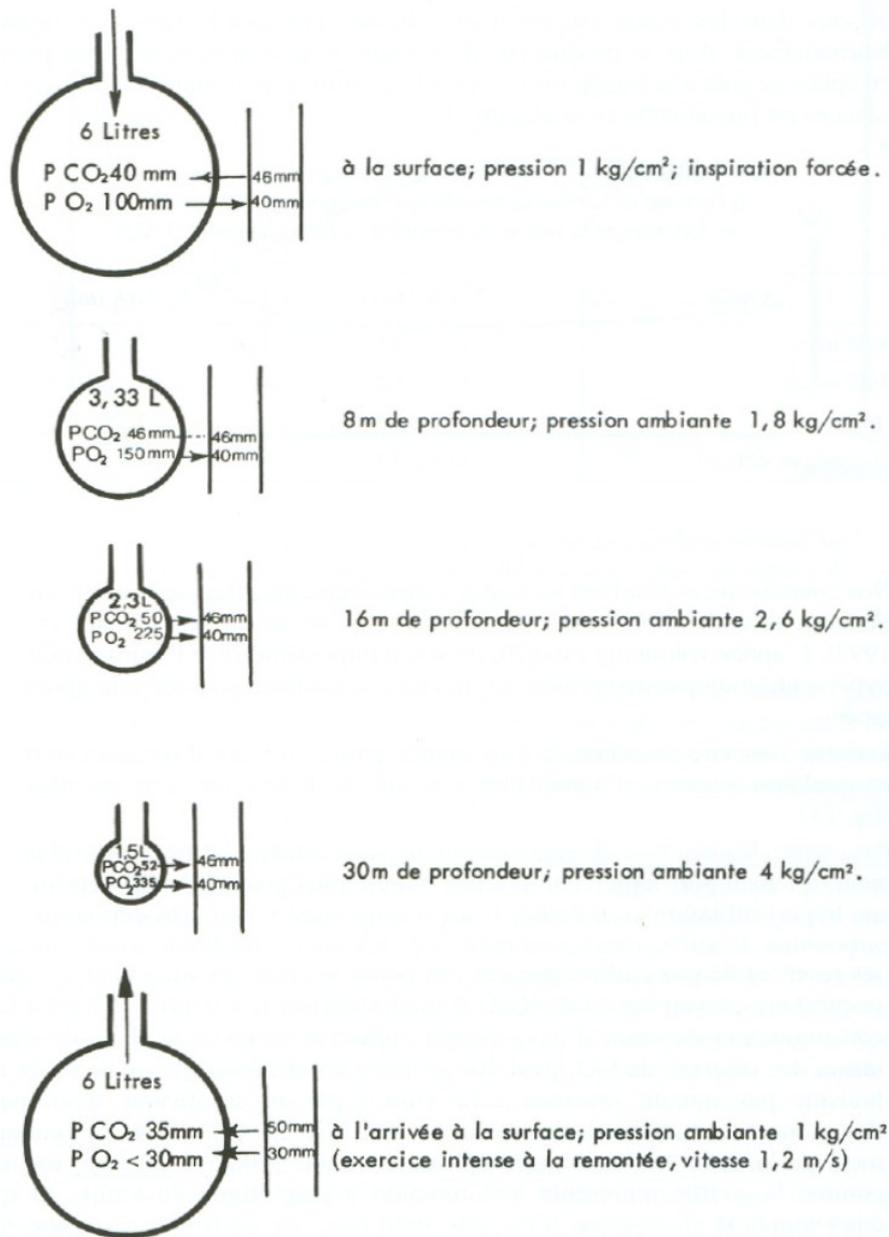


Fig. 8 : Schéma résumant l'évolution des volumes pulmonaires et des échanges alvéolo-capillaires en fonction de la profondeur au cours d'une plongée en apnée à 30 mètres, non précédée d'hyperventilation (d'après Corriol, 1993).

II-4.4. Effet de la profondeur sur le système cardiovasculaire.

En ventilation normale à la surface, la pression thoracique est positive, évaluée entre 15 et 20 cm d'eau.

La pression thoracique est nulle au niveau de la profondeur maximale théorique.

La profondeur maximale théorique est calculée, selon la loi de Boyle-Mariotte, par la pression s'exerçant sur le corps lorsque le volume résiduel est égal à la somme du volume pulmonaire total et du volume du transfert sanguin ("blood-shift"). Si l'on estime la capacité pulmonaire à 6.5 litres, le volume du transfert sanguin à 0.5 litre et le volume résiduel à 1.4 litres ; on obtient : $P = 6.5 / (1.4 - 0.5) = 7.2$ ATA ; cela représente une profondeur de 62 mètres.

Ces calculs restent approximatifs, mais permettent de comprendre l'inversion de pression thoracique qui s'ensuit.

Au-delà, la pression thoracique est négative, un 2^e transfert sanguin ou " blood-shift " est mis en jeu¹, il se crée un afflux de sang au niveau de la petite circulation d'environ 300-500 ml (fig. 9).

Le débit sanguin est augmenté transitoirement ; il se normalise en 6 révolutions cardiaques.

La circulation pulmonaire joue le rôle d'un organe réservoir.

A l'émersion, on note une surcharge passagère du cœur G.

¹ Le 1^{er} transfert sanguin est réalisé lors de la mise à l'eau, son volume est estimé à 500-700 ml.

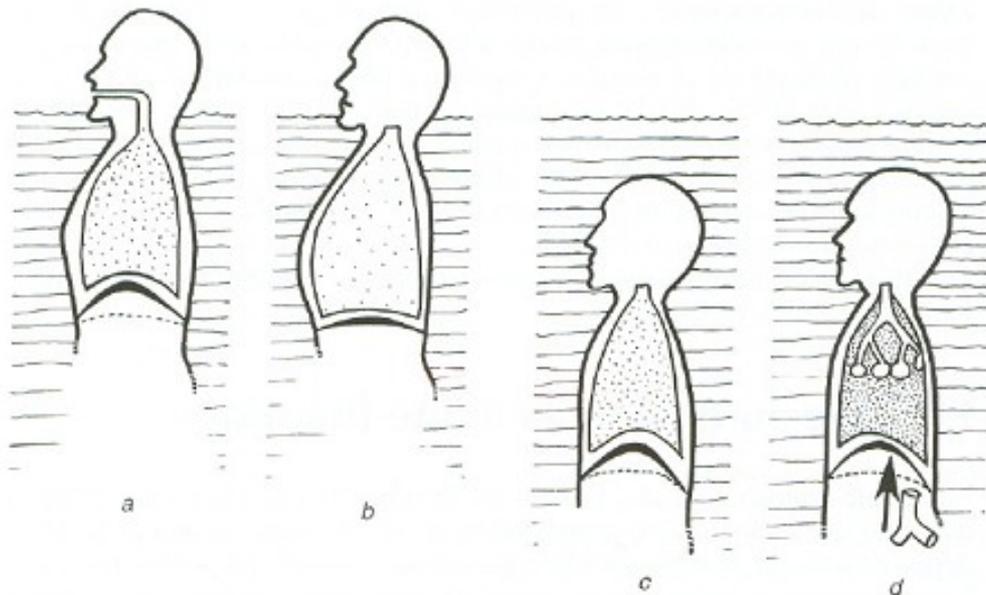


Fig. 9 : Plongée en apnée au-delà de la profondeur limite théorique (d'après Corriol, 1993).

- a. **Respiration à la surface, le corps étant immergé : les pressions intrathoraciques sont négatives.**
- b. **Apnée simple en inspiration forcée à la surface, glotte fermée : la pression intrathoracique est positive.**
- c. **Plongée en apnée : la profondeur limite théorique est atteinte, le volume pulmonaire est réduit par la pression au volume résiduel : la pression intrathoracique est égale à la pression hydrostatique (ou très proche).**
- d. **Au-delà de la profondeur limite, la pression intrathoracique devenant inférieure à la pression ambiante, le sang afférent est séquestré dans le thorax, où il tend à occuper tout l'espace qui lui est offert; l'air intrapulmonaire est progressivement refoulé dans l'espace mort anatomique.**

II-5. Mécanismes de rupture de l'apnée.

En cours d'apnée, bien avant la rupture, apparaît une activité motrice diaphragmatique, réalisant des mouvements respiratoires à glotte fermée.

Thooris, en 1921, concluait déjà : " *la durée du séjour dans l'eau est liée à la manière dont le plongeur satisfera le besoin de respirer qui le presse. Il existe trois besoins, par ordre d'urgence 1° le besoin alternatif d'expansion et de rétraction du thorax, qui relève de la volonté ; 2° le besoin d'élimination du gaz carbonique ; 3° le besoin d'oxygène,*

susceptible d'attendre plus longtemps la reprise du contact avec l'atmosphère".

L'apnée se déroule en plusieurs phases plus ou moins maîtrisées par la volonté.

En 1974, Lin décrit *la phase facile*, se déroulant entre le début de l'apnée et l'apparition des premières contractions diaphragmatiques ; puis *la phase de lutte*, marquée par des secousses diaphragmatiques puis pariétales, ressenties comme désagréables ; la sensation de striction thoracique croît ensuite rapidement, entraînant une "soif d'air" insupportable, mettant fin à l'apnée (fig. 10)

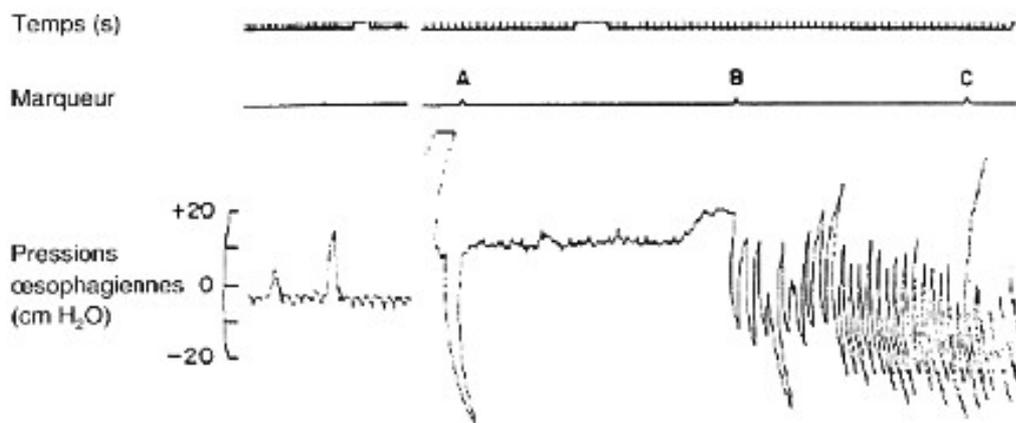


Fig. 10 : Enregistrement des pressions oesophagiennes au cours d'une apnée volontaire qui commence en A et se termine en C; en B débute l'activité musculaire respiratoire involontaire. Les grandes déflexions indiquent l'expiration et l'inspiration forcées qui précèdent l'apnée, au cours de laquelle le sujet pratique un exercice musculaire de 167 kgm/min; entre A et B, phase facile de l'apnée; entre B et C, phase de lutte (extrait de Lin et coll., 1974).

Différents stimuli vont aboutir à la rupture de l'apnée et à la reprise ventilatoire ; Il s'agit de stimuli chimiques (P_{aO_2} et P_{aCO_2}) et de stimuli d'origine nerveuse, de découverte plus récente.

II-5.1. P_aO_2 .

La diminution de la pression artérielle d'oxygène sous la valeur de 150 mmHg a un effet stimulateur sur les *chémorecepteurs des glomus*, il s'agit d'une action réflexe rapide.

Ce stimulus n'a que peu d'efficacité en comparaison de la pression partielle de CO_2 ou des facteurs nerveux.

II-5.2. P_aCO_2 .

La capnie est un stimulus efficace dans la rupture de l'apnée. Les *centres respiratoires* sont directement stimulés par une capnie supérieure à 30 mmHg et les *chémorecepteurs des glomus* sont activés par une capnie supérieure à 35-40 mmHg.

Les contractions diaphragmatiques, décrites par Lin comme déterminant le début de la phase de lutte, sont déclenchées pour une valeur remarquablement constante de P_ACO_2 de 47.25 ± 0.35 mmHg.

La rupture de l'apnée survient de façon imprévisible 20 à 150 secondes après les premières secousses.

II-5.3. Stimuli neurogènes.

Si en fin d'apnée, on fait respirer à un sujet le volume de gaz qu'il vient d'expirer, on obtient une prolongation de l'apnée de plusieurs dizaines de secondes (Fowler, 1954 ; Grimaud et Vanuxem, 1968).

Cette constatation a orienté les recherches vers la proprioception thoracique.

Guz et coll. ont montré en 1966 que la suppression des afférences thoraciques des nerfs vague et glosso-pharyngien prolonge l'apnée en supprimant les sensations pénibles.

