

UNIVERSITE DE NANTES

||||
FACULTE DE MEDECINE
||||

Année 2011

N° 145

THESE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

DES de Médecine Générale

Par

Clarence MARCHAL

Née le 22 septembre 1980 à Epinal

||||

Présentée et soutenue publiquement le 9 décembre 2011

||||

LA SECURITE EN APNEE SPORTIVE

||||

Président du jury : Monsieur le Professeur LECONTE Philippe

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur BERNIER François

Membres du jury : Monsieur le Professeur GERAUT Christian

Monsieur le Professeur GUERIN Patrice

Monsieur le Docteur SOUDAY Vincent

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	4
REMERCIEMENTS	9
INTRODUCTION	10
Partie A. PHYSIOLOGIE	11
1. RAPPELS PHYSIOLOGIQUES	12
2. PARTICULARITE DE L'HOMME EN IMMERSION	13
2.1. MODIFICATIONS VENTILATOIRES DE L'HOMME EN IMMERSION	13
2.1.1. Modifications des volumes respiratoires	13
2.1.2. Modifications de la dynamique respiratoire	13
2.2. MODIFICATIONS DU FONCTIONNEMENT CARDIAQUE ET CIRCULATOIRE	14
2.2.1. L'immersion de la face	14
2.2.2. L'immersion du corps	15
2.2.2.1. Transferts sanguins	15
2.2.2.2. Conséquences des transferts sanguins	16
3. PARTICULARITE DU PLONGEUR EN APNEE	17
3.1. ASPECTS RESPIRATOIRES ET METABOLIQUES DE L'APNEE	18
3.1.1. L'immersion du corps	18
3.1.1.1. Apnée en surface	19
3.1.1.2. Apnée en plongée : Effet de la profondeur	20
3.1.2. Mécanismes de rupture de l'apnée	23
3.1.2.1. Facteurs chimiques	23
3.1.2.2. Facteurs mécaniques	24
3.1.2.3. Facteurs dynamiques	24
3.1.2.4. Les différentes phases de rupture de l'apnée	25
3.1.2.5. Ressenti lors d'une apnée statique	26
3.1.3. Effets de l'hyperventilation	27
3.2. ADAPTATIONS CARDIO CIRCULATOIRES LORS DE L'APNEE	28
3.2.1. Le « diving reflex »	28
3.2.1.1. Ralentissement de la fréquence cardiaque et bradycardie	28
3.2.1.2. Vasoconstriction périphérique	30
3.2.1.3. Diminution du débit cardiaque	30
3.2.1.4. La contraction splénique	30

3.2.1.4. Pour résumer le « Diving Reflex »	31
3.2.2. Modification électrocardiographiques	31
3.2.3. La circulation cérébrale	31
4. L'ENTRAINEMENT	32
4.1. PRINCIPES DE L'ENTRAINEMENT	32
4.2. RETENTISSEMENT PHYSIOLOGIQUE	32
5. RESUME DES ADAPTATIONS CARDIO CIRCULATOIRES ET VENTILATOIRES DE L'APNEISTE EN PROFONDEUR	34
6. POINTS FORTS	35
Partie B. L'APNEE SPORTIVE	37
1. HISTOIRE DE L'APNEE	38
1.1. UN MOYEN	38
1.2. NAISSANCE D'UN SPORT	38
2. ORGANISATIONS AUTOUR DE L'APNEE	39
2.1. FFESSM (Fédération Française d'Etudes et de Sport Sous Marins)	39
2.2. CMAS (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques)	40
2.3. AIDA (Association Internationale pour le Développement de l'Apnée)	40
2.4. IAFD (International Association of Freedivers)	40
2.5. AUTRES FEDERATIONS ET ASSOCIATIONS	41
3. LES DIFFERENTES CATEGORIES D'APNEE ET LEURS RECORDS	41
3.1. DISCIPLINES PRATICABLES EN PISCINE	41
3.2. DISCIPLINES PRATICABLES EN MILIEU NATUREL	43
3.3. AUTRES DISCIPLINES	46
4. EVOLUTION DES RECORDS	47
4.1. ANALYSE DES RECORDS	47
4.1.1. En statique	47
4.1.2. En profondeur	47
4.1.2.1. Poids constant et immersion libre	48
4.1.2.2. Poids variable et « no limit »	48
4.2. LES FACTEURS PERMETTANT LA MULTIPLICATION DES RECORDS	49
4.2.1. Par les facteurs techniques et matériels	49
4.2.2. Par les facteurs humains	50
4.3. LE DOPAGE EXISTE-T-IL ?	50
4.3.1. Les produits possibles	50
4.3.1. Le code antidopage et les tests anti-dopage	51
5. POINTS FORTS	52

Partie C. LES ACCIDENTS EN APNEE	53
1. PHYSIOPATHOLOGIE DES ACCIDENTS	54
1.1. LES PERTES DE CONNAISSANCE	54
1.1.1. L'hypoxie et anoxie cérébrale	54
1.1.1.1. Définition	54
1.1.1.2. Physiopathologie	54
1.1.1.3. Les formes cliniques d'hypoxie	57
1.1.1.4. Les facteurs favorisant la syncope	58
1.1.1.5. Conduite à tenir devant une syncope ou samba en compétition	61
1.1.1.6. Prévention	62
1.1.1.7. Conséquences des syncopes à long terme ?	63
1.1.2. Les autres pertes de connaissance	63
1.1.2.1. Par chute de la fréquence cardiaque	63
1.1.2.2. Autres mécanismes	64
1.2. L'OEDEME PULMONAIRE	64
1.2.1. Définition	64
1.2.2. Physiopathologie	65
1.2.3. Les signes cliniques	65
1.3. LES ACCIDENTS DE « DECOMPRESSION »	66
1.3.1. Historique des accidents	66
1.3.2. Physiopathologie	67
1.3.3. Les signes cliniques	67
1.3.4. Les facteurs favorisant	68
1.3.5. Conduite à tenir et traitement	68
1.3.6. La prévention	68
1.4. LES BAROTRAUMATISMES	70
1.4.1. Les barotraumatismes pulmonaires ou surpression pulmonaire	70
1.4.1.1. Définition	70
1.4.1.2. Physiopathologie	70
1.4.1.3. Les signes cliniques	72
1.4.1.4. Traitement et prévention	72
1.4.2. Autres barotraumatismes	72
1.5. AUTRES PATHOLOGIES DE L'APNEE	72
1.5.1. Les gastralgies	72
1.5.2. L'hypercapnie lente	73
1.5.3. Les dangers du tuba	73

1.5.4. L'hypothermie _____	73
1.5.5. La narcose à l'azote _____	74
2. STATISTIQUES _____	74
2.1. LES ACCIDENTS EN APNEE LOISIR _____	74
2.1.1. Des statistiques du CROSS peu représentatives _____	74
2.1.2. Les accidents mortels en plongée autonome et libre _____	75
2.1.3. Comparaison entre les chasseurs sous-marins et les apnéistes _____	77
2.2. LES ACCIDENTS EN APNEE SPORTIVE _____	79
2.2.1. Les syncopes et pertes de contrôle moteur en compétition _____	79
2.2.1.1. A propos d'une étude sur les compétitions AIDA _____	79
2.2.1.2. Le début d'une centralisation des données ? _____	80
2.2.1.3. Quelques statistiques _____	80
2.2.2. Les accidents de décompression (ADD) en apnée _____	83
2.2.3. Les décès de plongeurs professionnels _____	84
3. POINTS FORTS _____	85
Partie D. LA SECURITE _____	86
1. DEMARCHE EXPLICATIVE _____	87
2. DEFINITION DE LA SECURITE _____	88
3. HISTOIRE DE LA SECURITE EN APNEE PROFONDE _____	89
4. LE MATERIEL DE SECURITE EN APNEE PROFONDE _____	93
4.1. LE CABLE OU FILIN OU LIGNE DE VIE _____	93
4.2. LA LONGE DE SECURITE _____	93
4.3. LE GILET DE SECURITE _____	95
4.4. LA GUEUSE _____	96
4.5. LE CONTREPOIDS _____	98
4.6. LE WINCH ELECTRIQUE _____	102
5. LA SECURITÉ LORS DES COMPETITIONS ET DES RECORDS _____	102
5.1. LES DISPOSITIFS COMMUNS A TOUTES LES DISCIPLINES _____	103
5.1.1. Le matériel de secours _____	103
5.1.2. Le rôle du personnel dans la sécurité _____	104
5.1.2.1. Le comité d'organisation _____	104
5.1.2.2. Le jury _____	104
5.1.2.3. Le juge _____	104
5.1.2.4. Les apnéistes de sécurité _____	104
5.1.2.5. Le personnel médical _____	105

5.1.3. L'équipement de l'apnéiste _____	105
5.1.4. Accès aux compétitions _____	106
5.1.5. Les pénalités de protocole pour contribuer à une meilleure sécurité _____	108
5.1.6. Les sanctions _____	109
5.1.7. Les fautes spécifiques _____	110
5.2. LES DISPOSITIFS SPECIFIQUES SELON LA DISCIPLINE _____	111
5.2.1. Le milieu artificiel _____	111
5.2.1.1. L'apnée statique _____	111
5.2.1.2. L'apnée dynamique _____	113
5.2.2. Le milieu naturel _____	115
5.2.2.1. Les généralités aux disciplines de profondeurs _____	115
5.2.2.1.1. Les Lieux _____	115
5.2.2.1.2. Le matériel spécifique _____	116
5.2.2.1.3. Le rôle du personnel _____	117
5.2.2.1.4. La surveillance _____	118
5.2.2.1.5. A l'entraînement _____	119
5.2.2.2. Les spécificités selon les disciplines _____	120
5.2.2.2.1. En poids constant _____	120
5.2.2.2.2. En immersion libre _____	121
5.2.2.2.3. En poids variable _____	122
5.2.2.2.4. Cas particulier du no limit _____	122
6. ENSEIGNEMENT ET EDUCATION _____	125
6.1. L'ENSEIGNEMENT THEORIQUE _____	125
6.1.1. Des formations spécifiques pour le sauvetage en apnée _____	125
6.1.2. L'enseignement pratique _____	127
7. POINTS FORTS _____	127
CONCLUSION _____	128
LISTE DES FIGURES, SCHEMAS, TABLEAUX _____	131
BIBLIOGRAPHIE _____	132

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Philippe LECONTE

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse.
Je vous exprime ma gratitude et mon plus profond respect.

A Monsieur le Docteur François BERNIER

Pour m'avoir encadrée et soutenue dans la réalisation de ce travail.
Pour le partage de votre expérience dans le milieu de l'apnée et pour vos conseils précieux, sans lesquels ce projet n'aurait pas été possible.

**A Messieurs les Professeurs Christian GERAUT
Et Patrice GUERIN**

Pour m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury de thèse.
Sincères remerciements

A Monsieur le Docteur Vincent SOUDAY

Pour m'avoir initiée à la médecine subaquatique et donné l'envie de m'investir encore plus dans ce milieu.
Pour avoir accepté de participer à cette soutenance.

A Monsieur **Claude CHAPUIS**, pour le partage de son expérience unique dans la sécurité en apnée, pour toutes les informations transmises et le temps qu'il a accepté de me consacrer.

A Monsieur **Pierre FROLLA**, multiple champion du Monde d'apnée, pour m'avoir accueillie si gentiment et simplement dans son école de plongée. Pour m'avoir fait participer aux entraînements et m'avoir fait part de son point de vue.

A Monsieur **Ivo Truxa**, pour son aide dans la réalisation de statistiques et leur analyse.

A Monsieur le Docteur AMIOUNI pour m'avoir reçue et conseillée.

Aux Médecins investis dans l'apnée, pour leur aide, Docteur Scessa, Docteur Drapeau.

Aux apnéistes du club de Brest qui m'ont si bien accueillie lors de la compétition, leur rencontre fut très enrichissante. Merci à Glenn, Olivier, Franck, Eddy, Francis...

Des sincères remerciements à tous les autres passionnés d'apnée qui ont répondu à mes questions et qui m'ont permis ainsi de mieux comprendre ce monde passionnant.

INTRODUCTION

Depuis quelques années, le nombre d'événements liés à l'apnée ne cesse de croître. La médiatisation de ce sport et de ses athlètes de haut niveau a permis de le faire découvrir à un large public. Ainsi en 2011 l'opération Poséidon lors du Grand Prix de Formule 1 de Monaco, où Pierre Frolla, ancien recordman d'apnée, a plongé pour récupérer le drapeau damier de la course immergé à 60 m de profondeur. Ce sport séduit aujourd'hui de plus en plus d'adeptes et les compétitions d'apnée en France ou à l'étranger se multiplient. En 2005, 47 compétitions internationales avec 2300 performances étaient recensées et en 2010 ces chiffres étaient portés à 141 compétitions avec 6700 performances.

Devant cet engouement et la vitesse de développement de l'apnée sportive, nous avons voulu nous intéresser à la sécurité exigeant rigueur et stricte organisation, tant à l'entraînement qu'en compétition, au vu des risques encourus par les adeptes de cette discipline. Cependant à ce jour aucun ouvrage n'a été dédié à ce sujet et la bibliographie reste quasi inexistante.

Nous étudierons tout d'abord les modifications physiologiques que subi un apnéiste en plongée, ce qui par la suite nous permettra de comprendre les accidents d'apnée dont le plus fréquent, la perte de connaissance hypoxique, peut avoir des conséquences dramatiques.

Nous tenterons également de faire un bilan d'un point de vue statistique sur les accidents, grâce à un travail de recherche effectué auprès de professionnels.

La dernière partie sera consacrée à l'organisation de la sécurité en compétition et son évolution depuis la naissance de l'apnée moderne.

Partie A.

PHYSIOLOGIE

Le mammifère marin, dans son milieu, représente le modèle idéal d'adaptation à la plongée en apnée et l'homme peut uniquement s'en inspirer sans pour autant espérer l'égaliser. Seul un entraînement de haut niveau semble conférer aux apnéistes une adaptation à la plongée proche de celle des mammifères marins, mais néanmoins encore imparfaite.

1. RAPPELS PHYSIOLOGIQUES

- **Les pressions :**

- La pression atmosphérique est la pression qui règne au niveau du sol.
(1 atmosphère = 760 mm de mercure = 1013 millibar = 1013 hectopascal)
- La pression hydrostatique est la pression que subit le plongeur sous l'eau et est égale au poids de la colonne de liquide située au-dessus de lui. Elle augmente de 1 bar tous les 10 mètres et représente la pression relative.
- La pression absolue est la somme des pressions relative et atmosphérique. Ainsi, à 40 mètres de profondeur, elle est égale à 5 bars et représente la somme des pressions hydrostatique (4 bars) et atmosphérique en surface (1 bar). A 60 mètres, elle sera de 7 bars, etc.

- **Loi de BOYLE-MARIOTTE :**

- « A température constante, le volume d'une masse gazeuse est inversement proportionnel à la pression » Pression (P) x Volume (V) = Constante (K).

- **Loi de DALTON :**

- « A température donnée, la pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qu'aurait chaque gaz s'il occupait à lui seul l'ensemble du volume ». Pression (P) = Σ Pressions partielles (Pp).
- « La pression partielle d'un gaz dans un mélange est égale au produit de la pression totale du mélange par le pourcentage du gaz considéré dans le mélange ». Pression partielle (Pp_{GAZ}) = Pression absolue (P_{Abs.}) × %Gaz.
Ainsi, si l'on considère que l'air est constitué de 21% d'oxygène et de 79% d'azote, à la pression atmosphérique (1 bar), la PO₂ est de 0,21 x 1, soit 0,21 bars. A 70 mètres, elle sera de 0,21 x 8, soit 1,68 bars.

- **Loi de HENRY :**

- Elle est à l'origine des accidents de décompression :
- « A température constante et à saturation, la quantité de gaz dissout dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par ce gaz en contact avec le liquide ». Solubilité du gaz (S) = Pression partielle du gaz (Pp) x Constante de Henry (K_H).
- la constante de Henri (K_H) du gaz dépend de la nature du gaz, du liquide et de la température.

2. PARTICULARITE DE L'HOMME EN IMMERSION

2.1. MODIFICATIONS VENTILATOIRES DE L'HOMME EN IMMERSION

2.1.1. Modifications des volumes respiratoires

Chez un homme immergé, la pression hydrostatique augmente (1 bar tous les 10 mètres) et est responsable :

- D'un affaissement du grill costal et d'une ascension des coupoles diaphragmatiques [47].
- D'un afflux sanguin intra thoracique.

Avec ainsi des modifications des volumes pulmonaires :

- Une diminution VRE (Volume de réserve expiratoire) de 30 %.
- Le VR (Volume résiduel) est inchangé voire légèrement diminué.
- La CV (Capacité vitale) décroît faiblement [46].

2.1.2. Modifications de la dynamique respiratoire

Lors de l'immersion, le travail ventilatoire est augmenté par :

- L'accroissement du travail musculaire inspiratoire, qui doit lutter contre la pression hydrostatique et la poussée d'Archimède [47].

- L'augmentation des résistances à l'écoulement de l'air par diminution du calibre des voies aériennes respiratoires et de la compliance du tissu pulmonaire [55].

Par contre l'expiration est facilitée par la pression hydrostatique sur le thorax et l'abdomen.

2.2. MODIFICATIONS DU FONCTIONNEMENT CARDIAQUE ET CIRCULATOIRE

2.2.1. L'immersion de la face

La face est pourvue d'une grande concentration de thermorécepteurs qui sont stimulés par le contact aqueux et par le froid; et qui sont responsables d'une stimulation vagale importante à l'origine de :

- Un ralentissement de la fréquence cardiaque : la bradycardie est d'autant plus importante (< 30/min) que l'eau est froide, le sujet jeune et entraîné [13].



Figure A1 : Nombre de récepteurs de la face en cm².

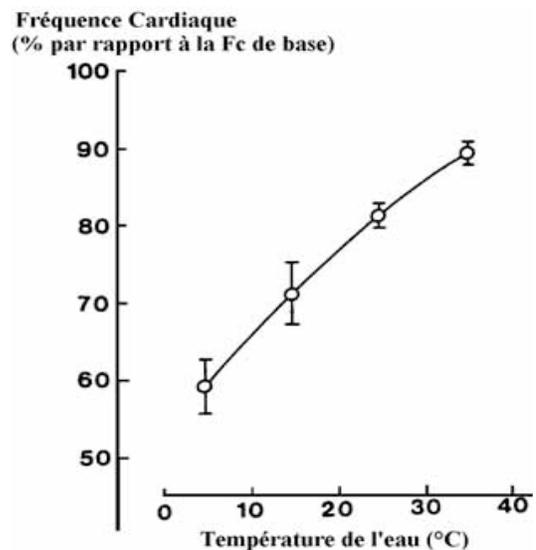


Figure A2 : Effets de la température de l'eau sur le degré de bradycardie au cours d'une apnée avec immersion de la face. (D'après Gooden) [123].

- Une vasoconstriction périphérique renforcée par le contact du froid sur le reste du corps. Le plongeur en apnée se protège volontairement peu et peut courir le risque d'une défaillance cardiaque lors de la mise à l'eau [87].

2.2.2. L'immersion du corps

2.2.2.1. Transferts sanguins

Lors d'une plongée à glotte fermée, on observe un transfert sanguin à deux reprises :

- Lors de l'immersion :
 - La poussée d'Archimède, antagoniste de la pesanteur, supprime les effets de cette dernière et facilite donc le retour veineux des parties déclives vers la partie céphalique du corps. La pression hydrostatique, dont la valeur augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la surface, crée un gradient de pression du bas vers le haut du corps.
 - Ces deux forces s'additionnent et créent un transfert du sang vers la partie supérieure du corps en particulier le thorax. On estime ce transfert de sang dû à l'immersion, compris entre 500 ml et 1 litre selon les auteurs [36].

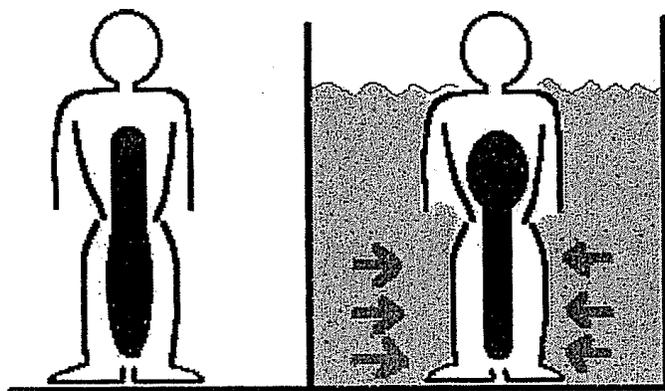
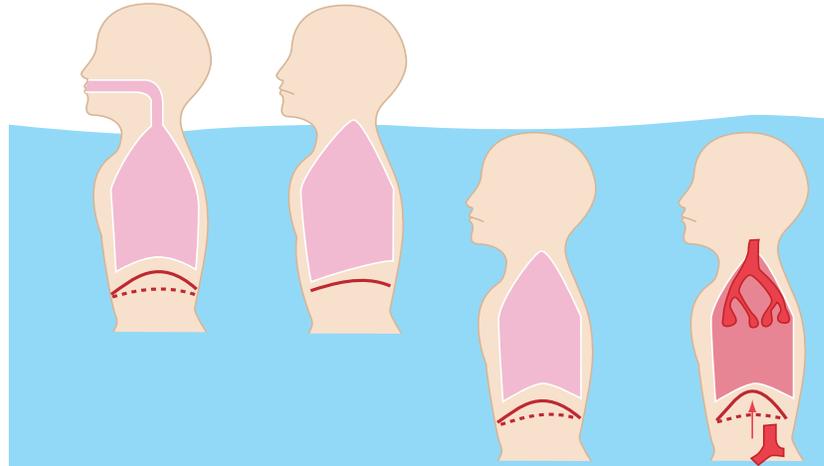


Figure A3 : Transfert sanguin de la périphérie vers les organes vitaux.

- A partir d'une certaine profondeur, si la descente se poursuit, la pression hydrostatique augmente et le volume pulmonaire diminue (loi de Boyle-Mariotte) jusqu'à ce que la rigidité relative du thorax ne permette plus de réduire son volume, le volume pulmonaire est alors égal au volume résiduel.
- Au delà de cette profondeur la pression intra thoracique devient négative, le diaphragme remonte ainsi qu'une partie des viscères abdominaux pour limiter cette

différence de pression. Au niveau circulatoire il existe un afflux de sang du pool veineux périphérique vers le réseau pulmonaire appelé BLOOD SHIFT qui est estimé à moins d'un litre. Ce phénomène contribue à rigidifier les poumons et à supporter des pressions plus importantes.



- 1 : Le corps est immergé jusqu'au cou, la pression intrathoracique est négative.*
- 2 : Immersé, le sujet réalise une apnée, et la pression intrathoracique redevient positive.*
- 3 : Au cours d'une apnée profonde, la pression intrathoracique va devenir identique à la pression ambiante lorsque la CPT égalera le volume résiduel.*
- 4 : Au delà du VR, la pression intrathoracique est inférieure à la pression ambiante, il se crée un transfert de sang vers le thorax « le blood shift ».*

Figure A4 : Illustration du Blood shift [1]

Ces Transferts sanguins peuvent entraîner des troubles du rythme ou de conduction cardiaques par distension des cavités cardiaques [36].

2.2.2.2. Conséquences des transferts sanguins

L'afflux de sang vers le cœur et les gros vaisseaux va entraîner des modifications du système cardiovasculaire :

- Une augmentation du débit cardiaque de 10 à 25% (par augmentation de pression dans l'oreillette droite).
 - Les transferts sanguins décrits ci-dessus ont pour conséquence un engorgement de la circulation pulmonaire et du cœur droit. La réaction

cardiaque qui en résulte est quasi immédiate avec augmentation du débit cardiaque par élévation de l'index systolique. Ainsi l'élévation de la pression systémique qui en résulte stimule les barorécepteurs ayant pour conséquence une légère diminution de la fréquence cardiaque avec une vasodilatation périphérique chargées. Le but essentiel de ses modifications est de maintenir l'homéostasie tensionnelle [21].

- La diurèse d'immersion :
 - Ce mécanisme intervient lorsque la plongée est prolongée et cela afin de soulager le cœur en permettant une baisse de la volémie. En effet, comme déjà décrit, pendant la plongée l'augmentation du retour veineux intra thoracique augmente le volume d'éjection systolique et stimule la sécrétion de Facteur atrial natriurétique responsable d'une augmentation de la diurèse. Elle est abondante, pauvre en sel et en urée [93].
 - Elle est donc responsable d'une perte de poids et d'une nette hémococoncentration [63].

3. PARTICULARITE DU PLONGEUR EN APNEE

L'apnée est définie comme l'arrêt temporaire des échanges gazeux entre les poumons et l'atmosphère. En effet, ce n'est ni un arrêt de la respiration au sens tissulaire du terme, ni un arrêt total de la ventilation puisque lorsque l'apnée dépasse quelques dizaines de secondes, des mouvements ventilatoires réflexes reprennent, même s'ils sont inefficaces car la glotte est fermée [36].

L'exemple de l'apnée volontaire est unique en physiologie du fait de la capacité de l'homme à pouvoir interrompre de manière consciente une fonction végétative accomplie au moyen d'un système neurologique appartenant à la vie de relation.

3.1. ASPECTS RESPIRATOIRES ET METABOLIQUES DE L'APNEE

Selon les calculs du Dr Corriol dans les années 70, la durée maximale théorique de l'apnée est de 5min 30 secondes [36]. Le record actuel est de 11min et 35 secondes. Les calculs « mathématico physiologiques » sont donc loin de tenir compte des adaptations de la nature.

La durée de l'apnée dépend de la composition initiale de l'air alvéolaire (PAO_2 , $PACO_2$), du remplissage gazeux pulmonaire (stock O_2), du métabolisme (consommation O_2 et production CO_2), de la réponse (tolérance variable), des centres régulateurs de la baisse de PAO_2 , de l'élévation de la $PACO_2$, du pH ainsi que des informations provenant de la paroi thoracique via les mécanorécepteurs, et enfin de l'aspect psychologique qui est la capacité de lutte contre les sensations désagréables [96].

3.1.1. L'immersion du corps

Nous allons étudier les échanges respiratoires au sein du système clos que constitue alors l'organisme.

Nous utiliserons dans ce chapitre les abréviations suivantes pour :

PAO_2 : la pression **alvéolaire** en oxygène.

$PACO_2$: la pression **alvéolaire** en dioxyde de carbone.

PaO_2 : la pression **artérielle** en oxygène.

$PaCO_2$: la pression **artérielle** en dioxyde de carbone.

PO_2 : la pression partielle en oxygène.

PCO_2 : la pression partielle en dioxyde de carbone.

mmHg : millimètre de mercure, comme unité caractérisant la pression des différents gaz.

Exception faite de l'apnée statique qui est réalisée en surface, la principale difficulté à étudier l'effet de l'apnée sur le plongeur provient de l'intrication des facteurs. Les uns résultant de l'apnée elle-même, les autres tenant aux variations de pression au cours de la plongée qui se répercutent sur les cavités compressibles de l'organisme.

3.1.1.1. Apnée en surface

- Hors de l'eau, apnée à sec :

L'arrêt ventilatoire engendre un arrêt de l'apport d'oxygène et de l'évacuation du gaz carbonique alors que le métabolisme cellulaire persiste. Ainsi la pression alvéolaire en O₂ (PAO₂) diminue (de 120mmHg à 35mmHg avec un seuil à 30mmHg) et celle en CO₂ (PACO₂) augmente (de 40 mmHg à 51mmHg, avec un seuil à 60mmHg), d'où une diminution des gradients de pression alvéolo-capillaire (Gradient devient nul après 4 minutes d'apnée au repos) avec modifications de l'hématose [48].

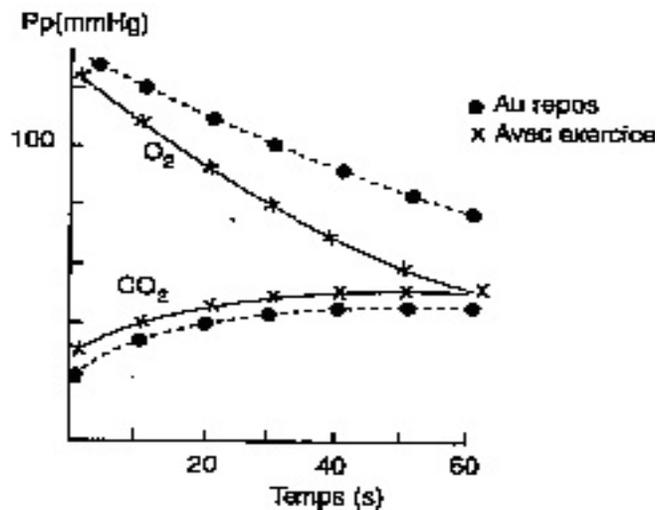


Figure A5 : Valeurs des pressions partielles alvéolaires d'oxygène et de gaz carbonique au cours de l'apnée simple avec ou sans travail (d'après Lanphier et Rahn, 1963) [94].

On constate qu'après 60 secondes d'apnée la PAO₂ rejoint la PACO₂. La cinétique de la PACO₂ résulte de substances tampons qui fixent une grande partie du CO₂ produit et qui ne peut pas être évacué par voie pulmonaire au cours de l'apnée. Quant au pH artériel, il décroît régulièrement pendant l'apnée et peut atteindre 7,29 après 4 minutes [94]. L'exercice musculaire surajouté va accentuer l'hypoxémie, l'hypercapnie et l'acidose métabolique avec pour conséquence de diminuer le temps d'apnée.

- Apnée dans l'eau en surface :

Comme déjà expliqué plus haut, l'intervention du facteur immersion de la face et du corps provoque une stimulation des thermorécepteurs avec des ajustements cardio-circulatoires responsables d'une bradycardie et d'une vasoconstriction. Ces réactions permettent donc une diminution de la consommation d'O₂ et de la production de CO₂.

3.1.1.2. Apnée en plongée : Effet de la profondeur

Sous l'eau la pression hydrostatique augmente de 1 bar tous les 10 mètres. Ainsi à 10 mètres la pression absolue, qui est la somme de la pression hydrostatique (1 bar à 10 mètres) et de la pression atmosphérique (1 bar) a déjà doublé.

Donc au cours d'une apnée en plongée, aux phénomènes décrits plus haut se superposent les variations de la pression ambiante. La loi de Boyle-Mariotte va donc avoir toute son importance et s'appliquer aux volumes de l'organisme : $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$

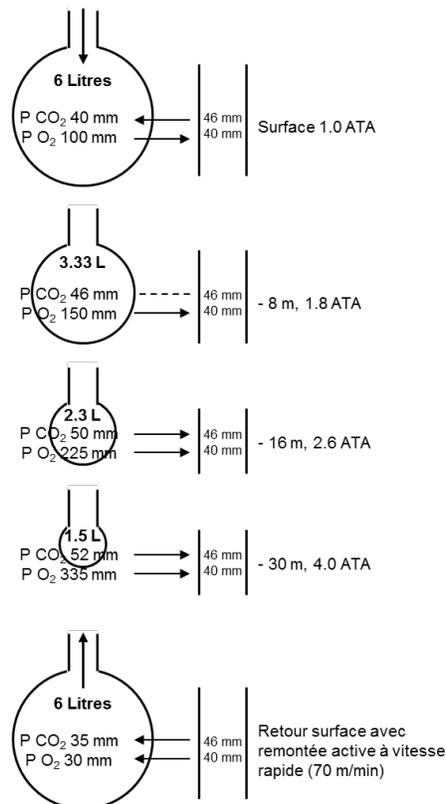


Figure A6 : Schéma résumant l'évolution des volumes pulmonaires et des échanges alvéolo-capillaires en fonction de la profondeur au cours d'une plongée à 30m sans hyperventilation (d'après Corriol, 1993).

Les pressions partielles de chacun des gaz devraient théoriquement doubler à 10 mètres, tripler à 20 mètres, etc.

Pourtant Qvist et ses collaborateurs ont montré que lors d'une apnée l'augmentation de la PAO₂ (à 150mmHg) et de la PACO₂ (49mmHg) n'est pas directement proportionnelle à l'augmentation de la pression ambiante. D'une part, il y a toujours une consommation d'O₂ par l'organisme et des systèmes tampons captant le CO₂ et d'autre part intervient la compliance thoracique [117]. A 5m, l'élévation de la PAO₂ et de la PACO₂ est seulement de 27%, soit seulement la moitié de l'augmentation de celle de la pression hydrostatique qui croit de 50% (1bar à 1,5bar) [104].

