

# Handisub®

2017



## Apnée et Handicap

*Pascal GROS*

Mémoire présenté dans le cadre du MFEH2, stage National FFESSM Antibes 2017

<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>LA PRATIQUE DE L'APNEE</b>	<b>5</b>
<b>Bref historique de l'apnée</b>	<b>5</b>
<b>Les différentes formes de pratique</b>	<b>5</b>
Discipline pratiquée essentiellement en piscine	6
<b>Approche physiologique et physiopathologique de l'apnée</b>	<b>11</b>
Les barotraumatismes	11
Thermorégulation	13
« Diving reflex » et contrainte Cardio circulatoire	14
L'oxygène et le dioxyde de carbone en apnée	17
<b>Synthèse des adaptations physiologiques et de la physiopathologie</b>	<b>18</b>
Les effets de l'apnée chez le sujet valide	19
<b>L'APNEE ET LE HANDICAP</b>	<b>21</b>
<b>Approche physiologique de la paraplégie</b>	<b>21</b>
Les troubles respiratoires	22
Trouble de la régulation thermique / déshydratation	24
Les déficiences neuro-végétatives	24
Le système nerveux autonome ne fonctionne pas correctement	24
<b>L'adaptation cardiovasculaire à l'effort est très différente du sujet valide</b>	<b>25</b>
Fréquence cardiaque	26
<b>Les effets de l'apnée chez le blessé médullaire</b>	<b>28</b>
Les troubles circulatoires, une circulation n'est pas optimale	28
Comment s'adapte la fréquence cardiaque ?	28
<b>Typologie des pratiques et adaptations</b>	<b>30</b>
L'apnée statique	30
L'apnée dynamique avec et sans palme	31
16x 50m ou 16x 25m	32
Le sprint 100 mètres	33
Le travail en verticalité	33
Immersion libre	34
Le poids constant	34
Le poids variable	34
La gueuze lourde	34
<b>L'organisation et la planification des entrainements</b>	<b>35</b>
Comment procéder ? (exemple de préparation en piscine)	35
Planification du contenu de chaque séance (exemple)	37
Exemple d'exercices pour l'apnée statique :	38
<b>Nouveaux cursus d'apnée de juin 2017</b>	<b>38</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>41</b>
<b>Annexes</b>	<b>43</b>

## Remerciements

Je tiens particulièrement à remercier :

Jacques Piquet pour ses conseils et son aide éclairée depuis mes premiers pas à la FFH, tout au long de mon parcours et pour son aide dans la rédaction de ce mémoire,  
Pascal Chauvière pour ses questions qui m'invitent sans cesse à réfléchir,  
Pierre Trappe pour avoir réussi à me faire comprendre le mécanisme de la pré-charge,  
Et bien sûr Jean-Luc, Manu, Yann et tous les encadrants qui au fil de nos rencontres m'ont transmis des connaissances, des astuces et techniques pour accompagner au mieux les plongeurs.

Sans oublier Stéphane, Julien, Boris, Kossal, Félicité, Claude, Karim, Charlotte, Vincent, Nathalie, Nicolas, ... qui m'avez exposé au fil de nos rencontres vos difficultés, vos contraintes, vos joies, vos interrogations, et souvent avec des mots simples, m'avez transmis et permis d'apprendre beaucoup.

Merci à Corinne mon épouse pour son soutien et la relecture de ce document.

## Introduction

Le mémoire que je me propose de vous soumettre vise deux intérêts principaux : le premier est de servir de support à la validation du MFEH2, le deuxième et sans doute le plus intéressant est d'ouvrir une réflexion sur la pratique de l'apnée pour les personnes en situation de handicap.

Le choix de cette thématique s'appuie naturellement sur mon parcours et mes centres d'intérêt. La plongée sous-marine fait partie intégrante de ma vie et c'est très tôt vers 12 ans que j'ai été initié par mon parrain Jean-Marie Maître à cette discipline. Je souhaitais le nommer dans ce propos liminaire, car sans le savoir à l'époque il a influencé une grande partie de ma vie, de celle de mon épouse et de mes enfants; tous plongeurs aujourd'hui.

Comme beaucoup j'ai commencé par plonger à l'aide d'un scaphandre et après plusieurs années, je me suis intéressé à d'autres disciplines. L'apnée a pris de plus en plus de place dans ma pratique aquatique et m'a amené à finaliser mon monitorat fédéral deuxième degré il y a maintenant trois ans. Parallèlement à mes activités fédérales, j'intervenais à titre professionnel en formation des agents des collectivités territoriales qui peuvent être amenés à intégrer des enfants en situation de handicap dans leurs structures municipales. Il était donc cohérent pour moi de m'intéresser à la pratique de la plongée pour les personnes en situation de handicap. J'ai commencé à me former par le biais de la FFH. J'ai poursuivi le cursus au sein de la fédération française d'études et de sport sous-marin. Dans le cadre du MFEH2, il m'est apparu intéressant d'explorer le champ et la pratique de l'apnée dans le cadre du handicap. Si l'apnée a connu un grand succès ces dernières années, avec l'augmentation importante du nombre de pratiquants, cette activité reste peu développée auprès des personnes handicapées. Ce mémoire vise à rapprocher la pratique de l'apnée et le handicap.

La pratique de la plongée pour les personnes en situation de handicap est rattachée au sein de notre fédération à la commission technique, c'est-à-dire, la plongée en scaphandre. A ce titre un cursus spécifique a été élaboré pour prendre en compte les spécificités des publics accueillis. En tant que E4 au sein de la FFESSM et MFEH1, je suis donc habilité à encadrer en scaphandre les plongeurs en situation de handicap. Mais qu'en est-il en apnée ? Je suis également dans cette commission moniteur fédéral deuxième degré et toujours MFEH1, donc il serait logique que je puisse encadrer des personnes en situation de handicap lors de la pratique de l'apnée dans le cadre de la commission du même nom. Pour autant aucun cursus spécifique n'est prévu, et la pratique étant rattachée à la commission technique il est même vraisemblable que je ne devrais pas enseigner à ce public. Bien que nous sachions tous que l'apnée même brève fait partie des compétences nécessaires à la pratique du scaphandre, et que celle-ci est un élément complémentaire de la sécurité du plongeur. Le mémoire instructeur régional d'Anne Corbier de 2009 est consacré du reste à l'enseignement de l'apnée dans le cadre de la plongée en scaphandre. Des détracteurs pourraient facilement prendre l'angle de la compétition pour justifier d'une différence majeure entre l'apnée pratiquée au sein de la commission technique et l'apnée pratiquée au sein de la commission apnée, et ainsi justifier d'une différence notable pouvant amener à limiter la pratique de l'apnée pour les personnes en situation de handicap au minimum nécessaire pour la pratique du scaphandre. La réalité de la pratique tend à démontrer que

les apnéistes visant la compétition constituent un nombre réduit et que la plupart des pratiquants trouvent à travers cette activité un loisir plus qu'une recherche de performances.