Les contractions croissantes pariéto-diaphragmatiques proprioceptives engendrent la sensation de détresse respiratoire.

Le facteur initial résulterait de la diminution du contenu gazeux pulmonaire. Whitelaw en 1981 a montré le rôle essentiel des mouvements respiratoires dans la sédation de la " soif d'air ".

Ces stimuli neurogènes appartiennent à la vie de relation ; en effet, les sensations désagréables liées aux spasmes diaphragmatiques sont maîtrisées par la volonté, masquées par la distraction et l'exercice, diminuées par la déglutition.

Courteix et coll. (1992, 1993) ont prouvé l'interdépendance des stimuli chimiques et neurogènes ; la rupture de l'apnée est liée aux interactions entre l'augmentation de la $P_{A}CO_2$, la diminution du volume pulmonaire et l'absence d'informations centrales résultant de l'arrêt ventilatoire.

Les sensations proprioceptives l'emportent sur les informations chimiques dès que $P_{A}CO_2$ dépasse 45 mmHg.

II-6. L'hyperventilation.

L'hyperventilation est un mécanisme physiologique de compensation après un effort intense ou dans des conditions d'hypoxie relative (séjour en altitude). Elle est pratiquée par certains apnéistes, mais non dénuée de risques.

En augmentant la fréquence et l'amplitude des mouvements respiratoires pendant une durée suffisante (5 minutes), on obtient une modification des pressions partielles des gaz sanguins.

L'hyperoxie va rester modérée, passant de 100 à 120 mmHg, mais l'hypocapnie va être franche, baissant de 40 à 12 mmHg (fig. 11).

On note également une alcalose ventilatoire, le pH augmentant de 7,4 à 7,55.

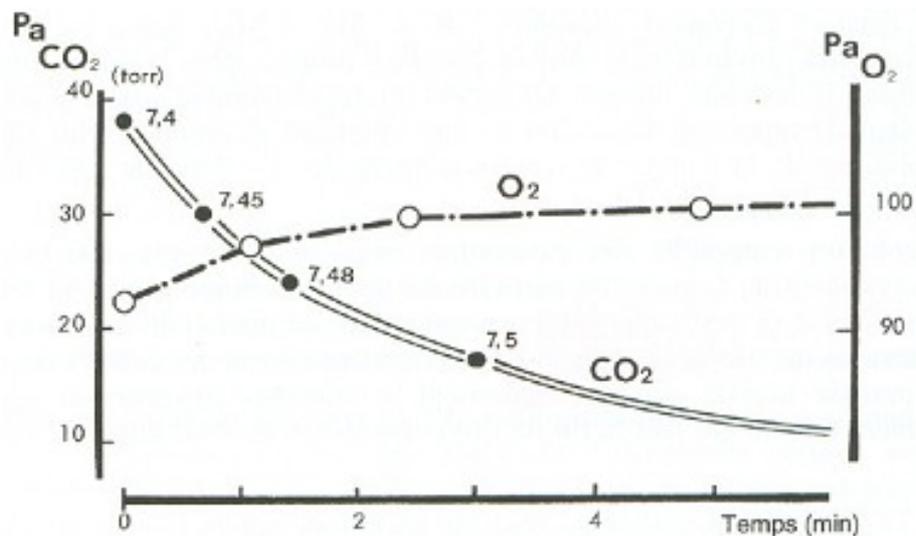


Fig. 11 : Evolution du pH et des pressions partielles artérielles d'oxygène et de dioxyde de carbone au cours d'une hyperventilation volontaire chez un adulte au repos -ventilation environ 3 fois la ventilation de repos- (d'après Corriol, 1993).

La faible augmentation de la pression partielle d'oxygène ne permet pas d'amélioration des performances ; mais l'hypocapnie crée une diminution de la ventilation spontanée et modère le stimulus " soif d'air ", améliorant le confort du plongeur et retardant ainsi l'émersion. La durée de l'apnée peut être prolongée de 30 %.

L'hypocapnie crée une vasoconstriction cérébrale intense qui aggrave en fin d'apnée l'hypoxie cérébrale, pouvant ainsi engendrer une perte de connaissance. Les pertes de connaissances en apnée surviennent souvent à des pressions partielles d'oxygène relativement modérées, qui seraient bien tolérées en l'absence d'hypocapnie (Landsberg, 1987).

Le risque essentiel de l'hyperventilation est la sensation erronée de confort respiratoire, conduisant à une poursuite au-delà des limites de la durée de l'apnée.

La physiopathologie de l'apnée est relativement bien connue -même si certaines zones d'ombre perdurent- et permet d'expliquer la majeure partie des phénomènes observée.

Ceci peut également aider les compétiteurs à comprendre leur activité et ce faisant, ne pas prendre trop de risques en la pratiquant.

Cependant, de nombreuses études restent encore à effectuer.

III. L'APNEE SPORTIVE.

Nous allons envisager ici la pratique de l'apnée en tant que sport, c'est à dire dans un but de progression et de dépassement de soi.

III-1. Historique.

La plongée en apnée existe depuis bien longtemps ; les hommes avaient trouvé dans la mer de la nourriture, des parures ou des ornements.

On retrouve trois principaux foyers fondateurs de la plongée en apnée :

- zone orientale de la Méditerranée (côtes d'Asie Mineure et Grèce insulaire),
- golfe Persique,
- mer Jaune (Corée du Sud, île de Cheju, côtes ouest de Kiou-Siou).

Le métier de plongeur s'est exercé sur différents littoraux, pour la récolte des perles en Chine, dans le golfe Persique, les Indes Orientales ou dans les îles Tuamotu (Polynésie).

Les Grecs anciens récoltaient les éponges (Hippocrate, Aristote).

Certains Méditerranéens récoltaient le corail rouge et les éponges.

L'activité très ancienne des ama coréennes et japonaises subsiste jusqu'à nos jours ; ces plongeuses en apnée récoltent des algues et des invertébrés comestibles en eau peu profonde (moins de 20 mètres) depuis vingt trois siècles, utilisant une technique relativement identique à travers les âges. Elles ont fait l'objet de nombreuses études et publications depuis les années 60. Il existerait encore 5000 ama au Japon et 5000 en Corée.

La descente en profondeur est facilitée par l'utilisation d'un lest, caillou ou plomb laissé au fond ou ramené à la surface avec la récolte.

Les lunettes auraient été inventées à Hawaï à la fin du XIX^e siècle.

Le masque, le tuba et les palmes semblent être des inventions européennes de la seconde moitié du XX^e siècle.

Les accidents étaient fréquents chez les plongeurs ; noyades, attaques de requins, mais surtout barotraumatismes.

La médecine hippocratique, après Aristote qui s'interrogeait sur "*les oreilles qui éclatent au contact de l'eau*", a proposé une scarification des narines et des oreilles avant la plongée, provoquant ainsi une surdité définitive mais supprimant l'épineux problème de la compensation.

Les performances des plongeurs en apnée n'étaient pas inférieures à celles réalisées actuellement.

On retrouve le récit d'une plongée à 80 mètres de fond en juillet 1913, réalisée par un plongeur grec, durant 3 minutes 35 secondes. Cet homme, nommé Giorgio Haggi Statti, assure avoir atteint 110 mètres en profondeur et pouvoir tenir une apnée pendant 7 minutes à 30 mètres.

La plongée en apnée est devenue, depuis la seconde moitié du XX^e siècle, un sport, dont la médiatisation a permis un développement important.

Le duel Jacques Mayol – Enzo Maiorca durant vingt années a fait connaître la discipline au grand public. L'enjeu était de franchir la barre symbolique des 100 mètres, que Mayol a franchi le premier en 1976.

Depuis cette époque, les compétitions se succèdent et le sport se développe, ainsi que les techniques utilisées.

III-2. Organisation de l'apnée sportive.

L'apnée est une discipline récente, développée par les Italiens vers 1950, maintenant pratiquée dans différents pays.

Les clubs sont encadrés par une fédération nationale et/ou par une association internationale.

L'apnée dépend de plusieurs fédérations non exclusivement dédiées à cette pratique.

III-2.1. Fédérations et associations.

- *FFESSM (fédération française d'études des sports sous-marins).*

Cette fédération nationale a été créée en 1955, lors de l'expansion des activités sous-marines. Elle n'est pas spécifique de l'apnée qu'elle autorise jusqu'à 40 mètres de profondeur. Elle encadre également la plongée en bouteilles, la pêche, la photo sous-marine, le hockey, l'archéologie et divers autres sports.

Cette fédération ne satisfait ni les apnéistes, ni les chasseurs sous-marins qui ont dû créer leurs propres structures.

- *CMAS (confédération mondiale des activités subaquatiques).*

Créée en 1959 par Jacques-Yves Cousteau, cette association a pour but de fédérer au niveau international les différents sports sous-marins. Elle a homologué les premiers records d'apnée.

- *AIDA (association internationale pour le développement de l'apnée).*

Cette association est désormais incontournable pour les apnéistes. Depuis 1992, elle encadre les différents records d'apnée, sans limite de profondeur ou de durée. Elle organise les surveillances des tentatives et valide les records internationaux. Elle participe à des formations de monitorat d'apnée (Specker, 1992).

- IAFD (international association of free divers).

Association créée en 1997 par l'apnéiste cubain Francisco Ferreiras dit " Pipin ", ancien titulaire du record du monde en "no limits" et destinée à encadrer certaines catégories de records en apnée (poids constant, poids variable, " no limits", tandem).

- FNPSA (fédération nationale de pêche sportive en apnée).

Depuis 2002, elle permet à la chasse sous-marine en apnée, à l'archéologie et à la biologie de l'écologie d'être autonomes.

III-2.2. Autres sports pratiqués en apnée.

Ils sont nombreux, relativement peu connus:

hockey, rugby, natation synchronisée, tir sur cible, orientation, nage avec palmes, photographie.

III-2.3. Catégories de records.

Les différentes catégories d'apnée sportive sont les suivantes:

- Apnée statique: épreuve de durée, sans dépense musculaire, réalisée en piscine.

- Apnée dynamique avec ou sans palmes: distance horizontale parcourue, réalisée en piscine de 25 ou 50 mètres.
- Poids constant avec ou sans palmes: discipline de profondeur; la descente et la remontée se font à la seule force des jambes, sans changer le lestage.
- Immersion libre: discipline de profondeur; il faut descendre et remonter à la seule force des bras, à l'aide et le long d'un filin, sans changer le lestage.
- Poids variable: descente avec un lest, remontée par ses propres moyens.
- Poids variable "no limits": descente avec une gueuse, remontée à l'aide d'un parachute ascensionnel ; discipline très médiatique.

III-3. Records actuels en apnée.

La discipline est très vivante et les records sont souvent améliorés. Cependant, à titre indicatif, voici les records actuels, homologués par l'AIDA en juin 2004.

III-3.1. Records internationaux.

- Apnée statique homme : 8'47" réalisé par T. SIETAS (Allemagne).
- Apnée statique femme : 6'31" réalisé par L. ERICSON (Suède).
- Apnée dynamique avec palmes homme : 200 m réalisé par P. PEDERSEN (Danemark).
- Apnée dynamique avec palmes femme : 158 m réalisé par J. NORDBLAD (Finlande).
- Poids constant avec palmes homme : -102 m réalisé par C. COSTE (Venezuela).
- Poids constant avec palmes femme : -78 m réalisé par M-R CRUICKSHANK (Canada).

- Immersion libre homme : -102 m réalisé par M. STEPANEK (République Tchèque).
- Immersion libre femme : -71 m réalisé par A. BRISENO (Etats Unis).
- Poids variable homme : -120 m réalisé par P. MUSIMU (Belgique).
- Poids variable femme : -122 m réalisé par T. STREETER (Etats Unis).
- "No limits" homme : - 162 m réalisé par L. LEFERME (France).
- 170 m réalisé par F. FERREIRAS (Cuba) non validé par l'AIDA.
- "No limits" femme : -160 m réalisé par T. STREETER (Etats Unis).

Dans les disciplines nécessitant peu d'efforts musculaires (poids variable, "no limits"), les records masculins et féminins sont très proches.

III-3.2. Records réunionnais.

Une réunionnaise, N. DESREAC, a détenu le record du monde pendant 6 ans jusqu'en avril 2004 en apnée dynamique avec palmes (150 m).

G. NERY, niçois venu s'entraîner à La Réunion, a été titulaire du record du monde en poids constant à – 96 mètres du 09/06/04 au 17/06/04.

S. PASSALACQUA (réunionnaise d'adoption) détient le record de France en poids constant (-62 m).

E. HOARAU (réunionnais) a longtemps détenu le record de France d'immersion libre (-62 m).

A. LE SAUCE (réunionnais d'adoption) a été titulaire du record du monde d'apnée statique à 7'35" pendant de nombreuses années et a permis un essor de la discipline à La Réunion depuis la fin des années 1990.