- **Pour le dioxyde de carbone :**

- A la descente, trois facteurs contribuent à l'augmentation de la PaCO₂ : L'effort musculaire, l'apnée et l'accroissement de la pression ambiante. Les substances tampons ont pour rôle de limiter cette augmentation. Jusqu'à 8 m, la PACO₂ augmente lentement et à cette profondeur la PACO₂ est égale à la PaCO₂. Après 8 m, la PACO₂ diminue légèrement. En effet, l'augmentation de la pression hydrostatique va entraîner une diffusion puis une fixation du CO₂ de l'alvéole vers les substances tampons du sang. Il en résulte qu'au-delà de 8 m les gradients de pression s'inversent ainsi que les échanges gazeux. L'alvéole cède du CO₂ au sang [94].
- A la remontée, les gaz alvéolaires se dilatent, les pressions partielles chutent, les échanges gazeux s'inversent, mais le sang n'abandonne que très lentement le CO₂ fixé, si bien qu'en fin d'apnée la PACO₂ peut être inférieure à sa valeur du début d'apnée et ceci d'autant plus que la vitesse de remontée est rapide. Ceci est dû au fait que le transport sang vers les alvéoles est trop lent pour compenser les effets de la décompression au niveau des poumons.

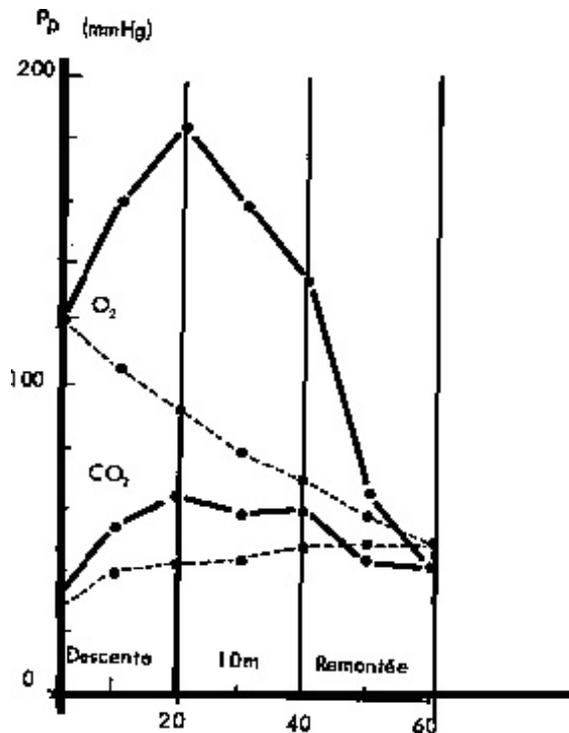


Figure A7 : Evolution de la PACO₂ et de la PAO₂ au cours d'une apnée de 60 secondes comportant une descente à 10 m, un palier à 10 m et la remontée (d'après Lanphier et Rahn, 1963) [94]. Chaque étape dure 20 s. Les courbes en pointillés rappellent les valeurs correspondant à une apnée en surface avec un travail léger

- **Pour l'oxygène:**

Durant la plongée, le prélèvement dans les alvéoles est constant et la pression partielle d'oxygène dans l'air alvéolaire (PAO₂) baisse régulièrement jusqu'à atteindre 30 mmHg.

- A la descente, la compression thoracique des gaz alvéolaires augmente lors de l'immersion et ainsi l'augmentation de PAO₂ accentue le gradient de pression alvéolo-capillaire en O₂ favorisant sa diffusion dans le sang, ce qui majore ainsi l'aisance de l'apnée. Par contre l'augmentation de ces pressions se fait plus lentement qu'en théorie à cause de la consommation métabolique [94].
- Au fond, cette hyperoxie procure un bien être bien connu des apnéistes et ce d'autant plus que le stimulus CO₂ au niveau carotidien est bloqué pour des PaO₂ supérieures à 200 mmHg (ce qui est le cas aux alentours de 15 mètres).
- A la remontée, on observe une forte diminution de la PAO₂ liée à la consommation et surtout à la chute brutale de la pression hydrostatique (la

diminution de la PAO₂ peut même devenir inférieure à celle dans les capillaires, d'où un passage inverse de l'oxygène du sang vers les alvéoles pulmonaires = inversion de la diffusion alvéolo-capillaire). Il en résulte que les pressions partielles d'oxygène artérielle et alvéolaire peuvent descendre très bas en fin de remontée, cela est la principale cause de pertes de connaissances (syncope anoxique) chez les apnéistes [36].

- **Pour 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.

3.1.2. Mécanismes de rupture de l'apnée

Stimulus de la ventilation normale si PO₂ < 150 mm Hg ou si PCO₂ > 40 mm Hg.

Au cours d'une apnée, bien avant la rupture, apparaît une activité motrice diaphragmatique réalisant des mouvements respiratoires à glotte fermée. Si l'on excepte la capacité de lutte psychologique de certains, le besoin de respirer ou « soif d'air » ressenti après un certain temps d'apnée est de plusieurs origines : chimique mécanique, dynamique.

3.1.2.1. Facteurs chimiques

La reprise ventilatoire qui détermine l'arrêt de l'apnée dépend principalement de la teneur en CO₂ et O₂ du sang artériel. Ce sont les chémorécepteurs (du glomus artériel et du tronc cérébral) qui agissent sur la commande respiratoire, laquelle interrompt l'arrêt volontaire des mouvements ventilatoires.

Un des facteurs de rupture de l'apnée est l'action combinée d'un seuil d'hypercapnie et d'un seuil d'hypoxie, même si le stimulus CO₂ est bien plus efficace.

Le stimulus O₂ agit de façon maximale sur les chémorécepteurs périphériques pour une PAO₂ < 50 mm Hg. Le stimulus CO₂ agit sur les récepteurs centraux de façon lente à partir de 30 mm Hg et sur les chémorécepteurs périphériques à partir de 40 mm Hg (sauf si PAO₂ ≥ 200 mm Hg) [34].

3.1.2.2. Facteurs mécaniques

Il existe une relation entre les volumes pulmonaires au début de l'apnée et la durée de l'apnée. Plus ils sont importants, plus la durée de l'apnée augmente [24].

Ils interviennent également au niveau des échanges gazeux en modifiant les seuils de tolérance des gaz respirés. Ainsi lorsque les volumes pulmonaires initiaux sont grands, la PACO₂ est plus grande et la PAO₂ plus petite au point de rupture de l'apnée ce qui augmente la durée de celle-ci [104].

3.1.2.3. Facteurs dynamiques

Des expériences ont montré que la mobilisation de la cage thoracique permet de réaliser une nouvelle apnée. En effet, si en fin d'apnée on fait expirer le sujet dans un sac étanche puis réinhale immédiatement son contenu, l'apnée est prolongée de plusieurs dizaines de secondes [76].

Guz et coll. ont montré en 1966 que la suppression des afférences thoraciques des nerfs vagues et glosso-pharyngiens prolonge l'apnée en supprimant les sensations pénibles [81].

Il a également été constaté qu'il était possible de prolonger l'apnée par la curarisation diaphragmatique chez le volontaire conscient. Ainsi l'absence de mouvement respiratoire (en interaction avec l'hypoxie et l'hypercapnie) va stimuler les centres respiratoires qui à leur tour activent les muscles inspiratoires, le diaphragme va donc se contracter de façon involontaire et de plus en plus violemment [23].

L'absence d'alternance expansion-rétraction de la cage thoracique par l'intermédiaire des voies sensibles, serait en partie (en plus de l'apnée elle-même) à l'origine des sensations déplaisantes ressenties par l'apnéiste [100] [126].

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

Pour conclure sur les facteurs influençant le temps d'apnée, Courteix et coll. ont prouvé l'interdépendance de ces différents stimuli. La rupture de l'apnée est liée aux interactions

entre l'augmentation de la PACO₂, la diminution du volume pulmonaire et l'absence d'information centrale résultant de l'arrêt ventilatoire [44] [45].

3.1.2.4. Les différentes phases de rupture de l'apnée

Lin a ainsi décrit deux phases à l'apnée [99] :

- **La « phase d'aisance »** : entre le début de l'apnée et les premières contractions diaphragmatiques involontaires le sujet ne ressent aucune contraction pénible. Ce sont surtout les stimuli chimiques vu précédemment qui interviennent dans cette phase avec prépondérance du stimulus CO₂. A la fin de cette phase se situe le *point de rupture physiologique*.
- **La « phase de lutte »** : elle débute au point de rupture physiologique et se termine à la rupture de l'apnée que l'on appelle *point de rupture conventionnel*. Les secousses diaphragmatiques puis pariétales à glotte fermée s'intensifient et entraînent une sensation de striction thoracique à l'origine d'une « soif d'air » très intense. Les contractions apparaissent pour une PACO₂ remarquablement constante (47 mmHg). Ainsi ces informations sensibles d'origine pariétales interviennent pour venir rompre l'apnée, surtout pour des apnées supérieures à 2-3 minutes. Le point de rupture conventionnel intervient selon les sujets et pour une PACO₂ comprise entre 50 et 91 mmHg, ce qui explique que ce sont principalement les facteurs dynamiques qui entrent en jeu dans cette phase [99].

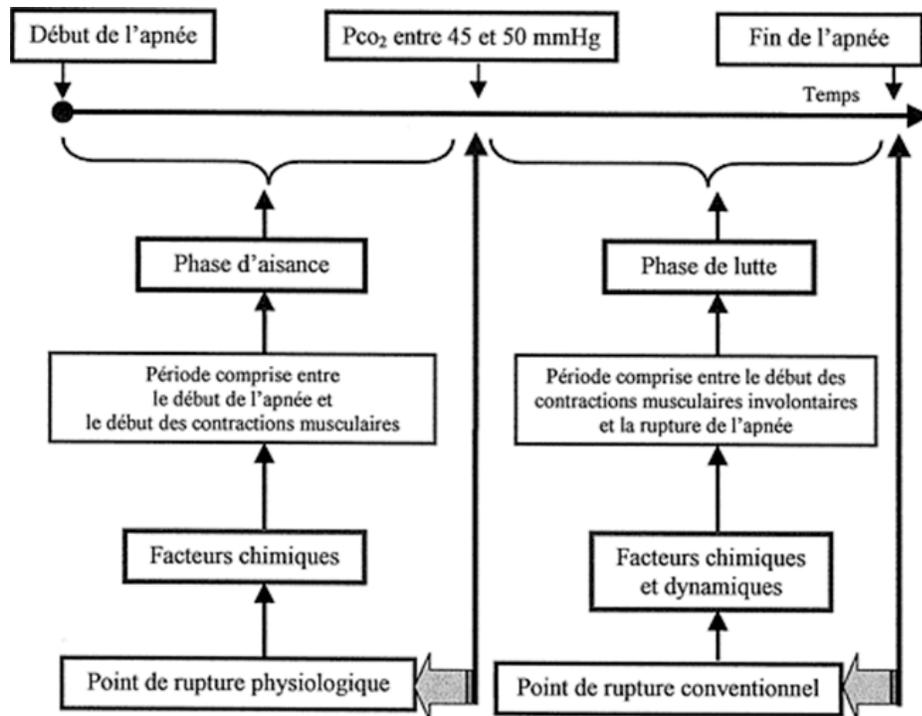


Figure A8 : Les différents points de rupture de l'apnée.

3.1.2.5. Ressenti lors d'une apnée statique

On distingue classiquement trois phases :

- La phase d'installation : le plongeur, en position ventrale, immergé, s'immobilise et vérifie la décontraction de tous ses muscles.
- La phase d'oubli de son corps, de soi-même, de son apnée : l'apnéiste échappe quelques instants à la réalité, au temps et laisse voguer son esprit.
- La phase de lutte : commence avec les contractions du diaphragme. Si l'on continue à forcer, les spasmes deviennent de plus en plus fréquents et l'envie de respirer plus pressante.

L'entraînement et la tolérance psychologique à la douleur vont repousser ces signaux d'alarme pour ne les enregistrer que comme des informations nociceptives. Lors de cette phase de lutte, ce sont la motivation et le lâcher-prise qui font tenir l'apnée.

3.1.3. Effets de l'hyperventilation

Après une hyperventilation (accélération et amplification respiratoire) volontaire préalable il existe une augmentation modérée des pressions partielles alvéolaires et artérielle en oxygène (la saturation passe de 97 à 98% et la PAO₂ de 100 à 120mmHg) avec une diminution des pressions en CO₂. En fait, l'hyperventilation n'augmente pas les réserves d'oxygène mais tend plutôt à baisser le taux de CO₂ et ainsi à décaler les signes d'apparition de l'hypercapnie et donc de « l'envie de respirer ». La phase d'aisance « easy going phase » va être prolongée.

Cette hypocapnie entraîne une suppression du stimulus CO₂ sur les récepteurs centraux et périphériques (à partir de 30 mmHg). Cette disparition de l'envie de respirer explique le confort ressenti par les apnéistes après une hyperventilation, mais aussi le risque de perte de connaissance hypoxique (ou syncope hypoxique). En effet, à mesure que l'apnée se poursuit le stimulus CO₂ reste faible longtemps alors que le stimulus O₂ croît lentement mais de façon insuffisante pour constituer à lui seul un signe d'alarme. Ainsi l'hypoxie s'installe progressivement jusqu'à la perte de connaissance.

Cette pratique a donc pour conséquence d'augmenter de façon notable les risques de perte de connaissance à la remontée car la remontée est plus tardive [35].

On peut dire que l'hyperventilation eucapnique ne prolonge pas la durée d'apnée totale [115].

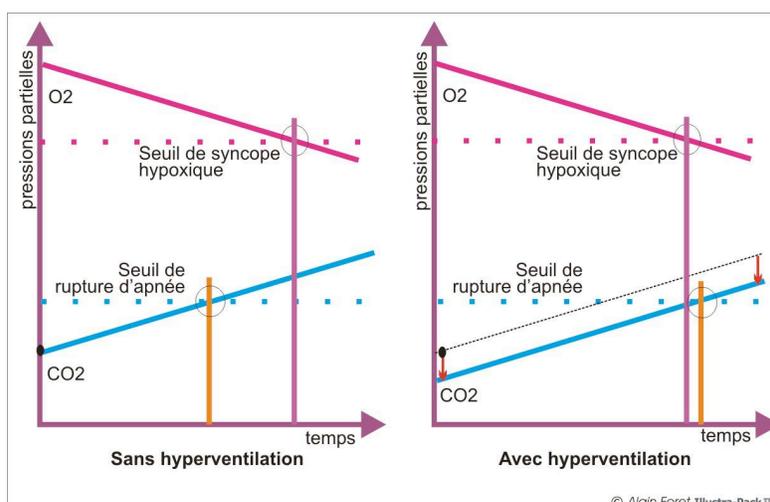


Figure A9 : Conséquences de l'hyperventilation.

En pratique pour l'apnéiste, l'hyperventilation doit être proscrite pour 3 raisons :

- Elle retarde l'envie de respirer
- Elle donne une fausse impression de « bien être »
- Elle peut favoriser la survenue d'une syncope précocement

L'apnée est un sport de ressenti et toute chose pouvant la perturber mettra en danger l'apnéiste.

3.2. ADAPTATIONS CARDIO CIRCULATOIRES LORS DE L'APNEE

Lors d'une apnée en plongée, comme chez les mammifères , il existe chez l'homme des mécanismes d'adaptations physiologiques ayant pour but de lutter contre la diminution de pression partielle artérielle en oxygène et de lutter contre les effets mécaniques de la pression sur les cavités remplies d'air.

Ces modifications hémodynamiques sont regroupées sous le terme de « REFLEXE DE PLONGEE » ou « DIVING REFLEX »; terme utilisé d'abord par Hong en 1967 quand il étudiait les amas coréennes [84].

3.2.1. Le « diving reflex »

Il s'agit de l'ensemble des modifications hémodynamiques au cours d'une apnée dont la finalité est de fournir aux organes nobles une quantité d'oxygène suffisante et d'améliorer la qualité de l'apnée. Il intervient en interaction avec les adaptations ventilatoires étudiées précédemment.

3.2.1.1. Ralentissement de la fréquence cardiaque et bradycardie

Dans l'apnée statique, pendant les 30 premières secondes suivant l'arrêt ventilatoire la fréquence cardiaque diminue progressivement afin de diminuer la consommation d'oxygène du myocarde et donc de l'organisme tout entier. (Diminution de -20% chez l'homme, -30% et plus rapidement chez l'apnéiste entraîné) [42].

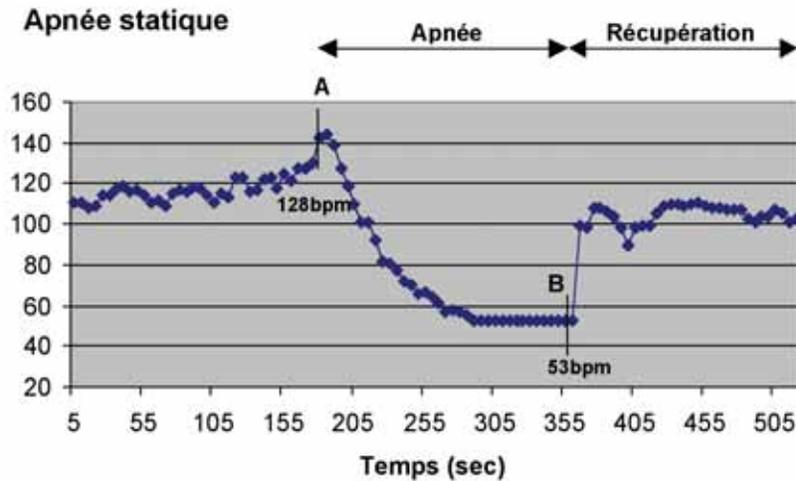


Figure A10 : Evolution de la fréquence cardiaque au cours d'une apnée statique (mesurée en condition de compétition, Chamalieres 1999).

Ce ralentissement de la fréquence cardiaque est surtout d'origine hémodynamique et s'adapte à la diminution du retour veineux secondaire à l'hyperpression thoracique générée par l'apnée à glotte fermée [66] [105] [127].

Un mécanisme vagal, via l'étirement des récepteurs mécaniques thoraciques, est aussi mis en cause d'où une majoration de la bradycardie lorsque le volume pulmonaire de départ est augmenté [93].

AUGMENTATION	DIMINUTION
Le jeune âge [85]	L'exercice [123]
Le froid [14] [42]	La manœuvre de Valsalva [36]
Un remplissage pulmonaire important [36]	L'hyperventilation [36]
L'entraînement [87]	L'hypercapnie de façon tardive [42]
La profondeur [106]	

Tableau A1 : Autres facteurs influençant la bradycardie en apnée.

Lors d'une apnée dynamique, la tachycardie d'exercice s'oppose à la bradycardie de l'apnée diminuant ainsi temps de maintien de l'apnée [123].

Lors d'une apnée en plongée, la bradycardie est majorée (par rapport à l'apnée en surface). L'augmentation de pression hydrostatique engendre une diminution du volume pulmonaire qui associée à la vasoconstriction périphérique augmente le retour veineux et entraîne une baisse de la fréquence cardiaque afin de limiter l'hypertension artérielle [106].

3.2.1.2. Vasoconstriction périphérique

Elle prédomine sur les membres avec une diminution du débit sanguin de plus de 65% dans les membres [6].

L'organisme se met en situation d'économie d'énergie en privilégiant la vascularisation neurologique et cardiaque au détriment de la vascularisation musculaire et splanchnique dont la tolérance à l'anaérobie est meilleure [78][75]. Cette vasoconstriction a aussi pour conséquence de diminuer la consommation d'oxygène surtout en cas d'hypoxémie initiale à l'apnée [102].

Elle est à l'origine d'une augmentation de pression artérielle systémique, modeste en apnée de surface et accentuée en apnée plongée (augmentation des chiffres de 20% en moyenne chez le normotendu) en raison des pertes de chaleur déclenchant la thermorégulation. La vasoconstriction permet donc de compenser la bradycardie [22].

3.2.1.3. Diminution du débit cardiaque

Elle a été mesurée aux environs de 10 % et dépend de la baisse de la fréquence cardiaque et de la vasoconstriction associée [92].

3.2.1.4. La contraction splénique

Dernier phénomène hémodynamique décrit sur le « diving reflex ». Elle est plus prononcée en immersion qu'au sec et permet grâce à une augmentation de l'hématocrite (de 6% environ) de prolonger la durée d'apnée. Elle se prolonge encore 60 minutes après la fin de l'apnée [64].

3.2.1.5. Pour résumer le « diving reflex »

L'apnée en elle même entraine une bradycardie, une vasoconstriction périphérique et une contraction splénique. Les deux premiers phénomènes s'atténuent avec la prolongation de l'apnée de part les modifications biochimiques apparaissantes (hypoxie et acidose hypercapnique secondaire au métabolisme anaérobie).

De même, nous avons vu que l'immersion du visage via les thermorécepteurs accentue les mécanismes du « diving reflex » et plus l'eau est froide plus les effets sont marqués et l'hypertension artérielle accentuée [42].

3.2.2. Modifications électrocardiographiques

Dans certaines circonstances, des études faites sur des plongeurs Amas ont montré des modifications de l'électrocardiogramme souvent difficiles à interpréter car variables selon la température, la durée d'immersion et la profondeur. Il peut exister des troubles du rythme et de conduction [65].

Les troubles du rythme ont lieu le plus souvent au delà de 40 m, sont favorisés par une bradycardie < 35/min, l'intense hypertonie vagale et l'importante surcharge ventriculaire droite. Ils sont aggravés par le froid [93]. La fréquence d'apparition des troubles du rythme augmente avec la durée et la profondeur de l'apnée.

Des particularités rythmiques (comme les extrasystoles ventriculaires ou les passages en rythme jonctionnel) ont tendance à se lisser, à disparaître progressivement avec le temps et l'entraînement. Après l'intersaison et l'arrêt des immersions régulières, pour retrouver leurs adaptations spécifiques, il faut entre 4 et 6 semaines pour les plongeurs en apnée [1].

3.2.3. La circulation cérébrale

L'apnée entraine une augmentation du débit sanguin des artères cérébrales et carotides, liée à l'hypoxie ou hypercapnie en partie. Ainsi cela permet de compenser l'hypoxie cérébrale.

4. L'ENTRAINEMENT

4.1. PRINCIPES DE L'ENTRAINEMENT

Le but est d'améliorer les facteurs physiologiques, c'est à dire la tolérance à l'hypoxie, à l'hypercapnie et à l'acidose lactique. Il existe 3 type d'entrainement à associer [97].

- L'entrainement de fond qui fait travailler la filière aérobie et améliore l'endurance (course à pied, vélo, natation).
- L'entrainement spécifique en piscine qui fait travailler la filière anaérobie.
 - **Apnée hypercapnique** : On réalise des apnées après un travail ou après une courte période de récupération. Le travail doit se faire entre 50 à 70% de la maximale par exemple par de l'apnée dynamique avec une diminution des temps de récupération. Il s'agit du « travail hypercapnique ».
 - **Apnée lactique** se fait lors d'effort musculaire violent mais il n'est pas toujours facile de faire la différence avec l'apnée hypercapnique. Il s'agit du « travail lactique ».
 - **Apnée hypoxique** : Le travail se fait sur la durée lors d'apnée statique avec des récupérations longues, où la relaxation la décontraction et le psychologique ont une place importante. Il s'agit du « **travail hypoxique** ».
 - **Apnée ludique** pour travailler l'aquaticité et l'aisance en immersion à travers les différents jeux possible.
- L'entrainement spécifique en mer pour travailler la propulsion, la respiration, la compensation, la flottabilité et la sécurité.

4.2. RETENTISSEMENT PHYSIOLOGIQUE

L'entrainement de fond et l'entrainement spécifique améliorent la durée d'apnée grâce aux effets suivants accumulés :

- **Effets physiques :**
 - Augmentations des volumes pulmonaires (6-10%), capacité vitale et capacité pulmonaire totale, avec diminution du volume résiduel (< 10%) et une meilleure souplesse thoracique. Cette adaptation est obtenue grâce à des exercices

d'assouplissement et de renforcement musculaire des muscles inspiratoires et expiratoires (abdominaux, muscles intercostaux, diaphragme) [26] [96].



Photo A1 : Guillaume Nery

- **Effets chimiques :**

Au cours de l'apnée, la baisse de la PaO₂ et l'augmentation de la PaCO₂ sont plus lentes chez les sujets entraînés que chez les sujets novices. Cela est dû à une meilleure utilisation de l'oxygène (taux d'extraction dans l'alvéole plus élevé, pente de la courbe de dissociation de l'hémoglobine plus grande) et à une meilleure efficacité des systèmes tampons. La tolérance respiratoire au CO₂ est majorée par contre la tolérance du système nerveux au CO₂ demeure mauvaise. La tolérance à l'hypoxie devient meilleure [36][96].

- **Effets cardiovasculaires :**

Le « diving reflexe » dont le but est de diminuer la consommation d'oxygène, est renforcé chez le sujet entraîné :

- L'intensité de la bradycardie est plus marquée mais c'est surtout la diminution de la fréquence cardiaque qui est atteinte plus rapidement et cela dès les premières secondes [11][113].
- La vasoconstriction est accentuée [89].

- **Effets psychologiques :**

Les techniques de respiration et relaxation permettent une meilleure estimation du temps, une meilleure sensation ventilatoire avec ralentissement du rythme ventilatoire, une meilleure connaissance de soi et de ses limites [26].

- **Effets sur le point de rupture de l'apnée :**

L'entraînement de fond et l'entraînement spécifique agissent à leur façon pour repousser le point de rupture physiologique et le point de rupture conventionnel avec une action prédominante sur la phase de lutte. Delapille et coll. 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 [58].

- **Autres effets :** diminution de production d'acide lactique et de radicaux libres, meilleure contraction musculaire ainsi que recul de la fatigue musculaire.

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 [26].

5. RESUME DES ADAPTATIONS CARDIO CIRCULATOIRES ET VENTILATOIRES DE L'APNEISTE EN PROFONDEUR

Il s'agit de l'intrication des modifications physiologiques liées d'une part à l'apnée et d'autre part à l'effet de la profondeur et du milieu.

- **Sur le plan cardio-circulatoire [96] :**

La réponse cardiovasculaire lors d'une apnée appelée « diving reflex » associe : un ralentissement de la fréquence cardiaque, une vasoconstriction périphérique, une diminution du débit cardiaque et une contraction splénique. Si l'apnée *à sec* modifie la fréquence cardiaque par des effets essentiellement hémodynamiques, l'immersion et l'exposition au froid vont les accentuer considérablement.

Ainsi au cours de la plongée, la bradycardie s'intensifie, le débit cardiaque baisse, la pression artérielle augmente et une séquestration sanguine essentiellement intrathoracique survient (blood shift).

Pendant la descente et le séjour au fond, l'augmentation de la pression ambiante augmente et donc celle de la pression partielle d'oxygène vont renforcer tous ces phénomènes.

Pendant la remontée, la situation devient plus critique car les contraintes hémodynamiques sont majeures, vidange du blood shift malgré la persistance d'une vasoconstriction périphérique et diminution du retour veineux. En plus, ces changements ont lieu dans un contexte d'hypoxie renforcée par la diminution de la pression ambiante mais aussi par la situation d'acidose de fin d'apnée.

- **Sur le plan respiratoire et ventilatoire [96] :**

La durée d'une apnée volontaire est déterminée par l'interaction de facteurs mécaniques (volumes pulmonaires), chimiques (tolérance à l'hypoxie et hypercapnie), dynamiques (contractions involontaires du diaphragme), psychologiques (motivation, stress, compétition) et exogènes (entraînement, exercice musculaire).

A partir d'un seuil, dont le niveau varie selon les individus, ces stimulations provoquent une sensation déplaisante qui va supplanter le contrôle de la volonté et conduire au besoin impérieux de respirer à l'origine de la rupture de l'apnée.

L'entraînement physique et l'expertise du plongeur amènent à des adaptations physiologiques comme une diminution de la sensibilité au gaz carbonique ou une meilleure économie de l'oxygène retardant ainsi l'apparition des signaux désagréables et donc augmentant la durée d'apnée.

Parallèlement, il existe des adaptations psychologiques puisque les sujets entraînés sont capables d'augmenter par le contrôle de la volonté, la durée de la phase de lutte de l'apnée.

6. POINTS FORTS

On est forcé de constater que le corps de l'apnéiste est soumis à des modifications physiologiques majeures au cours de la plongée en apnée et l'on peut comprendre l'importance de l'entraînement en profondeur de façon très progressive afin d'adapter son corps à ces épreuves.

La différence essentielle entre l'Homme et l'animal est que ce dernier ne cherchera jamais à dépasser ses propres limites en vue de records occasionnant une prise de risque non négligeable dans un environnement si particulier.

On peut également se poser la question du « vieillissement » de l'apnéiste de haut niveau devant ces contraintes exercées sur le corps. Malheureusement aucune étude longitudinale s'intéressant aux effets à long terme de la pratique de l'apnée « extrême » n'a permis d'en connaître les conséquences éventuelles.

Partie B.

L'APNEE SPORTIVE

1. HISTOIRE DE L'APNEE

1.1. UN MOYEN

La plongée en apnée est une activité très ancienne dont l'origine se perd dans l'histoire du temps. Elle était pratiquée à travers différentes civilisations pour des raisons plus souvent vitales. Il semblerait qu'il ait existé trois foyers de développement depuis l'antiquité (10000 ans avant notre ère) : la méditerranée orientale pour la pêche des éponges, le golfe persique pour les perles, la mer de chine septentrionale pour l'alimentation avec la cueillette des coquillages et crustacés.

Par la suite, elle devint une activité économique avec les plongeurs égyptiens qui ramassaient des perles utilisées pour des bijoux (3ème millénaire avant J.C), mais également pour la teinturerie grâce à la récupération du murex (3ème siècle avant J-C), ainsi qu'en chirurgie avec l'utilisation des éponges (4ème siècle avant J-C).

Elle se développa également en activité militaire par les nageurs de combat pour la reconnaissance ou le sabotage (dès le 5ème siècle avant J.C) [40].

En 1915, Giorgios Haggi Satti un modeste pêcheur d'éponge grec fut considéré comme le premier apnéiste profond de tous les temps, lorsque qu'il fut capable de descendre à 80m en apnée à plusieurs reprises pour passer une corde dans une ancre qu'un navire italien avait perdue. Son record involontaire fut inégalé pendant 60 ans [110].

L'activité très ancienne des amas coréennes et japonaises subsiste jusqu'à nos jours; ces plongeurs 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 (caillou pour lest). Il y aurait encore 10000 amas de nos jours.

1.2. NAISSANCE D'UN SPORT

Ce n'est que récemment, au milieu du XXe siècle, que l'homme a décidé de se lancer dans la course aux records et les italiens furent les premiers à s'y atteler. L'année 1949 est considérée comme l'an zéro de l'apnée sportive quand Raimond Bucher en fut l'instigateur et descendit à 30 m juste pour un pari. Pour cela ils utilisaient les techniques ancestrales

avec un lest de 7 kg environ et étaient reliés à l'embarcation par une ligne de vie (naissance du poids variable et « no limit »). Cela permit à Maiorca de passer la fameuse barre des 50m en 1961, et donc de controverser la théorie du Docteur Cabarro, physiologiste français qui affirmait 10 ans auparavant qu'à cette profondeur l'homme serait écrasé [36].

Puis s'enchaînèrent les records avec Maiorca qui domina cette discipline pendant des années, jusqu'à l'apparition en 1966 de Jacques Mayol qui fut le premier à passer la barre des 100 m en 1976. Leur rivalité sportive pendant 20 ans mise en scène dans le « grand bleu » en 1988 a pu faire découvrir cette discipline de passionnés peu nombreux et donner un regain mondial d'intéressement pour de nombreux futurs apnéistes.

En 1990, une nouvelle rivalité pris place entre Umberto Pellizzari et Francisco Ferreras Rodriguez dit« Pipin ». Toujours au coude à coude, ils développèrent la discipline de No limit [62].

En 1996, eurent lieu les premiers championnats du monde organisés par l'AIDA.

Dans le même temps, la plongée libre s'est dotée d'une dimension loisir par le hockey ou rugby subaquatique, photographie sous-marine et tir sur cible.

2. ORGANISATIONS AUTOUR DE L'APNEE

2.1. FFESSM (Fédération Française d'Etudes et de Sport Sous Marins)

Fondée en 1948 par Borelli sous un autre nom, elle est l'une des plus anciennes fédérations du monde, elle encadre tous les sports sous marin loisirs (Plongée scaphandre, plongée libre, plongée souterraine, nage avec palme, tir sur cible, pêche sous marine, hockey subaquatique, nage en eau vive, archéologie subaquatique, orientation subaquatique). Ce n'est qu'en 1955 qu'elle devient la FFESSM [67]. L'apnée est reconnue tardivement par la fédération et les premières compétitions en apnée statique et dynamique débutent en 2005.