Dans tous les cas la question de la pratique de l'apnée pour les personnes en situation de handicap resterait posée, et la création d'un cursus de formation adaptée un axe possible. Si un tel axe était choisi et développé, il faudrait alors se poser des questions similaires sur l'ensemble des commissions de notre fédération, et élaborer pour chacune d'elles un référentiel de compétences spécifiques. Cette approche aurait à mon sens comme inconvénient majeur de continuer à catégoriser les personnes en situation de handicap sans véritablement chercher à ouvrir nos cursus actuels pour accueillir l'ensemble des plongeurs.

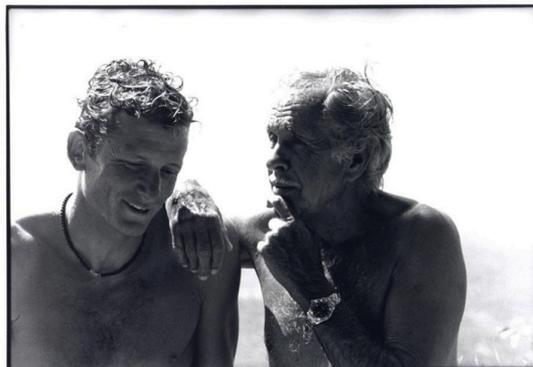
L'OMS définit le handicap de la manière suivante : « Le **handicap** est le résultat d'une interaction entre les déficiences physiques, sensorielles, mentales ou psychiques entraînant des incapacités plus ou moins importantes, qui sont renforcées en raison d'un environnement inadapté ou inaccessible ». Dans le cas qui m'intéresse c'est bien l'organisation interne de nos commissions qui limite l'accès des personnes en situation de handicap et finalement pas leur déficience. Il me semblerait judicieux d'identifier pour l'ensemble des commissions les aménagements nécessaires dans la pratique pour permettre l'insertion de tous les plongeurs et ce quel que soit leurs aptitudes au sein d'un cursus unique. Cette démarche nécessite d'identifier les contraintes physiologiques des différentes pratiques et de les rapprocher des différentes pathologies pour mesurer les adéquations est envisagé les aménagements nécessaires dans la pratique pour garantir de la sécurité de tous les plongeurs il s'agit donc d'identifier les contraintes inhérentes à chacune des disciplines et d'imaginer les adaptations nécessaires en fonction des différentes déficiences. C'est vers cet axe que j'ai souhaité orienter mon mémoire, en visant à pointer les spécificités physiologiques et physiopathologiques de la pratique de l'apnée et de manière prospective, envisager les adaptations nécessaires en fonction des publics.

## La pratique de l'apnée

### *Bref historique de l'apnée*

Il est difficile d'identifier avec exactitude les origines de la pratique de l'apnée, il semblerait que le mot apnée soit dérivé du grec, et que cette pratique se perde dans la nuit des temps. Les traces les plus anciennes apparaissent entre le Tibre et l'Euphrate et sont datées de 4500 ans avant J.-C. L'apnée a sûrement été pratiquée par tous types de cultures et de civilisation dès lors que celle-ci se trouvait à proximité d'une étendue d'eau. Ce qui est notable dans le développement de cette pratique est l'engouement des 80 dernières années pour cette discipline qui quittant la vocation utilitaire (la pêche, la chasse, les travaux sous-marins, la guerre ..) devient une pratique de performance puis un sport, puis un loisir. Entre 1912 et 2017, les records et les performances vont aller en s'accéléralant. En 1956, le record mondial est de 41 m, puis Enzo Maiorca va successivement pendant près de 30 ans, pulvériser les différents records, accompagné de Jacques Mayol. Suivront des noms comme Pipin le Cubain (Francisco Ferreras), Claude Chapuis, Humberto, Pélitzzari, Loïc Leferme, Patrick Musimu, Herbert Nitsch, Guillaume Nerry, William Trubridge.... Les 20 dernières années ont vu un développement important de cette pratique, du nombre de pratiquants en augmentation constante et des performances associées, repoussant sans cesse les limites physiologiques établies par la science. Il y a encore 60 ans la profondeur atteinte se situait aux alentours de 50 m ; aujourd'hui la barre des 200 m a été franchie par l'Allemand Herbert Nitsch avec une profondeur de 214 m.

La fédération française d'études des sports sous-marins a constaté une augmentation constante de cette pratique depuis les 10 dernières années avec la création de clubs dédiés exclusivement à celle-ci.



### *Les différentes formes de pratique*

L'apnée se pratique en piscine et en milieu naturel. Il existe des disciplines particulières pour chacun de ces environnements. Il est donc logique que les disciplines horizontales soient plus généralement pratiquées en piscine et la verticale en milieu naturel. Nous disposons actuellement en Europe de nombreuses fosses de 20 m, une de 33 m à Bruxelles et une de 40 m en Italie. Pour la plupart d'entre elle, elles étaient destinées initialement à la pratique du scaphandre mais le développement de l'apnée a conduit les gestionnaires de ces structures à développer des créneaux dédiés à cette pratique. Il existe à l'intérieur de l'apnée plusieurs disciplines spécifiques que l'on retrouve classifiées dans le cadre des différentes compétitions et codifiées de manière extrêmement précises.

## Discipline pratiquée essentiellement en piscine

### L'apnée statique

L'objectif premier est de rester le plus longtemps possible, sans respirer et sans bouger. L'apnée statique se pratique généralement en surface ou en eau peu profonde, en piscine, en mer ou en lac. L'environnement est un paramètre important de cette discipline, une eau calme et chaude (tempérée), favorisera de bons résultats et sera propice au relâchement.

Le relâchement indissociable à une bonne apnée fait apparaître très tôt les premiers signes de froid. On se rend compte très vite qu'une combinaison adaptée au milieu où l'on pratique devient indispensable. L'apnée statique est une recherche de sensations, de plaisir, mais aussi une écoute de son corps et une découverte de soi. S'il y a « combat » dans cette pratique, c'est par rapport à soi et à ses propres « démons ». Il ne doit pas y avoir de « combats » pour obtenir un temps particulier. Il s'agit dans cette pratique d'oublier le temps qui passe de se centrer sur soi-même, sur ses sensations, sur son corps. Loin de la performance cette pratique favorise la détente et la gestion du stress.



Performances	Apnéiste	Nationalité	Date
11 min 35s	Stéphane Mifsud	France	8 juin 2009
10 min 12 s	Tom Sietas	Allemagne	7 juin 2008
9 min 8 s	Tom Sietas	Allemagne	1 <sup>er</sup> mai 2007

Records homologués AIDA

### L'apnée dynamique avec palmes

L'apnée dynamique consiste à parcourir une distance à l'horizontal sous l'eau (à 2 ou 3 mètres), en mer, en piscine ou en lac. L'apnée dynamique est la base qui permet d'effectuer un travail de fond indispensable pour travailler les différentes techniques de palmage, de placement dans l'eau, d'hydrodynamique. Très bon apprentissage pour apprendre à se connaître, à prendre conscience de ses limites et à gérer son effort. L'apnée dynamique peut se pratiquer en mono palme ou en bi-palmes. Ces deux techniques mobilisent principalement les membres inférieurs, les membres supérieurs n'étant utilisés que lors des phases de virage ou dans le cadre de la mono palme, pour participer à l'assiette.