III-4. L'entraînement : principes et effets.

III-4.1. Principes d'entraînement pour l'apnée.

L'entraînement à l'apnée, comme tout sport, se fait en deux phases : l'entraînement de fond et l'entraînement spécifique en piscine et en mer.

- L'entraînement de fond: pour faire travailler la filière aérobie et améliorer son endurance, l'apnéiste doit pratiquer régulièrement la course à pied (à raison de 30 à 45 minutes par séance), le vélo ou le VTT (2 heures minimum) ou la natation (500 mètres en surface). Cet entraînement de fond donne la base nécessaire à la pratique de l'entraînement spécifique et aux performances.
- L'entraînement spécifique en piscine¹: on peut retrouver 3 axes différents;

-l'apnée dynamique, réalisée en pratiquant des longueurs sous l'eau. Le but de l'exercice est d'augmenter le temps d'apnée et la distance parcourue, tout en diminuant le temps de récupération; c'est un travail lactique et hypoxique.

-l'apnée statique, où l'on met l'accent sur le travail en hypercapnie. Réalisation d'apnées courtes après une inspiration, en augmentant le temps d'apnée et diminuant la récupération; la relaxation et la psychologie prennent ici une importance considérable.

-l'apnée ludique, elle permet de vérifier l'aquaticité des participants, leur aisance en immersion par la pratique de différents jeux en apnée.

Ces exercices, au-delà de la progression, font prendre conscience de ses propres limites.

¹ réf: DENOEL Franck, travail pour le monitorat AIDA *, 2002.

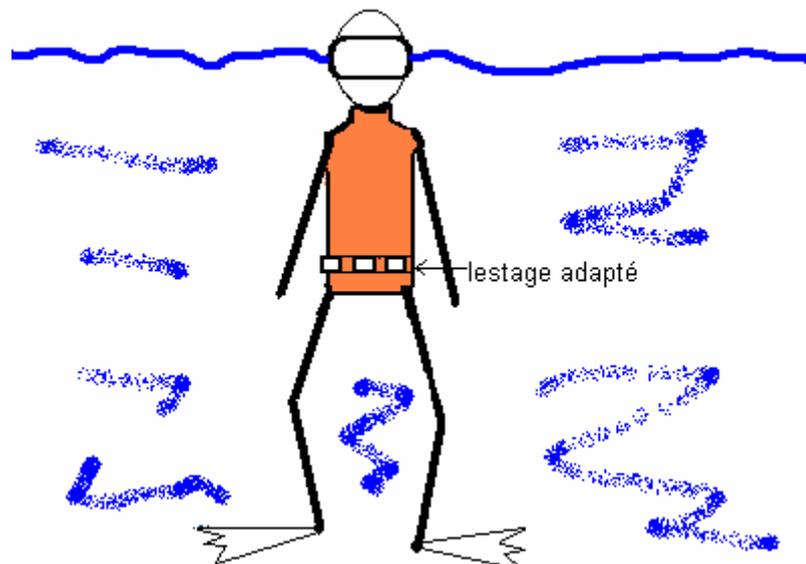
- L'entraînement spécifique en mer²: le travail peut suivre différents axes:

-la propulsion: réaliser un palmage de sustentation, faire le canard, descendre sur un filin lesté.

-la respiration: pratiquer des mouvements amples de ventilation, jusqu'à atteindre une sensation de bien-être.

-la compensation: réaliser une manœuvre de Valsalva, déglutir ou faire un essai de béance tubaire volontaire (subluxation antérieure de la mâchoire, qui crée chez certaines personnes une ouverture permanente de la trompe d'Eustache).

-la flottabilité: le volume pulmonaire et sinusien, la combinaison et le masque favorisent la flottabilité. Par contre, l'augmentation de la profondeur (à partir de 8 m) et le lestage font couler l'apnéiste ; il faut, pour chaque sujet, trouver le lestage qui convient. La manœuvre du ludion (**dessin 2**) permet de confirmer cette réussite.



Dessin 2 : le ludion.

² réf: MASANELLI Georges, livret pour la formation des moniteurs FFESSM.

-la sécurité: apprentissage des techniques de sauvetage, insister sur le binôme et la surveillance; cette partie sera développée dans le chapitre VI.

On peut cependant noter que, comme dans tout sport, chaque compétiteur a ses méthodes d'entraînement et ses astuces.

Ainsi, certains pratiquent la manœuvre dite "de la carpe" qui consiste à réaliser des succions-inspirations buccales en pression positive, permettant d'augmenter les réserves d'oxygène en chassant une partie du sang capillaire pulmonaire, en ouvrant les voies aériennes peu perméables et diminuant l'effet shunt.

Les Polynésiens effectuent des sifflements inspiratoires avant l'apnée dans le même objectif.

Dans la pratique de l'apnée, la mise en condition psychologique est fondamentale. Chaque pratiquant possède sa méthode de relaxation (eutonie, yoga ...) qui lui permet une concentration optimale.

III-4.2. Retentissement physiologique de l'entraînement.

- Effets chimiques:

L'entraînement spécifique à l'apnée augmente la tolérance l'hypoxie et potentialise l'utilisation des réserves en oxygène.

La sensibilité à l'hypercapnie est diminuée; on note aussi une meilleure efficacité du système tampon du dioxyde de carbone, une moindre production de lactate et une augmentation de capacité de stockage du CO₂. La P_ACO₂ des sujets entraînés est supérieure à la normale, de même la P_aCO₂ est majorée et le pH légèrement inférieur à la normale.

Les sujets entraînés ont des capacités supérieures permettant de prolonger l'apnée, mais en favorisant l'hypoxie et l'hypercapnie, ce qui majore le risque d'accident.

- Effets physiques:

La force des muscles inspiratoires (diaphragme, muscles intercostaux) est nettement accrue par l'entraînement et induit une augmentation des volumes pulmonaires (fig. 12).

Delapille et coll. (2002) ont montré que l'entraînement spécifique à l'apnée accroissait la possibilité de mieux supporter l'absence de mouvements respiratoires à l'origine des contractions musculaires involontaires du diaphragme. Cette adaptation agit en synergie avec la diminution de sensibilité au CO₂ et permet d'augmenter la durée de l'apnée.

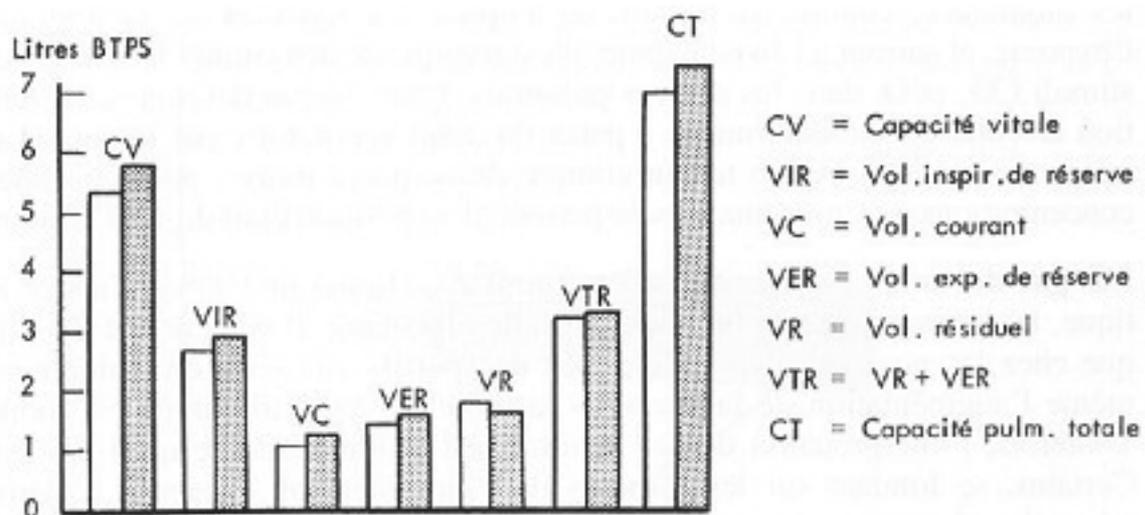


Fig. 12 : Effets de l'entraînement sur les différents volumes pulmonaires; les colonnes pointillées représentent les volumes après l'entraînement (d'après Schaefer, 1955).

- Effets cardiovasculaires:

L'intensité de la bradycardie est peu modifiée par l'entraînement, mais la diminution de la fréquence cardiaque est atteinte plus rapidement (par l'action des *récepteurs d'étirement* ?), permettant une économie d'énergie plus importante.

- Effets psychologiques:

La motivation et la relaxation, bien que non quantifiables et difficiles à explorer, sont très certainement consolidées et favorisées par l'entraînement. Celui-ci induit une meilleure connaissance de soi et de ses limites.

On peut en particulier reconnaître le moment de survenue du premier spasme ou de la rupture de l'apnée, variables selon l'état de forme ou la motivation du jour.

- Durée des effets de l'entraînement:

Les effets de l'entraînement sont vérifiés par les pratiquants dès le premier mois et optimaux en quatre mois. Ils sont relativement fugaces et s'annihilent en trois mois.

III-5. Incidents et accidents.

La pratique de l'apnée n'est pas physiologique pour l'homme. Les accidents et les incidents au cours de la pratique sont fréquents, connus des apnéistes confirmés, mais souvent ignorés de la majorité des amateurs.

III-5.1. Barotraumatismes.

L'augmentation de pression dans l'eau par rapport aux cavités aériennes internes doit amener l'apnéiste à effectuer une manœuvre de compensation, appelée manœuvre de Valsalva, qui consiste à souffler dans la bouche, nez pincé et glotte fermée, afin d'obtenir une équipression entre le pavillon et l'oreille interne, pour éviter les lésions tympaniques.

On peut également pratiquer la béance tubaire volontaire ou une déglutition, suffisantes chez certaines personnes et moins traumatisantes.

Malgré ça, les barotraumatismes sont fréquents en apnée et peuvent toucher différents sites :

- Barotraumatismes de l'oreille moyenne: créés par une compensation insuffisante; ils s'expriment par une otalgie, une surdité de transmission ou une otorragie; les lésions peuvent aller jusqu'à une perforation tympanique.
- Barotraumatismes de l'oreille interne: il existe alors une douleur, des nausées, une hypoacousie ou des vertiges.
- Barotraumatismes sinusiens: on peut noter un épistaxis, un larmolement.
- Barotraumatismes dentaires: certaines dents soignées ou cariées peuvent comporter une microbulle d'air qui va aussi subir la pression et donner des algies intenses, voire un éclatement dentaire.
- Surpression pulmonaire:  d me aigu du poumon avec dyspnée, hémoptysie; accident rare en apnée, mais qui est le risque important des profondeurs extrêmes entraînant un transfert sanguin (*blood-shift*) important.
- Plaquage du masque: on peut l'éviter en soufflant par le nez; il peut induire des hémorragies sous conjonctivales sans conséquence.

III-5.2. Epigastralgies.

Ce désagrément affecte de nombreux pratiquants, authentifié par l'existence d'un reflux gastro-oesophagien. Il est lié à trois éléments:

-La pression hydrostatique exercée sur la paroi abdominale induit une augmentation de pression dans l'estomac et l'oesophage.

-Le refoulement du diaphragme vers le thorax raccourcit l'oesophage et fait remonter le sphincter inférieur de l'oesophage.

-L'alternance des positions "tête en haut" et "tête en bas" modifie la situation de la poche à air gastrique.

III-5.3. Hypercapnie lente.

La respiration en surface avec un tuba mal adapté, qui augmente l'espace mort anatomique, associée à des apnées successives sans récupération suffisante, favorise l'hypercapnie. Celle-ci se manifeste lentement par des céphalées, une asthénie, une désorientation qui peut aboutir à une noyade.

L'homologation obligatoire du tuba ainsi qu'une récupération suffisante peuvent éviter la survenue de ce problème.

III-5.4. Perte de connaissance anoxique.

Le nombre d'accidents mortels est évalué à 20 par an en France (Ziannini, 1987). Nous verrons que le nombre de cas est difficile à quantifier à La Réunion.

Par ailleurs, nous ne pouvons recenser les syncopes non mortelles, c'est à dire les cas où le syncopé a été secouru par un accompagnant et a survécu.

Cette perte de connaissance est liée à une hypoxie profonde évaluée à 20 mmHg (Smit, 1974). Les troubles comportementaux surviennent pour une pression d'oxygène inférieure à 40 mmHg; une diminution insidieuse de la conscience avec conservation des mouvements automatiques (nage par exemple) survient aux environs de 40 à 30 mmHg; la perte de connaissance accompagnée ou non de convulsion se produit à partir de 30mmHg.