La commission nationale d'apnée se limite aux records d'apnée statique et dynamique. Toutefois la commission médicale de 2009 s'est montrée favorable à l'introduction avec prudence du poids constant comme discipline en compétition, dont la première devrait avoir lieu en 2012.

2.2. CMAS (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques)

Créée en 1959 par Cousteau, elle est la première véritable organisation de plongée mondiale ainsi que la première à avoir véritablement structuré l'enseignement de plongée sous-marine. Elle regroupe les fédérations (dont la FFSSEM) et les associations ou organismes nationaux qui œuvrent dans le domaine de la plongée et gèrent les activités subaquatiques sportives concernées.

Elle a homologué les premiers records d'apnée [32].

2.3. AIDA (Association Internationale pour le Développement de l'Apnée)

Fondée en 1992 par Chapuis * et Specker, elle est la référence des apnéistes. Elle se positionne comme une fédération mondiale qui régleme les tentatives de records en apnée toutes disciplines confondues, organise des compétitions, promeut l'enseignement de l'apnée avec la formation des moniteurs. Le but essentiel est de développer l'apnée en sécurité devant la recrudescence de jeunes qui se lancent dans cette discipline après 1988 avec l'image "d'homme-dauphin" un peu suicidaire véhiculée par "Le Grand Bleu". Ainsi les premiers textes réglementaires sont écrits, et les homologations de record par l'AIDA s'enchaînent [62].

2.4. IAFD (International Association of Freedivers)

Créée en 1997 par l'apnéiste cubain « Pipin » (ancien titulaire du record de « no limit ») elle encadrait essentiellement les disciplines de profondeurs. « Pipin » était marié à Audrey Mestre, apnéiste française décédée en 2002 lors d'une compétition de « no limit" où elle tentait les -171m. Suite à cet accident, l'IAFD qui organisait le record a été vivement critiqué par le monde de l'apnée vis à vis des conditions de sécurité inadaptées. De plus, l'association fut controversée car elle décida de reconnaître le record d'Audrey Mestre à titre posthume. L'IAFD n'existe plus depuis 2004.

** Ancien recordman du monde en apnée statique en 1989 et champion du monde par équipe en 2000 et 2ème en 2001, enseignant à la Faculté des sciences du sport.*

2.5. AUTRES FEDERATIONS ET ASSOCIATIONS

- **FIPSAS** (Fédération Italienne de la Pêche sportive et des activités Subaquatiques) :
Créée en 1942 a surtout l'objectif de promouvoir la pêche sportive amateur.
- **F.R.E.E** (Freediving Regulations and Education Entity) :
Organisme crée en 1999 par un entraîneur d'apnéiste de haut niveau. Il s'agit d'un organisme de références pour la vérification des records en apnée tout comme l'AIDA et la CMAS. Elle se développe également pour la formation de l'apnéiste et la promotion de la sécurité dans le sport.
- **APRAAS** (Association pour la Promotion de la Recherche sur l'Apnée et les Activités Subaquatiques) :
Créée récemment et formée par des physiologistes, chercheurs, médecins, vétérinaires, passionnés par l'apnée.
- **FNPSA** (Fédération nautique de pêche sportive en apnée) :
Créée en 2002 suite à des désaccords de la méthode de gestion de cette activité par la FFESSM.
- **CIPA** (Centre International de Plongée en Apnée) :
Crée en 1999 par Loïc Leferme *, Claude Chapuis et Éric Horeau qui aujourd'hui accueille des pratiquants du monde entier et est une référence pédagogique dans le milieu international de la plongée libre. L'actuel président est Guillaume Nery **
[31].

3. LES DIFFERENTES CATEGORIES D'APNEE ET LEURS RECORDS

[3][5]

3.1. DISCIPLINES PRATICABLES EN PISCINE

- **L'apnée Statique (STA)** : l'apnéiste effectue l'apnée la plus longue possible, le corps sur/ou dans l'eau (maximum 3 mètres) sans mouvement, les voies respiratoires immergées sans mouvement.

* Ancien recordman du monde en Apnée No limit à 5 reprises entre 1999 et 2004.

** Ancien recordman du monde de poids constant en 2002, 2004, 2006.



Photo B1 : Positionnement de l'apnéiste en apnée statique.

	Nom	Année	Durée
Homme	S. MIFSUD (FRA)	2009	11 min 35
Femme	Natalia MOLCHANOVA (RUS)	2008	8 min 23

Tableau B1 : Records mondiaux AIDA Apnée Statique.

- **L'apnée Dynamique** : à faible profondeur, l'apnéiste s'immerge et se déplace à l'horizontal avec pour but une distance maximale à parcourir.
 - SANS PALME (DNF) : aucune aide à la propulsion.
 - AVEC PALME (DYN) : avec mono palme ou bi palme pour la propulsion.



Photo B2 : Vue d'un apnéiste lors d'une apnée dynamique monopalme.

	Nom	Année	Distance	Durée	Vitesse moyenne
Apnée Dynamique Sans Palme					
Homme	David MULLINS (NZ)	2010	218 m	4 min 11	0,87 m/s
Femme	Natalia MOLCHANOVA (RUS)	2009	160 m	N.R.	N.R.
Apnée Dynamique Avec Palme(s)					
Homme	David MULLINS (NZ)	2010	265 m	4 min 01	1,10 m/s
Femme	Natalia MOLCHANOVA (RUS)	2010	225 m	N.R.	N.R.

Tableau B2 : Records mondiaux AIDA Apnée Dynamique.

3.2. DISCIPLINES PRATICABLES EN MILIEU NATUREL (MER/LAC)

- **L'Immersion Libre (FIM)** : l'apnéiste descend et remonte, tentant d'atteindre une profondeur annoncée, en se tractant à une corde à la seule force des bras, sans aucune aide à la propulsion.



Photo B3 : Vue d'un apnéiste lors d'une immersion libre en phase de remontée.

	Nom	Année	Distance	Durée	Vitesse moyenne
Homme	William TRUBRIDGE (NZ)	2011	121 m	4 min 30	0,89 m/s
Femme	Natalia MOLCHANOVA (RUS)	2008	85 m	N.R.	N.R.

Tableau B3 : Records mondiaux AIDA Immersion Libre.

- **Le Poids Constant** : l'apnéiste descend et remonte par sa seule force musculaire, sans traction sur le câble et en conservant le même lestage à la descente et à la remontée. Seul le maintien du câble en une prise unique (à une ou deux mains) pour arrêter la descente et amorcer la remontée est autorisé.
 - SANS PALMES (CNF), sans aucune aide à la propulsion.
 - AVEC PALMES (CWT), en utilisant des palmes ou une mono palme.



Photo B4 : Vue d'un apnéiste lors d'une descente en poids constant avec palme.

	Nom	Année	Distance	Durée	Vitesse moyenne
Poids Constant Sans Palme					
Homme	William TRUBRIDGE (NZ)	2010	101 m	4 min 10	0,80 m/s
Femme	Natalia MOLCHANOVA (RUS)	2009	62 m	N.R.	N.R.
Apnée Dynamique Avec Palme(s)					
Homme	Herbert NOTSCH (AUS)	2010	124 m	N.R.	N.R.
Femme	Sara CAMPBELL (ANG)	2009	96 m	N.R.	N.R.

Tableau B4 : Records mondiaux AIDA Poids Constant.

- **Le Poids Variable (VWT)** : l'apnéiste a une descente accélérée par un lest abandonné au fond (une gueuse) et la remontée est accomplie par sa propre force musculaire, grâce aux palmes et/ou en se tirant le long du câble.



Photo B5 : Vue d'un apnéiste lors d'une descente en poids variable.

	Nom	Année	Distance	Durée	Vitesse moyenne
Homme	Herbert NITSCH (NZ)	2009	142 m	N.R.	N.R.
Femme	Annelie POMPE (SUE)	2010	126 m	N.R.	N.R.

Tableau B5 : Records mondiaux AIDA Poids Variable.

- **Le « No Limit » (NLT) :** l'apnéiste descend et remonte à l'aide d'un lest de poids illimité en tentant d'atteindre une profondeur annoncée et remonte avec la méthode de son choix (ex. ballon, contrepoids, ballast). L'apnéiste ne fait aucun mouvement musculaire, il ne se consacre qu'à la compensation et à la tolérance de la pression.



Photo B6 : Vue d'un apnéiste lors en « No Limit ».

	Nom	Année	Distance	Durée	Vitesse moyenne
Homme	Herbert NITSCH (NZ)	2007	214 m	4 min 24	1,62 m/s
Femme	Annelie POMPE (SUE)	2010	160 m	N.R.	N.R.

Tableau B6 : Records mondiaux AIDA « No Limit ».

La statique, la dynamique, le poids constant et l'immersion libre sont des disciplines de compétition. La FFESSM reconnaît les deux premières et l'AIDA toutes.

Les disciplines du poids variable et du « no limit » ne sont aujourd'hui uniquement des disciplines de records pour l'AIDA mais non reconnues par la FFESSM.

3.3. AUTRES DISCIPLINES

La Vitesse d'Endurance en apnée est une épreuve où l'athlète vise à couvrir une distance fixée en un minimum de temps possible dans une piscine. Généralement il s'agit du 16*50 m. Cette discipline est seulement reconnue par la CMAS.

Le saut Bleu (ou encore appelé « le cube » ou « Le bleu Jump ») est une épreuve où l'athlète doit couvrir la distance maximale avec des palmes en apnée autour d'un carré de quinze mètres de côté situé dans une profondeur de dix mètres. L'événement a lieu en milieu naturel. Le Jump Blue est le compromis que la CMAS et la FFESSM pensent avoir trouvé à la course à la profondeur plus difficile à organiser ou à sécuriser.

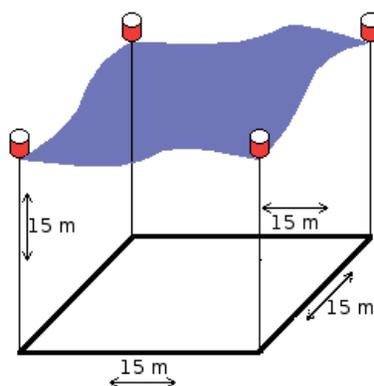


Figure B1 : Schématisation du cube

La skandalopetra est une discipline d'apnée fondée sur les principes de la plongée en apnée traditionnelle telle que les pêcheurs d'éponges grecques. Elle tire son nom de celui de la pierre (skandolapetra) avec laquelle les plongeurs s'immergent, une pierre plate de forme ovale aux bords arrondis qui sert de gueuse. Arrivé à la profondeur souhaitée, le plongeur est remonté à la surface par des assistants qui tractent la corde.



4. EVOLUTION DES RECORDS

4.1. ANALYSE DES RECORDS

La plupart des records ont d'abord été reconnu par la Confédération Mondiale des Activités subaquatiques (CMAS) puis plus récemment par l'Association Internationale pour le Développement de l'apnée (AIDA).

Les données des records Hommes dans chaque discipline nous ont permis de réaliser ces graphiques et d'analyser l'évolution de ce sport, où les limites physiologiques sont sans cesse dépassées [3][96].

4.1.1. En statique

Dans l'apnée statique, les limites ne sont pas encore atteintes et ces dernières années la progression a encore été très rapide. L'évolution des performances ont été linéaires jusqu'en 2006 à partir duquel la progression a été nettement plus rapide, notamment avec la performance de S. Misfud qui en 2009 améliore le record d'une minute et 20 seconde.

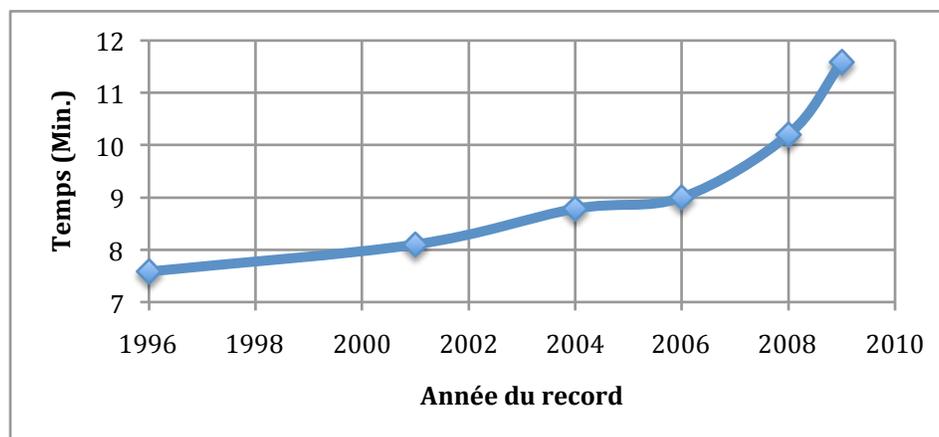


Figure B2 : Evolution des records du monde en apnée statique (en minutes)

4.1.2. En profondeur

Dans les disciplines de profondeur, il est à noter que l'augmentation des profondeurs n'est pas proportionnelle à celle de la durée d'immersion, la profondeur progressant plus rapidement que le temps d'apnée.

4.1.2.1. Poids constant et immersion libre

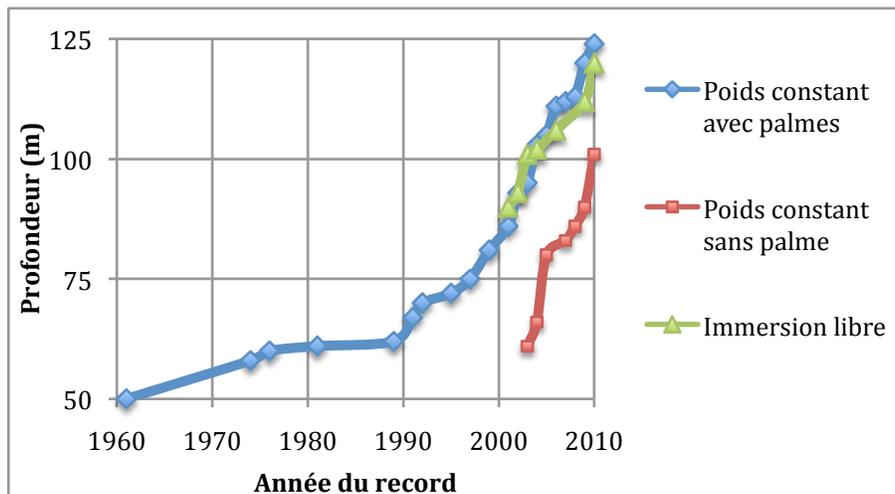


Figure B3 : Evolution des records du monde en poids constant et immersion libre (en mètre).

Le poids constant sans palme est une nouvelle discipline depuis 2003 donc peu de chiffre encore, mais l'ascension est extrêmement rapide.

Le poids constant avec palme, présente 3 cassures, une en 1979 avec le retrait de Maiorca et Mayol des compétitions, une avec l'arrivée de « Pipin » et Pellizarri en 1989, et une avec les nouveaux apnéistes tels que Nery ou Costes au début des années 2000 [41].

4.1.2.2. Poids variable et « no limit »

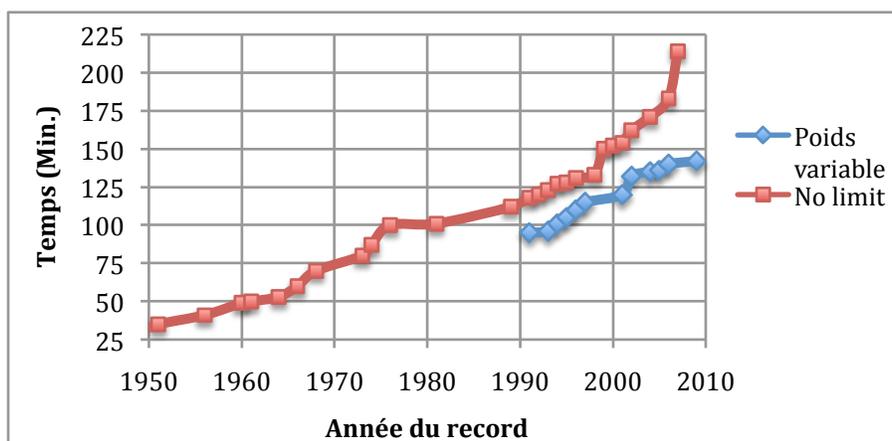


Figure B4 : Evolution des records du monde en poids variable et « no limit » (en mètre).

Avec le temps on constate ces dernières années une évolution exponentielle dans le « no limit » grâce à l'amélioration des techniques.

Herbert Nitsch le détenteur du record de « no limit » a dans ses projets de dépasser les 300m et en parlant de sa future tentative il dit : « *la physiologie humaine en déterminera l'issue* ».

Il est intéressant de noter qu'en dehors de l'apnée statique, d'un point de vue métabolique, une apnée est difficilement possible au delà des 5 minutes. Les records sont aux alentours de 4 min 4min 30 en apnée.

De même le temps d'apnée en « no limit » (264sec) ne représente que 37% du temps d'apnée en statique (695sec), ces deux disciplines étant plutôt proches sur l'activité physique sous l'eau mais tellement différentes sur les contraintes exercées sur le corps notamment par l'effet de la pression sur le corps.

4.2. LES FACTEURS PERMETTANT LA MULTIPLICATION DES RECORDS

4.2.1. Par les facteurs techniques et matériels

Leurs améliorations peuvent quasi suffire à expliquer ces progressions. Notamment dans les disciplines profondes où la profondeur croît et le temps d'apnée diminue.

- Actuellement le principal facteur limitant la vitesse de descente est la compensation des oreilles du fait de l'augmentation de la pression. Ainsi s'il existe une très bonne capacité d'équilibration, il y a moins de limite à la vitesse de descente. Pour cela certains apnéistes comme Musimu ou « Pipin » noyaient leurs sinus et oreilles moyennes à 40 m de profondeur.
- L'adoption de la position verticale du corps, tête en haut pour diminuer la résistance hydrodynamique et faciliter l'équilibration.
- Le perfectionnement des gueuses avec augmentation du lest et amélioration du système de gonflage du parachute permettant des remontées jusqu'à 3m par secondes.
- De même l'amélioration du matériel des apnéistes avec des palmes à ailettes, plus légères, avec un meilleur hydrodynamisme et des combinaisons plus fines facilitant l'aisance etc.

4.2.2. Par les facteurs humains

La démocratisation de l'apnée mais aussi la professionnalisation a permis une augmentation du nombre de pratiquants et notamment l'émergence de nouvelles nations dans cette discipline qui n'intéressait que la France, l'Italie et le Brésil.

De même les méthodes d'entraînement tendent à se professionnaliser, et deviennent digne d'athlète de haut niveau.

Il y a également la motivation des athlètes devant les sponsors [33].

4.3. LE DOPAGE EXISTE-T-IL ?

4.3.1. Les produits possibles

Leur but serait d'améliorer les performances, et de prolonger des temps d'apnée :

- Les bêtamimétiques : facilitation du passage de l'air dans les alvéoles.
- Les corticoïdes : réduction des mécanismes inflammatoires, de la douleur, de la fatigue.
- Les diurétiques : produits masquants pour diminuer la concentration des produits dopants dans les urines.
- Les bêtabloquants : réduction de la fréquence cardiaque.
- Le viagra : vasodilatation au niveau des vaisseaux pulmonaires.
- L'EPO ou transfusion sanguine : augmentation de la masse sanguine.
- L'inhalation d'oxygène : les quelques études réalisées montrent que les performances sont largement améliorées sous l'effet d'un surplus d'oxygène dans l'heure précédente.
- Les stupéfiants : atténuation des signaux d'alerte comme l'envie de respirer ou la douleur et augmentation de l'endurance.

De toute façon s'il y a du dopage en apnée et notamment en « no limit » qui est la discipline la plus extrême, il est de peu d'influence sur les temps d'apnées qui augmentent peu avec les records de profondeur. En 2005 Corriol disait qu'aucun dopage n'avait été recherché sur les plongeurs de « no limit » [43].

4.3.2. Le code antidopage et les tests anti-dopage

Dans tous les sports, le code anti dopage édicté par WADA (world anti doping agency) concernant les pratiques et la consommation de substances interdites est applicable, de même que les sanctions et pénalités prévues par celui-ci. Tout au long de l'année des tests aléatoires sans relation avec d'éventuelles compétitions ou tentatives de record peuvent être organisés. Les juges ont le pouvoir de demander des tests antidopage en cas de doute, à tout moment [125].

Dans l'apnée sportive, les règlements AIDA informent que lors d'un championnat du monde seront systématiquement testés l'athlète ou les équipes gagnantes [4]. Jusqu'alors tous les tests anti dopage se sont révélés être négatifs dans ce sport.

Par contre, en dehors des compétitions de haut niveau avec record, il n'y a pour le moment pas de dépistage systématique et les contrôles sont rarissimes.

Il existe des failles :

- Toutes les substances pouvant être utilisées ne sont pas forcément recensées dans la liste WADA.
- De plus, les dépistages effectués à posteriori après une épreuve ne peuvent pas exclure l'absence de dopage même s'ils sont négatifs. Beaucoup de substances ne sont pas détectables avec l'utilisation de produit masquant. Les examens urinaires réalisés en apnée ne sont pas fiables à 100%. De même, certains produits comme les corticoïdes peuvent être utilisés pendant les entraînements et stoppés assez tôt avant la compétition sans être détectés.
- L'apnée sportive reste une discipline peu connue avec peu de membres et donc peu de moyens. Les quelques sponsors se limitent aux quelques dizaines d'athlètes de haut niveau. Les tests anti dopage coûtent chers, les contrôles sont très rares en compétition et inexistant à l'entraînement.

Dans l'idéal, le plus fiable serait de développer le passeport biologique anti-dopage avec un suivi longitudinal lorsque les moyens le permettront. Il est basé sur le suivi de variables biologiques sélectionnées qui révèlent indirectement les effets du dopage et doit se faire dans le temps, par opposition à la détection directe traditionnelle du dopage qui se fait à un temps T.

L'Agence Française de Lutte contre le Dopage (AFLD) depuis 2007 accepte qu'un sportif puisse se soigner et concourir, d'où la mise en place des Autorisation d'Usage à visée Thérapeutique (AUT) qui sont très réglementées. Cependant dans ses demandes, les traitements les plus courants sont ceux de l'asthme avec le salbutamol et les corticoïdes inhalés [69][71].

Comme dans tous sports, aucun n'est à l'abri du dopage. Il reste de réels progrès à faire quant au dépistage, mais pour le moment la lutte contre le dopage est onéreuse tant en moyen, en recherche, qu'en organisation logistique, or L'AIDA ou le CMAS n'ont pas les moyens financiers de s'y investir pour le moment.

5. POINTS FORTS

Les connaissances de l'apnée ont évolué comme les records par paliers. C'est dans les années 60 qu'il y a eu le plus d'études physiologiques sur l'apnée et que les scientifiques expérimentaient leurs différentes théories. Puis dans les années 90, avec la génération « Grand Bleu », l'apnée se démocratise et s'organise au sein de l'AIDA. C'est alors que les connaissances sur la pratique et les techniques de compensations dépassent largement les théories scientifiques selon lesquelles l'homme ne pourrait pas descendre trop bas, sous peine d'y laisser sa vie. Aucune barrière physiologique n'interdit pour le moment d'améliorer, dans certaines limites, les records de profondeurs.

Ce sport est sans cesse en évolution avec des limites sans cesse repoussées et Nitsch compte le prouver lors de sa prochaine tentative à 300 m.

Partie C.

LES ACCIDENTS EN APNEE

1. PHYSIOPATHOLOGIE DES ACCIDENTS

1.1. LES PERTES DE CONNAISSANCE

Les pertes de connaissances et notamment hypoxiques sont les accidents les plus fréquents en apnée. Leurs gravités passent par le risque de noyade quand elles ont lieu sous l'eau.

1.1.1. L'hypoxie et anoxie cérébrale

1.1.1.1. Définition

- Normoxie : quantité d'oxygène dans le sang suffisante pour l'activité normale des tissus (PO₂ entre 0,17 et 0,21 bar).
- Hypoxie : diminution de l'apport d'oxygène aux tissus ne permettant plus aux tissus d'avoir une activité normale (PO₂ entre 0,12 et 0,17 bar).
- Anoxie : quantité d'oxygène ne permettant plus la survie des tissus (PO₂ < 0,12 bar).

Depuis la publication en 1878 de *La pression barométrique* par Paul Bert, les effets de l'hypoxie et de l'anoxie ont été étudiés tout au cours du XXe siècle.

Actuellement, leurs effets sont bien connus et très sommairement on peut les résumer ainsi [122] :

PaO ₂ (mmHg)	Manifestations pathologiques
60 => 40	Troubles psychiques possibles
40 => 30	Altérations des capacités intellectuelles mais mouvements automatiques conservés (nage)
30 => 20	Convulsions risque de noyade
< 20	Perte de connaissance syncope - noyade

Tableau C1 : Les manifestations de l'hypoxie.

1.1.1.2. Physiopathologie

Pour mieux comprendre la physiopathologie de la syncope, nous pouvons résumer ainsi ce que nous avons déjà étudié dans la partie physiologie quant à l'évolution des gaz au cours de l'apnée en surface, en profondeur ainsi que l'effet d'une l'hyperventilation.

- Au cours d'une apnée simple :

Au fur et à mesure que l'apnée se déroule, la pression partielle d'oxygène (P_{O_2}) diminue lentement par consommation de l'organisme et la pression partielle de dioxyde de carbone (P_{CO_2}) augmente jusqu'à atteindre le seuil de rupture de l'apnée. La P_{CO_2} est le stimulus chimique principal responsable de la reprise ventilatoire.

Puis dès la première inspiration, la P_{CO_2} chute par élimination pulmonaire et la P_{O_2} remonte grâce aux échanges pulmonaires.

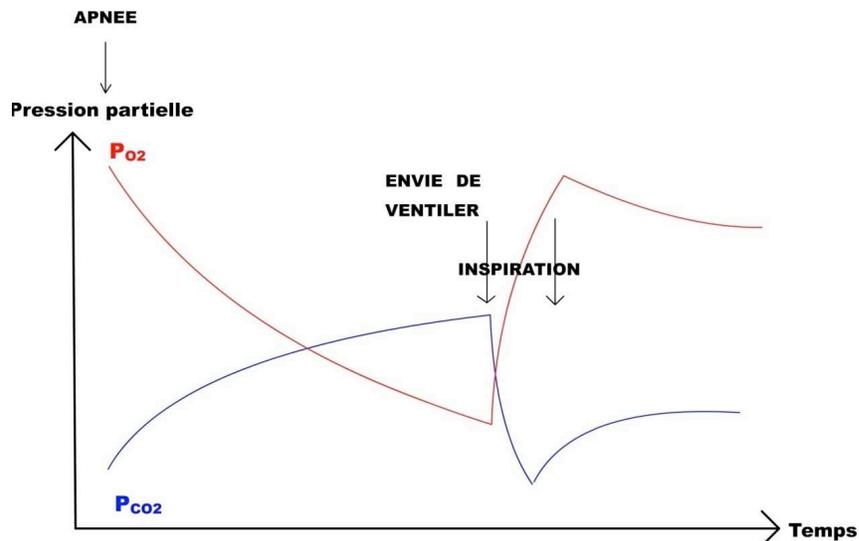


Figure C1 : Evolution des pressions partielles d'O₂ et CO₂ au cours d'une apnée.

- Rôle de la profondeur :

Le mécanisme de l'anoxie de l'apnée chez le sportif a été décrit par plusieurs auteurs dont Schaeffer, Dejours, puis Lanphier et Rahn. Les variations de la pression partielle alvéolaire, fonction de la pression hydrostatique, vont jouer un rôle capital [119][57].

- Au cours de **la descente**, la pression hydrostatique augmentant, la PA_{O_2} croît également. Ainsi les pertes d'oxygène liées à la consommation semblent moins importantes pour l'organisme (l'hypoxie est minorée en profondeur).
- A **la remontée**, outre le fait que l'oxygène diminue toujours par consommation, une diminution de la pression hydrostatique faisant chuter

la PAO₂ intervient. Ainsi se crée une hypoxie très rapidement croissante et d'autant plus intense que la surface est proche. Ceci explique le très grand nombre de syncope survenant dans les derniers mètres [39].

- Quelques fois à **l'émersion** et malgré la reprise ventilatoire, la syncope hypoxique « retardée » peut se produire. Des études de la pression transcutanée (Ptc) des gaz ont pu observer que le niveau alvéolaire normal de l'oxygène n'est restauré qu'après plusieurs cycles respiratoires. En effet après rupture de l'apnée, le délai entre la Ptc O₂ de la rupture de l'apnée et la Ptc O₂ minimum est compris entre 6 et 24 secondes [19]. Ce décalage correspond au temps de circulation sanguine [124].
- Rôle de l'hyperventilation :

Elle augmente très peu la PAO₂, en revanche elle diminue de façon significative la PACO₂. Cette baisse va permettre de retarder la rupture de l'apnée tout en allongeant la durée de celle ci avec un meilleur confort. Le risque est que la baisse de la PAO₂ par consommation atteigne le seuil syncopal, avant même que le stimulus PACO₂ ne déclenche la rupture de l'apnée. Il y a donc perte de connaissance avec un grand risque de noyade si la reprise respiratoire se fait sous l'eau.

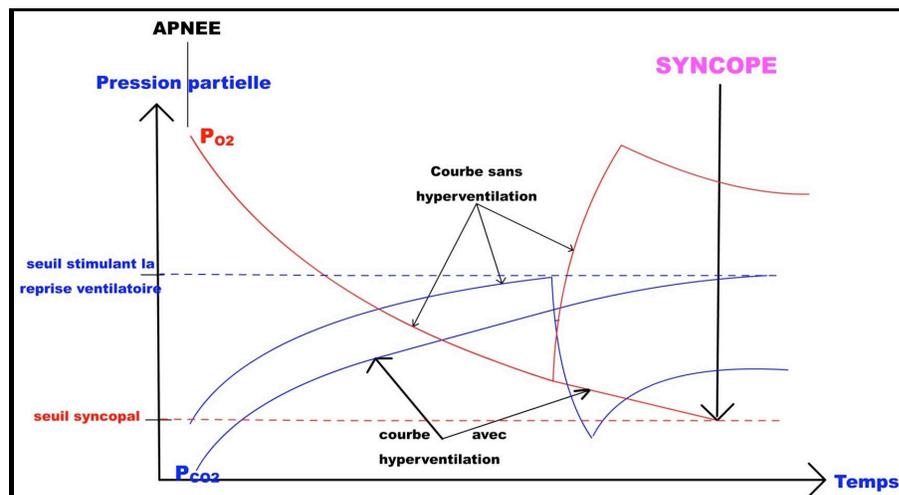


Figure C2 : Courbe des PO₂ et PCO₂ avec et sans hyperventilation : explication de la syncope après hyperventilation.

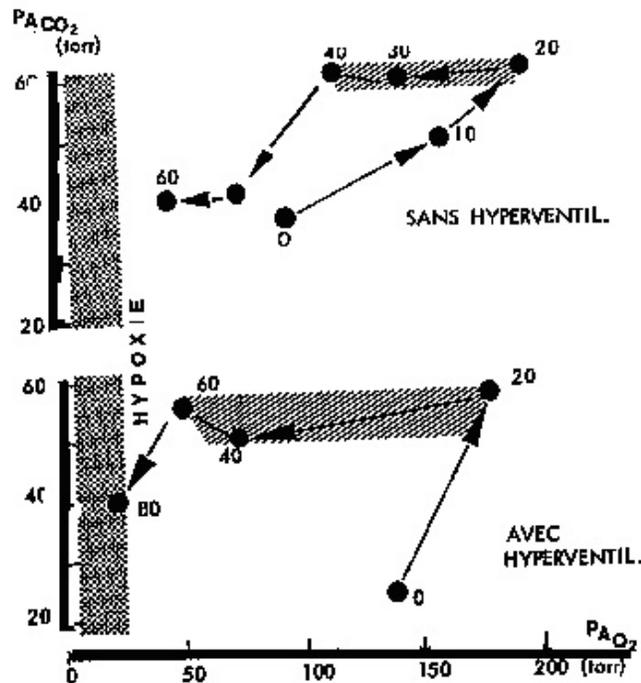


Figure C3 : évolution des pressions alvéolaires au cours d'apnées en inspiration forcée avec plongée fictive à 10m (le palier au fond est indiqué par la zone hachuré) Avec et sans hyperventilation .D'après les données de Lanphier et Rahn [95].