## L'apnée dynamique sans palme

Comme pour l'apnée dynamique avec palme, l'objectif de la pratique sans palme est de parcourir la plus longue distance horizontalement. Le travail de propulsion s'appuie essentiellement sur les membres supérieurs et nécessite un travail particulier sur les temps de glisse visant la récupération. Les membres inférieurs sur cette pratique sont peu mobilisés et peu propulsifs.

<b>Apnée dynamique avec palmes :</b>	3 juillet 2016	Mateusz Malina / Giorgos Panagiotakis	Pologne / grèce	300 m
<b>Apnée dynamique sans palme :</b>	28 Juin 2016	Mateusz Malina	Pologne	244 m

Arthur Guérin Boëri possède le record de France avec 211 mètres (2016) en dynamique sans palme et Guillaume Bussière le record de France en dynamique avec palmes avec 277 mètres (2015).

## 16x 50m ou 16x 25m

Ces deux épreuves consistent à nager successivement un nombre décidé à l'avance de longueurs de bassin, le plus vite possible. Elles se pratiquent généralement sur seize fois cinquante mètres. C'est l'apnéiste qui décide de son temps de récupération entre chaque longueur de bassin, de manière à obtenir le temps total le plus court possible. Cette pratique nécessite une très bonne condition physique et mobilise un travail en hypercapnie du fait d'un temps de récupération court et d'un taux de CO<sub>2</sub> élevé dans le sang.

## 100m speed

Cette épreuve nécessite pour le plongeur de fournir un effort extrêmement puissant sur une distance limitée. Il est clair que 100 m représentent déjà pour certains d'entre nous une réelle performance, mais cette pratique peut-être développée sur des distances plus courtes. Cette pratique favorise le travail sur les filières anaérobie alactique.

<b>Record de France</b>	Laurent Breidenbach	35"955	France	2015
-------------------------	---------------------	--------	--------	------

## L'apnée en profondeur regroupe plusieurs disciplines

Pour des raisons de sécurité mais également pour pouvoir maintenir la verticalité et la rectitude, l'ensemble des disciplines centré sur la profondeur se déroule le long d'un câble vertical. Il garantit la référence à la descente comme la remontée et participe à la sécurité des pratiquants. L'utilisation d'une longe (dispositif reliant le pratiquant au câble) est rendue obligatoire dès lors que la visibilité est faible ou la profondeur importante.

## L'immersion libre

L'apnée en immersion libre consiste en une descente et une remontée le long d'un câble uniquement à la force des bras et sans palme. Cette discipline d'apnée est très intéressante en eau tempérée car on peut également se passer de combinaison, les sensations de liberté sont particulièrement intenses. Cette pratique est très utile pour découvrir le relâchement et travailler sur la compensation car les vitesses d'immersion peuvent être ralenties du fait du contact avec le câble. L'Immersion libre se pratique tête en bas mais également est en haut, ce qui est particulièrement adapté pour travailler les techniques de compensation. L'apnéiste peut à son gré descendre ou remonter le long du câble en maîtrisant parfaitement sa vitesse.

Performances	Apnéistes	Nationalité	Date
124 m de profondeur	William Trubridge	Nouvelle Zélande	2 mai 2016
121 m de profondeur	William Trubridge	Nouvelle Zélande	10 avril 2011
120 m	Herbert Nitsch	Autriche	25 avril 2010

Le Record de France masculin AIDA en immersion libre est détenu par Guillaume Néry depuis 2011 (103 m)

## Le poids constant avec palmes

L'apnée en poids constant consiste à descendre et remonter à la force des palmes le long d'un câble, avec le même lestage. Beaucoup considèrent que c'est la discipline reine de l'apnée. En effet elle demande toutes les qualités : aquacité, maîtrise et connaissance de soi, compensation, lucidité,...

L'apnée à poids constant est certainement la discipline la plus complète mais aussi la plus dure.



## Le poids constant sans palme

Comme pour le poids constant avec palme, l'apnéiste descend le plus profond possible à la seule force des bras et des jambes sans utiliser le câble sur lequel il est relié par la longe.

<b>Apnée en poids constant avec palmes</b>	28 octobre 2016	Alexey Molchanov	Russie	129 m
<b>Apnée en poids constant sans palme :</b>	21 juillet 2016	William Trubridge	Nouvelle -Zélande	102 m

Le Record de France masculin AIDA en poids constant est détenu par Guillaume Néry depuis 2015 (126 m). Tandis que en poids constant sans palme est détenu par Morgan Bourc'his (90 m).

### Le poids variable

L'apnée en poids variable consiste à descendre le long d'un câble à l'aide d'une gueuse et à remonter à l'aide des bras. Ce type d'apnée permet d'atteindre facilement des profondeurs importantes. Cette discipline, un peu hybride permet surtout de travailler facilement la compensation et le relâchement. Pour certains, elle peut être un moyen de s'accoutumer à la profondeur d'un point de vue physiologique et psychologique. Avec l'apnée en poids variable, on rentre dans l'apnée « lourde », qui nécessite la mise en place d'un matériel plus important. Cette discipline est considérée comme moins dangereuse que le no limite car l'apnéiste n'est pas tributaire du bon fonctionnement du parachute lors de la remontée. En effet, celui-ci remonte par ses propres moyens et n'a pas à craindre un éventuel dysfonctionnement du matériel



Performances	Apnéistes	Nationalité	Date
<b>146 m de profondeur</b>	<b>Stavros Kastriakos</b>	<b>Grèce</b>	<b>2 mai 2016</b>
142 m de profondeur	Herbert Nitsch	Autriche	7 décembre 2009
140 m de profondeur	Carlos Coste	Venezuela	9 mai 2006

Pierre Frolla possède le record de France dans cette discipline avec une performance de 123m.

### Le « no limit »

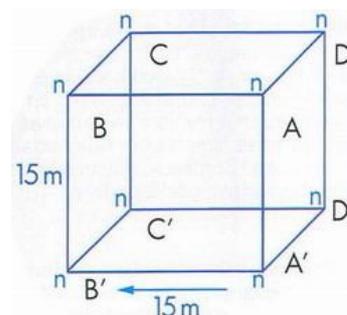
C'est la même pratique que l'apnée à poids variable, sauf que la remontée s'effectue à l'aide d'un ballon (parachute). C'est l'apnée du « Grand Bleu », qui a fait couler beaucoup d'encre en raison de ses dangers dus à la « facilité » comparé à l'apnée à poids constant. C'est aussi l'apnée la plus ludique qui permet d'avoir très rapidement le plus de sensations, d'où ses dangers. Popularisée par le film de Luc Besson, cette discipline est celle qui permet d'atteindre les profondeurs les plus importantes. L'apnéiste descend avec une gueuse, un appareil lesté pesant entre quinze et 90 kilos, fixé sur le câble et pouvant se déplacer verticalement. Selon le type de gueuse, la descente peut être contrôlée par un frein. La remontée est possible grâce à un parachute, ballon rempli par l'apnéiste avec une bouteille d'air fixée à la gueuse.