Elle se produit plus volontiers lors de la remontée, et ce, d'autant plus que l'apnéiste fournit des efforts musculaires importants (de là découlait l'ancienne théorie du "rendez-vous syncopal des 7 mètres").

L'hypoxie étant majorée par une vitesse de remontée rapide, les compétiteurs pratiquant l'apnée en "*no-limits*" lâchent le parachute ascensionnel quelques mètres avant la surface.

La perte de connaissance peut avoir lieu jusqu'à 5 secondes après l'émersion; elle est brutale, à " l'emporte-pièce " et n'est pas mémorisée par le sujet.

On note un arrêt des mouvements respiratoires.

La reprise ventilatoire s'effectue spontanément dans la majorité des cas; si cela se fait sous l'eau, il y aura une noyade secondaire avec arrêt cardiaque et décès.

Si la reprise respiratoire ne se fait pas, une stimulation cutanée ou un bref bouche-à-bouche suffisent à la déclencher à nouveau.

Comme dans tous les cas de noyade, la réanimation est à poursuivre longuement si nécessaire.

Des prodromes sont parfois retrouvés (Oliveras, 1996) :

Avant l'apnée, le plongeur peut noter un picotement des extrémités, des sensations de flottement, une excitation importante.

Au fond, il existe une sensation de confort inhabituel ou une disparition de l'envie de respirer.

Pendant la remontée, l'apnéiste remarque une lourdeur ou une chaleur des cuisses, des troubles visuels, un confort inhabituel ou au contraire une peine anormale.

Cette syncope anoxique peut atteindre tout apnéiste, ce d'autant plus qu'il a effectué une hyperventilation (fig. 13), qu'il repousse ses limites, qu'il poursuit un poisson.

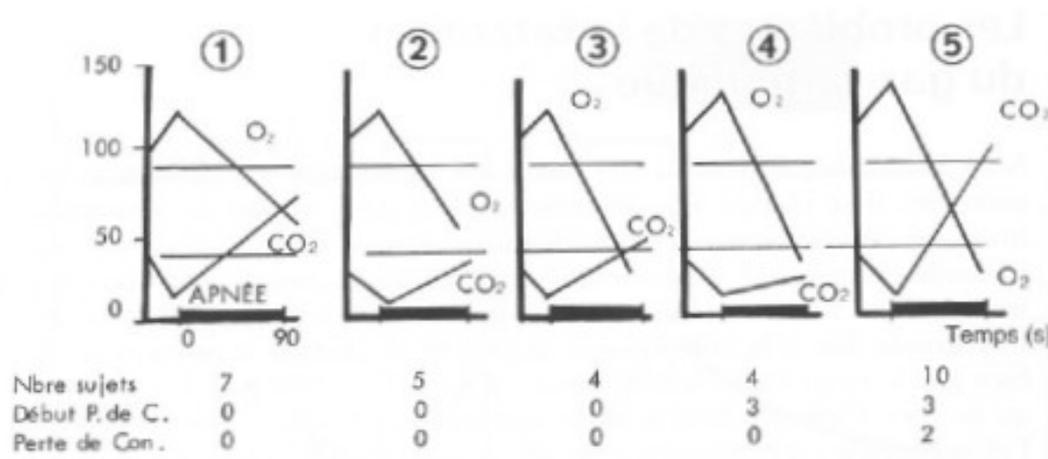


Fig. 13 : Les cinq modalités d'évolution des pressions partielles alvéolaires de dioxyde de carbone et d'oxygène, après hyperventilation, au cours d'apnées de durées variables avec plongée fictive à 5 mètres. Les combinaisons les plus dangereuses sont de type 4 (hypoxie + hypocapnie = 3 débuts de perte de connaissance sur 4 sujets) et de type 5 (hypoxie + hypercapnie = 2 pertes de connaissance et 3 débuts de perte de connaissance sur 10 sujets) (d'après Landsberg, 1987).

Les pratiquants d'apnée individualisent une autre entité clinique, non répertoriée dans la littérature, qu'ils nomment "*samba*".

Il s'agit de manifestations cloniques partielles touchant un membre supérieur, la parole ou le visage, sans perte de connaissance vraie, qui se produisent lors d'une hypoxie importante, mais non syncopale.

La survenue d'un épisode de ce type à l'émersion d'une tentative de record donne lieu à une non-homologation de celui-ci.

III-5.5. Morts d'origine cardiaque.

L'immersion, surtout en eau froide, provoque, outre la bradycardie, des troubles du rythme cardiaque, le plus souvent chez des sujets jeunes et vagotoniques. Ces perturbations pourraient entraîner des arrêts cardiaques (Bove, 1973).

La bradycardie, souvent déjà importante, pourrait être majorée par l'hypoxie secondairement au cours de l'apnée. Lamb et coll. (1958) ont décrit des pauses cardiaques dépassant 12 secondes, pouvant provoquer une syncope.

Les troubles arythmiques sont souvent impressionnants; ils n'entraînent cependant pas obligatoirement une syncope.

Les morts subites d'origine cardiaque dans l'eau semblent rares.

III-5.6. Accident de décompression en apnée.

Paulev en 1965 et d'autres après lui ont décrit l'existence d'une maladie de décompression en apnée, déjà connu chez les Polynésiens sous le nom de maladie du Taravana.

Cet accident de décompression survient dans le cas de plongées profondes (supérieures à 20 mètres), longues et itératives.

Lors d'une plongée en apnée, la pression partielle d'azote augmente au fond de l'eau et se normalise au retour à la surface. Lorsque les plongées se succèdent et d'autant plus avec la remontée rapide et active en apnée, une libération de bulles peut avoir lieu dans le sang, dès lors que les pressions partielles d'azote atteignent un niveau critique et que les tissus sont saturés.

Des accidents neurologiques sont individualisés, qui régressent lors de la recompression en caisson hyperbare.

L'utilisation du scooter sous-marin peut favoriser la survenue d'accidents de ce type, mais également la pratique intensive de la chasse sous-marine (Héran, 1990).

N. Héran nous propose un tableau indiquant le nombre maximal de plongées que l'on peut effectuer sans risque, en fonction de la profondeur atteinte, de la durée de l'apnée, et de la durée totale de la pratique (annexe 1).

III-5.7. Noyades non spécifiques.

Une noyade peut se produire pendant l'apnée pour d'autres raisons, accidentelles ou non :

épuisement, choc avec un bateau ou un récif, accrochage avec un filet, attaque de murène ou de requin.

Ces noyades sont fréquentes et parfois difficiles à différencier d'un accident spécifique de l'apnée.

D'un métier, l'apnée est devenue un sport de compétition, avec une recherche effrénée des meilleures performances. D'autre part, c'est un loisir accessible à tous sans formation.

Les accidents semblent donc fréquents, mais les évaluations sérieuses restent pauvres sur le sujet.

IV. L'APNEE A LA REUNION.

La Réunion se positionne au deuxième rang national, après la région niçoise, pourvoyeur de compétiteurs de haut niveau.

Le but de ce chapitre est d'évaluer les structures présentes à La Réunion, d'étudier la population apnéiste et ses motivations, de rechercher les facteurs de réussite locale, enfin d'envisager le nombre d'accidents.

La rédaction de cette partie a été réalisée après avoir rencontré les différents acteurs de l'apnée réunionnaise. Nous avons essayé de cerner leurs motivations, de comprendre leurs problèmes et leurs interrogations. Il faut noter que le milieu de l'apnée réunionnaise, bien que comptant de grands champions se préparant pour des échéances proches et déterminantes pour leur carrière, est accessible, agréable et disponible. Il en est de même pour les chasseurs sous-marins, licenciés bien entendu.

IV-1. Les clubs et les associations: historique et situation actuelle.

IV-1.1. Historique.

L'histoire de l'apnée à La Réunion est récente.

Le premier à s'illustrer est Franck Mességué, qui tente le record du monde en poids constant à – 70 mètres en 1989, mais sans succès. Il est victime d'une syncope pendant la tentative et est heureusement secouru.

Les performances réalisées par Andy Le Sauce, professeur d'éducation physique, arrivé à La Réunion en 1991, sont ensuite reconnues.

Il a remarqué fortuitement ses capacités pour l'apnée statique et s'est donc entraîné pour réaliser son premier record du monde le 15/10/92, réalisant une apnée de 6'32".

Dans son sillage, la discipline se développe. Le club Oxygène A Zot (O₂N₂) est créé en 1992, des compétiteurs de haut niveau apparaissent.

En 1996, le club Apnée Réunion est créé. Cette même année, Andy Le Sauce améliore son record d'apnée statique à 7'35", record qui fera foi jusqu'en 2001.

Le deuxième championnat du monde d'apnée par équipes se déroule en Sardaigne en juin 1998, encadré par l'AIDA.

La Réunion possède sa propre équipe, pour la première fois individualisée de la France. Des apnéistes de haut niveau font partie de cette équipe, encadrée Jean Waldmann (blessé) : Andy Le Sauce, Eric Hoarau (record de France d'immersion libre), Stéphane François, Stéphane Grand, Frédéric Taisne, Corinne Delomnède (remplaçante). L'équipe réunionnaise termine la compétition au 3^e rang mondial.

Quelques mois après ce championnat, Nathalie Desréac porte le record du monde d'apnée dynamique avec palmes à 150 mètres, le 14/11/1998, en piscine de 25 m. Ce record n'a été battu que très récemment en avril 2004.

Par ailleurs, les chasseurs sous-marins réunionnais sont des apnéistes confirmés; ils ont créé un championnat régional annuel, qualificatif pour le championnat de France.

Le développement de cette discipline doit beaucoup à Guy Gazzo, personnage historique de la chasse sur l'île, qualifié à nouveau pour le championnat national métropolitain en 2004 en individuel et en double, accompagné d'Antoine Rodulfo.

IV-1.2. Les clubs et associations en 2004 à La Réunion.

Actuellement, quatre associations peuvent encadrer les pratiquants d'apnée à la Réunion.

- L'école réunionnaise d'apnée (ERA): créée en 1999 par Guy Gazzo et présidée par Valérie Gazzo. Cette association est basée dans l'Ouest de l'île.
Elle est affiliée à la fédération nationale (FFESSM) et à la fédération de chasse sous-marine (FNPSA). Les entraînements ont lieu pendant les 6 mois d'été, en mer; on a d'abord un apprentissage de la technique de l'apnée, puis des apnées exploratrices, pouvant initier à la chasse sous-marine. L'ERA compte 25 licenciés en 2004.
- Apnée Réunion Loisir: ce club saint paulois, créé en 2002 et affilié à la FFESSM, est présidé par Eric Bourgey. Il propose des formations à l'apnée en piscine. Ses licenciés sont au nombre de 25. Il n'y a pas de visée compétitive dans ce club.
- Sport Océan: cette association existe depuis 2003, sous la présidence d'Eric Hoarau. Elle suit deux objectifs : la formation et l'encadrement d'apnéistes débutants ou en cours de perfectionnement et la préparation d'apnéistes de haut niveau pour la compétition internationale (en 2004 : Sophie Passalacqua et Guillaume Néry). Elle possède pour cela une double affiliation: FFESSM pour les simples pratiquants et AIDA pour les compétiteurs. Sport Océan, association saint-leusienne, compte 30 licenciés, propose des entraînements en piscine pendant la semaine et en mer le samedi ou dimanche.
- Immersion Pure: association de camarades pratiquant l'apnée, créée en 2000. Présidée par Nathalie Desréac-Brunet, cette structure est

actuellement dédiée à l'entraînement pour les futures compétitions de l'ancienne championne du monde. Les entraînements se déroulent en semaine à la piscine de Saint-Paul et les sorties en mer ont lieu le samedi.

L'existence de ces quatre structures, qui ont approximativement les mêmes modes de fonctionnement, témoigne de la vitalité actuelle de l'apnée à La Réunion.

Pour essayer de cerner les pratiquants de ce sport, nous leur avons fait remplir un questionnaire.

IV-2. La population apnéiste à La Réunion.

Il faut tout d'abord rappeler que les pratiquants de l'apnée sont très nombreux à La Réunion et que leur nombre n'est pas évaluable.

En effet, les fonds étant facilement accessibles pour tout un chacun, les amateurs de palmes-masque-tuba sont légion et ne peuvent entrer dans notre évaluation, puisqu'ils sont, pour la majorité, non licenciés. Ils sont, malgré cela, soumis aux mêmes risques que les licenciés, voire même plus exposés car ils ne connaissent pas les dangers liés à la pratique irraisonnable de l'apnée.

Les chasseurs sous-marins (souvent des réunionnais ayant appris à chasser avec des amis) paient un lourd tribut à la mer. Les accidents mortels en apnée à La Réunion touchent fréquemment les chasseurs sous-marins. Certains d'entre eux, qui se sentent limités dans leur pratique, s'adressent à Guy Gazzo afin d'améliorer leur aisance et leurs performances.