1.1.1.3. Les formes cliniques d'hypoxie

- La « samba » ou perte de contrôle moteur :

Depuis le développement des compétitions d'apnée en piscine notamment, une nouvelle symptomatologie clinique est apparue que l'on a nommé samba. A la sortie de l'eau et juste après la reprise respiratoire, l'apnéiste présente un mouvement saccadé de la tête avec une conscience et une réponse motrice altérées pendant quelques secondes. La récupération est quasi immédiate et sans séquelle. L'explication physiopathologique avancée serait une hypoxie sévère.

Elle ne nécessite aucune prise en charge médicale particulière, par contre il faudra assister l'apnéiste pour éviter le suraccident comme la noyade [36] [96].

- La syncope ou perte de connaissance :

La perte de connaissance, liée à l'hypoxie cérébrale, est le plus grand danger de l'apnée [14]. Même si en elle-même, elle n'est pas directement dangereuse, ses conséquences peuvent être dramatiques lorsqu'elle a lieu sous l'eau. La reprise ventilatoire se fait alors que les voies aériennes sont immergées, ce qui conduit à la noyade. Il est peu probable que l'hypoxie puisse causer directement la mort sans passer par la noyade.

Pour Corriol « la perte de connaissance hypoxique est brutale, sans prodrome, n'est qu'exceptionnellement précédée de signes annonciateurs et souvent niée par l'apnéiste » [36].

Par la suite Oliveiras, grâce à des témoignages des équipes de surveillance, a pu mettre en évidence quelques signes extérieurs pouvant annoncer une hypoxie [114]. Quelques uns de ces signes annonciateurs servent encore de nos jours à organiser la sécurité de l'apnéiste comme nous le verrons plus loin dans la prévention.

Il avait également supposé qu'il existait des prodromes que l'apnéiste pouvait ressentir, mais sa théorie a été énormément controversée et est considérée comme erronée actuellement.

Pour l'apnéiste, il n'existe aucun signe annonçant la survenue prochaine d'une perte de connaissance.

Les fourmillements des extrémités, les spasmes diaphragmatiques que peut ressentir l'apnéiste, traduisent une pression partielle en CO₂ élevée, proche du seuil de rupture de l'apnée.

1.1.1.4. Les facteurs favorisant la syncope

- **Facteurs individuels :**

- Age et sexe :

Les syncopes hypoxiques surviennent préférentiellement chez les sujets masculins dont l'âge est compris entre 16 et 20 ans. Une des raisons est que les sujets jeunes sont plus vagotoniques. De même, les jeunes garçons sont plus téméraires, moins réfléchis, plus attirés par les performances en apnée

[39]. Une autre explication pourrait résider dans une meilleure tolérance du sexe féminin à la fois à l'hypoxie et à l'hypercapnie modérée mais cette hypothèse n'a pas été démontrée [86].

- Personnalité avec une conduite à risque :

Surtout chez les jeunes, amateurs de sensations fortes, à la recherche de leurs limites jusqu'à une mise en jeu du risque vital, souvent avec un esprit de compétition avec soi-même ou des autres personnes. La motivation est effectivement primordiale afin de parvenir à surmonter la sensation de soif d'air [15].

• **Facteurs physiologiques liés à la plongée :**

- L'hyperventilation :

Nous avons compris que l'hyperventilation fausse les mécanismes de rupture de l'apnée conduisant l'apnéiste à jouer avec la frontière qui le sépare de la syncope. Selon Corriol, « sans hyperventilation, l'accident hypoxique est improbable » [39]. Dans l'étude de Craig, toutes les victimes de syncope ont témoigné qu'ils s'étaient hyperventilés avant [49].

Actuellement, les effets de l'hyperventilation sont bien enseignés et sa pratique est fortement déconseillée ; pourtant les syncopes existent toujours.

- Un effort physique important lors de l'immersion :

Il arrive que l'apnéiste majore son effort en fin d'apnée, lorsqu'il veut atteindre son but à tout prix et malgré les signaux d'alarme [83]. Un lestage trop important peut également favoriser la syncope, car à la remontée il devra réaliser un effort plus important pour s'opposer au phénomène de flottabilité négative. Le stress peut être considéré comme un équivalent d'effort soutenu de part la consommation accrue d'oxygène qu'il engendre.

- Vitesse de remontée rapide :

Plus elle est rapide, plus la chute de la PAO₂ est importante, plus le risque de syncope est majoré au voisinage de la surface.

Vitesse	PAO2 (mmHg)
Apnée en surface	64,8
0,58 m/s	34,8
0,70 m/s	34,7
1,07 m/s	27,3

Tableau C2 : les valeurs des PAO2 à l'arrivée en surface après une plongée de 90 sec et à une profondeur de 27,4 m en fonction de la vitesse de la remontée (d'après Corriol) [36].

- La perte de notion de temps :

La durée de l'apnée est souvent sous-estimée par l'apnéiste. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette sous-estimation : la bradycardie (ayant pour conséquence une altération passagère du fonctionnement de l'horloge interne), l'hypoxie, la stimulation visuelle, la distraction attentionnelle (pensée, imagerie mentale, etc.) [88].

- Le nombre d'apnées :

La syncope semble plus fréquente après des apnées successives enchaînées [49].

- L'entraînement :

Nous avons vu précédemment dans la partie physiologie qu'à force d'exercices, les apnéistes développent une plus grande tolérance au CO₂ et un meilleur contrôle sur les sensations d'inconfort. Ces premiers signaux pourront donc être outrepassés alors que la PO₂ continue à baisser jusqu'au seuil de syncope.

La syncope en apnée est un risque pour les débutants comme pour les apnéistes confirmés. Les apnéistes entraînés sont souvent victimes de leur surmotivation et de leur aisance, tandis que les débutants payent leur manque de connaissance des règles de sécurité. Chaque année de trop nombreux accidents souvent mortels rappellent ce risque.

1.1.1.5. Conduite à tenir devant une syncope ou samba en compétition

En compétition, les protocoles de sécurité et la présence d'apnéistes de sécurité limitent fortement la gravité de ces accidents.

En cas d'accident, même si les premiers gestes sont assurés dans l'eau par l'apnéiste de sécurité, il appartient au médecin fédéral de prendre en charge la victime au décours de l'accident et d'adapter le traitement selon la nature de l'accident et l'état de la victime.

Le protocole de prise en charge ci dessous est utilisé par la FFESSM [68].

- En cas de samba ou perte de contrôle moteur, le masque est retiré, la tête est maintenue hors de l'eau jusqu'à ce que la victime récupère. Il n'y a pas eu de perte de connaissance ni d'inhalation ce qui limite l'intervention du médecin.
- En cas de syncope, la situation est plus extrême et nécessite dans un premier temps l'intervention rapide des équipes de sécurité pour éviter à la victime inconsciente de couler et d'inonder ses voies aériennes. Une syncope sous l'eau, il faut occlure les voies respiratoires et la remonter rapidement. Une syncope en surface, il faut maintenir les voies respiratoires hors de l'eau. Ensuite le masque est retiré, plusieurs insufflations bouche à nez sont faites, on lui administre rapidement de l'oxygène puis la victime est sortie de l'eau. Selon l'état du syncopé le médecin de la fédération appliquera le protocole suivant.
 - L'apnéiste totalement amnésique a repris connaissance, n'a pas inhalé et l'examen clinique est strictement normal. Une mise sous O₂ au masque est préconisée (15 l/min) pendant 10 min.
 - Si le délai d'intervention est plus long, l'apnéiste qui coule inconscient a pu inhaler et présente une toux persistante et/ou une tachypnée, éventuellement accompagnées de signes généraux (asthénie, pâleur, tachycardie, vomissements, etc.). Le risque d'atteinte pulmonaire retardée (SDRA, pneumopathie, etc.) est alors élevé et justifie une hospitalisation pour surveillance et contrôle radiologique et gazométrique.
 - Enfin dans les cas les plus graves qui ne devraient pas survenir en compétition, la victime échappant à toute surveillance coule et après avoir

fortement inhalée est récupérée en état de mort apparente (stade 4 de grand anoxique de la classification de Bordeaux). La réanimation cardiorespiratoire s'impose dès que la victime est extraite de l'eau dans l'attente de l'intervention d'une équipe de réanimation (SAMU / pompiers). On ne cherche pas nécessairement à réchauffer la victime, une légère hypothermie étant à l'heure actuelle considérée comme améliorant le pronostic après réussite de la RCP.

1.1.1.6. Prévention [59]

Après l'étude de la physiopathologie de la syncope et de ses facteurs favorisant des recommandations pour la prévention se résument de la façon suivante [59] :

- Prévention de la syncope :
 - Savoir revoir son objectif à la baisse, voire remettre la plongée à un autre jour si les conditions ne sont pas favorables (manque de forme, conditions météorologiques mauvaises).
 - Ne pas se focaliser sur les objectifs à atteindre, être plutôt à l'écoute de soi, de son corps, de ses sensations.
 - Ne pas hyperventiler avant l'apnée.
 - Un lestage adapté pour avoir une flottabilité légèrement positive en surface (diminution des efforts de sustentation). Ce lestage est calculé pour obtenir un équilibre entre 5 et 7 m, zone où les syncopes sont le plus fréquentes
 - Ne pas majorer l'effort en fin d'apnée.
 - L'apnéiste de sécurité doit rester vigilant et doit savoir détecter les signes annonciateurs de syncope, qui seront détaillés dans la partie sécurité (expiration d'air sous l'eau avec la présence de bulles, pas de réponse aux signes de surveillance préalablement convenu, accélération du palmage, mouvements désordonnés, etc.).
 - Bien ventiler après émergence sans tuba et après avoir ôté le masque.
 - Les séances d'apnées ne doivent pas être trop longues, car une accoutumance à l'augmentation de la pression partielle de CO₂ se produit au fur et à mesure

des apnées sans qu'il se produise une accoutumance à la diminution de la pression partielle en O₂.

- Respecter un temps de récupération suffisant et qui doit être équivalent à 2 fois le temps d'apnée selon une règle empirique [96].
- Prévention des conséquences de la syncope :
 - Toujours travailler en binôme pour pouvoir réagir rapidement en cas d'incident.
 - Porter une longe de sécurité en cas d'épreuve de profondeur.
 - Vérification du matériel de secours (Bouteille d'oxygène, etc.).

1.1.1.7. Conséquences des syncopes à long terme ?

Jusqu'ici, il n'y a pas eu d'étude sur le vieillissement des anciens apnéistes de haut niveau, que ce soit sur le plan cardiaque, pulmonaire ou neurologique. D'une part ce sport est encore plutôt récent et d'autre part, il y a 20 ans, le nombre de pratiquants était très faible.

L'hypoxie induit obligatoirement une souffrance physiologique qui reste acceptable à condition de ne pas dépasser certaines limites. Au delà de la perte de connaissance, les effets chroniques de l'hypoxie ne sont pas connus, en particulier sur le système nerveux, premier compartiment à souffrir du manque d'oxygène. La dégénérescence des neurones étant irréversible, un principe de précaution s'impose quant aux risques d'effets importants liés à une pratique intensive de l'apnée [96].

1.1.2. Les autres pertes de connaissance

Elles font partie du diagnostic différentiel de la syncope hypoxique.

1.1.2.1. Par chute de la fréquence cardiaque

- Origine cardio-vasculaire :

Il existe une bradycardie lors d'une plongée en apnée et peuvent apparaître des troubles de rythme et des troubles de conduction à l'électrocardiogramme et ce d'autant que la température est froide. Hors certains troubles graves entraînent une

perte de connaissance : Blocs sino auriculaires, blocs de branche, BAV II et complet, tachycardie ventriculaire.

- Origine sino carotidienne :

Par hypersensibilité du sinus carotidien à l'étirement responsable d'une bradycardie avec hypotension et possible perte de connaissance. Les apnéistes souvent à la remontée effectuent une hyperextension de la tête.

- Origine vaso-vagale :

Il existe une phase prodromique bien connue suivie d'une chute de tension artérielle et d'une bradycardie responsable de la chute du débit sanguin cérébral. En apnée elle peut être déclenchée par des douleurs vives lors d'otites ou sinusites barotraumatiques, de piqûres par des animaux marins, d'une émotion intense, etc.

1.1.2.2. Autres mécanismes

- Hyperexcitabilité neuromusculaire favorisée par l'hyperventilation.
- Valsalva qui augmente brutalement la pression intra-thoracique.
- Vertiges vrais par atteinte vestibulaire.
- Etats pathologiques : épilepsie, hypoglycémie.

1.2. L'OEDEME PULMONAIRE

1.2.1. Définition

Cette pathologie de la plongée en apnée semble plutôt rare mais existe chez des personnes indemnes de pathologie cardio-pulmonaire, au cours d'une plongée scaphandre, de l'apnée ou encore lors de la natation. Boussugues a décrit des cas lors d'apnée [36][17].

Cet accident est probablement plus fréquent que ce qui est recensé car tous ne sont pas déclarés, et malheureusement il n'y a pas de statistique.

Il correspond à un trouble de la perméabilité de la membrane alvéolo-capillaire lié à une atteinte cellulaire qui surviendra pour des profondeurs autour de 25m.

1.2.2. Physiopathologie

Son mécanisme s'explique lors de la descente en profondeur où la dépression thoracique importante crée une aspiration entraînant un afflux de sang dans les capillaires pulmonaires, phénomène déjà vu dans la partie physiologie et que l'on appelle « BLOOD SHIFT ». Il est d'autant plus important avec la profondeur et est responsable alors d'une augmentation des pressions pulmonaires artérielles et veineuses.

Dans certaines circonstances, il pourrait provoquer des hémorragies intra alvéolaires par rupture de la paroi capillaire :

- En cas de prise d'aspirine pendant quelques jours avant la plongée, pratique fréquente chez les apnéistes et les chasseurs (vertu antalgique et amélioration de l'apnée) [18].
- La réalisation volontaire de contractions diaphragmatiques en fin d'apnée crée une pression négative intra-pleurale qui majore le retour veineux et donc la pression hydrostatique des capillaires pulmonaires [90].

1.2.3. Les signes cliniques

La symptomatologie apparaît à la remontée ou rapidement en surface. On peut retrouver une toux, une hémoptysie (dans 60%), une dyspnée, une faiblesse généralisée, une confusion ou encore une oppression thoracique. L'examen retrouve classiquement des râles et des sibilants. Les symptômes disparaissent rapidement (5 min à 48h), spontanément ou après instauration du traitement. Des cas de décès ont été décrits en apnée [7].

1.3. LES « ACCIDENTS DE DECOMPRESSION »

1.3.1. Historique des accidents

En effet jusqu'en 1965, il était admis que les plongeurs en apnée ne pouvaient pas être touchés par les « accidents de décompression » (ADD) car ils ne plongeaient pas assez profond ni assez longtemps pour avoir une accumulation d'azote dans les tissus.

Pourtant dans les années 60-70, des médecins et ethnologues ont pu décrire des accidents de plongée touchant les chercheurs de perle des îles Tuamotu qui lors de la saison de plongée étaient frappés de « Taravana » (littéralement : tomber fou) et présentaient des manifestations très variables dont certaines pouvaient évoquer des accidents de décompression. Ils plongeaient à poids variable jusqu'à 40m en apnée, 6 heures par jour à un rythme de 15 plongées par heure. Les plongées étaient précédées d'hyperventilation [50]. Une étude réalisée en 1965 donnait sur 235 plongeurs : 34 incidents mineurs d'ADD, 6 paralysies, 3 syncopes, 2 décès [121].

En Europe, Paulev en 1965 décrit sur lui même une pathologie ressemblant au « Taravana ». Son expérience reste contestable pour certains car non effectuée en apnée pure mais par une compression au sec. Depuis cette publication de nombreux auteurs se sont accordés à dire que les accidents de décompression étaient possibles en apnée [116].

Schaeffer en 1955 a trouvé des microbulles dans du sang prélevé immédiatement après une plongée unique à 50 mètres mais elles sont cliniquement silencieuses [120].

Le docteur Heran en 1990 retrouva lors d'une compétition sportive de chasse, 6 cas présentant des symptômes évocateurs des ADD (vestibulo-labyrinthiques et neurologiques centraux, dont 5 cas sur 6 avec des parésies et/ou paresthésie). Les conditions étaient des plongées de 5 à 8 heures consécutives à des profondeurs dépassant les 30 mètres et des durées d'apnées supérieures à 2 minutes avec des temps de récupération en surface de 30 secondes à 4 minutes. Des lésions cérébrales ont été retrouvées à l'IRM/TDM dans un cas. Tous les symptômes ont régressé dans les heures ou jours suivants et il n'y a eu aucune séquelle [82].

Entre 1995 et 1997, le Dr Grandjean étudia également les ADD en apnée et il mit en cause dans certains cas l'utilisation d'un locoplongeur (= scooter sous marin) comme facteur favorisant [79][80].

1.3.2. Physiopathologie

La physiopathologie de ces accidents neurologiques centraux reste encore incertaine et beaucoup de questions demeurent en suspend. Le mécanisme invoqué serait la saturation en azote du poumon, du fait de l'augmentation de la pression intrapulmonaire avec la profondeur. Par la suite avec des plongées très profondes et/ ou répétées, la saturation des tissus en profondeur, puis la création de microbulles d'azote à la remontée qui viendraient se bloquer au niveau cérébral.

Des doutes subsistent sur la nature des « accidents de décompression » car des éléments restent inexplicables :

- Seules des atteintes neurologiques centrales sont constatées et aucun accident médullaire, ni aucun bends (atteinte articulaire) n'est décrit.
- Les techniques modernes (doppler) n'ont jamais montré de bulles circulantes [16].

Nous devons donc rester très vigilants en utilisant le terme « accident de décompression » car leurs natures restent incertaines et sont sujets à des controverses.

La littérature parle peu de ce phénomène car probablement trop récent. En effet les profondeurs atteintes sont de plus en plus importantes et la fréquence des plongées plus soutenue [9].

1.3.3. Les signes cliniques

Les accidents peuvent être classés ainsi :

- Les accidents bénins : nausées, angoisses, céphalées, asthénie intense dont les manifestations disparaissent rapidement.
- Les accidents vestibulo-labyrinthiques : vertiges, troubles de l'équilibre, troubles auditifs.
- Les accidents neurologiques centraux : des troubles sensitifs, moteurs de type monoplégie ou hémiplégie, apraxie, aphasie, psychologiques graves et persistants.

Aucune paraplégie constatée ni atteintes articulaires contrairement aux ADD des plongeurs autonomes.

Les symptômes sont multiples et variés et le diagnostic n'est pas facile. Il est évident que beaucoup de ces accidents sont mal ou non diagnostiqués [16].

1.3.4. Les facteurs favorisants [79]

Dans le monde de la plongée sportive en apnée, nombreux sont les apnéistes à avoir été touchés par des symptômes évoquant « des accidents de décompression », généralement du à une plongée trop longue, une remontée rapide, une profondeur importante supérieure à 50m et une récupération en surface trop courte en cas de plongée successive. La fatigue, le stress et le froid semblent jouer également un rôle. La pratique du « no limit » est la discipline la plus à risque pour être touché d'un « ADD ».

1.3.5. Conduite à tenir et traitement

A défaut d'avoir trouvé la preuve « d'ADD » en apnée, dès l'apparition des premiers symptômes il faut traiter comme un ADD d'un plongeur en scaphandre en administrant une oxygénothérapie normobare pour favoriser l'élimination de l'azote excédentaire. Il faut ensuite prendre toutes les mesures pour assurer un transport rapide vers une chambre de recompression proche après avoir joint le CROSS ou le SAMU. Il existe quelques fois des chambres de recompression portables.

1.3.6. La prévention

Les recommandations suivantes sont purement théoriques car jusqu'ici il n'y a aucune étude ni preuve scientifique.

- La courbe de sécurité du Dr HERAN [82] :

Le Dr Nicolas HERAN, chasseur sous-marin de haut niveau, a montré dans son travail l'existence de cette saturation, qui peut être critique et donc responsable de manifestations « d'ADD ».

Il a ainsi pu proposer des tables de sécurité pouvant diminuer les risques de la survenue de ces accidents. Ces tables sont basées sur des calculs théoriques et doivent

être utilisées prudemment à titre indicatif car jusqu'alors il n'y a eu aucune validation scientifique. De plus certaines données ne tiennent pas en compte les temps de récupération et les tables ne sont pas valables pour certaines profondeurs.

Prof.	Temps	30min	1h	1h30	2h	3h	4h	5h	10h
15 m	1 mn					57	51	48	45
	2 mn					28	25	24	22
	3 mn					19	17	16	15
20 m	1 mn		58	52	47	42	38	36	34
	2 mn		29	26	23	21	19	18	17
	3 mn		19	17	15	14	12	12	11
25 m	1 mn		46	41	37	34	30	29	27
	2 mn		23	20	18	17	15	14	13
	3 mn		15	13	12	11	10	9	9
30 m	1 mn	59	38	34	31	28	25	24	22
	2 mn	29	19	17	15	14	12	12	11
	3 mn	19	13	11	10	9	8	8	7
35 m	1 mn	50	33	29	26	24	22	20	19
	2 mn	25	16	13	13	12	11	10	9
	3 mn	16	11	9	9	8	7	7	6
40 m	1 mn	44	29	26	23	21	19	18	17
	2 mn	22	14	13	11	10	9	9	8
	3 mn	14	9	8	7	7	6	6	5
45 m	1 mn	39	25	23	21	19	17	16	15
	2 mn	19	13	11	10	9	8	8	7
	3 mn	13	8	7	7	6	5	5	5
50 m	1 mn	35	23	20	18	17	15	14	13
	2 mn	17	11	10	9	8	7	7	6
	3 mn	12	7	6	6	5	5	4	4

Tableau C3 : tables de plongées en apnée : nombres d'apnée maximale par heure (d'après Heran)

- S'accorder une récupération suffisante avant de repartir et des périodes de pause devront être aménagées régulièrement.
- Pas de remontée rapide ni d'efforts musculaires importants à la remontée surtout dans les derniers mètres. En cas de no limit, lâcher le parachute près de la surface pour réduire la vitesse de remontée à la fin. Se méfier de l'utilisation des locoploneurs qui augmentent la profondeur et le temps d'apnée.

- Par précaution, après les plongées profondes en apnée, ne pas faire de plongée scaphandre (car il existe un risque de sursaturation en azote).
- Ne jamais plonger profond en cas de fatigue et ne jamais improviser [96].

1.4. LES BAROTRAUMATISMES

Il s'agit de traumatismes relatifs à la pression. Avec l'immersion la pression subie par le plongeur va augmenter, or selon la loi de Boyle –Mariotte, la pression est en relation avec le volume. Ainsi toutes les cavités de l'organisme vont être soumises à des variations de volumes.

1.4.1. Les barotraumatismes pulmonaires ou surpression pulmonaire

1.4.1.1. Définition

La surpression pulmonaire est parmi les barotraumatismes celle qui provoque les plus graves lésions avec des séquelles : complications respiratoires, troubles neurologiques, etc.

Elle est plutôt fréquente en plongée scaphandre surtout chez les débutants mais théoriquement cette pathologie pendant l'apnée ne devrait pas exister étant donné que la quantité d'air intrapulmonaire reste constante tout au long de l'apnée [20].

1.4.1.2. Physiopathologie

Bien qu'exceptionnels, il a été décrit de véritables accidents de surpression chez des apnéistes dans certaines situations :

- Parmi eux, il s'avère que les apnéistes s'étaient approvisionnés en air comprimé auprès d'un plongeur « bouteille ».

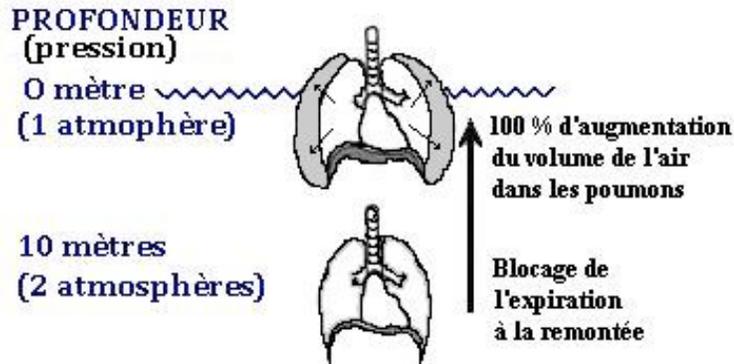


Figure C4 : physiopathologie de la surpression pulmonaire

Or à la différence de ce dernier, un apnéiste remonte à la surface glotte fermée tête baissée, ne laissant aucune possibilité à l'air ainsi emmagasiné de s'échapper par les voies respiratoires. En remontant, le volume d'air à l'intérieur des poumons se dilate au-delà de ce que l'élasticité pulmonaire le permet. L'accident survient par déchirure alvéolaire entraînant, pneumothorax, pneumo médiastin, emphysème sous cutané et embolies gazeuses de gravités variables. Ces cas témoignent d'un manque évident de formation [20].

- Pour les autres, il est évoqué des phénomènes de séquestrations des gaz alvéolaires provoquées par des différences de compliance entre les différents segments, consécutives à des anomalies anatomiques ou fonctionnelles préexistantes comme l'emphysème, l'hyperréactivité bronchique, asthme, etc. [12].
- A propos d'un cas au CHU de Lyon :

En 2008, un cas de surpression pulmonaire a été constaté chez un chasseur sous-marin de 32 ans après qu'il se soit « battu » avec un poulpe. Il présentait des céphalées violentes en étaiu au moindre effort et le TDM thoracique retrouva de nombreuses bulles sous pleurales en apicale (TDM cérébral normal). Les bulles et céphalées ont disparu après 4 séances d'oxygénothérapie hyperbare. Dans ce présent, la surpression a eu lieu suite à un effort violent de dégagement à glotte fermée. Une forte distension sans effraction alvéolaire est suffisante pour que le gaz traverse la paroi.

1.4.1.3. Les signes cliniques

- Des signes généraux : asthénie, céphalées, cyanose.
- Des signes pulmonaires : Toux, dyspnée, hémoptysie, emphysème sous cutané. Possible râles et/ou crépitants à l'auscultation.
- Des signes neurologiques divers mais encore jamais retrouvés en apnée (Embolie gazeuse).

1.4.1.4. Traitement et prévention

Le traitement est identique à la surpression pulmonaire en plongée scaphandre, avec le plus rapidement possible la délivrance d'oxygène pur, puis un transfert en centre hyperbare où les médecins discuteront d'un traitement par oxygénothérapie hyperbare selon le tableau clinique.

Ne jamais respirer de l'air sur une bouteille au cours d'une apnée est la recommandation essentielle.

1.4.2. Autres barotraumatismes

- Le placage de masque [30].
- Les barotraumatismes de l'oreille moyenne, accident le plus fréquent et le plus bénin survenant à la descente.
- Les barotraumatismes de l'oreille Interne [54].
- Le vertige alerno-barique [107].
- Les barotraumatismes sinusiens [108].
- Les barotraumatismes dentaires et odontalgies [56].

1.5. AUTRES PATHOLOGIES DE L'APNEE

1.5.1. Les gastralgies

30% des plongeurs après un long séjour sont concernés. Elles se manifestent par des éructations acides avec pyrosis sur un fond douloureux de brûlures gastriques. Ces symptômes peuvent persister plusieurs heures voire plusieurs jours.

1.5.2. L'hypercapnie lente

Elle est la conséquence de la mauvaise élimination du gaz carbonique résultant de l'emploi d'un tuba mal conçu ou de la répétition trop rapprochée de plongées successives. En effet l'élimination du CO₂ accumulé pendant l'apnée est maximum entre la 3ème et 5ème minute après l'émersion et reprise ventilatoire [120].

La PaCO₂ peut atteindre 50-70mmHg et les signes d'hypercapnie lente sont inconstants, multiformes, non spécifiques et trompent souvent la victime qui attribue cela à un simple « mal de mer » : une augmentation de la ventilation (plus lente et plus profonde) pour réduire le travail ventilatoire, une hypersécrétion salivaire et bronchique, des nausées, céphalées en étaiu, sentiments d'angoisse, d'anxiété, de malaise, baisse de la vigilance et du jugement, rougeur du visage et sudation (souvent masquées par le séjour dans l'eau).

Le retour sur terre fait disparaître tous ces signes très rapidement sauf les céphalées qui peuvent durer plusieurs heures [36].

1.5.3. Les dangers du tuba

Un tuba trop long ou trop gros augmente l'espace mort anatomique, d'où un risque de diminution de la ventilation efficace dont la sanction est l'hypoxie associée à l'hypercapnie. Un tuba trop court ou trop gros est parfois à l'origine d'inhalation d'eau au retour en surface avec risque de laryngospasme puis de noyade. Un tuba trop fin favorise l'essoufflement. C'est pour ces raisons qu'il existe des normes européennes sur la longueur et le diamètre des tubas qui doivent être adaptées au physique de chacun.

1.5.4. L'hypothermie

Comme tout plongeur, l'apnéiste est exposé au risque d'hypothermie quand la température corporelle devient inférieure à 35° avec un seuil de gravité aux alentours de 32°. Le risque étant l'arrêt cardiaque par fibrillation ventriculaire en cas d'hypothermie sévère c'est à dire en dessous de 28°.

On compte quatre voies de perte de chaleur, (la conduction, la convection, l'évaporation et la radiation) mais la plus importante pour les sujets immergés et les plongeurs est la

perte par conduction. Or la conductivité de l'eau est 25 fois supérieure à celle de l'air et les échanges thermiques sont donc importants et rapides. La neutralité thermique dans l'eau se situe aux environs de 33° (ce qui signifie pour un corps nu que la dépense énergétique sera nulle pour conserver une température corporelle à 37°) [21].

Il est important d'avoir une combinaison assez épaisse, de bonne qualité et adaptée aux conditions de plongée.

1.5.5. La narcose à l'azote

En plongée bouteille, la narcose à l'azote, aussi nommée « ivresse des profondeurs », est bien connue et fait partie des accidents biochimiques. Elle est due à l'augmentation de pression partielle d'azote dans les grandes profondeurs qui favorise sa dissolution dans les tissus et notamment au niveau du système nerveux. Les symptômes sont des troubles du comportement, troubles de mémoire et concentration etc [21].

En apnée aucune étude n'a été faite, mais plusieurs athlètes de haut niveau ont affirmé avoir déjà ressenti des troubles à plus de 60 m en rapport à une narcose. (Guillaume Nery, Eric Fattah, William Trubridge, Tanya Streeter, etc.).

2. STATISTIQUES

2.1. LES ACCIDENTS EN APNEE LOISIR

2.1.1. Des statistiques du CROSS peu représentatives

- Les loisirs sous marins :

Les statistiques des centres régionaux opérationnels de surveillance et de sauvetage (CROSS) concernant les activités de plaisance montraient en 2003 qu'un quart des accidents mortels concernaient les plongeurs (autonomes et libres). Les sports sous marins constituaient la deuxième cause de mortalité des loisirs nautiques, après la baignade.

En 2002, les résultats étaient encore plus alarmants puisque les sports sous marins arrivaient en tête en nombre de décès (première cause de mortalité devant la baignade) et en proportion de décès par rapport aux personnes impliquées.

Ainsi les loisirs sous-marins sont devenus depuis plusieurs années l'objet d'une attention particulière par le gouvernement car leur indice de gravité des accidents enregistrés est le plus élevé des loisirs nautiques [53][109].

Depuis 2003, il n'y a pas eu de nouveau bilan détaillé du CROSS consacré exclusivement à l'étude de recherche et sauvetage des loisirs sous marins.

- En apnée loisir :

Il est très difficile d'avoir des chiffres précis sur les accidents d'apnée. Il y aurait environ une quarantaine d'accident mortel de plongée en apnée par an sur la façade méditerranéenne, et pourtant les chiffres du CROSS sont bien inférieurs.

- Les différents organismes intervenants ne centralisent pas leurs données sur les intervention sur plongeurs : CROSS pour les secours en mer, SAMU et pompiers pour les secours terrestres qui interviennent dans la bande des 300m côtiers.
- Les organismes d'intervention dont le CROSS comptabilisent sous le même chiffre les accidents de chasse sous marine et d'apnée.
- De plus, toute mort en milieu aquatique est étiquetée « mort par noyade » qu'elle que soit l'origine de cette noyade, (primaire ou secondaire) elle entre donc dans la statistique avec cette étiquette qui ne présume pas l'étiologie.

Heureusement depuis 2010, le CROSS dans ses bilans statistiques d'accident en plongée, différencie les accidents terrestres (plage et bande des 300m) des accidents maritimes (eaux intérieures et territoriales). Il commence également à différencier les plongeurs d'apnée aux chasseurs sous marins [52].