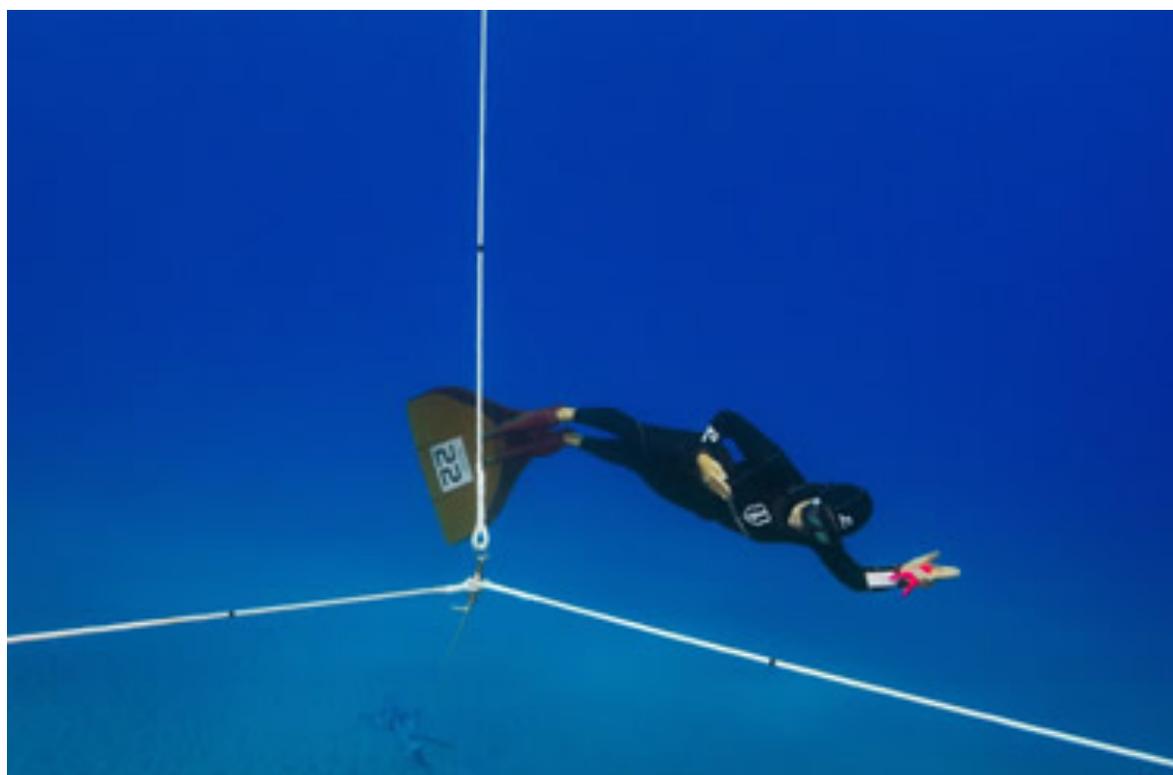
<b>Record du Monde</b>	14 juin 2007	Herbert Nitsch	Autriche	214 m
<b>Record de France</b>	30 octobre 2004	Loïc Leferme	France	171 m

### Le « Cube » ou "jump blue"

Il s'agit d'une nouvelle discipline qui consiste en un parcours immergé pour apnéistes. Il est matérialisé par des bouts tendus formant un cube de 15m de côté placé à 15m de profondeur. Après être descendu à 15m, les apnéistes doivent parcourir la plus grande distance autour du cube puis remonter. Au début de l'épreuve, l'apnéiste va se positionner au niveau de la bouée A, puis à la fin d'un compte à rebours, il devra descendre à l'aplomb de celle-ci jusqu'à 15 mètres de profondeur. Ensuite, il va matérialiser son arrivée en touchant un témoin et suivre les bords inférieurs du Cube dans le sens des aiguilles d'une montre afin de réaliser la plus grande distance possible. Arrivé en fin d'apnée, il marque sa distance puis remonte en surface.



<b>Record de France</b>	Arthur Guerin-Boëri	201,61m	France	2015
-------------------------	---------------------	---------	--------	------



## Approche physiologique et physiopathologique de l'apnée

La pratique de la plongée en apnée soumet notre organisme aux différentes contraintes exercées sur celui-ci par le milieu. De nombreux mécanismes interviennent lors de la pratique de l'apnée que celle-ci soit horizontale ou verticale. Deux effets majeurs sont à noter et seront développés par la suite le premier étant lié au fait de bloquer sa respiration, ce qui inévitablement modifie les échanges gazeux en limitant la quantité d'oxygène disponible pour le fonctionnement de l'organisme provoquant une augmentation significative de la quantité de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Certaines similitudes existent entre la plongée en apnée et celle en scaphandre ce qui est logique puisque les contraintes hydrostatiques et les mécanismes de pression sont les mêmes. Néanmoins dans le cadre de la pratique de l'apnée, le plongeur est soumis de manière plus importante à ces contraintes du fait du non renouvellement du volume pulmonaire et de la diminution de celui-ci.

### Les barotraumatismes

Les barotraumatismes sont régis par la loi de Mariotte : « à température constante le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il subit ». L'apnéiste comme le plongeur en scaphandre est sensible au différentiel de pression et peut être sujet à différents traumatismes liés aux variations de pression.

#### Placage de masque

Il est rare d'observer ce phénomène sur les plongeurs lors de la pratique en scaphandre ; cela s'explique naturellement par le fait que les plongeurs sont amenés à expirer régulièrement ; pour la plupart d'entre eux l'expiration ne se fait pas uniquement par la bouche mais également par le nez ce qui limite ce traumatisme. Lors de la pratique de l'apnée le plongeur cherche à conserver au maximum l'air embarqué dans ses poumons. Les manœuvres de compensation du masque sont particulièrement difficiles à mettre en pratique en apnée, car il faut utiliser le minimum d'air pour conserver un volume suffisant pour servir aux manœuvres de compensation.

Chez le débutant, l'idée même de souffler par le nez alors que l'on est en apnée est antinomique et fréquemment la compensation du masque n'est pas réalisée. Cette absence de compensation n'engendre que très rarement des lésions du fait d'une exposition brève des tissus à la dépression et d'une sensation désagréable invitant le pratiquant à cesser son apnée. Néanmoins la variation brutale et répétitive des pressions sur le masque surtout lors de pratique en fosse peu favoriser ce type de traumatismes. La vitesse de descente et l'augmentation rapide de la pression vont favoriser ce phénomène. La pratique du poids variable et de la gueuze sont à ce titre des disciplines qui favorisent chez les débutants ce type de pathologie.

Le matériel destiné à la pratique de l'apnée a été étudié pour limiter ce phénomène en réduisant au maximum le volume contenu dans le masque. Il est par conséquent conseillé d'utiliser ce matériel afin de réduire le risque de placage. Lors de la pratique de l'apnée, il faut également proscrire l'utilisation de masques possédant des verres teintés car en premier lieu cela rend impossible le contrôle du regard du plongeur et cela rend impossible de voir apparaître les premiers signes de ce type de traumatisme.

### **Barotraumatismes sinusiens, dentaires, digestifs**

Comme en plongée en scaphandre, ses barotraumatismes peuvent intervenir lors de la pratique de l'apnée, néanmoins les durées brèves d'exposition à la pression limitent de manière importante le passage de bulles dans les cavités rendant ces traumatismes rares. Tout au plus, l'apnéiste va ressentir une gêne l'alertant sur la nécessité de suspendre l'activité. Il est toutefois recommandé aux pratiquants de s'abstenir de pratiquer l'apnée dès lors qu'une pathologie inflammatoire de la sphère rhinopharyngée est existante et de veiller à faire contrôler régulièrement sa dentition.