IV-2.1. Questionnaire.

Nous avons fait remplir un questionnaire simple aux licenciés des clubs d'apnée, afin de déterminer leurs origines, leurs pratiques et leurs motivations ([annexe 2](#)).

Nous voulions par cette démarche caractériser la population apnéiste. En nous rendant aux entraînements, nous avons rencontré certains licenciés, qui ont pu en quelques minutes, remplir cette page.

Il s'agit de préciser ses âge, sexe et profession. Nous voulons aussi nous renseigner sur l'âge du premier contact avec la mer, la fréquence des entraînements d'apnée et de fond par semaine, la pratique de la chasse sous-marine, la participation à des records d'apnée. Puis, nous évaluons les performances de durée et de profondeur de chacun et la survenue de syncope. Enfin, nous nous renseignons sur leurs motivations dans la pratique de l'apnée.

IV-2.2. Résultats.

Nous avons pu étudier 22 questionnaires, dont voici les résultats :

- Age : l'âge moyen des pratiquants est de 34 ans ; le plus jeune a 21 ans et le plus âgé atteint 65 ans.
- Sexe : 6 femmes pratiquent l'apnée, représentant 27 % des licenciés.
- Profession : les professions sont variées, plutôt réparties dans la classe moyenne ; à noter une prépondérance (36%) d'enseignants.
- Origine : seulement 3 personnes sont nées à La Réunion ; les 19 autres sont métropolitains.
- Age lors du premier contact avec la mer : invariablement au cours de la petite enfance ; la moyenne est autour de 4 ans.

- Fréquence des entraînements d'apnée par semaine : la majorité des apnéistes s'entraîne très régulièrement ; la moyenne calculée atteint 2.76 entraînements par semaine.
- Pratique d'un sport de fond : la plupart d'entre eux (14, soit 63 %) pratique la course à pied ou le vélo.
- Pratique de la chasse sous-marine : 40 % des apnéistes interrogés (soit 9) chassent.
- Participation à des records d'apnée : 6 apnéistes sur les 22 sont des compétiteurs de haut niveau. Nous déterminons deux groupes : les compétiteurs (n=6) et les amateurs (n=16).
- Profondeur atteinte : 11 apnéistes ne peuvent descendre sous 40 mètres ; 9 d'entre eux vont au-delà de 40 mètres ; 2 ne se prononcent pas. Le détail des profondeurs atteintes est le suivant :

Profondeur atteinte	Nombre d'apnéistes
0 – 15 mètres	2
15 – 30 mètres	5
30 – 40 mètres	4
40 – 70 mètres	5
70 – 99 mètres	3
100 mètres	1

Tableau 2 : profondeurs atteintes par les apnéistes réunionnais interrogés.

- Durée en apnée statique : nous recensons 10 apnéistes pouvant réaliser des apnées inférieures à 5 minutes et 10 autres dépassant les 5 minutes ; 2 personnes ne se prononcent pas.

Le détail des performances est consigné ci-après :

Durée d'apnée statique	Nombre d'apnéistes
0 – 1'30	0
1'30 – 2'59	2
3'00 – 3'59	3
4'00 – 4'59	5
5'00 – 5'59	4
6'00 – 6'59	4
> 7'00	2

Tableau 3 : durée d'apnée statique réalisée par les apnéistes réunionnais interrogés.

- *Survenue de samba et de syncope* : pour l'analyse de cet item, nous avons divisé les 22 apnéistes en deux groupes : les compétiteurs (6 personnes participent à des records) et les amateurs (16 pratiquants). En effet, nous avons remarqué des disparités importantes nécessitant une attention plus précise.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant (tableau 4) :

Nombres d'apnéistes	Nombres d'incidents			
	Compétiteurs (6)	Amateurs (16)	Total (22)	
SAMBAS	0-2	1	2	7
	3-7	1	0	
	>7	2	1	
SYNCOPEs	0-2	2	3	8
	3-7	2	0	
	>7	1	0	
Total sambas		5	3	
Total syncope		5	3	

Tableau 4 : nombre d'accidents survenus aux apnéistes réunionnais interrogés.

Il faut remarquer que 10 apnéistes sur 22 ont subi des accidents, soit 45 % des personnes interrogées.

- Motivations dans la pratique de l'apnée : cet item a donné des réponses variées, que nous avons essayé de regrouper par thèmes généraux (**tableau 5**).

Les motivations les plus souvent notées sont la relaxation, la connaissance de soi, l'exploration des fonds sous-marins et la compétition.

Nombre d'apnéistes Motivations	Compétiteurs (6)	Amateurs (16)	Total (22)
Relaxation, bien-être, plaisir.	3	10	13
Exploration des fonds sous-marins, amour de la mer.	3	7	10
Connaissance de soi.	3	6	9
Compétition, records.	4	3	7
Pratique d'un sport, d'un jeu.	1	5	6
Aisance en mer	0	4	4
Participation à une équipe.	1	2	3
Pratique de la chasse.	0	2	2

Tableau 5 : motivations dans la pratique de l'apnée chez les apnéistes réunionnais interrogés.

IV-2.3. Discussion.

L'analyse des questionnaires que nous avons collectés nous amène à certaines remarques sur les pratiquants de l'apnée à La Réunion.

Ce sont, pour la plupart, des hommes entre trente et quarante ans.

Ils ont tous eu un contact précoce avec la mer, ce qui minore les réactions d'appréhension vis à vis de ce milieu.

Les Réunionnais de naissance ne semblent pas attirés par l'apnée. Est-ce par méconnaissance? On peut rappeler que la population réunionnaise ne

cultive pas de tradition de bains de mer comme cela peut être le cas en France métropolitaine, bien que les mentalités évoluent doucement.

Les apnéistes ont des professions variées, sont volontiers enseignants et généralement issus de la classe moyenne.

On peut noter une pratique très régulière du sport chez les personnes interrogées, puisque 63 % d'entre elles s'adonnent à un sport de fond et que l'entraînement d'apnée est réalisé 2.76 fois par semaine en moyenne. Certains compétiteurs s'entraînent plus de 5 fois par semaine.

Nous retrouvons un nombre important (40 %) d'amateurs de chasse sous-marine, ce qui met en défaut l'idée généralement véhiculée de l'antagonisme entre apnée pure et chasse.

Les six compétiteurs en apnée sont des sportifs de très haut niveau. Cinq d'entre eux sont ou ont été titulaires de records de France ou du monde dans diverses disciplines. Leur rôle dans les clubs se partage entre l'entraînement spécifique pour leurs futures compétitions et l'enseignement aux autres licenciés. Ils sont tous titulaires d'un diplôme d'initiateur ou de moniteur d'apnée.

Quant aux performances réalisées par les apnéistes interrogés, elles témoignent du haut niveau de ceux-ci. Dix d'entre eux descendent au-delà de 40 mètres et dix apnéistes sont capables de dépasser 5 minutes en apnée statique (pour mémoire, le record mondial féminin atteint 6'31").

Le nombre d'accidents semble être minimisé par les pratiquants. Cependant, l'analyse montre clairement le risque élevé d'accident chez les compétiteurs (chacun d'entre eux a fait au moins une samba ou une syncope), alors qu'il est moindre chez les amateurs (cinq amateurs sur

seize ont eu un accident). Ceci prouve une fois de plus le risque réel de la performance poussée.

La motivation première des apnéistes est la relaxation, le bien-être. Le contexte socio-économique actuel joue-t-il un rôle?

Les apnéistes veulent aussi explorer la mer et témoignent de leur amour de ce milieu.

Ils veulent par ailleurs parfaire leur connaissance d'eux-mêmes. L'apnée est effectivement une activité basée sur la concentration et la maîtrise mentale, amenant à une meilleure connaissance de ses propres limites. Sept apnéistes pratiquent pour le plaisir de la compétition.

Nous pouvons noter que deux apnéistes veulent améliorer leur technique de chasse sous-marine, alors que neuf d'entre eux la pratiquent. La chasse est un loisir pour certains apnéistes.

Par ailleurs, quatre apnéistes voudraient améliorer leur aisance en mer.

Nous avons pu voir que l'apnée à la Réunion est une activité d'adultes mûrs, sportifs, réalisant de bonnes performances. Leurs objectifs sont surtout la relaxation, le bien-être, l'exploration des fonds sous-marins et la connaissance de soi. Cependant, lorsqu'ils poussent leurs capacités pour réaliser des performances, ils peuvent être l'objet de syncope ou de samba.

IV-3. Tentatives de records internationaux à La Réunion.

L'AIDA, organisation qui encadre et valide les records du monde, impose des règles dans l'annonce d'une tentative. Cette annonce doit être faite officiellement et publiquement 3 mois avant la compétition, alors que la profondeur sera précisée avant l'épreuve.

A La Réunion, Sophie Passalacqua et Guillaume Néry ont annoncé qu'ils allaient tenter le record du monde de poids constant en juin 2004.

Le 09 juin 2004, en baie de Saint-Leu, Guillaume Néry bat le record du monde de descente en apnée en poids constant, portant ce record à 96 mètres. Sophie Passalacqua échoue dans sa tentative.

Le déroulement de l'épreuve se fait dans le calme. Le compétiteur est situé avec le juge, le médecin et les accompagnateurs sur le bateau à partir duquel un filin lesté est envoyé par le fond. La profondeur est vérifiée par les appareils de mesure. Une caméra est fixée sur le lest au fond, permettant de vérifier par la suite que le virage à 96 mètres avec prise du témoin se réalise dans les règles, sans appui sur le filin ou autre irrégularité. Guillaume Néry est vêtu d'une combinaison intégrale avec capuche, mais sans masque ni lunettes. La descente se fera les yeux fermés, permettant d'autant plus l'intériorisation. Arrivé à proximité du fond, il ouvre les yeux, repère et saisit le témoin, vire puis commence la remontée toujours les yeux fermés. Ensuite, il faudra palmer et tenir, les cuisses se durcissant à chaque mouvement. Lors de l'émersion, le compétiteur ne doit être touché ou soutenu, le juge vérifiera l'absence de perte d'intégrité physique ou manifestations cloniques, voire perte de connaissance.

Le record sera validé quelques mois plus tard, après analyse des contrôles anti-dopage et visionnage des films.

Nathalie Desréac-Brunet prévoit une tentative de record mondial sur différentes disciplines en novembre 2004. Ses résultats à l'entraînement sont très encourageants.

IV-4. Facteurs de réussite locale.

Comment expliquer la réussite de l'apnée en compétition à La Réunion?

Plusieurs facteurs interviennent. Nous pouvons remarquer que deux des quatre champions réunionnais actuels sont des transfuges des clubs de Nice (NUC et CIPA), venus à La Réunion dans le cadre d'une équipe entraînée par Eric Hoarau.

IV-4.1. Capacités individuelles.

Tout le monde ne devient pas apnéiste; ce sport nécessite certaines propriétés physiques et psychologiques qui peuvent être améliorées par l'entraînement.

- Capacités physiques : l'apnéiste possède une capacité vitale pulmonaire importante, les muscles inspiratoires sont puissants. La musculature est adaptée à l'aérodynamisme, le palmage est efficace. Le sportif est volontiers bradycarde. Prenons l'exemple de Nathalie Desréac-Brunet. Sa fréquence cardiaque de repos est 46 battements par minute. Pendant l'apnée dynamique, la bradycardie se majore malgré l'effort et elle a mesuré une fréquence de 20 battements par minute. L'apnéiste français Loïc Leferme a rapporté avoir mesuré sa fréquence cardiaque en profondeur extrême à 7 battements par minute.
- Psychologie : la maîtrise mentale est indispensable à la réussite. Tous les compétiteurs pratiquent d'une façon ou d'une autre la relaxation. D'autre part, ils témoignent tous d'un plaisir à effectuer leur sport, ce qui, comme dans les autres disciplines sportives, est nécessaire à la réalisation de performances.

IV-4.2. Existence d'un collectif.

L'équipe est primordiale pour la réussite; l'entraîneur favorise la mise en confiance et permet la perfection du geste et des techniques; l'émulation du groupe incite au dépassement. A la Réunion, les clubs sont organisés en équipes regroupant des pratiquants de bon –voire de haut niveau-, permettant aux compétiteurs d'évoluer dans un bon climat, favorisant le relâchement et la performance.

IV-4.3. Climat tropical.

Le climat réunionnais et la température tempérée de l'eau de mer permettent une pratique de l'apnée toute l'année. La dépense énergétique est moins importante dans les eaux chaudes. L'eau claire, bleue, met en confiance les compétiteurs. L'existence de ces conditions est une des premières raisons invoquées par les Niçois pour leur venue à la Réunion.

IV-5. Accidents recensés à La Réunion.

IV-5.1. Accidents.