2.1.2. Les accidents mortels en plongée autonome et libre

Les différentes données annuelles des bilans CROSS nous ont permis de résumer dans un tableau les accidents motels en plongée ainsi que de réaliser des représentations graphiques.

Année	Nombre d'opération recherche et sauvetage sur plongeur libre	Nombre de plongeurs libres impliqués	Nombre de décès en plongée libre	Nombre décès de plongeur autonome/ nombre de plongeurs impliqués
2000	46	62	12	7 /157
2001	43	50	17	17 /190
2002	68	84	12	8/140
2003	50	56	25	8/173
2004	32	38	8	8/191
2005	35	38	8	11/150
2006	44	57	10	10/154
2007	42	42	15	17/178
2008	N.R.	N.R.	N.R.	11 /155
2009	N.R.	N.R.	5	11 /141

Tableau C4 : Bilan des 7 CROSS réunis (métropolitain et outre-mer) sur les loisirs sous marins de 2000 à 2009 [51][53].

Les chiffres cités ne concernent que les accidents connus des CROSS. Ces chiffres sont sous-estimés comme expliqué précédemment. Selon le rapport du CROSS-MED (ces chiffres pourraient au moins être multipliés par 2 ou 3 pour approcher la réalité en France).

On constatera qu'il y a presque autant de personnes impliquées que de nombre d'interventions dans la plongée libre, ce qui signifie que beaucoup plongent seuls, ce qui est le cas des chasseurs sous-marins.

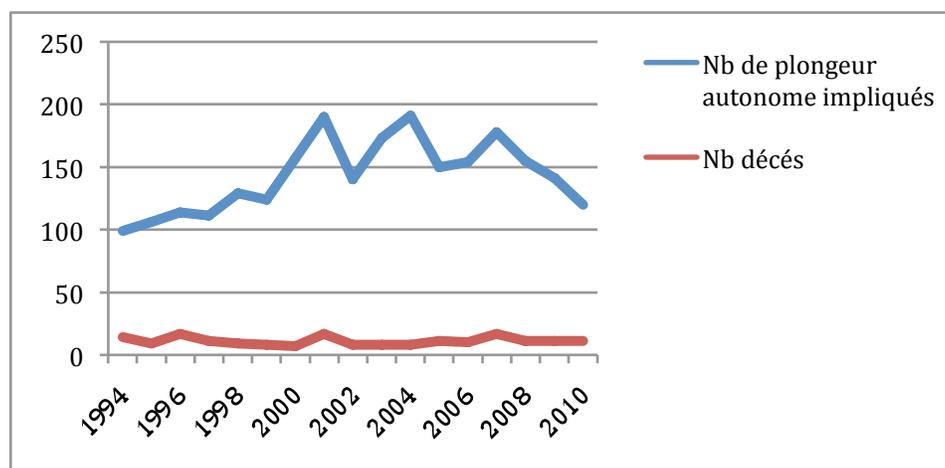


Figure C5 : Plongeurs autonomes secourus par le CROSS national de 1994 à 2010.

Le nombre de décès chez les plongeurs autonomes reste plutôt stable depuis une quinzaine d'année, malgré l'augmentation du nombre de pratiquants et licenciés.

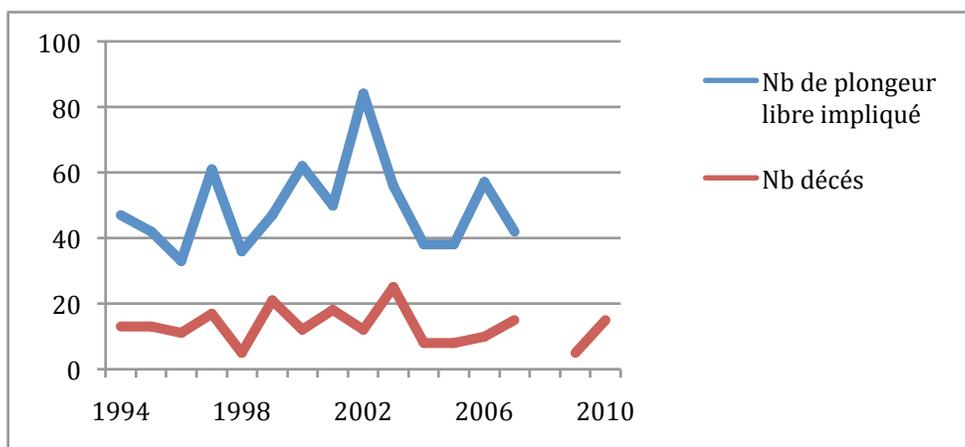


Figure C6 : Plongeurs libres secourus par le CROSS national de 1994 à 2010.

L'indice de gravité (nombre de décès ou disparition/ nombre de personnes impliquées) reste plus élevé en plongée libre (en moyenne 25%) par rapport à la plongée autonome (en moyenne 6,4%) entre 2000 et 2007 [53].

2.1.3. Comparaison entre les chasseurs sous-marins et les apnéistes

Il ne faut pas faire d'amalgame entre les apnéistes et les chasseurs sous marins.

- Les chasseurs sous marins :

Les accidents de plongée libre sont à priori plus fréquents pour les chasseurs sous-marins, qui plongent souvent seuls sans surveillance et en dehors d'une structure encadrée.

Une enquête réalisée auprès de chasseurs sous-marins en 2006-2007 a révélé que 86% des chasseurs plongent seul et 38% ont déjà fait une syncope ce qui explique le nombre d'accidents chez ces plongeurs [60].

Pourtant, il existe aussi des pratiques collectives de ce sport, avec école, stage de formation, compétition, et présence de dispositifs de sécurité. Les accidents sont donc moindres dans ces conditions [53].

- Les apnéistes :

Les apnéistes pratiquent plus souvent en groupe, dans des structures spécialisées, où ils sont encadrés et reçoivent une formation spécifique sur la sécurité.

Malheureusement il reste toujours des personnes qui s'entraînent seules. Combien de cas de noyade en piscine suite à un exercice d'apnée statique chez les jeunes non informés ? La plupart des victimes, sont des estivants auto formés qui pratiquent isolement et occasionnellement la plongée libre.

Et même chez les professionnels on constate des décès lors d'un entraînement solo [8].

- Les structures :

Jusqu'en 2003, les interventions du CROSS ne recensaient aucun accident lors des pratiques collectives de la plongée libre (apnée ou chasse sous-marine) que ce soit lors des stages ou lors des compétitions [53].

Par contre en 2004, lors de compétitions de chasse à l'étranger, il y eut plusieurs accidents mortels. A ce jour il n'y a jamais eu d'accident mortel reconnu en compétition d'apnée, contrairement à l'entraînement.

- Un bilan 2010 surprenant :

Nombre de décès ou disparition / nombre impliqués	Plongeur apnéiste	Plongeur chasseur	Plongeur autonome
2010	10/27	5/23	12/132

Tableau C5 : Bilan CROSS national sur les loisirs sous marins pour l'année 2010 [52]

Ces chiffres de 2010 viennent controverser la théorie selon laquelle jusqu'alors les chasseurs sous marins étaient plus souvent en cause dans les accidents mortels car ils plongeaient souvent seuls. Il va être intéressant d'étudier ce phénomène les prochaines années.

Les limites rencontrées dans la réalisation de cet exercice démontrent la nécessité de mettre en place un système de recueil de données exhaustif et fiable. La réalisation d'une étude croisée, nationale, transversale à l'ensemble des secours maritimes et terrestres (CROSS, SAMU, sapeurs-pompiers, marins-pompiers, services hyperbares), sur l'exemple de

l'étude épidémiologique menée annuellement par l'INVS (Institut National de veille Sanitaire) dans le domaine des noyades, est indispensable afin de déterminer précisément le niveau et la nature de l'accidentologie des loisirs sous-marins.

2.2. LES ACCIDENTS EN APNEE SPORTIVE

2.2.1. Les syncopes et pertes de contrôle moteur en compétition

Les statistiques sont extrêmement pauvres dans ce domaine, toutefois pour les quelques données trouvées on pourra constater que les chiffres ont plutôt évolué dans le bon sens du fait de règlement se rigidifiant. En compétition AIDA, il y a une quinzaine d'années, Claude Chapuis estimait qu'il y avait 7-8 % de syncope et qu'elles étaient plus nombreuses dans les épreuves individuelles que par équipe sous peine de pénaliser tout un groupe.

Les premières compétitions d'apnée organisées par la FFESSM ont eu lieu en 2004. Actuellement, Le docteur Jean-Luc SCESSA médecin de l'équipe de France confirme qu'il n'y a pas de registre avec des données scientifiques des PCM ou syncopes. Une tentative a été faite il y a 3-4 ans mais en vain, fautes de moyens, de personnels.

2.2.1.1. A propos d'une étude sur les compétitions AIDA

Une étude médicale suédoise faite autour de compétitions AIDA de 1998 à 2004, annonce qu' *« en dépit de la multiplication relativement élevée des signes dramatiques, il faut remarquer qu'il n'y a eu aucune description d'accident mortel ou de dommages permanents dans ces compétitions »*.

Cet article descriptif montre un nombre relativement élevé de disqualifications dûes aux signes d'hypoxie dans les compétitions d'apnée de 1998 à 2004.

Sur 601 apnées statiques, 10% de disqualifications pour signes d'hypoxie et sur 596 plongées en poids constant, 11%.

Après 2002, les règles ont changé (elles seront détaillées dans le chapitre sécurité) puisqu'on a distingué la syncope de la PCM. Ainsi sur 355 apnées statiques on a alors constaté 1,1% de syncope et 9,6% de PCM. Et pour 344 plongées en poids constant 6,1% de syncopes et 6,1% de PCM [101].

2.2.1.2. Le début d'une centralisation des données ?

Ce n'est que récemment, depuis 2008-2009 qu'Ivo Truxa, apnéiste tchèque reconnu du milieu, tente de recenser les syncopes (Black out) lors des compétitions. Pour cela, il a développé sur son site internet <http://apnea.cz/> une partie consacrée aux résultats sportifs grâce aux données récupérées auprès de différents organisateurs de compétition comme AIDA, FREE, CMAS, FFSSEM, etc. [8]. Sa démarche est purement personnelle et faite de sa propre initiative sans avoir été sollicité par la fédération ou l'AIDA. Avant 2009 il affirme qu'il est très difficile de faire une synthèse de ces accidents, car n'ayant pas toujours été correctement rapportés dans les résultats, les vrais chiffres pouvant être beaucoup plus élevés. Cependant depuis 2009 les données sont beaucoup plus fiables, Ivo truxa s'étant énormément investi dans ce projet.

Certes cette base de données peut être critiquable pour le milieu médical car le recueil n'est pas réalisé de façon scientifique, mais pour le moment ce sont les seuls résultats retrouvés qui nous ont permis de réaliser quelques statistiques et s'interroger sur des différences significatives.

2.2.1.3. Quelques statistiques

Ainsi nous avons pu réaliser quelques statistiques intéressantes qui sont résumées dans les tableaux suivants. Nous nous intéresserons aux données des deux principaux organismes reconnus (en France la FFESSM et à l'étranger l'AIDA) qui organisent le plus de compétitions. Ivo Truxa ainsi que Claude Chapuis [29] nous ont aidé à analyser ces chiffres et expliquer certaines différences.

- Comparaison des syncopes selon les disciplines :

Discipline	2009	2010	2011	% TOTAL des 3 années	Nombre de performance entre 2009 et 2011
STA	2,52 %	3,46 %	1,58 %	2,59 %	3388
DYN	3,00 %	2,58 %	2,64 %	2,74 %	3025
DNF	6,60 %	3,89 %	5,67 %	5,40 %	2258
CWT	3,21 %	2,84 %	4,27 %	3,43 %	1633
CNF	9,62 %	5,72 %	7,96 %	7,83 %	779
FIM	0,84 %	3,13 %	2,77 %	2,39 %	876

Tableau C6 : Comparaison par discipline du pourcentage de syncope lors des compétitions l'AIDA internationales. STA : statique/ DYN : dynamique avec palme/ DNF : dynamique sans palme/ CWT : poids constant avec palme/ CNF : poids constant sans palme/ FIM : immersion libre

Les disciplines de poids variables et « no limit » ne sont pas étudiées, car il n'y a pas de compétitions et le nombre de records organisés reste très faible, moins de 10 par an, donc difficile de faire des statistiques.

Les disciplines les plus à risque de syncope sont les disciplines dynamiques ou celles de profondeur et avec palmes.

- Comparaison des syncopes entre AIDA et FFESSM :

Année de compétition	AIDA France	AIDA International	FFESSM
2009	0,61 %	3,73%	0,60%
2010	2,50 %	3,25 %	0,42%
2011	2,20 %	3,11 %	1,14%

Tableau C7 : Comparaison des pourcentages de syncope lors des compétitions AIDA et FFESSM sur l'apnée statique et dynamique depuis 2009.

- On constate tout d'abord une différence notable de résultats entre les 2 organisateurs. Les explications sont probablement multiples mais deux sont avancées principalement :
 - a. L'AIDA devant une syncope disqualifie l'athlète pour l'épreuve, mais contrairement au règlement de la FFESSM, il ne sera pas forcément disqualifié pour les autres épreuves et ne sera pas suspendu pour les prochaines compétitions. Le juge et le médecin prendront la décision. Un règlement moins strict favorise la prise de risque auprès des athlètes.

- b. Claude Chapuis estime que le niveau des apnéistes à la FFESSM est sensiblement inférieur à celui des compétitions AIDA. En effet les premières compétitions AIDA ont débuté en 1994 et pour celles de la FFESSM en 2004, soit 10 ans de décalage. Selon lui les performances étant plus importantes, les limites sont probablement plus facilement approchées et donc le nombre de syncope plus élevé.
- D'autre part, on retrouve une différence entre les compétitions AIDA France et celles organisées en dehors du pays. Claude Chapuis avance l'hypothèse que la France est le pays où la rigueur dans les entraînements et les compétitions est l'une des plus importante. En effet beaucoup de pays ont des apnéistes, peu ou pas coachés qui se poussent beaucoup plus à leur limite. D'où l'importance des structures d'entraînement et des coaches et instructeurs, qu'ils soient AIDA ou FFESSM.
 - On retient également une augmentation non négligeable du nombre de syncopes entre 2010 et 2011 à la FFESSM. Cela est dû aux résultats de la finale du dernier championnat de France où les enjeux sont importants avec la possibilité d'avoir une place pour les championnats du monde organisés par la CMAS. Cela explique que les athlètes poussent leurs limites dans cette dernière épreuve, contrairement aux phases de sélection où la syncope est disqualifiante pour participer à la finale du championnat de France. Les détails de cette compétition seront étudiés dans le paragraphe suivant.

- Résultats du championnat de France de la FFESSM :

Des médecins de la FFESSM ont accepté de nous faire part des résultats du dernier championnat de France de Montluçon organisé par la FFESSM au mois de juin 2011.

	Statique Femme	Statique Homme	Dynamique Femme sans palme	Dynamique Femme avec palme	Dynamique Homme sans palme	Dynamique Homme avec palme
Nombre de participants	18	35	17	21	28	40
Nombre de syncope	1	2	0	0	1	4
Nombre de PCM	0	3	0	2	0	1

Tableau C8 : Nombre de syncope et PCM par discipline lors des championnats de France d'apnée de la FFESSM

Sur 60 participants (20 Femmes et 40 hommes) et 159 performances, il y a eu 6 PCM et 8 syncopes. Soit 5,03% de syncope, pourcentage très supérieurs aux chiffres habituels de la FFESSM.

Deux hypothèses sont avancées : d'une part l'enjeu de se qualifier pour les championnats mondiaux, et d'autre part des conditions moins favorables au déroulement des épreuves comme des passages tardifs (quelques fois à 23h). Il existe très probablement d'autres facteurs intervenant pour expliquer une telle différence.

2.2.2. Les accidents de décompression (ADD) en apnée

Selon Claude Chapuis, les accidents dits de « décompression » en apnée sont plus courants que ce qui est documenté. La plupart des cas ne sont pas détectés du tout ou ne sont pas correctement diagnostiqués du fait d'une symptomatologie très variable.

Comme nous l'avons déjà expliqué, ils concernent des apnéistes de haut niveau capables de descendre à plus de 30 m de manière répétitive ou lors d'une seule descente très profonde.

Ils ont lieu à l'entraînement puisqu'à priori jamais recensé en compétition jusqu'à aujourd'hui. Lors de leur entraînement, ils multiplient plusieurs descentes et remontées par heure avec quelques fois des temps de récupération très courts [29].

Quelques exemples « ADD » chez les professionnels :

- Benjamin Franz en 2002 (3 descentes à 100 m en no limit dans un lac froid),
- Roland Specker (3 descentes à 60 m en poids variable avec remontée trop rapide et effort physique soutenu),
- Patrick Musimu (1 descente à 209 m en no limit),
- Jean Michel Pradon (3 ou 4 descentes à 50 m en poids constant quelques heures après avoir fait de la chasse sous marine),
- Pierre Frolla* (4 descentes à 60 m en poids constant avec temps de récupération trop court),
- Carlos Coste en 2006 (1 descente à 182 m en poids variable avec du courant),
- Mais encore Pipin, Eric Fattah, Christian Maldamé, Sam Kirby, etc. des athlètes de haut niveau dont certains ont déjà fait plusieurs « ADD ».

Le caisson hyperbare de Nice relate avoir eu quatre « ADD » en apnée depuis 1996 dont deux de Pierre Frolla. De part sa localisation, ce centre hyperbare est plus à même de traiter les ADD de plongée ou d'apnée. La face méditerranéenne et notamment la région Provence Alpes Cote d'Azur est un lieu adapté à la pratique de l'apnée en milieu naturel. Le CIPA se trouve d'ailleurs sur Nice.

** Triple Recordman du Monde en Immersion Libre en 1999, 2000, 2001 - record du monde de plongée en apnée, poids variable en 2004.*

2.2.3. Les décès de plongeurs professionnels

Malheureusement ce sport connaît des limites, en cas d'incident même bénin en forte profondeur la suite peut être dramatique [8].

Patrick MUSIMU (Belgique) décédé à 39 ans en juillet 2011 lors d'un entraînement solo dans sa piscine.

Adela BU ALIQUA (Emirats arabes) décédé en juin 2011 lors d'un entraînement de « no limit ».

Crispin KREBS (Suisse) décédé à 42 ans en février 2011 lors d'une plongée sous glace pour tentative de record du monde (108 m).

Paul john SHARBEL (USA) décédé à 38 ans en 2009 lors d'un entraînement solo en statique.

Loïc LEFERME (France) décédé à 36 ans en 2007 lors d'un entraînement de « no limit ».

Audrey MESTRE (France) décédée à 28 ans en 2002, lors d'une tentative de record en « no limit » à 170 m.

Dimitris VASSILAKIS (Grèce) juge et moniteur AIDA décédé à 39 ans lors d'une chasse sous-marine seul.

Cyril ISOARDI (France) décédé en 1994 à 24 ans lors d'un entraînement en « no limit ».

3. POINTS FORTS

Les accidents d'apnée peuvent avoir des conséquences très graves, et même certains sont bénins, il ne faut pas les minimiser. Souffrir d'un simple barotraumatisme de l'oreille à 50 m de profondeur peut être responsable de douleur aigue et d'un malaise vagal suivi d'une perte de connaissance. D'autres accidents sont exceptionnels mais peuvent également avoir des conséquences dramatiques avec des séquelles. D'autres encore laissent beaucoup de question en suspens, quant à leur origine et leur physiopathologie.

Probablement qu'avec l'évolution de ce sport et les profondeurs atteintes croissantes, les accidents de type barotraumatiques et « accidents de décompression » risquent d'augmenter.

Que ce soit sur les syncopes ou les autres accidents moins courants, il y a malheureusement peu de statistiques, ceci s'explique par le fait que cela représente un travail de grande ampleur. La plupart des organisateurs et du personnel présents sur les lieux sont des bénévoles et ont peu de temps à consacrer pour centraliser les données. En plus, certains apnéistes ont tendance à minimiser des symptômes voire à les nier peut être par fierté, ne préfèrent pas les signaler et encore moins en faire établir un diagnostic précis. Certains symptômes peuvent également être trompeurs et évoquer un simple « mal de mer » alors qu'ils cachent un accident plus grave.

Que ce soit la FFESSM ou L'AIDA, tenter de faire des statistiques leur semble difficile par manque de temps, de moyens financiers, de personnels, etc. Ce sport est jeune, en pleine expansion et pour l'instant ils préfèrent se concentrer sur d'autres objectifs.

Partie D.

LA SECURITE

1. DEMARCHE EXPLICATIVE

Pour cette partie sur la sécurité, aucun ouvrage n'a été retrouvés hormis les règlements édictés par l'AIDA et la FFESSM. Nous avons souhaité par notre travail éclaircir le sujet. Pour cela, il nous a fallu prendre contact avec des personnes référentes de ce milieu et les questionner sur la sécurité en apnée et notamment en compétition. Nous avons pu avoir des discussions sur le sujet avec des médecins fédéraux, des anciens recordmans, des entraîneurs et des apnéistes. La nature des contacts était variable, par mail, par téléphone, par vidéoconférence ou encore lors de rencontres.

Claude Chapuis, ancien recordman d'apnée statique en 1990, enseignant à la faculté de sciences et des sports à Nice et cofondateur de l'AIDA, a suivi le développement de ce sport et a passé de nombreuses années à se soucier de la sécurité et à la faire évoluer, non seulement coté technique et matériel, mais aussi coté théorique et protocole de sécurité en compétition. Ainsi il a formé la plupart des athlètes de haut niveau à l'enseignement de ce sport mais aussi et surtout à les sensibiliser aux consignes de sécurité. Ses élèves furent, Loic Leferme, Pierre Frolla, Guillaume Nery... Il n'existe cependant aucun livre et aucun écrit précis sur la sécurité de ce sport. Les apnéistes se sont inspirés des succès mais aussi des erreurs et des accidents pour tenter d'améliorer, un peu à l'aveugle, leur propre sécurité. Encore de nos jours, les systèmes actuels utilisés sont en évolution constante et notamment pour les disciplines de profondeur. Claude Chapuis nous a porté son aide dans ce travail pour comprendre notamment l'évolution de la sécurité depuis une vingtaine d'année. Le recueil d'informations s'est fait lors d'entretiens par vidéoconférence avec des questions ouvertes.

Pierre Frolla, ancien recordman du monde en immersion libre et en poids variable, consacre désormais la plupart de son temps à l'enseignement de l'apnée. Tout son savoir, il tente de le transmettre grâce à la création de son école de plongée « L'école bleue » à Monaco. Il y organise des stages d'apnée pour adultes mais initie également les jeunes à partir de 8 ans à la plongée libre et la plongée autonome. Cela dans le seul but " de faire connaître un peu plus son sport et de faire partager sa passion ". Nous avons eu l'occasion de le rencontrer cette année à son école pendant deux jours et de suivre le déroulement

d'un de ses stages d'apnée en poids constant, poids variable. Il nous a fait part de sa vie d'apnéiste de haut niveau en compétition qu'il a stoppée en 2007, nous a sensibilisé sur une sécurité sans cesse en évolution et sur les règles essentielles de sécurité à adopter en apnée. Nous avons pu assister au déroulement d'un entraînement à partir d'un bateau, lister le matériel de sécurité utilisé, ainsi que les protocoles de sécurité pour assurer l'apnéiste. Il reste intransigeant avec la sécurité de ses stagiaires, que ce soit sur le matériel, la concentration, ou l'écoute.

Nous nous sommes également rendus sur les lieux d'une compétition d'apnée à Brest pour une manche de la coupe de France organisée par la FFESSM. Cette démarche nous a permis de comprendre le déroulement des épreuves, d'étudier l'organisation de la sécurité en apnée statique et dynamique, d'observer la prise en charge d'un compétiteur présentant une syncope à l'immersion. Nous avons pu échanger des points de vue sur les accidents et les statistiques auprès des apnéistes et des organisateurs. Le Docteur SCESSA médecin de l'équipe de France d'apnée et médecin fédéral, était également présent. Ces rencontres furent très enrichissantes tant du point de vue médical que du point de vue humain et sportif.

2. DEFINITION DE LA SECURITE

La définition de la sécurité donnée par le Petit Larousse est la suivante : "situation où l'on a aucun danger à craindre".

Difficile de dire que les pratiques sportives d'aujourd'hui ne présentent pas de danger. En réalité, le concept de **sécurité** englobe tout ce que l'on peut faire, dire, penser, risquer individuellement ou collectivement et ce qui permet de pratiquer une activité avec un maximum de plaisir et un minimum de risques [27].

Dans l'apnée sportive, il existe deux grands types de disciplines dans des milieux différents (milieu artificiel et milieu naturel). Il est évident que la surveillance n'est pas aussi facile en mer qu'en piscine et que la sécurité qui en découle n'aura pas la même organisation ni les mêmes exigences.

Dans le cadre de l'apnée en profondeur, une question devra sans cesse se poser avant tout entraînement par le moniteur ou devant toute compétition par l'organisateur.

Par quels systèmes peut-on remonter un apnéiste qui ne peut pas revenir en surface par ses propres moyens et dans un délai le plus court possible ? Avant chaque séance il faut savoir anticiper [25].

3. HISTOIRE DE LA SECURITE EN APNEE PROFONDE

L'apnée moderne débute dans les années 1985- 1990 et de nouvelles techniques voient progressivement le jour [29].

- **Avant 1988 :**

L'apnée reste un domaine peu connu du grand public et il y a très peu de pratiquants dans le monde. La sécurité reste simplissime puisqu'il n'y a qu'une petite dizaine d'apnéistes qui utilisent pour seul moyen **un câble** le long duquel ils évoluent afin de se repérer en profondeur.

- **1988 :**

Le film « **Le Grand Bleu** » de Luc Besson fait connaître la discipline à travers le monde, ce qui malheureusement n'eut pas qu'un effet bénéfique. Personne ne peut cautionner la fin du film où le héros reste au fond de la mer. L'image véhiculée fut désastreuse sur « la génération grand bleu », car il y a eut énormément d'accidents chez les jeunes qui voulaient imiter ces grands sportifs et vivre ces mêmes sensations.

- **1989 :**

Pour encadrer les jeunes et éviter la pratique de l'apnée solitaire, Claude Chapuis organise les premiers stages d'apnée en poids constant et immersion libre. Pour le poids variable, ils utilisent pour descendre sans effort un lest coulissant le long du câble, appelé « **gueuse** », qu'ils abandonnent au fond. Pour sécuriser les élèves, **des plongeurs scaphandres** à 20m en bi-bouteilles sont présents et en plus de surveiller, leur rôle est de gonfler les parachutes des premières gueuses qui pourront ainsi remonter. Ces plongeurs scaphandres étaient présents pour la

sécurité des apnéistes mais n'étaient pas à l'abri d'un accident de décompression pour eux mêmes.

- **1992 :**

Naissance de l'AIDA qui marque un tournant dans le développement de l'apnée et qui rassemble aujourd'hui la plupart de l'élite mondiale et de nombreux apnéistes de tous niveaux dans le monde. Le mot d'ordre n'est plus au record à n'importe quel prix, mais un sport de plaisir et de loisir accessible à tous.

- **1989 à 1997 :**

L'idée d'avoir **des apnéistes de sécurité** voit le jour. Chaque apnéiste à tour de rôle va assurer la surveillance de son binôme en se positionnant à des profondeurs variables pour attendre son passage et ainsi s'assurer que la performance se déroule bien. Ainsi les meilleurs attendent au fond pour sécuriser les moins bons et les moins bons se positionnent à mi profondeur pour surveiller les meilleurs. Une relation de confiance se crée.

- **1994 :**

Les profondeurs atteintes deviennent trop grandes (50/60m) pour permettre la surveillance sans risque par les apnéistes de sécurité. Ils se contenteront d'aller à mi profondeur à la rencontre de l'apnéiste lors de sa remontée. Pour sécuriser en dessous de la mi- profondeur où l'apnéiste se retrouve seul, il faut développer de nouveaux matériels fiables, simples d'utilisation et doubler les systèmes de sécurité (doublage système de gonflage du parachute en cas de panne, robinet de bouteille dégagé et blanc pour faciliter l'accès et son utilisation, etc.).

L'utilisation des **informations ressenties sur les cordes** permet de suivre l'évolution par les frottements (s'il y a une gueuse) et par les à-coups donnés volontairement par l'apnéiste arrivé au fond.

Certains utilisent une **électrovanne**, système électronique préprogrammé fixé à la gueuse et équipé d'un baromètre, qui à une certaine pression et donc profondeur ouvrira automatiquement la bouteille pour gonflage immédiat du parachute et remontée sans intervention humaine (Cyril Isoardi *).

** Jeune prodige de l'apnée décédé à 24 ans en 1994 lors d'un « no limit » à l'entraînement, la longe n'existait pas à l'époque et son corps ne fut pas retrouvé.*

- **1996:**

1^{er} championnat du monde organisé en France par AIDA : **40 apnéistes et 120 plongeurs bouteille** soit 1 apnéiste pour 3 scaphandriers. On tente d'assurer la sécurité des uns mais en prenant des risques pour les autres. Ainsi d'une part c'est illogique et d'autre part, il y a peu d'intérêt car il est interdit de donner de l'air à un apnéiste en difficulté à cause du risque de surpression pulmonaire.

Leur rôle essentiel est de remonter l'apnéiste à l'aide de parachute en cas de problème (et non par eux mêmes). Les parachutes sont fixés et gonflés directement sur le poignet de l'athlète qui présente une difficulté. Par contre, pour que le système soit efficace, il faut des scaphandriers nombreux et très rapprochés (tous les 10 mètres) tout au long du câble.

- **1997:**

La gueuse devient plus sophistiquée et **un système de bloqueur** est installé pour permettre à l'apnéiste de gérer sa vitesse de descente en cas de difficultés à la compensation.

Le système de « micro-fuite » est développé et est utilisé quelques mètres avant la profondeur fixée. Le principe est que l'apnéiste ouvre très légèrement le robinet de la bouteille pour qu'un filet d'air commence à s'échapper. Cela permet de gonfler très progressivement le parachute et de remonter la gueuse. Ce système fait partie de la sécurité au cas où l'apnéiste présenterait une difficulté au fond où les effets de la narcose sont maximums et l'empêcheraient d'ouvrir correctement le robinet de la bouteille.

- **1999:**

Un gros progrès avec l'utilisation **de la longe de sécurité** permettant de relier l'apnéiste au câble. Il s'agit d'un dispositif, simple, court et non amovible par inadvertance fixé sur l'apnéiste et relié par un mousqueton sur le câble. La longe a été développée quelques années plus tôt par les apnéistes en lac où la visibilité reste très faible. Les scaphandriers se positionnent à mi profondeur et si l'athlète tarde sur son passage de retour ils fixent un **parachute avec bloqueur** sur le câble et l'active. A ce moment l'apnéiste est remonté juste devant eux, puis ils fixent

directement un deuxième parachute sur l'athlète et l'active. La remontée se fait en 2 temps mais très rapidement. Désormais il n'y aura plus d'accident où l'apnéiste disparaît car il reste solidaire de tout le système.

- **2000 :**

En compétition **120 apnéistes et 40 plongeurs** ce qui inverse totalement la tendance des premiers championnats de 1996. Désormais, on arrive à minimiser le nombre de scaphandriers grâce aux nouveaux systèmes développés bien plus efficace : les apnéistes de sécurité, la longe et le parachute systématiquement utilisés ensemble.

- **2002 :**

En poids constant, les profondeurs atteintes sont trop grandes pour envoyer des scaphandriers donc ils ne sont plus intégrés au système de sécurité global. Comme personne ne peut surveiller au fond, le **câble est remonté** systématiquement 10 sec après le virage ou 10 sec après le temps de descente programmé. Il suit donc l'athlète à la remontée.

- **2004 :**

Le contrepoids permet une grande avancée pour les plongées profondes. Il s'agit d'un poids supérieur à tout le système (gueuse, câble, lest, apnéiste) situé en surface à l'extrémité du câble et qui est systématiquement largué une fois que l'athlète a débuté sa remontée. Tout le système suit l'athlète à distance à une vitesse de 1m/s. En cas d'incident l'athlète est ainsi assurément remonté.

- **2005 :**

Mise en place de la vidéo (en surface, en profondeur et sur la gueuse) qui permet de suivre l'évolution de l'athlète et ainsi de déclencher le contrepoids immédiatement en cas de problème.

- **2006 :**

Utilisation de **sondeur** pour permettre de suivre la vitesse et l'évolution de la gueuse (c'est la masse qui est détectée.)