### **Barotraumatismes ORL**

La caisse du tympan contient de l'air qui subit les contraintes de la loi de Mariotte, dès les premiers mètres de profondeur. La diminution du volume d'air provoque une déformation de la membrane tympanique. L'équilibration des pressions se fait par l'intermédiaire de la trompe d'Eustache. Dès que le différentiel de pression est trop important l'ouverture de la trompe ne peut se faire que de manière active. Il est donc nécessaire de pratiquer des manœuvres d'équilibration.

Chez l'apnéiste l'oreille est un organe particulièrement exposé. En effet contrairement à la plongée en scaphandre, le plongeur en apnée va renouveler les manœuvres de compensation à chaque descente. Le nombre et la fréquence de sollicitation sont sans commune mesure. Il faut souligner que la récurrence des descentes et des manœuvres peut créer de micro traumatismes pouvant devenir pathologique. Par ailleurs dès lors que la profondeur augmentera le volume d'air disponible se réduisant, la compensation deviendra de plus en plus difficile. La pratique du poids variable (descente réalisée à l'aide d'un lest) et en « no limit », tend à réaliser des descentes à une vitesse élevée rendant le risque traumatique particulièrement important.

#### **L'oreille moyenne**

Le plongeur en apnée et donc particulièrement sensible au barotraumatisme de l'oreille moyenne qui se rappelle à lui en général par une douleur plus ou moins importante qui doit conduire à l'arrêt immédiat de la descente au risque de conduire à la rupture tympanique. D'une telle situation permettrait une entrée d'eau dans l'oreille moyenne pouvant provoquer des vertiges voir une syncope du fait de la violente douleur induite. Outre la lésion cette situation pourrait conduire à la noyade suite à une syncope.

#### **L'oreille interne**

L'oreille interne est également particulièrement sollicitée du fait de la fréquence des allers retours depuis la surface. Le nombre et la force des compensations peuvent entraîner des manœuvres trop brutales (coup de piston), pouvant créer des lésions de la cochlée.

Le vertige alternobarique lié au différentiel de pression entre l'oreille droite et l'oreille gauche survient le plus souvent à la remontée en zone de faible profondeur. Ce trouble se traduit par un vertige rotatoire plus ou moins intense sans gravité, néanmoins ce vertige peut générer un effet de panique chez l'apnéiste ne sachant plus retrouver la surface. Cette situation doit être prise en charge rapidement par l'apnéiste de sécurité. L'apprentissage des manœuvres de compensation et donc particulièrement importante chez les plongeurs

en apnée, une attention particulière doit être portée sur l'échauffement et la préparation des plongeurs aux sollicitations de cette discipline.

### Barotraumatisme pulmonaire

La surpression pulmonaire est sans doute l'un des accidents les plus graves en plongée. Il est peu fréquent en apnée car le plongeur réalise intégralité de son immersion avec un volume constant. Néanmoins il ne serait pas impossible que ce dernier ne soit tenté de respirer en profondeur sur une bouteille d'air surtout s'il n'a pas été sensibilisé à cette problématique. Il faut noter que même à faible profondeur de 3 / 4 m, une inspiration complète peut suffire à mettre en surpression les poumons lors de la remontée. Par ailleurs les apnéistes sont entraînés pour conserver le volume pulmonaire jusqu'à l'arrivée en surface et contrairement au plongeur en scaphandre à ne pas souffler en remontant. La ventilation sur un équipement scaphandre pour un apnéiste est donc à proscrire formellement.

Si la surpression pulmonaire est plutôt rare chez les apnéistes, d'autres lésions pulmonaires sont plus communes, liée à la pratique de la carpe. Elle consiste en fin d'inspiration maximale à effectuer des contractions répétitives des joues et de la bouche afin de comprimer l'air et d'augmenter le volume pulmonaire. Cette technique peut permettre une augmentation jusqu'à 40 % de la capacité vitale. Cela a pour incidence l'augmentation de la pression alvéolaire, mais également des contraintes cardiaques. Pratiquée de plus en plus chez les compétiteurs elle doit être évitée au maximum dans la pratique de loisirs.

### Thermorégulation

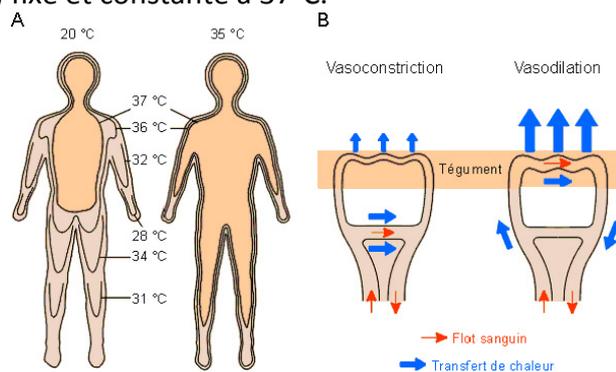
Le corps humain a une température de 37°C malgré de larges variations de température du milieu ambiant, certains organes (foie, cœur, reins, cerveau) doivent garder une telle température constante sous peine de graves perturbations de leur fonctionnement.

La thermorégulation est l'ensemble des phénomènes permettant à l'organisme de maintenir une température centrale (noyau) fixe et constante à 37°C.

La température cutanée (température périphérique) est plus basse. Lorsqu'il est protégé par des vêtements adaptés, l'homme peut supporter des variations de températures mais la température centrale doit rester stable et admet de faibles variations.

Les modifications de la température corporelle centrale exercent une influence sur les structures cellulaires, les systèmes enzymatiques ainsi qu'un grand nombre de réactions chimiques et de processus physiques qui se déroulent dans l'organisme.

La température du corps reste stable jusqu'à une température extérieure dans l'air de 24 à 26°C et une température de 32 à 33°C dans l'eau d'où l'importance de la protection thermique lors de l'apnée. Une hypothermie apparaît plus rapidement dans l'eau. Une hypothermie représente une température du noyau inférieure à 35°C. En apnée du fait des temps de préparation, de relaxation et surtout lors de séance d'apnée statique, ce phénomène doit être pris en compte.



## « Diving reflex » et contrainte Cardio circulatoire

La pratique de l'apnée conditionne ce qu'il est fréquemment habituel d'appeler le « Diving reflex ». Il s'agit en fait d'une adaptation du corps liée à plusieurs mécanismes connexes lors de la réalisation d'exercices immergés.

### Pression hydrostatique

Le premier mécanisme poussant l'adaptation cardio circulatoire est lié à la pression hydrostatique et donc à la poussée d'Archimède. La poussée d'Archimède est une force que subit le corps plongé dans un liquide soumis à un champ de gravité. Cette force résulte de l'augmentation de la pression du fluide avec la profondeur. Cette force est donc plus importante sur la partie inférieure de l'objet immergé que sur la partie supérieure, d'où une poussée verticale dirigée de bas en Haut. Cette force a pour incidence directe de supprimer la gravité que subit le plongeur habituellement hors de l'eau.