Nous n'avons aucune statistique pour évaluer le nombre d'accidents ou de décès survenant au cours de l'apnée à La Réunion.

Les accidents bénins, fréquents, type épigastralgies ou barotraumatismes, sont parfois évoqués chez le médecin généraliste, mais non relevés en statistique. Il eut fallu réaliser une étude prospective, ce qui n'était ni dans nos moyens, ni dans nos buts.

On peut évaluer le nombre de "sambas" ou de syncopes anoxiques chez les licenciés, nombre qui semble sous-estimé d'après certains témoignages.

En effet, par exemple, un grand champion réunionnais dénombrait un total de 10 syncopes pendant toute son activité, alors que ses partenaires d'entraînement ont pu assister, dans les périodes précédant la compétition, à une syncope par séance.

Il est certain que les sportifs redoutent toujours l'œil "réprobateur" du médecin sur leur pratique, qu'ils estiment -et à raison le plus souvent- maîtriser plus que lui.

IV-5.2. Décès.

Nous avons uniquement pu recenser les décès survenus au cours d'apnées par l'examen d'articles de journaux ou recueil des souvenirs des uns ou des autres.

Nous excluons les noyades accidentelles, fort nombreuses à La Réunion, qui possède une mer houleuse et agitée de courants puissants.

Nous avons répertorié 14 décès d'apnéistes, dont 12 (entre 1991 et 2003) liés probablement à une syncope anoxique et 2 décès de chasseurs sous-marins liés à une attaque de requins en 1975 et 1999, d'après les données du Dr Géry Van Grevelinghe, spécialiste réunionnais et mondial du requin.

Ce nombre est vraisemblablement en dessous de la réalité.

Tous les tués étaient des hommes ; leur moyenne d'âge variait autour de 40 ans. Un des décès est survenu la nuit. Onze parmi les accidentés étaient des réunionnais habitués à la mer et l'apnée. Un seul d'entre eux passait ses vacances à la Réunion.

Nous avons réalisé un tableau regroupant les circonstances de décès de ces douze hommes (**tableau 6**) :

Activité pratiquée / Circonstances	Chasse	Apnée loisir	Total
Seul	3	3	6/12
Isolé	4	2	6/12
Total	7/12	5/12	12

Tableau 6 : circonstances de décès des apnéistes selon leur activité.

Ce tableau montre que la pratique d'une activité d'apnée (chasse ou apnée loisir) seul ou sans camarade à proximité est dangereuse. De plus, la chasse réalisée dans de mauvaises conditions (fatigue, isolement, longue durée, la nuit) reste une activité très risquée.

La Réunion se distingue comme un territoire où la pratique de l'apnée est possible, grâce à l'existence de structures et d'encadrants compétents.

Les compétiteurs réunionnais sont actifs et en réussite.

Les accidents restent fréquents, en particulier chez les chasseurs, mais une sécurisation des pratiques pourra améliorer ce constat.

V. LIMITES PHYSIOLOGIQUES DE L'APNEE.

La compétition en apnée est active en ce début de siècle, les records tombent et s'échangent entre les différents champions. Il est certain que l'émulation provoquée par cette rude concurrence pousse les sportifs à aller toujours plus loin.

Peut-on trouver des limites scientifiques à ces records? Beaucoup d'auteurs s'y sont essayé depuis le milieu du siècle dernier, mais il faut reconnaître que leurs calculs ont été pris en défaut par les performances réalisées.

V-1. Durée maximale de l'apnée.

Etudions le cas de l'apnée statique¹. En admettant que le sujet possède une réserve d'oxygène de 2 litres, dont 75% sont utilisables, et que la combustion d'un litre d'oxygène fournit 4.8 calories, il pourra donc produire $1.5 \times 4.8 = 7.2$ calories. Dans des conditions basales, son métabolisme est d'environ 1900 calories par 24h, soit 1.3 calories par minute ; nous obtenons une durée d'apnée évaluée à $7.2 / 1.3 = 5.5$ min, soit 5 minutes et 30 secondes.

Or, les records dépassent 8 minutes depuis quelques années.

Les calculs ne sont pas adaptés à ces sportifs, qui ont des réserves d'oxygène plus importantes, les utilisent plus complètement et dont le métabolisme est plus économique.

¹ Selon Corriol, 2002.

Dans des conditions expérimentales très particulières (repos dans des conditions basales, hyperventilation, respiration terminale d'oxygène pur), Schneider a pu observer, dès 1930, une apnée dépassant 15 minutes.

Cette valeur peut être une limite des possibilités humaines, sachant qu'un individu peut receler des capacités physiques et mentales permettant des exploits hors normes.

V-2. Profondeur maximale théorique.

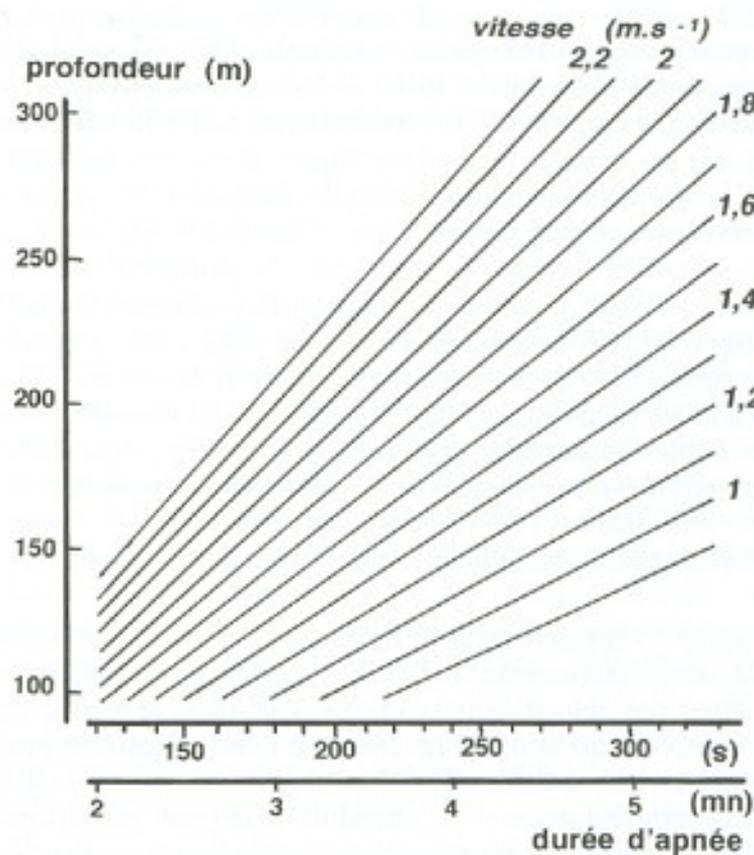


Fig. 14 : Nomogramme permettant d'évaluer la profondeur atteinte au cours d'une plongée en apnée en fonction de la durée de l'apnée et selon la vitesse moyenne en m/s (d'après Corriol, 1993).

Lors d'une tentative de record en profondeur, on peut définir la profondeur atteinte par la formule suivante:

$$P = (V_m \times d_a) / 2$$

Où **P** est la profondeur atteinte, **V_m** la vitesse moyenne de descente et de remontée et **d_a** la durée d'apnée totale. **V_m** inclut les arrêts pour manœuvre de compensation, virage au fond et amorçage du système ascensionnel dans le cas de la catégorie "*no limits*".

La vitesse moyenne est dépendante du lest et du ballon utilisés, qui ont des normes établies. On peut améliorer l'aérodynamisme, en profilant des lests carénés. La vitesse ne peut excéder 2 m/s, car le contact de l'eau sur la peau devient insupportable.

La durée de l'apnée, dans cette catégorie, est fréquemment de l'ordre de 3, voire 4 minutes.

En utilisant ces chiffres, on peut atteindre une profondeur limite de l'ordre de 250 mètres.

Les dangers et les difficultés des profondeurs extrêmes sont représentés par le transfert sanguin et la compensation.

Le transfert sanguin ou *blood-shift* va faire converger le système vasculaire périphérique vers la petite circulation, majorant le risque d'œdème pulmonaire.

V-3. La compensation.

La majorité des apnéistes qui atteignent des profondeurs extrêmes possèdent une bonne perméabilité tubaire. Cela leur permet d'équilibrer la pression hydrostatique et la pression de l'oreille interne en utilisant le minimum d'énergie et donc d'oxygène.

Cependant, le sportif est parfois contraint à prolonger dangereusement l'apnée afin de réaliser cette manœuvre indispensable.

Selon la loi de Boyle-Mariotte, on peut calculer, selon la pression existant en un point donné, le volume d'air qui sera à injecter dans la trompe d'Eustache et les autres cavités aériennes de la face.

Estimons¹ que le volume d'air contenu dans les trompes d'Eustache et les sinus équivaut à 0.05 litre à 1 ATA; il atteindra 0.30 litre à 50 mètres de profondeur, soit 6 ATA. Ce volume d'air est prélevé des poumons et restitué à la remontée, donc il sera utilisable par l'organisme.

Quel volume maximal pourra-t-on injecter au niveau des trompes d'Eustache ?

Sans prendre en compte la résistance naturelle tubaire, on peut estimer que la totalité du volume de réserve expiratoire (environ 1.5 litres) pourra être transférée. Ce volume nous définit la pression de 30 ATA, ce qui correspond à 290 mètres.

Ces calculs ne sont que théoriques et ne prennent pas en compte les variations des différents volumes selon l'individu et surtout la possibilité pour l'apnéiste d'effectuer une manœuvre de compensation à une telle profondeur, sans risquer une anoxie sévère.

Les apnéistes pratiquent-ils des manœuvres de compensation à des profondeurs extrêmes?

La manœuvre de Valsalva devient difficile au-delà de 80 à 100 mètres.

¹ D'après Baudoin J. et Zottos G., 2002.

Pelizzari affirme avoir pratiqué cette manœuvre à 133 mètres lors de son record à 150 m en 1999.

Les apnéistes possèdent-ils une perméabilité tubaire, qui les dispense de toute manœuvre de compensation ?

La recherche de performances extrêmes effectuée par les apnéistes et leur entourage les amènent à imaginer des solutions différentes, telles que le port d'oreillettes étanches, afin d'éviter la manœuvre de compensation. Aucun matériel n'est actuellement assez performant pour atteindre ces profondeurs.

L'avenir nous dira quelle solution sera trouvée pour résoudre ce problème, Hippocrate, lui, sacrifiait les tympan des plongeurs...

VI. SECURISATION DE LA PRATIQUE DE L'APNEE.

L'apnée est et restera une activité agréable et très pratiquée. Les amateurs, les professionnels et les compétiteurs peuvent suivre quelques règles destinées à prévenir les accidents.

VI-1. Conseils concernant les apnéistes amateurs.

- Bien choisir son matériel : l'apnéiste doit être à l'aise dans l'eau, ne pas avoir froid, être bien lesté, avoir des palmes adaptées à sa puissance et au courant.
- Etre en forme avant d'entreprendre une apnée.
- Pratiquer l'apnée en binôme : c'est un point essentiel sur lequel il faut insister; les apnées doivent se dérouler l'une après l'autre, l'apnéiste doit surveiller visuellement son camarade pendant toute la durée de l'immersion et jusqu'à 5 secondes après l'émergence. Au moindre signe inhabituel, il doit aller à sa rencontre pour le sortir de l'eau si besoin. Les deux personnes peuvent communiquer sous l'eau par des signes simples ou par un code gestuel.
- Interdire la pratique de l'hyperventilation : elle peut, comme nous l'avons vu précédemment, induire des accidents graves et difficiles à prévoir.
- Limiter le temps d'immersion totale et le nombre de plongées par heure : la répétition des apnées avec un temps de récupération trop court ne permet pas à l'organisme de normaliser les pressions des gaz et augmente par ailleurs le risque d'accident de décompression.

- Ne pas pratiquer d'efforts musculaires importants pendant la remontée, en particulier à l'approche de la surface.
- Limiter la durée de l'apnée à 90 secondes.
- Ne pas mélanger plongée autonome en bouteilles et plongée en apnée.
- Signaler sa présence en surface par une bouée : elle permettra également le repos lors du retour en surface. On pourra y adjoindre un drapeau de type *alpha*, utilisé par les plongeurs en bouteille.

Lorsque le pratiquant est passionné d'apnée et voudrait progresser dans cette discipline, il pourra de se rapprocher d'un club. Il y trouvera un enseignement adapté et apprendra les techniques d'aide et de sauvetage.

VI-2. Cas particuliers des chasseurs sous-marins.

Pour quelle raison les chasseurs sous-marins sont-ils fréquemment impliqués dans des accidents?

La pratique est-elle dangereuse? Est-ce par méconnaissance?