4. LE MATERIEL DE SECURITE EN APNEE PROFONDE *

4.1. LE CABLE OU FILIN OU LIGNE DE VIE

Il s'agit pour les épreuves de profondeurs d'une corde statique lestée au fond d'un coté et accrochée au bateau ou à une plate forme de l'autre coté. Le long de cette corde l'apnéiste va pouvoir évoluer et se repérer grâce aux graduations.

Le lest du câble est variable selon la profondeur visée, la présence ou non d'une gueuse, selon la discipline, selon la nature de l'eau (lac ou mer) selon la présence ou non de courant et selon la technique de remontée d'urgence (le lest peut aller de 1kg en eau douce pour 20 m de profondeur, à 30kg-40kg en mer en « no limit »). Il a pour but de tendre le câble et éviter les emmêlages.

Le lest doit être de faible diamètre pour diminuer au maximum les résistances si le système doit être remontée en urgence.

4.2. LA LONGE DE SECURITE

Elle relie l'apnéiste au câble, **est obligatoire** pour toutes les épreuves de profondeur et se constitue :

- Un mousqueton sans vis dont l'ouverture (minimum 15mm) est assez grande pour lui permettre d'être placé et accroché au câble sans difficulté. .
- Un lien semi-élastique ou non-élastique dans une matière ne faisant pas de nœud (d'une longueur comprise entre 30cm et 100cm)

* Réf. : SALACROUP Marc. *Matériels spécifiques en plongée libre verticale et sécurité. Moniteur entraineur fédéral de niveau 2*

* Réf. : FFEISSM. *Le matériel. Pour la formation des initiateurs d'apnée. 2006*

- Un bracelet de poignet ou de cheville ne pouvant être enlevé par inadvertance. Quelques fois l'attache se situe au niveau de la ceinture mais est différente de la ceinture de plomb du plongeur qui est située en dessous. Claude Chapuis déconseille l'attache ceinture car d'une part en cas de blocage il est plus difficile de voir ce qui se passe au niveau de l'abdomen par l'apnéiste lui même et d'autre part si ce dernier doit être remonté en urgence par quelqu'un la résistance hydrodynamique est majorée [28].
- Le poids total de la longe de sécurité ne pourra excéder 500gr [4].

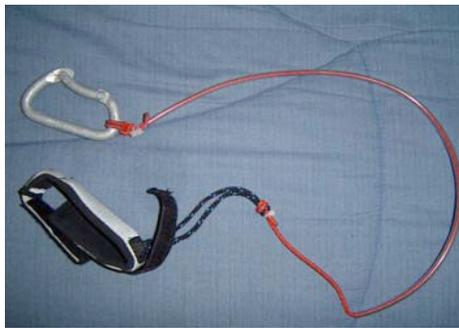


Photo D1 : La longe de vie

Son ensemble doit rester le plus simple possible. Une butée est placée sur le câble avant le plomb pour limiter les risques d'emmêlage ou d'accrochage du mousqueton.

Le système de longe devrait être inamovible selon C. Chapuis, car en forte profondeur avec les effets de la narcose, cela empêcherait l'apnéiste face à un problème d'être tenté de se détacher et donc de rendre le contrepois inefficace [28].

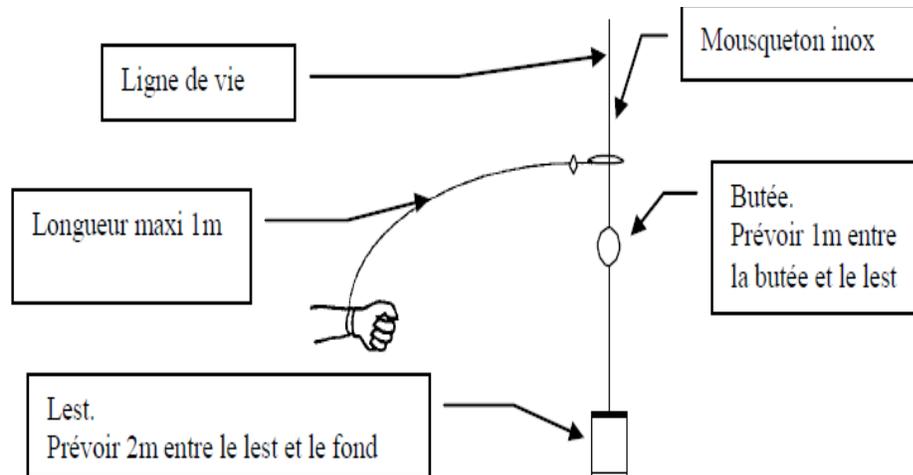


Schéma D1 : le filin et la longe de vie

4.3. LE GILET DE SECURITE

Il est également appelé DSA (dispositif de sécurité pour l'apnéiste). Pour les disciplines de profondeur, il est **conseillé** à l'apnéiste d'être équipé d'un gilet ou d'un système gonflable par une bouteille ou des cartouches, de manière manuelle ou automatique. Il est aussi utilisé dans les stages d'apnée en entraînement sur les épreuves de profondeur [77].

Déjà, en 1970, Weigle déposa un brevet sur un gilet gonflable. Maiorca en 1989 puis Leferme en 2000 utilisaient un volume gonflable intégré à leur combinaison mais à déclenchement manuel.



Photo D2 : Gilet à gonflage manuel

Actuellement, un gilet est composé d'un « stab » (équivalent d'une bouée) de grand volume avec un système de fixation bouteille sur-mesure. S'y fixe un bloc de 2L à 230 bars (système HP en DIN) relié au gilet par un tuyau inox et téflon [77].

Récemment Terry Maas apnéiste et chasseur célèbre, a développé pendant 5 ans un gilet de sécurité à déclenchement automatique auquel est intégré un ordinateur, le Freediver Recovery Vest (ou FRV). En cas de syncope, ou profondeur ou temps de plongée dépassé le gilet se gonfle et en quelques secondes l'apnéiste est remonté en surface de 60m. Il est désormais homologué pour le grand public de plongée libre et sur le marché depuis cette année au prix de 2900\$ [112].

4.4. LA GUEUSE

Utilisée pour les disciplines de poids variable et « no limit ». C'est un poids coulissant le long du câble, permettant à l'apnéiste de descendre et de remonter sans effort.

Il en existe 2 types :

- Gueuse légère « largable » en poids variable :

Un simple poids (suffisamment dense et lourd pour faire couler l'apnéiste) qui est ensuite abandonné au fond et que l'on remonte à l'aide d'une corde secondairement.

Son poids est inférieur à 10 kg pour permettre une descente pas trop rapide et pouvoir gérer la compensation. En surface la gueuse est reliée à une bouée ou un flotteur.

L'apnéiste sera relié au filin par sa longe de vie au dessus de la gueuse et non sur la gueuse.



Photo D3 : Gueuse légère

- L'intérêt réside dans le fait de descendre plus vite et sans effort, la remontée étant plus facile car l'apnéiste n'a pas eu besoin de ceinture de plomb.
- Inconvénients: vitesse de descente incontrôlable/ verticalité absolue impossible/ remontée à la force des bras en surface avec un risque d'emmêlage.

- Gueuse lourde à frein :

La première fut inventée par Mayol en 1973 mais on ne commença à l'utiliser qu'à la fin des années 80.

Dans le cadre du no limit, la remontée sera entièrement dépendante de la gueuse d'où l'importance de vérifier son bon fonctionnement avant la descente et de la tester à faible profondeur. Elle permet une descente aux alentours de 2m/sec.

- Composition :

Il s'agit d'une machine d'un poids supérieur à 20 Kg (poids de la gueuse + lest + bouteille) équipée d'un frein. Elle est équipée d'un ballon (parachute) avec système de gonflage (bouteille d'air restant dans le bloc de 30bars minimum) pour permettre sa remontée avec l'apnéiste.

La vitesse de descente peut être contrôlée (en cas par exemple de difficultés à la compensation) ou arrêtée à tout moment grâce au frein unidirectionnel.

On les classe dans deux grandes familles avec quelques variantes : Tête en haut ou tête en bas. Généralement le système de gueuse le plus usité est tête en haut pour faciliter la compensation à la descente et le gonflement du parachute à déclenchement manuel.

- Fonctionnement :

En surface, la gueuse est bloquée sur le câble par le frein qui est desserré par l'apnéiste au moment du départ pour effectuer sa descente. Le lest l'entraîne au fond sans effort physique et à une vitesse contrôlée. En fin de descente, après avoir effectué une micro-fuite, l'athlète devra bloquer la gueuse à l'aide du frein puis ouvrir le robinet à fond au fond afin de gonfler entièrement le parachute.

Il faut respecter une zone de sécurité en surface pour éviter les collisions avec la gueuse à sa remontée. L'apnéiste devra également la lâcher 10 m avant l'émersion, d'une part pour éviter un choc direct et d'autre part pour ralentir sa vitesse de remontée sur les quelques derniers mètres et minimiser les risques « d'ADD ».



Photo D4 : Gueuse lourde à frein tete en haut

Il faut insister sur l'importance de vérifier la fonctionnalité du matériel avant chaque descente. En témoigne l'accident dramatique d'Audrey Mestre, championne du monde de No limit dans les années 90. Elle décéda à l'âge de 28 ans lors d'un entraînement à 170m, la bouteille fixée à la gueuse était quasi vide en air, ce qui l'a empêché de remonter. Elle resta plus de 8min sous l'eau au lieu des 3min habituelles.

4.5. LE CONTREPOIDS [28]

Il est utilisé pour toutes les disciplines de profondeur au delà de 20 m. Le contrepois est né en 2004 à la Réunion puis mis en pratique par le CIPA de Nice lors des entraînements et enfin par l'AIDA lors des records.

Ce système remplaça les plongeurs en bouteille et permit à l'époque une énorme avancée en matière de sécurité : un système plus fiable ne mettant pas en danger les scaphandriers qui avant plongeaient en mélange TRIMIX à 80 -90 m de profondeur pour sécuriser un apnéiste, et courant eux même des risques vis-à-vis des accidents de plongées bouteilles profondes (les accidents de décompressions notamment).

- Principe :

Il s'agit d'un système de sécurité fonctionnant comme un ascenseur mis en place pour remonter au plus vite l'apnéiste longé en cas de problème lors des épreuves de profondeurs.

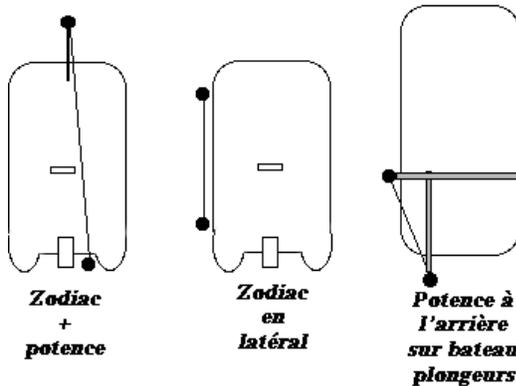
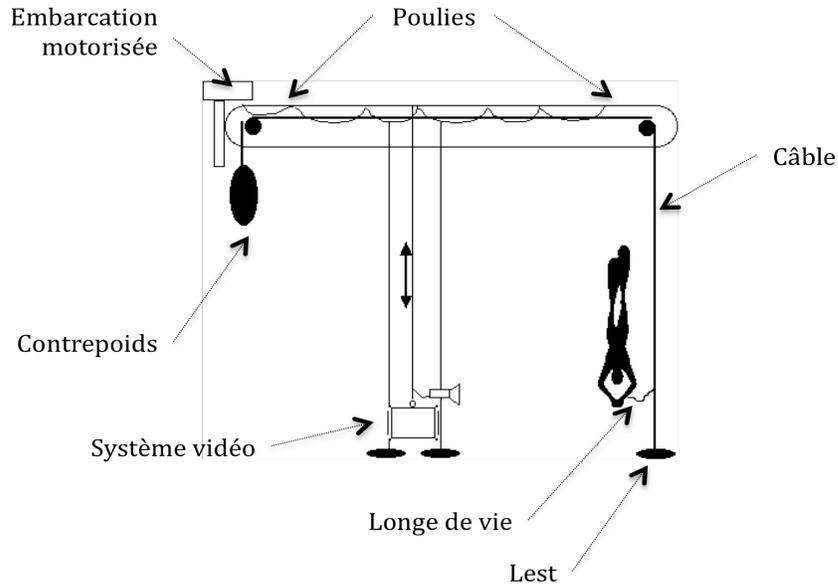
Ainsi cela permet en cas de problème d'éviter de remonter à la force des bras tout le système ainsi que l'apnéiste ce qui serait d'une part trop long et d'autre part très lourd du fait du lest.

- Constitution :

- Un même câble, avec 2 poulies à gorge fixées à une barre en surface, associé à un auto-bloqueur : d'un côté le câble lesté le long duquel l'apnéiste évolue et sur lequel coulisse la gueuse, et de l'autre le contrepoids situé en surface. Le point d'appui reste soit un bateau soit une plateforme aménagée. Le câble doit être rincé et séché après chaque sortie pour ne pas s'abîmer. On doit respecter une distance entre les 2 cordes (câble et contrepoids) de 5 à 6 m.
- Les poulies fermées ne quittent jamais le câble et doivent avoir des gorges assez profondes pour éviter au câble de se bloquer.
- Le poids doit être capable de remonter en urgence l'apnéiste à la vitesse minimum de 1m/sec. Pour cela les tests effectués ont prouvé que le poids du contrepoids doit être 3 à 4 fois supérieur au lest total du câble (lest câble + ensemble gueuse).

- Lieu d'installation :

Attention aux conditions de vent, houle, courant, qui pourraient venir bloquer le système de contre poids. Il faut savoir bien positionner les câbles entre eux et par rapport au mouillage. Il faut s'assurer de l'absence de personnes dans l'eau autour de la zone de contrepoids.



Schema D2 : Installation du contrepoids

- Utilisation du contrepoids :

Le rôle de l'équipe a tout son intérêt pour le bon fonctionnement du contrepoids et donc la sécurité de l'apnéiste. Ce dernier donne toute sa confiance aux personnes en surface, qui en temps voulu sauront prendre les bonnes décisions et au bon moment en cas de difficultés.

L'apnéiste doit signaler à son équipe de surface lorsqu'il atteint son objectif en tirant sur le câble. Puis la personne en charge de l'évolution et du chronomètre compte de 5 à 15 secondes et donne l'ordre de débloquer le frein du contrepoids. (5 secondes après le début de remontée en poids constant ou 15 secondes après l'arrivée de la gueuse en « no limit »).

De même, le contrepoids sera automatiquement déclenché si l'apnéiste n'effectue pas sa traction de remontée ou s'il reste au fond plus longtemps que prévu.

A la remontée le contrepoids suit l'athlète et en cas de syncope la longe de vie va être prise par le contrepoids et ainsi remonter l'apnéiste en surface aussi rapidement qu'une ascension normale.

- un rôle précis pour chacun :
 - Le responsable du chronométrage qui connaît les objectifs et les performances de l'athlète. Il est habilité à prendre les décisions et à donner le feu vert pour le déclenchement du contrepoids.
 - Le responsable du câble qui a la main dessus pendant la performance et permet donc de suivre l'évolution avec les vibrations induites et de percevoir la tension sur la câble créée par l'apnéiste ou par le blocage de la gueuse à l'arrivée au fond.
 - Le responsable du contrepoids et de son déclenchement, après le signal du responsable principal et après s'être assuré l'absence de personne dans la zone de largage du contrepoids.
 - Les apnéistes de sécurité de surface qui alertent l'équipe de l'arrivée imminente de l'athlète en soulevant leur main, ainsi le responsable donne ses instructions pour bloquer la montée du contrepoids et éviter une collision avec l'athlète.

Le système de contrepoids fut une grande avancée pour la sécurité des apnéistes de profondeur. Il est simple d'utilisation, d'installation rapide et ne nécessite pas beaucoup de force musculaire. Les apnéistes peuvent plonger en toute sérénité.

Malheureusement comme tout système, il existe des limites, et ce fut le cas pour Loïc Leferme (recordman du monde de No limit) en 2007, décédé à 36 ans lors d'un entraînement de No Limit. Il semblerait qu'il ait présenté une difficulté au fond et le contrepoids n'a pas pu le remonter entièrement car les câbles se seraient croisés pour une raison qui reste encore inconnue (levée de houle, courant ?).

4.6. LE WINCH ELECTRIQUE

Ce système permet de remonter tout le système et l'apnéiste pour le « no limit » à l'aide d'un enrouleur en surface fonctionnant avec de puissants moteurs (utilisé entre autre par Herbert Nitsch *).

La plupart du temps les systèmes de sécurité sont doublés donc contrepoids et winch électrique sont la plupart du temps associés au cas où il y aurait un problème sur le premier système. [29].

Tout nouveau matériel doit être testé à faible profondeur avant d'être utilisé.

Les systèmes concernant la sécurité doivent continuer à évoluer.

Il faut bien comprendre que tout système mécanique ou électronique peut pour une raison ou une autre ne pas jouer son rôle. Il n'y a pas de système fiable unique, c'est plusieurs éléments qui permettent d'assurer la sécurité le première, étant l'apnéiste lui même.

5. LA SECURITÉ LORS DES COMPETITIONS ET DES RECORDS

Les seules disciplines reconnues en compétition sont :

- L'apnée statique et dynamique pour la FFESSM, et prochainement peut être le poids constant.
- Toutes les disciplines de profondeur comme l'immersion libre et le poids constant pour l'AIDA.
- L'AIDA et la FFESSM ont donc rédigé des règlements stricts pour assurer un bon déroulement et une bonne sécurité pendant les compétitions. Ils sont plutôt proches puisque les compétitions FFESSM existent depuis 2004 et leur règlement s'est inspiré en grande partie de celui de l'AIDA auquel ils ont apporté quelques modifications et précisions. Nous nous baserons en premier lieu sur le règlement de la FFESSM pour les épreuves en milieu artificiel et signalerons les différences retrouvées avec celui de l'AIDA.

** ref: Record du monde AIDA en no limit en 2007, poids variable en 2009 et en poids constant, free immersion en 2010*

Pour ce qui est du poids variable et le No limit, il n'y a pas de compétition organisée mais juste des tentatives de records homologué par l'AIDA. Pour ces disciplines elle a rédigé un protocole de recommandation lors de l'utilisation des gueuses.

5.1. LES DISPOSITIFS COMMUNS A TOUTES LES DISCIPLINES [73]

5.1.1. Le matériel de secours

Le matériel de réanimation sur les lieux de la compétition est au minimum composé de trois bouteilles d'oxygénothérapie pleines (200bars) équipées d'un BAVU et disposées par zone : zone d'échauffement, de transition et de performance, ou deux dans la zone performance s'il n'y a pas de zone de transition [73].

- Il doit être prêt à fonctionner, contrôlé régulièrement et on doit savoir s'en servir.
- Une trousse de premier secours.
- Un brancard.
- Le matériel pour joindre rapidement les secours, VHF (en mer) ou téléphone (sur terre)
- Un plan de secours.
- Des véhicules d'évacuation d'urgence (bateau, voiture, ambulance, etc.)

S'y ajoutera le matériel de secours spécifique selon les disciplines que nous verrons ensuite.

Tout le matériel sans exception doit être révisé et vérifié avant son utilisation.

5.1.2. Le rôle du personnel dans la sécurité

5.1.2.1. Le comité d'organisation

Il veille, en collaboration avec le médecin de la compétition, à la mise en œuvre de mesures propres à assurer la sécurité des athlètes.

5.1.2.2. Le jury

Il est présent sur le site de la compétition dès le début des échauffements afin de :

- S'assurer que la compétition suit bien les règles établies.
- Vérifier le matériel des athlètes, et notamment le matériel de sécurité (lestage, longe, etc.).
- Vérifier les performances des athlètes, appliquer les disqualifications, les fautes et sanctions en cas de protocoles liés à la sécurité et non respectés.
- Interrompre l'épreuve à tout moment si la sécurité des athlètes ou des plongeurs n'est pas assurée.

5.1.2.3. Le juge

- Le juge est responsable de sa zone de contrôle ou ligne d'eau.
- Il coordonne le rôle des membres de son équipe (2ème juge et apnéistes de sécurité).
- Il est responsable de la sécurité et du confort du compétiteur.
- Il mesure et évalue la validité des performances des compétiteurs.
- Il participe activement dans la mise en sécurité de l'apnéiste en cas d'accident.

5.1.2.4. Les apnéistes de sécurité

Chaque athlète dans la zone de compétition est surveillé par au moins un apnéiste de sécurité présent dans l'eau. Dans la zone d'échauffement, la surveillance peut être assurée par les concurrents entre eux ou par leur entraîneur. A cet égard, la zone d'échauffement est surveillée par au moins deux apnéistes de sécurité qui veillent au respect des règles de sécurité. Il faut au moins un apnéiste pour 6 concurrents en zone d'échauffement [73].

5.1.2.5. Le personnel médical

- Pour la FFESSM :

La compétition est placée sous la surveillance d'un médecin fédéral ou d'un médecin titulaire d'un CES de médecine du sport ou d'un médecin hyperbare.

- Pour l'AIDA :

Pour les disciplines en piscine, elle exige au moins un sauveteur professionnel et un médecin n'est pas forcément obligatoire [4]. En l'absence de médecin sur les lieux, les apnéistes savent intervenir sur une samba ou une syncope en compétition car la plupart sont détenteurs du RIFAA (Réactions et Interventions face à un accident d'Apnée). Ils connaissent les moyens de récupérer la victime au bord de l'eau ou au fond de l'eau, savent évaluer l'état de conscience de la victime et savent appliquer les premiers soins [72].

Par contre nous verrons que pour les disciplines en profondeur, la présence d'un professionnel de la santé qui est capable de fournir une assistance cardiaque est obligatoire (médecin fédéral ou d'un médecin titulaire d'un CES de médecine du sport ou d'un médecin hyperbare nommé).

Le jour de la compétition, tout le personnel intervenant pour la sécurité fait un débriefing complet avec la révision des procédures de sécurité et également la mise en place d'un plan d'urgence et d'évacuation adapté aux lieux de l'événement [73].

5.1.3. L'équipement de l'apnéiste

- Le masque ou lunettes au choix mais dont les verres doivent permettre la vision des yeux de l'athlète par l'apnéiste de sécurité et les juges, et pouvoir détecter un regard vide, signe d'hypoxie.
- Une combinaison adaptée pour le meilleur confort respiratoire et thermique.
- Les palmes ou monopalme au choix. [73].

5.1.4. Accès aux compétitions

- Limite d'âge : Les athlètes doivent être âgés d'au moins 18 ans, ou d'au moins 16 ans s'ils sont munis d'une autorisation parentale.
- Certificat médical : Tous les athlètes doivent être en possession d'un "certificat médical de non contre-indication à l'apnée" signé par un médecin fédéral de moins d'un an ou titulaire du C.E.S de médecine du sport (capacité ou DU), ou par un médecin hyperbare ou par un médecin de plongée. Pour les compétiteurs mineurs (âgés de 16 à 18 ans) il existe des examens médicaux spécifiques supplémentaires [73].

- Contre indications médicales :

<i>Apnée :</i>	<u>Contre-indications définitives</u> V = poids constant O = piscine	<u>Contre-indications temporaires</u> V = poids constant O = piscine
CARDIOLOGIQUES	Cardiopathie congénitale, Insuffisance Cardiaque, CMO, pathologie à risque syncopal (valvulopathies type RAO RM), Tachycardie paroxystique, BAV 2 / 3 non appareillé . Accident vasculaire cérébral , HTA non contrôlée après épreuve d'effort .	HTA infarctus récent angor péricardite stent vasculaire
ORL	V/O trachéostome évidemment petro mastoïdien Perforation tympanique résiduelle, déficit vestibulaire non compensé V/ otospongiose opérée ossiculoplastie cophose unilatérale	Syndrome vertigineux perf tympanique obstruction tubaire épisode infectieux
PNEUMOLOGIE	V/O Pneumothorax spontané ou maladie bulleuse V asthme sévère (stade 3) BPCO	Pleurésie, infection, trauma thoracique
OPHTALMO	Kératocône>stade 2 chirurgie oculaire récente 6 mois	V/O Décollement rétinien
NEUROLOGIE	Epilepsie, syndrome déficitaire, pertes de connaissances itératives	Traumatisme crânien récent avec perte de connaissance à évaluer Hernie discale cervicale ou lombaire symptomatique
PSYCHIATRIE	Psychoses sévères IMC	V/Alcoolisation aigue V/ trt antidépresseur et anxiolytique V/Tétanie normo calcique
HEMATOLOGIE	Thrombopénies Hémophilie Thrombopathie congénitales	
GYNECOLOGIE		V/ grossesse
METABOLISMES	Diabète de types 1 et 2 voir annexe	
DERMATOLOGIE		Pathologies infectieuses en cours
GASTRO	V manchon anti reflux	
CANCEROLOGIE		A évaluer cas par cas à la fin du traitement

Tableau D1 : Liste des contre indications à la pratique de l'apnée et disciplines associées [70]

5.1.5. Les pénalités de protocole pour contribuer à une meilleure sécurité [73]

- Annonce de performance :

Elle doit être faite le jour de l'inscription à la compétition. Il faut avoir un objectif précis de ses capacités, ne pas les sur-évaluer ce qui engendrerait une pénalité de « non respect de la performance annoncée », ne pas les sous-évaluer car dépasser la performance annoncée n'ajouterait pas de point supplémentaire. Cela permet de limiter les prises de risques et la survenue de syncope lors des compétitions.

- Protocole de top départ :

Le décompte est annoncé par un juge 2 minutes avant le top départ :

2'00 1'30 1' 30 sec 20 sec 10 sec 9 8 7 6 5 4 3 2 1 Top départ et l'immersion se fait entre l'annonce 10 secondes et le top départ.

Petite différence dans le protocole AIDA lors du décompte de top départ, car l'immersion se fait entre le top départ et les +10 secondes [4].

- En cas d'erreur de protocole s'applique une pénalité de « top départ » :

Si le compétiteur débute sa performance en dehors du temps imparti top départ, la FFESSM applique une pénalité de temps ou de distance et l'AIDA applique la pénalité en point. Au-delà, de 30 secondes de retard l'athlète est disqualifié. [73].

- Protocole de surface :

- Origine :

Avant l'existence de l'AIDA dans les années 80, la syncope et la PCM (perte de contrôle moteur) n'étaient pas sanctionnées pour la performance (à l'époque de Mayol et de Maiorca).

Par la suite la syncope devint disqualifiante pour éviter la prise de risque mais malgré cela, énormément de compétiteurs arrivaient en surface en tremblant à cause d'une hypoxie. Le comité directeur de l'AIDA décida donc de sanctionner et disqualifier ce comportement avec « manque de tenue de tête » en 2000, la syncope fut donc différenciée de la PCM.

Les signes d'hypoxies n'étant pas toujours faciles à détecter, l'AIDA décida de durcir à nouveau le règlement en mettant en place un « protocole de sortie » selon un schéma et un ordre précis. Cela permet de s'assurer des pleines facultés de l'apnéiste en fin de performance.

Ce règlement n'empêche pas certains athlètes de présenter des « PCM maîtrisées », c'est à dire la réalisation de protocole de façon parfaite, mais avec toutefois des légers tremblements des mains, ou de la tête. Cela n'est pas disqualifiant du moment que les voies aériennes restent immergées [29].

- Déroulement :

Après la sortie de l'eau l'athlète a 15 secondes pour effectuer le **Protocole de Surface** de façon spontanée sans incitation par une personne extérieure et dans l'ordre spécifique suivant :

- 1- Enlever TOUS les équipements faciaux (masque, lunettes et pince-nez)
- 2- Faire 1 signe OK visible au juge.
- 3- Faire 1 signe OK verbal au juge en disant "I am OK" ou "Tout va bien".

A défaut de respecter cette procédure dans son intégralité, l'athlète est disqualifié pour l'épreuve.

• Autres pénalités de performance :

Pénalité de « faux départ et virage » et pénalité de « Nage surface » en dynamique qui rajouteront 3m de pénalités sur la performance réalisée.

5.1.6. Les sanctions [73]

Chaque infraction aux règlements est sujette à des sanctions proportionnelles à la faute commise et dont le principal but est d'éviter un comportement à risque. Ainsi l'on distingue

- « **L'avertissement** »: donné pour faute minime et à titre préventif (*Ex : L'échauffement seul sans surveillance*).
- « **La faute de Règlement** » donnée lors d'un non respect de règle spécifique à une épreuve. Cette sanction implique la nullité de la performance pour l'épreuve dans laquelle elle a été donnée (*Ex : Après émergence des voies aériennes toute ré-immersion de la bouche ou du visage est éliminatoire*).

- « **la Disqualification** » : donnée pour faute grave. Cette sanction entraîne la nullité de l'épreuve dans laquelle elle a été jugée et elle entraîne, par surcroît, l'interdiction de participer aux épreuves suivantes de la compétition (*Ex : si athlète touché ou aidé pendant sa performance/ Toute inhalation d'oxygène ou d'un mélange suroxygéné dans l'heure qui précède/ L'échauffement seul sans surveillance / syncope / défaut protocole au top départ*).

5.1.7. Les fautes spécifiques [73]

La validité d'une performance est faite par les juges après une minute d'observation de l'apnéiste à la fin de son épreuve. Cela a pour but de détecter toute anomalie de comportement sachant que beaucoup de syncopes ont lieu après émergence. Ces fautes permettent de pénaliser un apnéiste qui prendrait des risques trop importants dans le simple but de se surpasser. Toutes les performances sont filmées.

- Perte de Contrôle Moteur (PCM) ou samba :

Tout comportement entraînant l'intervention volontaire de l'apnéiste de sécurité afin de garantir la sécurité du compétiteur ou le non respect du « protocole de sortie » dans les règlements FFESSM sont considérés comme une PCM.

Une première PCM entraîne la disqualification pour toutes les épreuves de la compétition sans suspension. Une première récidive dans l'année entraîne une suspension, une deuxième récidive, une suspension de 6 mois.

- Syncope :

L'arrêt cardiaque, l'arrêt respiratoire, la perte de conscience (blackout), plusieurs mouvements mécaniques post-syncopaux ou encore conscience mais avec l'incapacité de maintenir les voies aériennes hors de l'eau, entraînent une disqualification pour "syncope".

Une première syncope entraîne la disqualification de l'athlète ; une interdiction à concourir le reste de la compétition et une suspension de compétition pendant un mois. En cas de récidive dans l'année, une interdiction de compétitions de 3 mois à 6 mois.

Pour l'AIDA, une syncope est disqualifiante pour l'épreuve mais pas forcément pour les autres épreuves de la même compétition. La décision est prise par le médecin de la compétition et les juges selon la gravité du cas [4]

5.2. LES DISPOSITIFS SPECIFIQUES SELON LA DISCIPLINE [73]

5.2.1. Le milieu artificiel

Ce milieu semble réunir tous les éléments de confort et de sécurité, on le connaît bien, on a ses repères. C'est souvent dans ces conditions que les accidents arrivent et il est donc indispensable de rester concentré et vigilant.

5.2.1.1. L'apnée statique

- Lieux:

Bassin profondeur minimale 60 cm et maximal 1,5 m de manière à ce que le compétiteur puisse prendre appui avec les pieds. L'épreuve se déroule en surface.

Il y a 3 zones délimitées : une d'échauffement, une de transition, et une de performance.

- Matériel :

Les montres ou chronomètres immergés sont interdits. L'apnée statique doit être travaillée aux sensations et non au chronomètre car cela augmente le risque de syncope.

- Protocole de sécurité et rôle de l'apnéiste de sécurité :

L'apnéiste est au courant de la performance visée par le compétiteur et est responsable de la vérification de son état de conscience selon le protocole de sécurité. Pour cela, de manière non équivoque il touche l'athlète qui à son tour répond en utilisant une gestuelle convenue d'avance entre eux. Généralement la communication se fait par des pressions sur la main du compétiteur qui répond par le même nombre de pression.

Cette procédure de contrôle est réalisée une minute avant la performance annoncée, trente secondes avant, puis au moment de la performance annoncée et ensuite toutes les 15 secondes.

- S'il n'y a pas de réponse ou pas celle convenue, l'apnéiste de sécurité renouvelle la pression et en l'absence de réponse ou réponse incorrecte le compétiteur est sorti de l'eau.
- De même devant tout comportement anormal, le compétiteur devra être secouru.



Photo D5 : apnéiste de sécurité en statique

Après son émergence, l'athlète réalise le protocole de sortie et reste surveillé par son binôme encore 20 secondes au minimum.

- Surveillance :

Il s'agit d'une discipline où les signes pré syncopaux sont les plus difficiles à détecter du fait de l'absence totale de mouvement.