L'absence de gravité va induire une redistribution du volume sanguin vers le haut du corps et surtout au niveau du thorax (0.5 à 1 L de sang). L'augmentation de la pression est détectée par les barorécepteurs, le système nerveux réagit ce qui va ralentir la fréquence cardiaque et créé la bradycardie d'immersion.

Cette situation va favoriser également une augmentation du retour veineux, une augmentation du volume d'éjection systolique. Parallèlement à cette adaptation, l'augmentation de la pression artérielle va conduire à la mise en œuvre de la diurèse visant à réduire par élimination d'eau la pression sanguine.

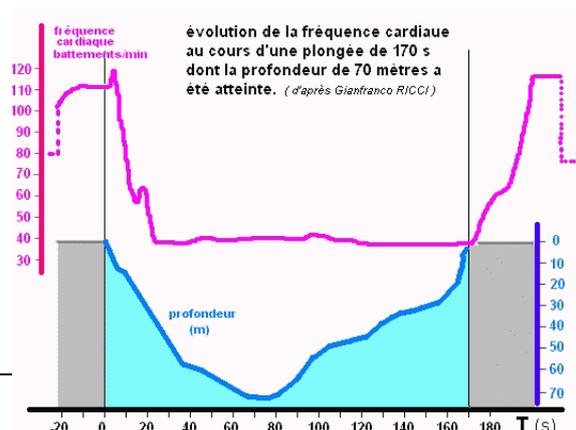
### Immersion de la face

Lors de l'immersion de la face du plongeur les récepteurs thermaux sensibles particulièrement nombreux sur le visage (zone péribuccale et nez) vont percevoir le contact avec l'eau mais également le différentiel de température et induire un réflexe vagal par stimulation du système freinateur du cœur. En fonction des individus, de l'âge, de l'entraînement et de la température de l'eau, ce mécanisme peut ralentir jusqu'à 30 battements par minute la fréquence cardiaque.

L'exposition du plongeur à des températures faibles va conduire également la naissance du mécanisme de vasoconstriction périphérique, qui va favoriser l'augmentation de la pression artérielle, se combinant à celle engendrée par la pression hydrostatique.

### L'apnée elle-même

Autre phénomène favorisant la bradycardie : l'apnée elle-même. En effet les récepteurs situés au niveau de la plèvre sont sensibles à la pression thoracique et vont induire une légère bradycardie liée à la perception de l'augmentation des pressions pulmonaires. Ce mécanisme va renforcer la diminution de la fréquence cardiaque. Les récepteurs sensibles à l'étirement (voies aériennes et



poumons : thora corécepteurs) informent les centres expiratoires de l'augmentation du volume pulmonaire (la plèvre, les bronchioles et les alvéoles pulmonaires contiennent des récepteurs sensibles à l'étirement) Ordre inhibiteur envoyé vers centre de contrôle ; une expiration s'ensuit qui dégonfle les poumons. Ce mécanisme est connu sous le nom de réflexe de Héring Breuer.

### Le Blood shift

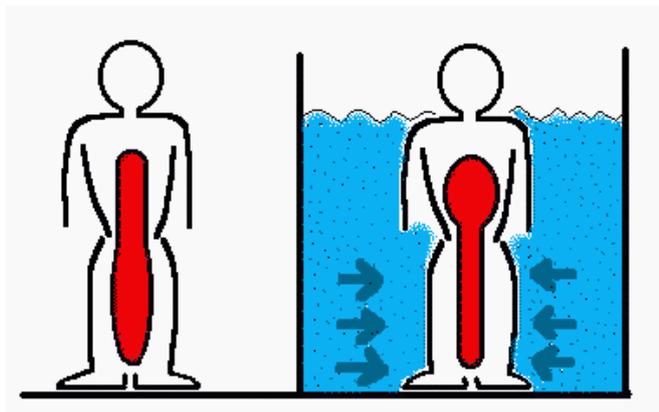
Les médecins pensaient du temps des premières plongées en apnée moderne, qu'au-delà de 40/50 mètres, la cage thoracique serait littéralement écrasée sous l'effet de la pression. On tenait le raisonnement suivant : le volume de la cage thoracique ne peut diminuer à l'infini. Les côtes, le sternum et les cartilages les reliant présentent en effet une limite à l'écrasement ; ce que l'on comprend naturellement. La cage thoracique ne pouvant plus s'écraser, les poumons finiraient par implorer. On ne connaissait alors pas le Blood shift... Les poumons ne peuvent plus se comprimer lorsqu'ils ont atteint leur volume résiduel, soit 1,5L en moyenne. Pour une personne ayant une capacité pulmonaire de 6L (la moyenne), ce volume est atteint pour la profondeur de 30m.

La cage thoracique tolérant une certaine déformation, le volume pulmonaire de l'apnéiste va décroître au fur et à mesure que la profondeur augmente. En effet, les gaz contenus dans les cavités aériennes du corps subissent la loi de Boyle-Mariotte : lorsque l'apnéiste descend, leur volume diminue avec l'augmentation de la pression hydrostatique.

Il sera par exemple de :

- 6 litres en surface
- 3 litres à 10 mètres
- 2 litres à 20 mètres
- 1,5 litre à 30 mètres,

Le volume résiduel est atteint, dans cet exemple.



Lorsque le volume de la cage thoracique est comprimé à son minimum (quand le volume résiduel est atteint), il se crée une dépression à l'intérieur du thorax, cette dépression aspire le sang contenu dans les viscères et les extrémités puis le propulse dans la circulation pulmonaire. Les poumons et les capillaires alvéolaires sont ainsi gorgés de sang, ce qui équilibre les pressions et empêche la cage thoracique de s'effondrer (comme le pensaient les anatomistes dans les années 50).

C'est un phénomène passif uniquement dû à la pression exercée par l'eau. Ce phénomène est dénommé Blood shift (érection pulmonaire), le volume de sang est estimé à un peu moins d'un litre. La profondeur d'apparition du Blood shift est variable entre les apnéistes et même pour un apnéiste, d'un jour sur l'autre. Tout dépend de la forme et de l'état de stress.

Ce mécanisme va conduire à nouveau des contraintes cardio circulatoires par l'augmentation de la pression sanguine dans la circulation pulmonaire et induire une augmentation de pré et post charge. La mise en œuvre du Blood shift est donc proportionnelle à la profondeur et à la durée d'immersion. Le phénomène sera d'autant plus important que la profondeur augmente et que le temps au-delà de 30 m est important, car la réaction physiologique nécessite un délai avant sa mise en œuvre. Dans le cadre d'une descente rapide chez des sujets peu entraînés ou sur des profondeurs importantes, ce

mécanisme adaptatif peut ne pas se mettre en œuvre suffisamment rapidement pour éviter des lésions pulmonaires. Dans ce cas, il peut survenir un œdème pulmonaire.