En plus des risques liés à la pratique de l'apnée pure, ils sont exposés aux problèmes inhérents aux apnées répétitives et aux accidents liés à la faune sous-marine (en particulier les requins attirés par leurs prises).

L'attrait d'une belle prise ou un agachon prolongé sont des situations qui peuvent mettre le chasseur en difficulté.

Les chasseurs sont de très bons apnéistes ; ils doivent cependant, pour sécuriser leur pratique, pratiquer obligatoirement la chasse en binôme.

Une surveillance attentive et continue ainsi qu'une fréquence raisonnable de plongées permettront de réduire le nombre d'accidents.

VI-3. Sécurisation de l'apnée en compétition.

Le monde de l'apnée a été endeuillé par le décès de certains champions, au cours de l'entraînement ou même en compétition.

En effet, lorsqu'un événement imprévu se produit à 120 mètres sous l'eau, qui peut aller secourir le sportif?

Les plongeurs en bouteilles peuvent, en respirant des mélanges gazeux, atteindre des profondeurs extrêmes supérieures à 100 mètres. Cependant, ils devront réaliser de très longs paliers à la remontée, ce qui interdit la pratique d'un sauvetage rapide de l'apnéiste.

Un autre apnéiste peut descendre chercher son camarade, mais le délai peut devenir létal pour le syncopé et l'apnée sans préparation est dangereuse pour le sauveteur. Etudions les différentes pratiques sécuritaires, actuellement en vigueur lors des compétitions.

VI-3.1. L'apnée statique.

Dans la majorité des cas, la compétition se déroule en piscine. Le sportif est donc surveillé par une personne présente à côté de lui dans l'eau.

Lorsque le compétiteur atteint une durée d'apnée importante, le surveillant va vérifier l'intégrité de ses fonctions supérieures en le faisant compter ou en utilisant des jouets d'enfants pour vérifier la praxie et la capacité de réflexion.

Par des gestes simples, il va s'assurer du bon déroulement de l'épreuve.

Lorsque le jugement sera brouillé par l'hypoxie (l'hypercapnie majeure ce phénomène), le sportif sera sorti de l'eau.

Lorsque le compétiteur décide lui-même de l'arrêt de l'épreuve, on vérifiera l'absence de dysphasie, de mouvements involontaires lors de sa sortie.

VI-3.2. L'apnée dynamique.

Cette épreuve est également réalisée en piscine. Lorsque le sportif commence la dernière longueur de bassin prévue, un camarade s'immerge pour l'accompagner et le surveiller dans les derniers mètres.

Il vérifiera également la salubrité de sa sortie.

VI-3.3. Les épreuves de profondeur.

Ce sont là des épreuves dangereuses et difficiles à surveiller.

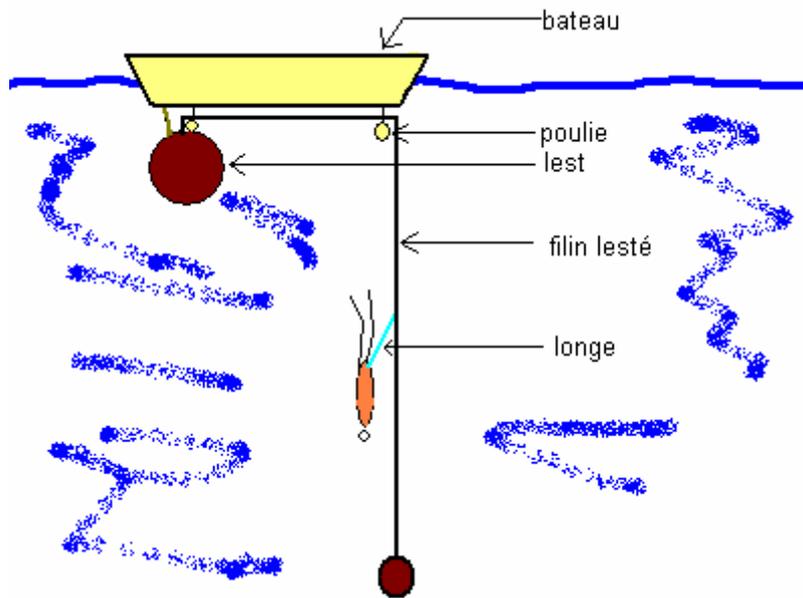
Depuis peu de temps, l'AIDA (organisme encadrant les compétitions) impose aux compétiteurs le port d'une longe qui les relie au filin lesté qu'ils doivent suivre.

A La Réunion, Sébastien Brunet et Jean Waldmann ont développé un système de sécurité pour les apnées profondes (**dessin 3**).

L'apnéiste va suivre un filin lesté auquel il est longé. A la surface, ce filin passe dans une première poulie au niveau du bateau, puis dans une deuxième distante de 2 mètres. On accrochera le filin après la deuxième poulie à un lest très lourd, retenu au bateau.

Avant l'épreuve, le sportif et son accompagnement se mettent d'accord sur une durée d'apnée. Si le temps d'apnée est dépassé, l'accompagnant lâche la retenue du lest, qui va s'enfoncer dans l'eau et ainsi ramener l'apnéiste retenu par sa longe au filin en surface.

L'AIDA a adopté un système de sécurité identique pour les compétitions profondes depuis peu de temps.



Dessin 3 : système de sécurité pour l'apnée profonde à La Réunion.

La présence de plongeurs en bouteilles à 60 ou 70 mètres peut être rassurante, sachant que leur utilité reste très limitée car une remontée rapide leur est impossible.

Ils possèdent depuis quelques mois un système de parachutes ascensionnels, qu'ils peuvent, en cas de malaise de l'apnéiste, accrocher sur sa ceinture et ainsi, en le déclenchant, lui permettre une remontée autonome et rapide, même s'il est inconscient.

Des apnéistes confirmés peuvent se tenir à différentes profondeurs, afin d'accompagner le retour vers la surface du compétiteur.

VII. PLACE DU MEDECIN DANS LA PRATIQUE DE L'APNEE.

L'apnée peut sembler, à première vue, contradictoire avec certaines règles médicales. L'arrêt volontaire de la respiration n'est pas physiologique. Le médecin doit cependant pouvoir expliquer les mécanismes de l'apnée aux pratiquants, tout en détectant les patients relevant de contre-indications à ce sport. Il pourra aussi insister sur la sécurisation de l'apnée, comme développée auparavant.

VII-1. Rôle du médecin dans la pratique de l'apnée.

Le médecin peut informer les patients pratiquant l'apnée des règles de sécurité, lui précisant quelques bases simples de physiologie qui lui permettront de comprendre les différents signes cliniques qu'il peut ressentir.

Les pratiquants assidus de cette discipline se renseignent beaucoup par leurs propres moyens, sans avoir une vision cohérente de toutes les modifications que l'on observe.

Il pourra insister sur la progression lente nécessaire dans ce sport, tant sur la durée de l'apnée, que sur la profondeur atteinte.

L'accident peut être le fait de personnes surestimant leurs capacités.

Par ailleurs, le médecin pourrait orienter certaines personnes vers ce loisir.

Il faut bien entendu effectuer une sélection des patients, mais l'on peut imaginer que, de la même manière que l'on conseille la pratique du sport aux sédentaires, on pourrait orienter les anxieux, stressés ou complexés vers la pratique de l'apnée.

VII-2. Contre-indications médicales à la pratique de l'apnée.

Le médecin, examinant un candidat à la pratique de l'apnée, devra insister particulièrement sur la recherche de pathologies cardiaques, pulmonaires ou neurologiques.

Comme cela se pratique pour la plongée autonome, on pourra facilement rechercher un trouble de rythme ou une pathologie coronarienne par la réalisation d'un électrocardiogramme. La notion de malaises ou pertes de connaissance doit provoquer une recherche étiologique avant tout accord d'aptitude.

La tension artérielle doit être vérifiée, on réalisera un test à l'effort au cabinet contrôlant les réactions tensionnelles et cardiaques.

La découverte d'une bradycardie modérée non symptomatique, avec un électrocardiogramme normal, ne semble être une contre-indication à la pratique de l'apnée.

Les contre-indications à la pratique de l'apnée sont celles de la plongée autonome, qui découlent du bon sens :

- manifestations épileptiques,
- diabète mal équilibré,
- insuffisance coronarienne instable,
- antécédent de pontage coronarien, de stent, d'accident vasculaire cérébral,
- HTA non contrôlée par le traitement,
- arythmies graves, valvulopathies, myocardopathies obstructives,
- troubles graves de l'hémostase et de la coagulation,
- asthme grave, non équilibré.

Temporairement, une infection respiratoire ou des voies aériennes supérieures interdira la pratique de l'apnée.

Toutefois, il faudra s'attacher à bien expliquer les raisons de la contre-indication, car l'apnée pourra être réalisée, avec ou sans certificat médical, de façon isolée.

DISCUSSION

Que peut nous apporter cette analyse de la pratique de l'apnée à La Réunion?

Depuis une cinquantaine d'années, le grand public se familiarise avec cette activité et la pratique plus volontiers.

La recherche médicale s'y intéresse également, même si elle n'arrive pas à se projeter sur ses limites.

Certaines études pourraient être intéressantes à mener ; ainsi la psychologie des compétiteurs en apnée est peu connue. Nous pouvons rappeler que le charismatique Jacques Mayol qui rêvait d'être un dauphin s'est suicidé en 2001. Même si ces précurseurs ont fait place à de jeunes compétiteurs équilibrés, nous ne savons quelles sont leurs motivations profondes.

Les performances sont améliorées régulièrement, l'apnée se médiatise et se développe. Alors, où s'arrêtera-t-on?

On a vu dans le passé que la médiatisation d'une activité attire le parrainage et la professionnalisation. Certains compétiteurs souhaitent cette évolution, pour pouvoir vivre de leur sport. Qu'en sera-t-il de l'exigence de résultats?

Le dopage va-t-il envahir ce monde jusqu'ici préservé? On peut imaginer que l'utilisation de l'érythropoïétine (EPO) apportera une progression des performances.

On doit se rappeler que certains grands champions ont disparu au cours de records (Audrey Mestre en 2002, lors d'une tentative de record en "no limits" à – 170 m).

L'apnée se distingue des autres sports en cela : l'erreur est rapidement fatale.

Cependant, à l'heure où l'homme court après sa vie et la montre, l'apnée peut être considérée comme une activité saine, naturelle et permettant la relaxation.

C'est pourquoi, même si elle comporte certains risques liés à ce milieu aquatique, nous pouvons la conseiller.

CONCLUSION

Nous avons vu que l'apnée est un sport original, par la mise en jeu de modifications physiologiques importantes et par des réactions psychiques particulières.

De la même manière que l'alpinisme où l'on gravit les sommets les plus hauts et les plus reculés, l'exploration des fonds sous-marins et l'accessibilité aux profondeurs extrêmes relèvent du défi, voire du surpassement personnel.

Le corps médical reste dubitatif face à cette pratique qui lui semble trop risquée.

Cependant, les médecins exerçant sur le littoral et en particulier à La Réunion où ce sport est répandu, ont un devoir d'information et d'enseignement vis à vis des apnéistes venant les consulter.

Le médecin, tout en gardant un œil objectif, peut améliorer les conditions de pratique et minimiser le risque d'accident.

Scientifiquement, il serait intéressant de réaliser un suivi des sportifs, qui ont des capacités hors du commun pour certains d'entre eux.

L'apnée en compétition joue son avenir actuellement. Si les organismes encadrants incitent à une progression lente des performances, si les sommes mises en jeu par la professionnalisation de l'activité ne sont pas trop conséquentes, si le dopage n'envahit pas la discipline, l'apnée peut rester saine et appréciable.

A l'heure où les nourrissons nagent à la piscine et où certaines femmes accouchent dans l'eau, on pourrait imaginer une initiation à l'apnée à l'école, en parallèle de la natation, afin d'exploiter les qualités relaxantes et de découverte de soi-même de cette discipline.

Redécouvrir ce milieu accessible à tous où le corps se relâche et se meut dans les trois dimensions.

ANNEXES

Durée de la séance d'apnée Durée de l'apnée selon la profondeur		30 min	1h	1h 30	2h	3h	4h	5h	10 h
		15 m	1 min 2 min 3 min					57 28 19	51 25 17
20 m	1 min 2 min 3 min		58 29 19	52 26 17	47 23 15	42 21 14	38 19 12	36 18 12	34 17 11
25 m	1 min 2 min 3 min		46 23 15	41 20 13	37 18 12	34 17 11	30 15 10	29 14 9	27 13 9
30 m	1 min 2 min 3 min	59 29 19	38 19 13	34 17 11	31 15 10	28 14 9	25 12 11	24 12 8	22 11 7
35 m	1 min 2 min 3 min	50 25 16	33 16 11	29 13 9	26 13 9	24 12 8	22 11 7	20 10 7	19 9 6
40m	1 min 2 min 3 min	44 22 14	29 14 9	26 13 8	23 11 7	21 10 7	19 9 6	18 9 6	17 8 5
45 m	1 min 2 min 3 min	39 19 13	25 13 8	23 11 7	21 10 7	19 9 6	17 8 5	16 8 5	15 7 5
50 m	1 min 2 min 3 min	35 17 12	23 11 7	20 10 6	18 9 6	17 8 5	15 7 5	14 7 4	13 6 4

Nombre d'apnées réalisables, selon la profondeur atteinte, la durée d'une apnée et la durée de la séance. D'après Héran, 1990.