- SUR SOI : Lutte contre l'envie de respirer/Spasmes (contractions diaphragmatiques)/Sensation de flottement/Picotement des extrémités /Troubles visuels /Lourdeur des membres/Chaleur dans les muscles/Aisance inhabituelle
- SUR L'APNEISTE : Durée excessive/Spasmes/Mouvements incohérents/Pas de réponse au signal/Lâché de bulles/Tremblements (après la sortie)

- Récupération d'un athlète syncopé en surface : [72]

L'intervention doit être rapide mais douce pour éviter un réveil sous l'eau en cas de syncope car il y a un risque d'inhalation. Il faut retourner l'apnéiste sur le dos pour maintenir les voies aériennes hors de l'eau, ôter son masque et lui faire rapidement une insufflation bouche à nez. Tracter la victime jusqu'au bord du bassin tout en alertant pour demander de l'aide, lui donner de l'oxygène et le sortir de

l'eau. Prendre les mesures pour l'évaluation des fonctions vitales, état de conscience, et premiers gestes à effectuer.

- En entraînement :

Lors de l'entraînement, il faut programmer les séances et faire ce que l'on programme. L'exercice se fait toujours sous surveillance d'un autre apnéiste qui d'une part connaîtra le niveau de son binôme et d'autre part connaîtra les objectifs fixés entre eux avant l'immersion. Les protocoles de sécurité et de sortie doivent être également appliqués.

5.2.1.2. L'apnée dynamique

- Lieux :

L'épreuve se déroule en piscine dont le bassin a une distance minimale de 25 mètres et une profondeur minimale de 1,00m selon la FFSSEM (0,90 m AIDA). La performance se réalise à 0,50m de profondeur minimum. Deux zones sont délimitées par des lignes d'eau: une zone d'échauffement et une zone de performance.

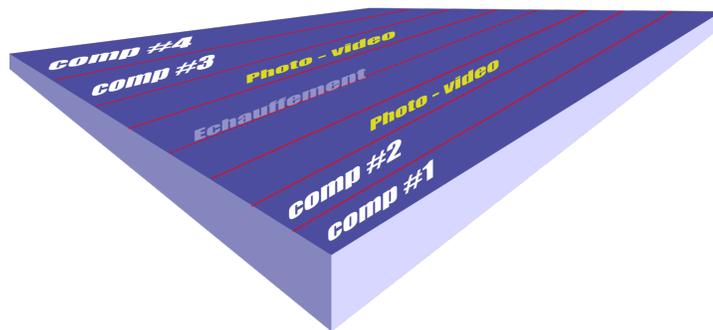


Schéma D3 : organisation du bassin en apnée dynamique

- Rôle de l'apnéiste de sécurité :

Les lignes accueillantes les compétiteurs sont les plus proches du bord dans la zone de performance.

Il doit y avoir au moins une personne pour la sécurité marchant au bord du bassin (pour la ligne près du bord) prête à intervenir, en plus des 2 juges qui suivent l'athlète et du cameraman qui filme toute la performance.

Il y aura par athlète un apnéiste de sécurité par zone de 25 m. Ils sont munis d'un flotteur et suivent en surface, avec une distance avec l'athlète qui doit être de plus en plus petite, au fur et à mesure que l'on se rapproche de la performance. La distance doit être au maximum d'une longueur de bras lorsque l'apnéiste atteint la performance annoncée. Le protocole de sortie se fera une fois que l'apnéiste est sur un point d'appui (ligne d'eau ou bord du bassin).



Photo D6 : Apnéiste de sécurité en dynamique

- Surveillance :

Il faut savoir reconnaître les signes pré-syncopaux :

- SUR SOI : signes identiques à ceux ressentis lors d'une apnée statique mais en plus une baisse de la qualité du palmage.
- SUR L'APNEISTE : Longueur excessive/Baisse de la qualité du palmage / Mouvements non coordonnés/Changement de direction/Crispation, tête en hyper extension : regard vers le mur/Accélération ou arrêt du palmage /Lâché de bulles/Tremblements (après la sortie)

- Récupération d'un athlète syncopé au fond :

Rejoindre la victime, la stabiliser, la manipuler doucement pour éviter une inhalation en cas de réveil, se positionner derrière la victime et passer un bras sous son bras en venant appliquer la main sur la bouche et ainsi s'assurer l'obstruction des voies aériennes. L'autre main est libre pour larguer son lest et entamer la remontée [72].

- A l'entraînement :

Le travail se fait par séries dans les lignes d'eau avec un départ toutes les 5 secondes (les apnéistes se suivent donc de près, s'il y a un problème, celui qui suit secourt le précédent).

Il est indispensable d'avoir un point d'appui proche (planche, ligne d'eau, bord) et de déterminer un sens de nage pour éviter les collisions.

Dans des entraînements à deux il est indispensable de connaître le niveau de son binôme.

5.2.2. Le milieu naturel

L'athlète doit remonter à la surface une plaquette qui est placée à la profondeur annoncée, puis la remettre à un membre du jury à sa sortie. Le règlement est basé sur celui de l'AIDA [4][2].

5.2.2.1. Les généralités aux disciplines de profondeurs [4]

5.2.2.1.1. Les Lieux

Les épreuves se déroulent en eau douce ou en mer. Pour cela une des difficultés va être de savoir s'adapter à l'environnement, tenir compte des conditions météorologiques et s'intéresser aux possibilités d'évacuation en urgence.

- En lac :

On fait d'avantage attention à la température plus basse, la turbidité de l'eau et aux risques de collisions avec les objets du fond (tronc d'arbres, rochers).

- En mer :

Surtout en Atlantique ou dans la Manche, il faut s'intéresser aux marées en limitant les sorties en cas de gros coefficient, de courants violents et de houle.

Il faut être vu des bateaux, par une bouée ou planche ou pavillon Alpha.

Il est important d'être en liaison VHF sur canal 63 où le CROSS MED assure la diffusion en permanence des bulletins météo côtiers [77].

- Le lieu sera divisé en 3 zones habituelles :

Le protocole AIDA date de 2003 et il préconise dans la zone d'échauffement au moins 1 apnéiste de sécurité pour 4 athlètes et un plongeur bouteille descendant à 10-20 m. La zone de performance, avec 2 apnéistes de sécurité par athlète qui l'accompagneront de 15 m jusqu'à la surface à la remontée [91].

5.2.2.1.2. Le matériel spécifique

- Matériel médical :

En plus du matériel de secours commun à toute les disciplines, il faut un bateau d'évacuation rapide avec matériel d'oxygénothérapie prêt à fonctionner, matériel de premier secours standard. La présence d'un défibrillateur est recommandée [4].

- Matériel de communication :

Vérifier que le matériel fonctionne, savoir s'en servir et connaître les appels de secours :

- Sur terre => appel au SAMU au centre 15 (interconnecté avec le 18 et le 112)/ D'un téléphone portable 112.
- En mer => appel au CROSS par VHF 16 ou VHF ASN (appel sélectif numérique) / téléphone portable en mer 1616 mais qui ne remplacera jamais la VHF. Le CROSS est systématiquement interconnecté avec les centres 15 [53].

- Matériel pour l'apnéiste et la performance :

- Le lestage (ceinture / cou / bonnet) devra être le plus faible possible pour assurer une remontée aisée. Il a pour but d'avoir un équilibre de flottabilité aux alentours de 5-7m, zone dans laquelle se présente la majorité des syncopes [38]. Par contre, il doit être visible facilement largable et déclaré avant son utilisation aux juges et aux apnéistes de sécurité pour connaître le mécanisme de largage en cas de besoin [4].
- La longe de sécurité obligatoire est vérifiée par le jury. Une pénalité sera donnée si l'athlète la retire.

- Une récupération à l'oxygène doit être considérée comme nécessaire pour toute plongée dépassant les 80 m de profondeur soit en surface, soit à 5m selon la profondeur atteinte. Ainsi des bouteilles d'oxygènes doivent être placées à 5 m de profondeur et disponibles pour les apnéistes sous surveillance d'un apnéiste de sécurité.
- L'utilisation des vidéos en surface et à la profondeur de performance. En poids variable et No limit une camera est fixée sur la gueuse pour pouvoir filmer toute la performance.
- L'athlète porte des profondimètres afin de vérifier la profondeur atteinte s'il n'a pas remonté la plaquette.
- Les masques utilisés sont plus spécifiques pour les disciplines de grande profondeur pour lutter contre l'effet de la pression ; « pipe mask » (des lunettes équipées d'un tuyau relié à la bouche pour équilibrer) ou des « fluides-goggles » (des lunettes remplies avec de l'eau auxquelles sont intégrées des lentilles spéciales).

5.2.2.1.3. Le rôle du personnel

- Médical :

La présence d'un médecin spécialisé en réanimation est essentielle. Le professionnel doit être capable de fournir une assistance cardiaque obligatoire dans les disciplines de profondeur [4].

En cas d'intervention de plongeurs scaphandres, un centre hyperbare doit être prévenu par le médecin responsable [74].

- Organisateur :

L'organisateur doit réaliser des simulations de sauvetage pour tout le personnel intervenant dans la sécurité quelques heures ou quelques jours avant.

Pour les disciplines de profondeur, il est dans l'obligation de prévenir le centre 15, le 18 et /ou le CROSS au plus tard 1 semaine avant pour notifier le lieu la date et l'heure de la compétition.

- Les plongeurs de sécurité :

Leur nombre a énormément diminué depuis 10ans grâce à l'utilisation des nouveaux systèmes de sécurité et des FRS (Freedivers Retrieval System). Les FRS sont les systèmes de « récupération » d'urgence de l'apnéiste, comme le contrepoids qui est le plus usité.

En l'absence de système de contrepoids, les plongeurs doivent être équipés du matériel nécessaire pour mettre en place un retour à la surface rapide de l'athlète. Ce n'est pas eux qui le remonteront mais les parachutes qu'ils fixeront sur le bracelet de l'athlète ou sur le câble [29]. Ils ont interdiction de fournir de l'air à l'athlète à cause du risque de surpression pulmonaire.

Pour diminuer les risques d'accident de décompression pour les plongeurs autonomes, sur chaque journée les athlètes les plus profonds doivent être les premiers à passer ou si il y a plusieurs jours, ils doivent passer le dernier jour [91].

- Les apnéistes de sécurité :

Dans les épreuves de profondeur, il y a toujours au moins deux apnéistes équipés par athlète au moment de la performance. Ils viennent à sa rencontre aux alentours des 20- 30 mètres lors de sa remontée et l'accompagnent jusqu'en surface. Le risque de syncope est plus grand dans les derniers mètres du fait de la chute des pressions partielles en O₂.

5.2.2.1.4. La surveillance

Dans les disciplines de profondeur l'accident ne se produit qu'exceptionnellement au fond sauf si le temps d'apnée est fortement prolongé pour une raison particulière. L'accident a lieu à la remontée, dans les derniers mètres ou à la surface. Si le sujet syncope à la remontée, suivant sa flottabilité (qui est dépendant de la profondeur et du lestage) il peut soit couler, soit remonter. La surveillance de l'athlète est donc maximale en fin de remontée et les signes pré-syncopaux à rechercher sont les mêmes qu'en apnée dynamique avec une regard vide ou paniqué. Le lâcher de bulle est un signe important.



Photo D7 : Apnéiste mimant une syncope

Deux règles de sécurité à respecter du fait de nombreuses syncope à l'émersion:

- Prendre un point d'appui dès le retour à la surface. Ainsi la personne en surface pourra plus facilement observer et secourir l'apnéiste.
- Surveiller étroitement l'apnéiste dans les trente secondes suivant la remontée en restant très proche de lui de manière à lui maintenir les voies respiratoires hors de l'eau en cas de syncope, ou de PCM. Il faut insister pour qu'il se ventile bien (ce que l'apnéiste n'a pas toujours le réflexe de faire) et observer les éventuels signes annonciateurs de syncope.

5.2.2.1.5. A l'entraînement

Lors des stages d'apnée de Pierre Frolla, avant chaque excursion en profondeur, le matériel est testé par le stagiaire sur une faible profondeur et les protocoles sont répétés plusieurs fois en surface avec le rôle de chaque intervenant. Une concentration maximale est requise et il conseille de se remémorer les gestes simples à effectuer avant la descente pour qu'ils deviennent automatiques. Il ne faut pas oublier quelques effets de la narcose au delà des 50 m qui peuvent rendre difficile la concentration à ces profondeurs et mal réaliser les gestes convenus en surface [77]

5.2.2.2. Les spécificités selon les disciplines

5.2.2.2.1. En poids constant

L'apnéiste descend et remonte, tentant d'atteindre une profondeur annoncée avec ou sans palme, sans aucune aide à la propulsion ni à la traction sur la corde.

- La naissance du poids constant à la FFESSM, avec ses propres protocoles [74] :

Après accord de sa commission médicale, la FFESSM a décidé de reconnaître le poids constant en compétition sous réserve que les premiers tests effectués en 2012 soient concluants. Cependant il existe quelques spécificités par rapport au règlement du poids constant déjà développé par l'AIDA.

- L'annonce de performance doit être faite 1 mois avant la compétition, avec la profondeur visée et la durée théorique d'immersion.
- Les fautes pour PCM et syncope sont plus sévèrement punies que pour les autres disciplines, avec des suspensions directes et plus longues.
- La présence d'une hémoptysie entraînera une disqualification.
- Un nouveau protocole de sortie (5 sec + 5 sec + 15 sec). A son retour en surface et après un décompte de 5 sec, l'athlète doit toucher la tête du juge avant les 5 secondes suivantes, puis après les 15 suivantes il doit rester à flot sans aide extérieure et dire OK tout va bien.
- Un protocole de top départ différent 3 min, 2min, 1min, 30 sec 10 sec 5, 4 3 2 1 0, et le départ doit se faire dans ces 3 min.
- Pour la surveillance, au moins 2 apnéistes de sécurité par câble d'échauffement ne dépassant pas les 40 m et pendant la performance, les apnéistes de sécurité viendront à 25 m rejoindre l'athlète lors de sa remontée.

Ce règlement est pour le moment provisoire et pourra être changé selon les premiers tests. A ce jour il n'a pas encore été divulgué au grand public.

- A l'entraînement :

L'idéal, c'est deux apnéistes de sécurité : un de surface qui peut suivre la plongée (descente, virage, remontée : doigt sur filin, chrono) et un qui va à la rencontre de l'apnéiste à la remontée.

- Exemple de sécurité en poids constant :

1. Le **ROUGE** fait l'exercice, il descend et tire sur le câble au fond.
2. L'**ORANGE** vient de faire l'exercice, surveille l'exercice. Il rejoint à mi profondeur le **ROUGE** à sa remontée.
3. Le **VERT** se prépare, prêt à intervenir si besoin. Il donne l'alerte si **ORANGE** intervient sur le **ROUGE**.

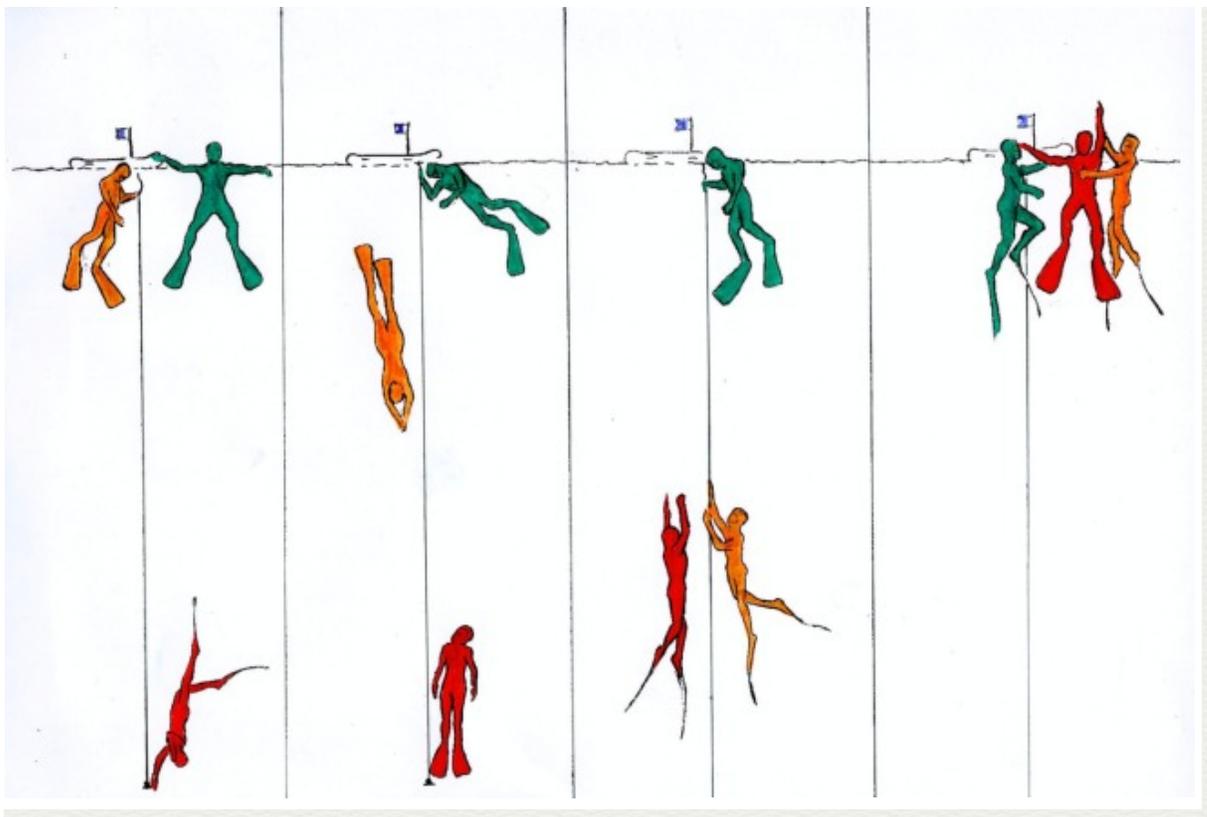


Schéma D4 : Proposition d'exemple de surveillance entre apnéistes lors du poids constant

5.2.2.2.2. En immersion libre

L'apnéiste descend et remonte en se tractant à la corde, sans aucune aide à la propulsion, et sans palme. La même sécurité est applicable que le poids constant.

5.2.2.2.3. En poids variable

L'apnéiste descend à l'aide d'une gueuse et remonte à la force de ses muscles en utilisant des palmes et peut se tracter à la corde. L'utilisation de gueuse est nécessaire et son poids est au choix de l'athlète. Elle fait partie des disciplines de record et non de compétition, comme pour le « no limit ». Le nombre d'événements organisés annuellement reste très faible car sa mise en place nécessite beaucoup de matériel et de personnel.

5.2.2.1.4. Cas particulier du « no limit »

- Le principe :

L'apnéiste descend à l'aide d'une gueuse et il a le choix pour la méthode de remontée (ballon, contrepoids, winch électrique). Cette discipline réclame énormément de moyens techniques et financiers pour assurer la sécurité. C'est le plus souvent considérée comme une discipline expérimentale, et même si l'AIDA a rédigé un protocole pour l'utilisation de la gueuse, dans le « no limit » c'est l'athlète lui-même avec toute son équipe qui met au point sa propre sécurité. Il a donc le choix dans l'utilisation du Freediver Retrieval System, contrepoids, utilisation de scaphandriers équipés...

- Le protocole de recommandation AIDA pour le « no limit »; « Guidelines and Protocol for Sled Diving » [2] :

L'AIDA dans son protocole pour le « no limit » donne des grandes lignes d'informations et recommandations mais insiste sur le fait qu'il ne peut garantir l'absence d'accident. Le caractère extrême de ces plongées signifie que même si tout est respecté parfaitement et que les recommandations sont suivies, le risque zéro n'existe pas et il y a toujours possibilité de subir une syncope, un ADD ou autres.etc

Les records de « no limit » sont trop peu fréquents pour pouvoir faire des études sur la physiologie et les accidents. Ces athlètes évoluent dans un milieu où tout reste à découvrir. Evidemment le risque augmente avec l'exposition que ce soit en profondeur ou en fréquence. Ainsi l'apnéiste connaît les risques et doit les assumer. C'est pourquoi les athlètes de haut niveau développent eux-mêmes de nouveaux systèmes de sécurité et les expérimentent.

- Les risques craints :

Les précautions maximums doivent être prises pour diminuer les risques de ces accidents qui peuvent devenir fatals.

- a. L'AIDA met en avant le risque d'ADD pour des profondeurs > 50m.
- b. Elle se pose la question sur la toxicité de l'oxygène sur des grandes profondeurs dont la conséquence peut être la convulsion. Théoriquement le risque est présent mais jamais observé jusqu'alors sur un apnéiste.
- c. De même la narcose est possible d'un point de vue physiologique, mais le corps s'y adapte en s'entraînant de façon progressive sur des plongées de plus en plus profondes.
- d. Elle évoque également le risque de barotraumatisme pulmonaire.

- Les recommandations :

- a. L'utilisation d'un système fiable pour remonter l'athlète à n'importe quel moment, de façon rapide et de n'importe quelle profondeur. (au choix)
- b. Les moyens d'évacuation doivent être au point et rapides, avec un caisson hyperbare proche et son personnel prévenu.
- c. Le personnel médical sur place doit être entraîné à réagir aux pathologies de la plongée et leurs complications. Le personnel doit être hautement qualifié.
- d. La remontée doit être rapide jusqu'à 30 m puis plus lente jusqu'à la surface et avec sa propre force musculaire. Après émergence, il doit respirer de l'oxygène pur pendant 10 min à 5 m de profondeur. Ces protocoles ont pour but de diminuer le risque d'ADD.
- e. Le temps de plongée au fond doit être court. Il est conseillé d'expirer à la remontée pour diminuer son volume pulmonaire à l'approche de la surface et éviter la surpression pulmonaire.
- f. Même à l'entraînement, il est conseillé de prendre les mêmes précautions et avoir la même sécurité que pour une tentative de

record. La progression des profondeurs atteintes doit se faire de façon régulière et progressive pour entrainer son corps aux effets de la pression.

- La technique de NITSCH (actuel recordman de no limit à 214m) :

Il a développé une gueuse qu'il nomme « traîneau » très complexe. Il supprime le gonflage du ballon manuel d'une part, pour amorcer au plus tôt sa remontée et d'autre part, car il est en situation potentielle de dégradation de la conscience par narcose. La remontée se fait grâce au contrepoids largué ou au winch électrique. Il utilise également un EQUEX "Equalisation Extension Tool". Il s'agit d'un réservoir qu'il gonfle avec l'air de ses poumons entre 15 et 30 mètres, qu'il réutilisera en partie pour équilibrer les oreilles à forte profondeur et également en fin de plongée pour récupérer de l'air. Les systèmes de sécurité et le FRS choisi sont doublés à chaque tentative pour palier à un défaut mécanique ou électronique qui peut survenir à tout moment. On peut se poser la question si on est toujours dans le sport dans cette discipline, tellement les moyens techniques sont développés.

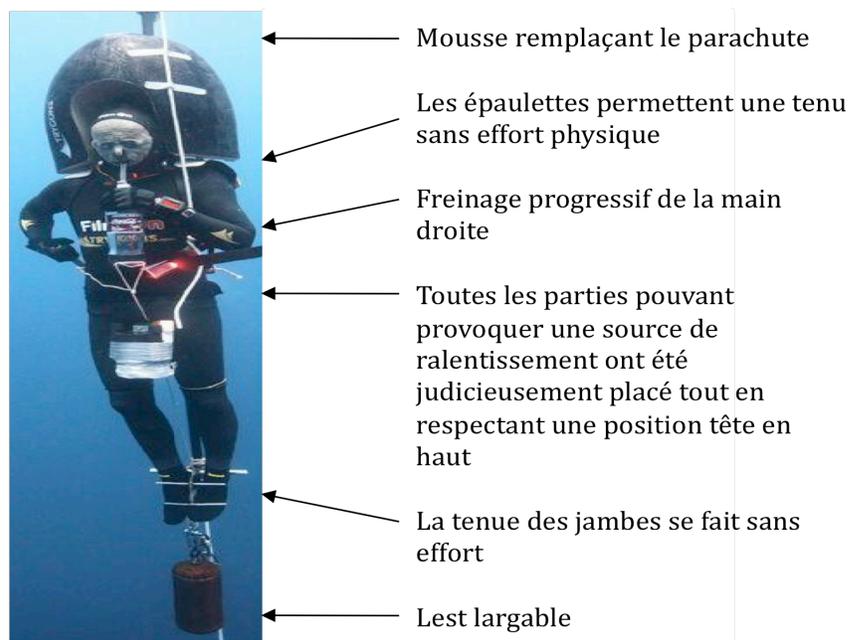


Photo D8 : La gueuse d'Herbert Nitsch pour le « no limit »

Cette discipline de part le besoin d'assurer une sécurité exemplaire, permet dans un sens de faire part de son expérience aux autres disciplines. Chaque nouvelle tentative permettra de tester un protocole différent et peut être ainsi pourra faire évoluer la sécurité pour les autres disciplines de profondeur moins extrêmes.

6. ENSEIGNEMENT ET EDUCATION

La sécurité en apnée, pour tout débutant passera tout d'abord par son enseignement.

Depuis quelques années, un enseignement de la plongée en apnée a été organisé par la Fédération avec la création d'un monitorat et de stages de formation. Malheureusement, il semble que le pourcentage de plongeurs en apnée qui reçoivent cette formation soit infime par rapport au nombre de pratiquants.

De nombreux champions, comme par exemple Pierre Frolla, ouvrent leur école d'apnée et proposent des stages d'initiation.

6.1. L'ENSEIGNEMENT THEORIQUE

En apnée, plus qu'ailleurs, la sécurité passe par l'enseignement à titre préventif. Cela tout d'abord par la responsabilisation, car dans un binôme chacun repose sa confiance sur l'autre. L'apprentissage des connaissances, des risques, des dangers de l'apnée et notamment la syncope est indispensable.

6.1.1. Des formations spécifiques pour le sauvetage en apnée

- Le RIFAA (Réactions et Interventions Face aux Accidents d'Apnée) [72] :

Dans la mesure du possible et surtout pour les pratiquants réguliers, il est conseillé de passer le RIFAS (Réactions et Interventions Face aux Accidents Subaquatiques) ou de se recycler s'ils ont une formation en secourisme qui remonte à plusieurs années comme le CFPS (certificat de formation aux premiers secours).

Le RIFAS est un certificat de compétence dont le « tronc est commun » aux 6 commissions suivantes : apnée, hockey subaquatique, nage avec palmes, nage en eau vive, plongée scaphandre, tir sur cible subaquatique.

Il permet la délivrance de 4 capacités, les numéros 4, 5, 6 et 7. Les autres capacités (1, 2 et 3) sont spécifiques selon la commission d'appartenance. Il a pour objet l'acquisition des savoirs et savoir-faire nécessaires à la bonne exécution des gestes destinés à préserver l'intégrité physique d'une victime d'accidents subaquatiques, avant sa prise en charge par les secours. Ainsi pour l'apnée, le RIFAA forme aux risques spécifiques de ce sport et notamment sur la syncope. Il devient obligatoire à partir du niveau III.

	CONNAISSANCES, SAVOIR ETRE , ET SAVOIR FAIRE	COMMENTAIRES ET LIMITES	CRITERES DE REALISATION
1	Communication entre apnéistes lors d'un accident en apnée Application des méthodes de surveillance	Connaissance des signes normalisés de la FFESSM et réponses adaptées aux circonstances de l'accident Connaissance des signes pré syncopaux	Rapidité d'intervention et prise en charge de l'accidenté.
2	Mise en sécurité et récupération de l'accidenté	Réaliser une technique de sauvetage, de tractage puis de hissage sûre et adaptée à la situation, pour mettre l'accidenté hors d'eau et le débarrasser de toute entrave aux fonctions vitales	Maîtrise du sauvetage, du tractage, maîtrise du hissage, mise en sûreté de l'accidenté
3	Mise en sécurité de la palanquée	Vérifier la composition de la palanquée, et assurer le regroupement du matériel de celle-ci	Maîtrise de la gestion de la palanquée
4	Coordination et partage des différentes opérations liées à l'accident	Rôle de chacun en fonction des compétences présentes. Assurer la liaison entre les divers intervenants	Maîtriser la gestion de crise
5	Prise en compte des plaintes et malaises de la victime et évaluation des fonctions vitales	Reconnaissance des signes liés aux accidents en apnée et surveillance	L'apnéiste doit rassurer, interroger et recueillir les plaintes et l'état de la victime. Il doit surveiller l'évolution de l'état de la victime (*)
6	Mise en œuvre des techniques adaptées à l'état de la victime	Respect des recommandations de la Commission Médicale et de Prévention Nationale en matière d'accidents, dont: - Ranimation cardio-pulmonaire(RCP) - Inhalation O2 - Insufflation O2 à 100% à 15 litres par minute CAT devant ces traumatismes	Application des techniques (*)
7	Appel aux secours. Passation des informations aux urgences et suivi	Adaptation des procédures d'appel aux conditions de pratique de l'activité En mer : connaissance des procédures d'appel par moyen maritime (VHF, VHF ASN)	Transmission auprès des organismes de secours adaptés des éléments concernant la victime et la situation de l'accident En mer : CROSS

Tableau D1 : Objectifs du RIFAA

- L'ANTEOR (Animer l'apprentissage des techniques d'oxygénothérapie réanimation):
Il a pour objet l'acquisition des savoirs, savoir-faire et savoir-être nécessaires à l'utilisation du BAVU et de l'oxygénothérapie dans l'environnement des activités subaquatiques, jusqu'à sa prise en charge par les services de secours spécialisés.

6.1.2. L'enseignement pratique

Apprendre à intervenir pour maintenir la tête d'un syncopé hors de l'eau et donner l'alerte. Faire des simulations d'accidents pour tester les réactions du groupe et créer des automatismes.

Savoir freiner les ardeurs, surtout chez les jeunes qui sont les spécialistes des apnées sauvages et qui ont un métabolisme plus sensible à la syncope. Mais attention il vaut mieux canaliser sous surveillance, qu'interdire sans alternative.

7. POINTS FORTS

Nous avons pu constater que les structures responsables de l'apnée se donnent les moyens pour assurer la sécurité lors des compétitions. Leur investissement dans l'amélioration des protocoles de sécurité est majeur. Il existe toutefois des éléments pouvant les limiter dans leur démarche : le manque de personnel et surtout le manque de moyens financiers. Malgré cela, l'AIDA France et la FFESSM font parties des organisations les plus stricts en matière de règlement et Claude Chapuis y a énormément contribué.

Pour les épreuves de records, les apnéistes sont parfaitement conscients des risques qu'ils prennent lors de leur tentative. L'AIDA les aide avec son protocole de recommandation mais ne peut assurer une sécurité fiable à 100%. Avant chaque nouvelle incursion dans les profondeurs, il y a un énorme travail d'organisation, de réflexion entre l'apnéiste et son équipe. A l'époque où Pierre Frolla était dans le circuit, 37 personnes (dont 14 minimums à chaque sortie) constituait son équipe « Pirates of the Abyss ». Leur rôle était d'assurer sa sécurité par les moyens de l'époque c'est à dire apnéistes de sécurité et scaphandriers équipés de parachutes. Ils travaillaient ensemble, pour établir un choix de sécurité toujours plus renforcée avec l'augmentation des profondeurs atteintes. Une organisation lourde et chère avec beaucoup de logistiques, qui explique encore aujourd'hui que les épreuves de fortes profondeurs sont rares.

CONCLUSION

L'Apnéiste s'est lancé dans l'exploration des profondeurs, milieu qui n'est pas le sien et qui lui fixe des limites physiologiques. L'entraînement va lui permettre de s'y adapter progressivement, tout en repoussant sans cesse les limites qu'il se fixe comme objectifs.

L'apnée est un sport jeune en pleine expansion et pour lequel il reste encore des progrès à faire afin de diminuer les accidents et notamment les syncopes. Les règlements des compétitions sont régulièrement revus, les protocoles de sécurité de plus en plus stricts dans le but de limiter les prises de risques. L'autre clé de la sécurité est la surveillance par les apnéistes de sécurité, formés à détecter les signes annonciateurs de syncope et à réagir rapidement en cas d'accident. Leur intervention immédiate permet d'éviter qu'une syncope devienne fatale.

Quant au « no limit » considéré comme de l'apnée extrême, il reste de l'ordre de l'expérimentation pour laquelle la sécurité est plus basée sur du matériel technique fiable que sur la surveillance par les apnéistes de sécurité. Les protocoles de sécurité, le matériel et le Freediver Retrieval system (pour remonter l'apnéiste en urgence) mis en place lors des tentatives de record sont au choix de l'athlète et de son équipe. C'est en ce sens que chaque incursion en profondeur permet de faire des tests qui pourront par la suite s'appliquer aux autres disciplines de profondeur.