### L'œdème pulmonaire

Cet accident, parfois très grave, peut survenir en plongée bouteille et lors de l'apnée. Schématiquement, le mécanisme est la défaillance de la membrane alvéolo capillaire, normalement totalement étanche, conséquence des contraintes auxquelles est soumis le poumon du plongeur lors de l'activité. Dans le cas particulier de l'apnée en profondeur, le Blood shift lorsqu'il se produit au fur et à mesure de la descente va augmenter la pression dans les capillaires pulmonaires. Ce phénomène est accentué par le froid, l'anxiété, l'hypoxie. L'ensemble détermine un état décrit sous le terme de « stress failure ». Parallèlement, lors de la descente, les volumes gazeux diminuent ce qui crée le « lung squeeze ». Si l'apnée se prolonge, des contractions diaphragmatiques vont se produire. Ces 2 éléments, « lung squeeze » et contractions diaphragmatiques vont avoir pour conséquence des variations très importantes des pressions alvéolaires. La coexistence de ces 2 grandes séries d'évènements va être responsable de l'apparition de lésions inflammatoires intenses au niveau de la membrane alvéolo-capillaire qui dès lors va perdre ses capacités d'étanchéité. Le liquide plasmatique va pénétrer dans les voies aériennes, créant l'œdème, dont la gravité peut aller jusqu'à la quasi-noyade ; l'apnéiste tousse, crache un liquide souvent mousseux et plus rosé que rouge, il a du mal à respirer. Dans tous les cas, il faut cesser immédiatement l'activité et du repos jusqu'à disparition complète des symptômes ce qui peut prendre plusieurs semaines selon la gravité du cas. La zone où les accidents surviennent le plus souvent est celle des 30-50 m. Les apnéistes débutants et intermédiaires sont les plus à risque, en raison de plusieurs facteurs, dont le manque d'adaptation de leur corps et de mauvais réflexes (descente et remontée trop rapides, pas assez graduelle dans la séance, pas assez progressive dans la saison, stress, compensation avec Valsalva qui augmente les variations de pression intra-pulmonaire, etc.). On rapporte également que la prise répétée d'aspirine ou d'anti-inflammatoires peut favoriser cet accident chez l'apnéiste.

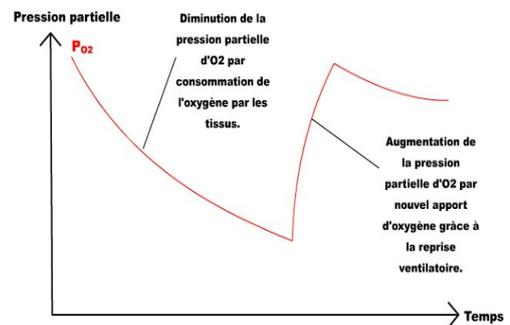
La technique de la carpe dont j'ai précédemment parlé serait à éviter absolument en apnée profonde, surtout pour les débutants et intermédiaires. En comprimant les artères, non seulement elle faciliterait l'œdème, mais elle ralentirait aussi l'apparition du Blood shift. Enfin les contractions du diaphragme (spasmes) ont pour effet de faire varier de manière rapide la pression intra thoracique. La pratique d'apnée expiratoire lors des entraînements et ce même à de faibles profondeurs peut conduire à l'apparition de signes de lésions pulmonaires. La pratique de l'apnée expiratoire doit donc se faire avec la plus grande prudence être réservé à des pratiquants expérimentés.

Mais l'œdème peut également se produire par phénomène de surpression. En effet le mécanisme adaptatif du Blood shift visant à préserver l'intégrité physique du plongeur lors de la descente va se révéler problématique lors de la remontée. Cette situation se rencontre plus généralement lors d'apnée verticale. La cause serait une inversion du gradient de pression de part et d'autre de la membrane alvéolo capillaire avec la profondeur et l'effet Blood shift. La vitesse de remontée est sans doute un des facteurs favorisant ce type d'accident qui se rencontre plus fréquemment lors de l'utilisation de la gueuze.

## L'oxygène et le dioxyde de carbone en apnée

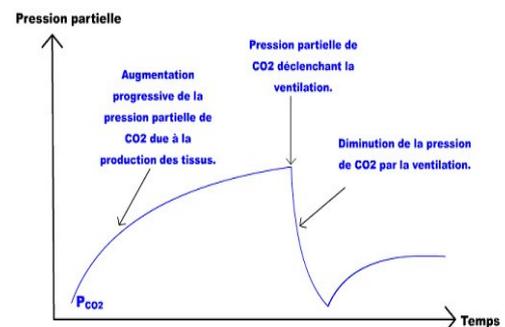
La pratique de l'apnée induit de bloquer sa respiration et donc d'interdire le renouvellement de l'air présente dans les poumons. Cette action va donc limiter la quantité d'oxygène disponible et provoquer une augmentation de l'accumulation du CO<sub>2</sub>. À plus ou moins long terme maintenir son corps en apnée conduit inévitablement à la syncope. Le taux d'oxygène comme le taux de CO<sub>2</sub> vont avoir une importance significative dans la survenue de la syncope et les alertes qui y sont associés. Il existe trois stades de concentration de l'oxygène dans le sang : la normoxie, l'hypoxie et l'anoxie.

- La normoxie : état du sang contenant une quantité normale, d'oxygène. ( $P_{O_2} = 100 \text{ mm Hg}$  ou  $0,13 \text{ bar}$ ) Dans l'air que l'on inspire la  $P_{O_2}$  est de  $160 \text{ mmHg}$  ( $0,20 \text{ bar}$ )
- L'hypoxie : diminution faible de la quantité d'O<sub>2</sub> contenue dans le sang ne permettant plus une activité normale. ( $P_{O_2}$  entre  $40$  et  $60 \text{ mmHg}$ )
- L'anoxie : diminution franche de la quantité d'O<sub>2</sub> distribuée aux tissus ne permettant plus la survie. ( $P_{O_2} < 40 \text{ mmHg}$ )



Il en est de même pour la concentration du sang en dioxyde de carbone :

- La normocapnie : taux normal de CO<sub>2</sub> dissout dans le plasma sanguin. ( $P_{CO_2} = 0,05 \text{ bar}$  ou  $40 \text{ mm Hg}$ )
- L'hypocapnie : diminution du CO<sub>2</sub> dissout dans le plasma sanguin. ( $P_{CO_2} < 0,05 \text{ bar}$  ou  $40 \text{ mmHg}$ )
- L'hypercapnie : augmentation du CO<sub>2</sub> dissout dans le plasma sanguin. ( $P_{CO_2} > 0,06 \text{ bar}$  ou  $45-48 \text{ mm Hg}$ )

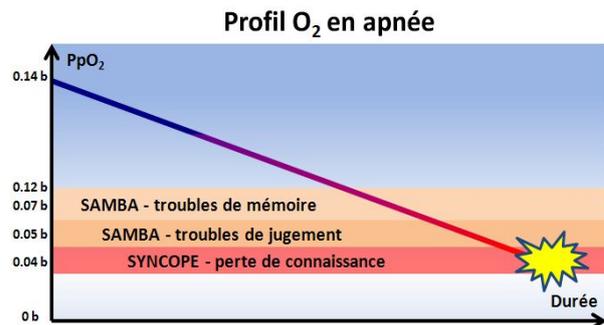


Classiquement, les cas décrits de perte de connaissance en piscine ou en apnée profonde concernent des sujets jeunes, athlétiques, qui effectuent un effort important en vue de réaliser une performance, mais ce ne sont pas les seuls exposés.