QUESTIONNAIRE CONCERNANT LES PRATIQUANTS D'APNEE :

Prénom, âge, sexe:

Lieu de naissance:

Profession:

Age lors du premier contact avec la mer et/ou l'apnée:

Ancienneté dans le club:

Fréquence des entraînements piscine ou mer par semaine:

Pratique d'un sport de fond (course à pied, vélo, natation) et fréquence des entraînements:

Pratique de la chasse sous marine:

Participation à des concours ou des records d'apnée:

Profondeur maximale atteinte :

Durée maximale en apnée statique :

Survenue de samba et/ou de syncope :

Motivation dans la pratique de l'apnée:

LISTES DES CARTES, DESSINS ET FIGURES

LISTE DES CARTES :

Carte 1 : L'Océan Indien.	page 2
Carte 2 : La Réunion.	page 4
Carte 3 : Le littoral réunionnais.	page 6

LISTE DES DESSINS :

Dessin 1 : Coupe du lagon et du récif.	page 7
Dessin 2 : Le ludion.	page 44
Dessin 3 : Système de sécurité réunionnais pour l'apnée profonde.	page 79

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : Comparaison des réponses cardiovasculaires à la plongée en apnée chez les animaux plongeurs et l'homme.	page 21
Tableau 2 : Profondeurs atteintes par les apnéistes réunionnais interrogés.	page 59
Tableau 3 : Durée d'apnée statique réalisée par les apnéistes réunionnais interrogés.	page 60
Tableau 4 : Nombre d'accidents survenus aux apnéistes réunionnais interrogés.	page 61
Tableau 5 : Motivations dans la pratique de l'apnée chez les apnéistes réunionnais interrogés.	page 62
Tableau 6 : Circonstances de décès des apnéistes selon leur activité.	page 69

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Répartition des pressions exercées sur l'homme debout dans l'air et dans l'eau.	Page 14
--	---------

Figure 2 :	La poussée d'Archimède est antagoniste de la pesanteur.	page 15
Figure 3 :	Localisation sur la face des récepteurs cutanés thermosensibles.	page 19
Figure 4 :	Valeurs des pressions partielles alvéolaires d'O ₂ et de CO ₂ au cours de l'apnée simple.	page 23
Figure 5 :	Evolution des échanges gazeux alvéolo-capillaires au cours de l'apnée simple	page 24
Figure 6 :	Evolution du pH, de P _A O ₂ et de P _A CO ₂ au cours d'apnées de 4 minutes.	page 25
Figure 7 :	Evolution de P _A O ₂ et P _A CO ₂ au cours d'une apnée avec descente à 10 mètres et remontée.	page 28
Figure 8 :	Evolution des volumes pulmonaires et des échanges alvéolo-capillaires au cours d'une apnée à 30 mètres.	page 29
Figure 9 :	Plongée en apnée au-delà de la profondeur limite théorique.	page 31
Figure 10 :	Enregistrement des pressions oesophagiennes au cours d'une apnée.	page 32
Figure 11 :	Evolution du pH, de P _A O ₂ et de P _A CO ₂ au cours d'une hyperventilation.	page 35
Figure 12 :	Effets de l'entraînement sur les différents volumes pulmonaires.	page 46
Figure 13 :	Les cinq modalités d'évolution de P _A O ₂ et de P _A CO ₂ , après hyperventilation, au cours d'apnées.	page 51
Figure 14 :	Nomogramme permettant d'évaluer la profondeur atteinte au cours d'une plongée, en fonction de la durée de l'apnée et de la vitesse moyenne.	page 71

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ARBORELIUS M., BALLDIN U.I., LILJA B. et LUNDGREN C.E.G. - Hemodynamic changes in man during immersion with head above water. *Aerospace Med.*, 43, 592-598, 1972.
2. BAUDOIN J. et ZOTTOS G. – Les limites physiologiques de l'apnée. *Travail de maturité. TECFA*. Université de Genève. Octobre 2002, 17 pages.
3. BOEHM G. et EKERT F. – Über die röntgenologische fassbare Einwirkungen von gewöhnlichen und therapeutischen Bädern auf die zentralen Kreislauforgane bei Herzgesunden. *Deutsch. Arch. Klein. Med.*, 182, 598-910, 1938.
4. CORRIOL J.H. et ROHNER J.J. – Rôle de la température de l'eau dans la bradycardie d'immersion de la face. *Arch. Sci. Physiol. CNRS*, 22, 265-274, 1968.
5. CORRIOL J.H. – A propos des records de profondeur en apnée. Evolution des techniques : des professionnels ancestraux aux champions actuels. *SMS-Médecine du sport*, 33, 4-12, 2001 a.
6. CORRIOL J.H. – *La plongée en apnée, physiologie et médecine*, 3^e édition, Masson, Paris, 163 pages, 2002.
7. COURTEIX D. et LAMENTIN H. – Facteurs déterminants de la rupture de l'apnée volontaire (évolution des modèles). *Sciences et Sports*, 7, 235-244, 1992.

8. COURTEIX D., BEDU M., FELLMANN N., HERAUD M.C. et COUDERT J. - Chemical and non chemical stimuli during breath holding in divers are not independent. *J. Appl. Physiol.*, 75, 2022-2027, 1993.
9. DELAPILLE P., VERIN E. et TOURNY-CHOLLET C. – Réponses ventilatoires chez les apnéistes : adaptation provoquée par un entraînement spécifique à l'apnée. *Rev. Mal. Respir.*, 19, 217-228, 2002.
10. DENOEL F. – Apnée, l'entraînement en piscine. *Travail pour le monitorat AIDA **.
11. FOWLER W.S. – Breaking point of breath holding. *J. Appl. Phys.*, 6, 539-545, 1954.
12. GAUER O.H. et THRON H.L. – Postural changes in the circulation. *In : Handbook of Physiol.*, section II, Circulation, vol. 3, chap. 67, Amer. Physiol. Soc., Washington D. C., p 2409-2439, 1965.
13. GRIMAUD C., VANUXEM P., FONDARAI J. et COUTANT P. – Le point de rupture de l'apnée volontaire ; ses relations avec les sensations proprioceptives thoraciques. *C.R. Soc. Biol. Paris*, 162, 1542-1547, 1968.
14. GUZ A., NOBLE M.I.M., WIDDICOMBE J.G., TRENCHARD D. et MUSCHIN W.W. – The effects of bilateral block of vagus and glossopharyngeal nerves on the ventilatory response to CO₂ of conscious man. *Res. Physiol.*, 1, 206-210, 1966.
15. HEISTAD D.D., ABOUD F. et ECKSTEIN J.W. – Vasoconstrictor response to simulated diving in man. *J. Appl. Physiol.*, 25, 542-549, 1968.

16. HERAN N. – Les plongeurs en apnée peuvent-ils présenter une maladie de décompression? *Thèse de doctorat en médecine générale*, Montpellier, novembre 1990, 84 pages.
17. HONG S.K., LIN Y.C., DALLY D.A., YIM B.J.B, KOMINAMI N., HONG P.W. et MOORE T.O. – Alveolar gas exchanges and cardiovascular functions during breath holding in air. *J. Appl. Physiol.*, 30, 540-547, 1971b.
18. HONG S.K.- The physiology of breath-holding diving. *In* : STRAUSS R.H., *Diving Medecine*, Grüne and Stratton, New-York, San Francisco, London, p. 269-286, 1976.
19. INSEE. - *Atlas de la Réunion*, INSEE 2003.
20. INSEE. – *Recensements et estimations annuelles de la population*. TER 2002-2003. INSEE REUNION.
21. KAWAKAMI Y., NATELSON B.H. et DUBOIS A. – Cardiovascular effects of face immersion and factors affecting diving reflex in man. *J. Appl. Physiol.*, 23, 964-970, 1967.
22. LANDSBERG P.G. – Hyperventilation : an unpredictable danger to sport diver. *In* : *The physiology of breath-hold diving*, U.H.B.M.S. workshop, public. 72, C.E.G. LUNDGREN et M. FERRIGNO, Bethesda, Maryland, p. 256-267, 1987.
23. LANPHIER E.H. et RAHN H. – Alveolar gas exchange during breath-holding dives. *J. Appl. Physiol.*, 18, 471-477, 1963.

24. LANPHIER E.H. et RAHN H. – Alveolar gas exchange during breath-holding with air. *J. Appl. Physiol.*, 18, 478-482, 1963.
25. LIN Y.C., DALLY D.A., MOORE T.O. et HONG S.K. – Physiological and conventional breath-hold breaking points. *J. Appl. Physiol.*, 37, 291-296, 1974.
26. LIN Y.C. – Effects of O₂ and CO₂ on breath-hold breaking point. *In : The physiology of breath-hold diving*, U.H.B.M.S. workshop, public. 72, C.E.G. LUNDGREN et M. FERRIGNO, Bethesda, Maryland, p. 75-87, 1987.
27. MCDONOUGH J.R., BARUT J.P. et SAFRON J.C. – Cardiac arrhythmias as a precursor to drowning accidents, *In : The physiology of breath-hold diving*, U.H.B.M.S. workshop, public. 72, C.E.G. LUNDGREN et M. FERRIGNO, Bethesda, Maryland, p. 212-226, 1987.
28. MASANELLI G. – *L'entraînement en apnée*, livret FFESSM, 30 pages.
29. MOYNE-PICARD M. et DUTRIEUX E. – *Fonds sous-marins de l'île de la Réunion*, Editions Ouest France, Rennes, 70 pages, 1997.
30. OLIVERAS G. – Les signes pré-syncopaux. *Bull Medsubhyp.*, 6 (Suppl.), 133, 1996.
31. SCHAEFER K.E. – Circulatory adaptation to the requirements of life under more than one atmosphere of pressure. *In : Handbook of Physiol.*, section II, Circulation, vol. 3, chap. 51, Am. Physiol. Soc.; Washington D.C., p. 1843-1873, 1965a.

32. SCHNEIDER E.C. – Observations on holding the breath. *Am. J. Physiol.*, 94, 464-470, 1930.
33. SHILLING C.W., WERT M.F. et SCHANDELMEIER N.R. – Man in the ocean environment : physiological factors. *In : The Underwater Handbook*, chap. 4, John Wiley & Sons, London, p. 138-144, 1976.
34. SMIT P.J. – Alveolar O₂ content of apnoeic divers. *In : Proceedings of the 3rd South African symposium for underwater sciences*, Barologia, University of Pretoria 9, 1974.
35. SPECKER R. – Propositions pour la reconnaissance des records en apnée, *Bull. Medsubhyp.*, 6 (Suppl.), 135-138, 1996.
36. THOORIS A. – Contribution à l'étude biologique des plongeurs. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, 172, 1529-1532, 1921.
37. VAN GREVELYNGHE G. – Les requins à La Réunion, mythes et réalités. Etude de 12 cas d'accidents liés aux requins. *Thèse de doctorat en médecine générale*, Lille III, 1994.
38. WHITELAW W.A. – Respiratory neuromuscular output during breath holding. *In : The physiology of breath-hold diving*, U.H.B.M.S. workshop, public. 72, C.E.G. LUNDGREN et M. FERRIGNO, Bethesda, Maryland, p. 88-95, 1987.
39. ZIANNINI D. – Breath hold diving accidents in the Mediterranean area. *In : The physiology of breath-hold diving*, U.H.B.M.S. workshop, public. 72, C.E.G. LUNDGREN et M. FERRIGNO, Bethesda, Maryland, p. 268-272, 1987.

NOM : OIRY

PRENOM :

Nolwen

Titre de la thèse : L'apnée et sa pratique à La Réunion.

RESUME

La Réunion, île et département d'Outre Mer de l'Océan Indien, possède un littoral et des fonds sous-marins favorisant la pratique d'activités telles que l'apnée.

La physiopathologie de l'apnée présente un intérêt médical, bien qu'elle ne soit entièrement connue.

Cette discipline a subi récemment un essor important, les records sont battus régulièrement, parfois au prix de risques humains.

Localement, les structures d'encadrement sont dynamiques et permettent l'entraînement de sportifs de haut niveau.

Les pratiques peuvent être améliorées pour obtenir une activité agréable et sûre.

MOTS CLES

- Apnée
- Ile de La Réunion
- Médecine générale