Il reste encore toutefois des interrogations sur la syncope hypoxique au vu des constatations des différences de pourcentage des syncopes en compétition entre les divers pays, les organisateurs et les types de compétitions. Pour le moment, on explique ces différences par des hypothèses présumées car aucune étude réelle n'a encore été réalisée à ce sujet, et ce d'autant plus qu'il existe actuellement une grande difficulté à établir une base de données fiables sur la survenue des syncopes. Il serait très intéressant d'effectuer une étude méthodologique des facteurs de risque de la syncope en compétition : S'intéresser au niveau de l'athlète faisant la syncope, à la présence ou non d'un coach, à un échauffement préalable ou non, au type de discipline, au fait d'être à jeûn ou non, à l'âge de l'athlète, à l'équipement utilisé, à l'enjeu de la compétition et s'il s'agit d'une compétition par équipe ou

non, etc. Cela représente une étude de grande ampleur mais qui permettrait de mieux cerner la survenue de la syncope et de mieux la prévenir en développant des nouveaux protocoles de sécurité. Dans le même temps, le développement d'une base de données fiables avec la participation des différentes associations et fédérations pourrait faire progresser les études dans ce milieu.

On peut également se poser la question de la sévérité des règlements AIDA ou FFESSM. Nous avons vu que la sanction sur la syncope n'est pas toujours la même et que face à un règlement moins strict la prise de risque est probablement plus grande. La question de la perte de contrôle moteur (PCM) maîtrisée laisse à réfléchir. En effet, le fait pour un apnéiste d'effectuer correctement le protocole de sortie la fin de sa performance, mais d'être incapable de contrôler un tremblement minime, n'est-il pas un signe d'hypoxie avancée ? Mais quel serait l'avenir de ce sport si la tolérance était nulle et l'intérêt de faire des compétitions ?

Aucune étude n'a été réalisée sur les conséquences cérébrales à long terme des syncopes chez les apnéistes. La syncope est le stade avancé d'une hypoxie majeure, mais et on peut également se demander quels seraient les effets d'une hypoxie modérée récidivante sur le long terme, chez un apnéiste qui s'entraîne une à deux fois par semaine dans son club pendant des années. A chaque performance, sans forcément pousser au maximum ses apnées, se crée une dette d'oxygène dont certains tissus souffrent plus que d'autres. Une telle étude est-elle envisageable ? Il est probable que oui, mais il faudra encore attendre pour avoir une étude fiable sur un échantillon suffisant d'apnéiste à suivre pendant plusieurs années. Ce sport a un peu plus de 20 ans, et à cette époque le nombre d'apnéistes était insuffisant pour pouvoir mener des études statistiques fiables.

Le risque zéro n'existe pas mais on doit s'efforcer de tout mettre en œuvre pour en être le plus proche possible. Dans cet objectif, il faut garder à l'esprit que la sécurité reste l'élément indispensable et indissociable à la pratique de ce sport.

LISTE DES FIGURES, SCHEMAS, TABLEAUX

LISTE DES FIGURES :

<i>Figure A1 : Nombre de récepteurs de la face en cm²</i>	<i>14</i>
<i>Figure A2 : Effets de la température de l'eau sur le degré de bradycardie au cours d'une apnée avec immersion de la face. (D'après Gooden)</i>	<i>14</i>
<i>Figure A3 : Transfert sanguin de la périphérie vers les organes vitaux</i>	<i>15</i>
<i>Figure A4 : Illustration du Blood shift</i>	<i>16</i>
<i>Figure A5 : Valeurs des pressions partielles alvéolaires d'oxygène et de gaz carbonique au cours de l'apnée simple avec ou sans travail</i>	<i>19</i>
<i>Figure A6 : Schéma résumant l'évolution des volumes pulmonaires et des échanges alvéolo-capillaires en fonction de la profondeur au cours d'une plongée à 30m sans hyperventilation</i>	<i>20</i>
<i>Figure A7 : Evolution de la PACO₂ et de la PAO₂ au cours d'une apnée de 60 secondes comportant une descente à 10 m, un palier à 10 m et la remontée</i>	<i>22</i>
<i>Figure A8 : Les différents points de rupture de l'apnée</i>	<i>26</i>
<i>Figure A9 : Conséquences de l'hyperventilation</i>	<i>27</i>
<i>Figure A10 : Evolution de la fréquence cardiaque au cours d'une apnée</i>	<i>29</i>
<i>Figure B1 : Schématisation du cube</i>	<i>46</i>
<i>Figure B2 : Evolution des records du monde en apnée statique</i>	<i>47</i>
<i>Figure B3 : Evolution des records du monde en poids constant et immersion libre</i>	<i>48</i>
<i>Figure B4 : Evolution des records du monde en poids variable et no limit</i>	<i>48</i>
<i>Figure C1 : Evolution des pressions partielles d'O₂ et CO₂ au cours d'une apnée</i>	<i>55</i>
<i>Figure C2 : Courbe des PO₂ et PCO₂ avec et sans hyperventilation : explication de la syncope après hyperventilation</i>	<i>56</i>
<i>Figure C3 : évolution des pressions alvéolaires au cours d'apnées en inspiration forcée avec plongée fictive à 10m avec et sans hyperventilation</i>	<i>57</i>
<i>Figure C4 : physiopathologie de la surpression pulmonaire</i>	<i>71</i>
<i>Figure C5 : Plongeurs autonomes secourus par le CROSS national de 1994 à 2010</i>	<i>76</i>
<i>Figure C6 : Plongeurs libres secourus par le CROSS national de 1994 à 2010</i>	<i>77</i>

LISTE DES SCHEMAS :

<i>Schéma D1 : le filin et la longe de vie</i>	<i>95</i>
<i>Schéma D2 : Installation du contrepoids</i>	<i>100</i>
<i>Schéma D3 : organisation du bassin en apnée dynamique</i>	<i>113</i>
<i>Schéma D4 : Proposition d'exemple de surveillance entre apnéistes en poids constant</i>	<i>121</i>

LISTE DES TABLEAUX :

<i>Tableau A1 : Autres facteurs influençant la bradycardie en apnée</i>	<i>29</i>
<i>Tableau B1 : Records mondiaux AIDA Apnée Statique</i>	<i>42</i>
<i>Tableau B2 : Records mondiaux AIDA Apnée Dynamique</i>	<i>42</i>
<i>Tableau B3 : Records mondiaux AIDA Immersion Libre</i>	<i>43</i>
<i>Tableau B4 : Records mondiaux AIDA Poids Constant</i>	<i>44</i>
<i>Tableau B5 : Records mondiaux AIDA Poids Variable</i>	<i>45</i>
<i>Tableau B6 : Record mondiaux AIDA « No Limit »</i>	<i>45</i>
<i>Tableau C1 : Les manifestations de l'hypoxie</i>	<i>54</i>
<i>Tableau C2 : les valeurs des PAO2 à l'arrivée en surface après une plongée de 90 sec et à une profondeur de 27,4 m en fonction de la vitesse de la remontée</i>	<i>60</i>
<i>Tableau C3 : Tables de plongées en apnée : nombres d'apnée maximale par heure</i>	<i>67</i>
<i>Tableau C4 : Bilan des 7 CROSS réunis sur les loisirs sous marins de 2000 à 2009</i>	<i>76</i>
<i>Tableau C5 : Bilan CROSS national sur les loisirs sous marins pour l'année 2010</i>	<i>78</i>
<i>Tableau C6 : Comparaison par discipline du pourcentage de syncope lors des compétitions l'AIDA internationales</i>	<i>81</i>
<i>Tableau C7: Comparaison des pourcentages de syncope lors des compétitions AIDA et FFESSM sur l'apnée statique et dynamique depuis 2009</i>	<i>81</i>
<i>Tableau C8 : Nombre de syncope et PCM par discipline lors des championnats de France d'apnée de la FFESSM</i>	<i>83</i>
<i>Tableau D1 : Liste des contre indications à la pratique de l'apnée</i>	<i>107</i>
<i>Tableau D2 : Objectifs du RIFAA</i>	<i>126</i>

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. AFRIAT P. – Les contraintes cardiovasculaires de la plongée en apnée. *Revue Cardio et Sport*, 2006, 6, 5–8.
- [2]. AIDA. – Guidelines and Protocol for Sled Diving. [Internet]. Janvier 2007. 8 pages. Disponible sur : <http://www.aidafrance.org/>
- [3]. AIDA. – History of records. [Internet]. Disponible sur : <http://www.aidainternational.org/aspportal1/code/page.asp?sType=hr&CountryID=4&actID=3&ObjectID=136>
- [4]. AIDA. – Règlement pour compétition et records. [Internet]. Mars 2009. 45 pages. Disponible sur : http://aidafrance.free.fr/documents/rules_v12-fra.pdf
- [5]. AIDA. – World record. [Internet]. 3 pages. Disponible sur : <http://www.aidainternational.org/competitive/worlds-records>
- [6]. ANDERSSON J., SCHAGATAY E. – Arterial oxygen desaturation during apnea in humans. *Undersea Hyperb Med.*, 1998, 25 (1), 21–25.
- [7]. ANDREA C. – les oedèmes pulmonaires d’immersion. 2006. Disponible sur : <http://aresub.pagespersorange.fr/medecinesubaquatique/medecineplongee/accid/oapimm.htm>
- [8]. APNEA. – Freediving and apnea ressources. [Internet]. Disponible sur : <http://apnea.cz/>
- [9]. ARESUB - Les accidents de décompression en apnée. [Internet]. Janvier 2001. Disponible sur : <http://aresub.pagesperso-orange.fr/medecinesubaquatique/taravana.htm>
- [10]. ARBORELIUS M., BALLADIN U.I., LILJA B., et al. – Hemodynamic changes in man during immersion with head above water. *AerospaceMed.*, 1972, 43, 592–598.
- [11]. ASMUSSEN E. – The diving bradycardia in exercising man. *Acta Physiol Scand.*, 1968, 73, 527–535.
- [12]. BERGMANN E., BARTHELEMY A., GERBEAUX P., et al. – Apnée et suppression pulmonaire. Colloque international de médecine de plongée, Paris 6-7 décembre 1996.
- [13]. BERNIER F. – La fréquence cardiaque lors de plongée en apnée. Thèse pour le Doctorat de médecine, Paris VI, 1997.
- [14]. BLANC J.J. – Syncope : prise en charge diagnostique. [Internet]. Cours Université Brest 10 mars 2006. Disponible sur : <http://cours.univ.brest.fr/UFR-Medecine/Dcem2/Cardio-vasc/CM//SYNCOPE%20.pdf>
- [15]. BONNET A. – Notion de prise de risques en plongée sous marine. 6ème journée toulousaine de médecine de plongée, 65 pages.

- [16]. BOUSSUGUES A., ABDELLAOUI S., GARDETTE J.M., et al. – Détection de bulles circulantes après des plongées répétées en apnée : Etude échographique et Doppler. Bull. MedSubHyp., 1996,6 (supl.), 57–60.
- [17]. BOUSSUGUES A., PINET C., THOMAS P., et al. – Haemoptysis after breath hold diving. Eur. Respir. J., 1999, 13, 697– 699.
- [18]. BOUSSUGUES A., SUCCO E., BERGMANN E., et al. – Hemorragie intra-alvéolaire, un accident inhabituel chez un plongeur en apnée. Presse Médiale, 1995, 21, 1169– 1170.
- [19]. BOUSSUGUES A., LAMBERT G., SAINTY J.M., et al.– Transcutaneous gas tension monitoring during breath–hold diving. Bull. Medsubhyoia, 1996, 6(Suppl), 61– 65.
- [20]. BOUVET S. – Les barotraumatismes pulmonaires au cours de plongée en apnée. Thèse pour le doctorat de médecine, Aix Marseille, 2003.
- [21]. BROUSSOLLE B. – Plongée en apnée. Physiologie et médecine de la plongée. Ellipses, 2e éd, 2006, 633– 688.
- [22]. CAMPBELL L.B., GOODEN B.A., HOROWITS J.D. – Cardiovascular réponses to partial and total immersion in man. J. Physiol. (London), 1969, 202, 239–250.
- [23]. CAMPBELL E.J.M., FREEMAN S., CLARK T.H., et al. – The effect of muscular paralysis induced by tubocurarine on the duration and sensation of breath-holding. Clinical Science, 1967,32, 425– 432.
- [24]. CHAPIN J.L. – Relationship between lung volumes and breath-holding. J. Appl. Physiol J., 1955, 19, 88-90.
- [25]. CHAPUIS C. – Apnée sécurité et profondeur. MF Apnée-Antibes-Juin 2006-CC. 5 pages
- [26]. CHAPUIS C., FROLLA P., LEFERME L. – L’entraînement à la loupe. Apnea Hors série, été 1997.
- [27]. CHAPUIS C. – Record d’apnée: entraînements et sécurité - le grand débat. Groupement National de Plongée Universitaire. Revue Française de Plongée – n°3 Janvier 2003.
- [28]. CHAPUIS C. – The counterweight solution- lock, stock ant two smocking ballasts. [Internet]. 2006. 4 pages. Disponible sur : <http://www.freedivecentral.com/a-the-counterweight-solution--lock-stock-and-two-smocking-ballasts-8595.html>
- [29]. CHAPUIS C. – Entretien avec Claude Chapuis par vidéoconférence le 2 juillet 2011.
- [30]. CHIROUZE M. – Les accidents mécaniques de la plongée. Tempo Méd., 1982, 195, 27–
- [31]. CIPA - centre international de plongée en apnée. [Internet]. Disponible sur : <http://www.cipapnea.fr/>
- [32]. CMAS – Confédération mondiale des activités subaquatiques. [Internet]. Disponible sur : <http://www.cmas.org/>

- [33]. CORRIOL J.H. – A propos des records de profondeur en apnée : Evolution des techniques : des professionnels ancestraux aux champions actuels. SMS-Médecine du Sport, 2001, 33, 4-12.
- [34]. CORRIOL J.H. – Données actuelles sur les mécanismes de rupture de l'apnée. Bull. Medsubhyp., 1990, 9, 45 – 52.
- [35]. CORRIOL J.H., DUFLOT J.C. – Plongée en apnée et hyperventilation : mise au point. Bull. Medsubhyp., 1992, 2, 179 – 187.
- [36]. CORRIOL J.H. – La plongée en apnée, physiologie et médecine, 3^{me} édition, Masson, Paris, 2002, 163 p.
- [37]. CORRIOL J.H. – La plongée sportive en apnée : les records dans la plongée en apnée : physiologie et médecine, Paris, Masson, 2002, 3^e éd., 137- 153.
- [38]. CORRIOL J.H. – «Le rendez vous syncopal des 7m » mythe ou réalité ? Bull. MedSubHyp., 1990, 9, 40-44.
- [39]. CORRIOL J.H. – Les accidents aquatiques par perte de connaissance en apnée. Revue générale Méd. du sport, 1991, 65,128-131.
- [40]. CORRIOL J.H. – Les origines de la plongée en apnée, Apnée, 1990, hors série n°1, 8-13.
- [41]. CORRIOL J.H., BRAS J. – Les records de profondeur en plongée libre : réflexions d'un physiologiste. Science & Sports, Volume 16, Issue 3, 125-136.
- [42]. CORRIOL J.H., ROHNER J.J., FONDARAI J. – Origine et signification de la bradycardie du plongeur en apnée. Path et Biol., 1996, 14, 1185- 1191.
- [43]. CORRIOL J.H., – « Reflexions sur les nouveaux records de profondeur en apnée no limit » Groupement National de Plongée Universitaire. Revue française de plongée, n°5 mars 2005.
- [44]. COURTEIX D., BEDU M., FELLMAN N., et al. – Chemical and non chemical stimulus during breath holding in divers are not independent. J. Appl. Physiol., 1993, 75, 2022-2027.
- [45]. COURTEIX D., LAMENDIN H. – Facteurs déterminants de la rupture de l'apnée volontaire (évolution de modèles). Sciences & Sports, 1992, 7, 235-244.
- [46]. CRAIG A.B., WARED E. – Effects of immersion in water on vital capacity and residual volume of the lungs. J.Appl.Physio., 1967, 23, 423-425.
- [47]. CRAIG A.B., DVORAK M. – Expiratory reserve volume and vital capacity of the lungs during immersion in man. J.Appl.physio., 1975, 38, 5-9.
- [48]. CRAIG A.B., MEDD W.L. – Man's responses to breath-hold exercise in air and water. J.Appl. Physio 1968, 24, 773-777.
- [49]. CRAIG A.B. Jr. – Summary of 58 cases of loss of consciousness during underwater swimming and diving. Med. and Sci. in Sports, 1976, 8, 171 – 175.
- [50]. CROSS E.R. – Taravana, diving syndrome in the Tuamotu divers. Physiology of breath-holding and the ama of japan, Nat.Acad. Sc/ Nat.res. Council, public 1965, 1341, Washington DC, 207-220.

- [51]. CROSS Méditerranée. [Internet]. Disponible sur : <http://sauvmer.free.fr/interven/cross.html>
- [52]. CROSS. – Bilan CROSS, sauvetage en mer, statistiques annuelles 2010. [Internet]. 2010. 52 pages. Disponible sur : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/STATS_2010_.pdf
- [53]. CROSS-MED. – Bilan recherche et sauvetage 2003 des loisirs sous marins. [Internet]. 2003. 116 pages. Disponible sur : <http://www.aqua-web.net/crossmed/rapport.html>
- [54]. CUDENNEC Y.F. – Otopathies dysbariques. EMC d'ORL, 1993, Vol 2, 20-184.
- [55]. DAHLBACK G.O., JOHNSON E., LINER M.H. – Influence of hydrostatic compression of the chest and intrathoracic blood pooling on static lung mechanics during head-out immersion. Undersea Biomed. Res., 1978, 5, 71-85.
- [56]. DEBEKE M.A. – Traumatismes dentaires en plongée sous marine. Rev. Belge Méd. Debt., 1983, 39-1, 21-22
- [57]. DEJOUR P. – Hazard of hypoxia during diving. Physiology of breath holding and the ama in japan. Nat. Acad.Sc/Nat. Res. Council. ; public 1341, Washington. C. ; 1965, 183– 184.
- [58]. DELAPILLE P., VERIN E.,TOURNY-CHOLLET C. – Reponses ventilatoires chez les apneistes : adaptation provoquée par un entraînement spécifique en apnée. Rev. Mal. Respir., 2002, 19, 217-228.
- [59]. DEMATTEO A. – La syncope hypoxique en apnée sportive : description, facteurs favorisants, Thèse pour le doctorat de Médecine, Rennes 1, 2006.
- [60]. DUFOUR C. – Plongée en apnée : Contribution pour une meilleure sécurité. Thèse pour le Doctorat de médecine, Montpellier, 2007.
- [61]. ELSNER R., GOODEN B.A., ROBINSON S.M.– Arterial blood gaz changes and the diving response in man. Austr. J. Exp. Biol. Med. Sci., 1971, 49, 435– 444.
- [62]. ENGELBRECHT C. – History of freediving and apnea. [Internet]. Janvier 2009. 14 pages. Disponible sur : <http://www.aidainternational.org/freediving/history>
- [63]. EPSTEIN M. – Renal effects of head-out water immersion in man : Implications for an understanding of volume hoemostasis. Physio. Rev., 1978,Vol. 58, n°3, 529-575.
- [64]. ESPERSEN K., FRNDSSEN H., LORENTZEN T et al. – The human spleen as an erythrocyte reservoir in diving-related interventions. J. Appl. Physiol., 2002, 92, 2071-2079.
- [65]. FABRE H., LINQUETTE Y. – Modifications électrocardiographiques consécutives à l'apnée volontaire avec ou sans effort. J. Physiol., 1956, 48, 526– 529.
- [66]. FERRIGNO M., HICKEY D.D., LINERM.H. , LUNDGREN C.E. – Cardiac performance in humans during breath holding. J. Appl. Physiol., 1986, 60 (6), 1871– 1877.
- [67]. FFESSM - Fédération française d'Etudes et de Sports Sous-Marins. [Internet]. Disponible sur : <http://www.ffessm.fr/>
- [68]. FFESSM. – Compétitions d'apnée et prise de risque. Conduite à tenir devant un accident. [Internet]. Avril 2010. Disponible sur : http://medical.ffessm.fr/?page_id=61

- [69]. FFESSM. – Le point sur les ATU. [Internet]. Juin 2010. Disponible sur : http://medical.ffessm.fr/?page_id=389
- [70]. FFESSM. – Liste des contres indications à la pratique de l'apnée et disciplines associées (pêche sous- marine et tir sur cible). [Internet]. 1 pages. Disponible sur : http://medical.ffessm.fr/wp-content/uploads/RI_medical_annexe3_3.pdf
- [71]. FFESSM. – Lutte contre le dopage au sein de la FFESSM. [Internet]. Juillet 2010. Disponible sur : http://medical.ffessm.fr/?page_id=441
- [72]. FFESSM. – Réaction d'Intervention Face aux Accident Subaquatiques-Spécialité apnée. Commission nationale d'apnée. [Internet]. Mars 2010. 6 pages. Disponible sur : http://www.ffessm.fr/ffessm/pdf/premiers_secours/RIFAA.pdf
- [73]. FFESSM – Règlement des compétitions en apnée. [Internet]. Novembre 2008, [réf. du 16 septembre 2010]. 26 pages. Disponible sur : http://apneeffessm.free.fr/spip3/IMG/pdf/reglements-Apnee_2011-vers_8.pdf
- [74]. FFESSM. – Règlement provisoire des compétitions d'apnée en poids constant adopté par le CDN le 17 juin 2011. Commission nationale d'apnée. 16 pages.
- [75]. FOSTER G.E., SHELL A.W. – The human diving response, it function, and its control. *Med. Sci. In sports*, 2005, 15, 1– 3.
- [76]. FOWLER W.S. – Breaking point of breath hold. *J. Appl. Physiol.*, 1954, 6, 539– 545.
- [77]. FROLLA P. – Rencontre de Pierre Frolla à l'école bleue de Monaco le 5 et 6 jun 2011.
- [78]. GOODEN BA. – Mechanism of the human diving response. *Integr Physiol Behav Sci.*, 1994, 29 (1), 6– 16.
- [79]. GRANDJEAN B. – Les accidents de décompression de type II en apnée. *Bull. MedSubHyp.*, 1995, 5, 13– 16.
- [80]. GRANDJEAN B., FANTON Y. – Les accidents neurologiques de décompression en apnée : responsabilité du locoplongeur. *Bull. MedSubHyp.*, 1996, 6 (supl.), 93– 97.
- [81]. GUZ A., WIDDICOMBE J.G., TENCHARD D., et al. – The effects of bilateral block of vagus and glossopharyngeal nerves on the ventilatory responses to CO₂ of conscious man. *Respir. Physiol.*, 1966, 1, 206– 210.
- [82]. HERAN N. – Les plongeurs en apnée peuvent –ils développer une maladie de décompression ? Thèse pour le Doctorat de Médecine. Montpellier, 1990.
- [83]. HERAN N. – Les risques de l'apnée. *Apnea hors série*, été 1997.
- [84]. HONG S.K., SONG S.H., KIM P.K., SUH C.S. – Seasonal observations on the cardiac rythm during diving in the Korean ama. *J. Appl. Physiol.*, 1967, 23 (1), 18– 22.
- [85]. HONG S.K., MOORE T.O., SETO G., PARK H.K., HIATT W.R., BERNAUER E.M. – Lung volumes and apneic bradycardia in divers. *J. Appl. Physiol.*, 1970, 29, 172-176.
- [86]. IRSIGLER G.B. – Carbon dioxide response lines in young adults. *Am. Rev. Resp. Dis.*, 1976, 114, 529– 536.
- [87]. IRVING L. – Bradycardia in human divers. *J. Appl. Physiol.*, 1963, 18 (3), 489– 491.

- [88]. JAMINT T. – Apnée volontaire et estimations temporelles. Thèse pour le doctorat en sciences et techniques des activités sportives, Toulon, 2004.
- [89]. JOULIA F., STEINBERG J.G., FAUCHER M., et al. – Breath-hold training of humans reduces oxidative stress and blood acidosis after static and dynamic apnea. *Respir. Physiol. Neurobiol.*, 2003, 137(1), 19– 27.
- [90]. KIYAN E., AKTAS S., TOKLU A.S. – Hemoptysis provoked by voluntary diaphragmatic contractions in breath-hold divers. *Chest*, 2001, 120, 2098– 2100.
- [91]. KRACK K. – AIDA safety protocol for competitions / records. [Internet]. Juillet 2003. 7 pages. Disponible sur : <http://www.aida-international.org/aspportal1/scripts/v1.1-eng.pdf>
- [92]. KAWAKAMI Y., NATELSON B.H., DUNOIS A.R. – Cardiovascular effects of face immersion and factors affecting diving reflex in man. *J. Appl. Physiol.* 1967, 23 (6), 964– 970.
- [93]. LAFAY V. – La plongée en apnée : les adaptations cardiovasculaires. *Revue Cardio et Sport*, 2006, 6, 6 – 16.
- [94]. LANPHIER E.H., et RAHN H. – Alveolar gas exchange during breath-holding dives. *J. Appl. Physiol.*, 1963, 18, 471– 482.
- [95]. LANPHIER. – Breath hold and ascent blackout. The physiology of breath-hold-diving. UHBMS. Workshop, Maryland, 1987, 72, 32– 43.
- [96]. LEMAITRE F. et col. – L'apnée : De la théorie à la pratique. Publications des universités de Rouen et du Havre, 2007, 426 pages.
- [97]. LEMAITRE F. – l'entraînement en apnée. [Internet]. Congrès médical sur l'apnée – Commission médicale et prévention du CIBPL. Avril 2005. 7 pages. Disponible sur: <http://www.univrouen.fr/servlet/com.univ.utils.LectureFichierJoint?CODE=1308315014537&LANGUE=0>
- [98]. LEPIEMME R. – La syncope en apnée. *Hippocampe*, décembre 2001, n° 182
- [99]. LIN Y.C. – Effects of O₂ and CO₂ on breath-hold breaking point. In : the physiologie of breath-hold diving, U.H.B.M.S. work shop, Maryland, 1987, 72, 75 – 87.
- [100]. LIN Y.C., LALLY D.A., MOORE T.O., HONG S.K. – Physiological and conventionnal breath-hold breaking point. *J. Appl. Physiol.* 1974, 37, 291– 296.
- [101]. LINDHOLM P. – Loss of Motor Control and/or Loss of Consciousness during Breath-Hold Competitions. *Int J Sports Med.*, 2007, 28(4), 295– 299.
- [102]. LINDHOLM P., SUNDBLAD P., LINNARSSON D. – Oxygen-conserving effects of apnea in exercising men. *J. Appl. Physiol.*, 1999, 87 (6), 2122– 2127.
- [103]. LINDHOLM P., NORDH J., LINNARSSON D. – Role of hypoxemia for the cardiovascular responses to apnea during exercise. *Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol.* 2002, 283 (5), 1227– 1235.
- [104]. LINER M.H., FERRIGNO M., LUNDGREN C.E.G. – Alveolar gas exchange during simulated breath-hold diving to 20 m. *Undersea & Hyperbaric Med.*, 1993, 20, 27– 38.

- [105]. LINER M.H. – Cardiovascular and pulmonary responses to breath-hold diving in humans. *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, 1994, 620, 1– 32.
- [106]. LINER M.H. – Tissue gas stores of the body and head out immersion in humans. *J.Appl. Physiol.*, 1993, 75(3), 1285– 1293.
- [107]. LUNDGREN C.E.G. – Alternobaric vertigo ; a diving hazard. *Brit. Med. J.*, 1965, 2, 511– 513.
- [108]. MERVILLE A. – Les barotraumatismes des oreilles et sinus. *Tempo Méd.*, 1982.
- [109]. Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. [Internet]. Disponible sur : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>
- [110]. MUSSENGA. – Un pescatore di spugne que senza apparecchio si tuff fino a 80 metri, *Annale di Medecine Navale e Oloniale*, 1915, 1, 63– 167.
- [111]. MUXWORTHY J.F. – Breath holding studies. I. Relation ship to lung volume. U.S.A.F. Technical report 1951, 6528, 452– 456.
- [112]. OCEANICSS. – The freediver's recovery Vest. [Internet]. Disponible sur : <http://www.oceanicss.com>
- [113]. OLDRIDGE N.B., HEIGENHAUSER G. J. F., SUTTON J.R., JONES N.L. – Resting and exercice heart rate with apnea and facial immersion in female swimmers. *J. Appl. Physiol.*, 1978, 45, 875– 879.
- [114]. OLIVEIRAS G. – Les signes pré-syncopaux. *Bull.MedSubHyp*, 1996, 6 (supl.), 133.
- [115]. ORFLEET W., BRADLEY C. – Can eucapnic voluntary hyperventilation prolong a subséquent breath-hold ? *Undersea Biomed. Res.*, 1987,14, 31.
- [116]. PAULEV P. – Décompression sickness following repeated breath-hold dives, *J. Appl. Physiol.*, 1965, 20, 1028-1031.
- [117]. QVISTJ., HURFORD W., PARK Y.S., et al. – Arterial blood gas tension during breath-holding diving in the koreans amas. *J.Appl.Physiol* 1993, 75 ,285– 293.
- [118]. SCHAEFFER K.E. – Adaptation to breath-holding diving-Physilogy of breath-hold diving and the Ama of Japan. *National Reserch Counal, Washington*, 1965, 237-252.
- [119]. SCHAEFFER K.E., CAREY C.R. – Alveolar pathways during 90 feet breath-hold dives.*Science*, 1962, 137,1051– 1052.
- [120]. SCHAEFFER K. E. – The rôle of carbon dioxide in the physiology of human divng , *Undewater physiology symposium, National acad SC/ NRC, public, 377, Washington DC, 1955, 131-139.*
- [121]. SCHILPKE J.D., GAMS E., KALLWELT O. – Décompression sickness following breath-hold diving in research in sports médecine. 2006, Vol. 14, Issue 3, 163–178.
- [122]. SMIT P.J. – Alveolar O2 content of apneic divers. *Proceeding of 3rd South African symposium for underwater sciences, Barologia, University of pretoria*, 1974.
- [123]. SMIT P.J. – Heart rate of exercising divers. *C.R IIIe journées Int.Hyperbarie et Physiol. Subaquat*, 1972, 113-117.

[124]. SMIT P.J. – Maximal breath-hold apnoeic diving : oxygen uptake and carbon dioxide release. South african J. Scienc, 1995, 91, 605– 609.

[125]. WADA- agence mondiale antidopage. [Internet]. Disponible sur :
<http://www.wada-ama.org/fr/>

[126]. WHITELOW W.A., M.C. BRIDE B., AMAR J., CORBET K. – Respiratory neuromuscular output during breath-holding. J.Appl. Physiol. , 1981, 50, 435– 443.

[127]. WOLF S. – The bradycardia of the dive reflex ; a possible mechanism of sudden death. Trans. Am. Clin. Climatol. Ass., 1965, 192-200.

« Plonger au fond des océans c'est plonger au plus profond de soi même ; découvrir comment notre corps fonctionne, réagit, s'adapte. Plonger, c'est communier avec soi-même et avec l'élément : devenir eau.

Je conçois la performance sportive comme une opportunité que l'on saisi, ou non. Avant de vouloir être le meilleur, il faut être accompli. La mer nous apprend honneur, humilité, travail et soumission. La force et la puissance de l'élément déchaîné nous rappelle qu'il faut mériter ce qui nous est donné de pouvoir côtoyer ; et mériter, c'est respecter, c'est comprendre. »

Pierre Frolla



LA SECURITE EN APNEE SPORTIVE

L'Apnée sportive se développe depuis près d'une vingtaine d'années et semble séduire de plus en plus d'adeptes. Cependant, ce sport ne reste pas sans risque et la crainte permanente est celle de la syncope hypoxique. Même si en soi cet accident n'est pas grave, son issue peut devenir fatale lorsqu'elle a lieu sous l'eau et sans surveillance.

Les statistiques sur ces pertes de connaissances sont malheureusement difficiles à établir, et notamment avant 2009 où il n'existait aucune base de données tentant de les centraliser. Devant l'augmentation du nombre de compétitions annuelles se pose la question de la sécurité des athlètes pendant leur performance. L'apnée sportive évolue vite comme les moyens mis en œuvre pour son développement, le matériel innovant, les protocoles de sécurité et la surveillance dont le but principal est d'éviter l'accident. Ce sport ne devrait pas être un sport solitaire car la sécurité ne peut exister sans la confiance qu'apporte une équipe soudée.

Mots clés : Apnée – Sécurité – Compétition – Accidents – Règlement – Apnéiste de sécurité