Les signes de l'hypoxie peuvent apparaître assez rapidement et présenter des troubles psychiques, une altération des capacités intellectuelles avec une conservation de mouvement automatique ce qui peut expliquer que l'apnéiste puisse continuer à nager alors qu'il est en train de perdre connaissance. Quand la pression partielle d'oxygène devient trop faible des convulsions surviennent, puis une perte de connaissance associée à un risque de noyade. La syncope hypoxique peut survenir aussi bien dans l'eau qu'en surface après la reprise ventilatoire et ce jusqu'à plusieurs secondes après la fin de l'apnée. Cela est dû au temps nécessaire au trajet à l'oxygène vers le cerveau. Les techniques de reprise ventilatoire efficace après une apnée permettent de limiter ces syncopes. Le plus souvent il n'existe pas de signes annonciateurs récurrents mais l'on retrouve souvent des troubles de la conscience, des mouvements cloniques de la tête et des membres, un ralentissement du palpage ou une accélération, des lâchés de bulle, l'absence de réponse

aux sollicitations. Ces symptômes pouvant être qualifiés d'état pré-syncope. Les facteurs favorisant la syncope sont de plusieurs natures :

- La durée prolongée de l'apnée est une évidence mais à garder en mémoire surtout lors du travail en apnée statique.
- La réalisation d'efforts en fin de performance conduit le corps à consommer de l'oxygène et à faire chuter le taux de ce dernier lorsque sa concentration est déjà faible. Il est donc important de limiter les efforts en fin d'apnée.



- Le rendez-vous syncopal, est lié à la chute rapide de la pression partielle d'oxygène dans le sang lors de la remontée du plongeur suite à une apnée profonde. En effet la pression hydrostatique diminuant rapidement dans la zone des 10 m à la surface, la pression partielle d'oxygène proportionnellement risquant de passer en deçà du seuil de 0,12 PPO<sub>2</sub>.
  - L'hyperventilation joue un rôle important dans la genèse de la syncope. L'Hyperventilation signifie établir un débit ventilatoire supérieur à celui nécessaire pour maintenir, à sa valeur normale, la tension de gaz carbonique artérielle. L'hyperventilation volontaire est donc une modification de la ventilation non imposée par la nécessité de maintenir certaines constantes (PaCO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub>, pH). En diminuant la PaCO<sub>2</sub>, elle a comme effet de retarder le réflexe inspiratoire. Habituellement nous avons en tête hyperventilation inspiratoire mais il existe également une hyperventilation expiratoire plus difficile à repérer pour les encadrants.
- 
- Enfin une étude menée par le docteur Dematteo a mis en évidence qu'en dépit des facteurs précités la syncope hypoxique se produit avant tout lors d'une recherche de performance ou l'objectif à atteindre est devenu particulièrement important pour le pratiquant. Ce paramètre me semble particulièrement important dans l'approche de la pratique de l'apnée chez les personnes en situation de handicap.
  - Il faut noter également que l'hypercapnie peut être facteur favorisant de la syncope. L'hyperactivité parasympathique peut prendre la forme d'une syncope vagale que l'on retrouvera entre autres dans le cas de barotraumatisme avec douleur intense, ou encore lors d'une augmentation forte de la pression intra thoracique, liée à des manœuvres d'équilibration violente telle que Valsalva.

## Synthèse des adaptations physiologiques et de la physiopathologie

La pratique de l'apnée présente des adaptations physiologiques similaires à celles du scaphandre.

- Au final peu de différences notables en dehors du phénomène du Blood Shift, et de la quasi-disparition des accidents décompression.
- La bradycardie liée à la pratique spécifique de l'apnée est minime au regard de celle générée par la poussée d'Archimède et des capteurs thermiques. La sollicitation cardiaque sera donc particulièrement importante dès lors que les profondeurs atteintes dépasseront les 20 mètres. On peut estimer qu'à partir de cette profondeur l'incidence cardio-circulatoire devient non négligeable.
- Sur l'aspect des barotraumatismes, ils sont rigoureusement les mêmes qu'en plongée scaphandre, mais les techniques de compensation et l'apprentissage nécessaire pour les éviter demande une expertise importante.
- L'œdème aigu du poumon est rarissime et lié au travail en profondeur ou à l'utilisation de techniques réservées à la compétition telle que la carpe.
- Quant à la syncope et au risque de noyade qui lui est directement associé, celle-ci apparaît le plus souvent dans une logique de performance au sens compétitif du terme, ou lors d'exercices verticaux sur des profondeurs où l'inversion des pressions partielles se met en œuvre.

L'accidentologie liée à l'apnée apparaît le plus fréquemment lors de pratiques compétitives, de recherche de performances, ou de pratiques isolées. Chacune des disciplines présente plus ou moins d'adaptation de l'organisme lors de la pratique et donc une variation du risque. Dans tous les cas, la pratique de loisirs (absence de recherche de performance) semble être un terrain peu accidentogène. Le tableau ci-dessous reprend pour chacune des disciplines les incidences physiologiques et les risques associés.

Discipline	O.R.L.	Œdème	Tachy	Brady	Syncope
Statique	---	---	-	-	-
Dynamique Palme	--	---	+	-	-
Dynamique Sans Palme	--	---	++	-	-
16*25	--	---	++	-	+
16*50	--	---	++	-	+
Immersion libre tête haute	-	-	--	+	+
Immersion libre tête basse	+	-	--	+	+
Poids constant	++	+	+	++	++
Cube	+	-	++	-	++
Poids variable tête haute	++	+	-	+	+
Poids variable tête basse	+++	+	-	++	+
Gueuze lourde tête haute	++	++	-	++	-
Gueuze lourde tête basse	+++	++	-	++	-

## Les effets de l'apnée chez le sujet valide

L'immersion agit sur les fonctions respiratoire, cardiovasculaire et rénale. Le volume d'air pulmonaire est réduit par la pression s'exerçant sur le thorax et par le

mouvement de la masse viscérale abdominale vers le haut. Le sang veineux périphérique est chassé vers les parties « rigides » du corps (le thorax). On observe donc une augmentation du débit cardiaque ce qui a pour conséquence d'augmenter la diurèse.

L'apnée interrompt les échanges gazeux avec l'atmosphère. Mais la respiration cellulaire se poursuit et il persiste un échange de gaz entre les poumons et le sang. La pression partielle alvéolaire (PAO<sub>2</sub>) diminue alors que la PACO<sub>2</sub> augmente. La rupture de l'apnée est induite par :

- les modifications des pressions partielles en O<sub>2</sub> et en CO<sub>2</sub>
- des facteurs nerveux (arrêt des mouvements ventilatoires)
- le besoin de respirer

Lors de l'immersion, la suppression des effets de la pesanteur fait que le sang reflue vers la cavité thoracique. Ce qui fait que le retour veineux est plus efficace. A cela s'ajoute une vasoconstriction périphérique provoquée par l'apnée et l'immersion de la face. La majeure partie du sang est donc orientée durant l'apnée vers les organes nobles (cœur, cerveau). L'apnée entraîne une bradycardie intense par l'action cardiomodératrice du nerf vague (parasymphatique). Cela est lié au contact de l'eau sur la peau et ce d'autant que l'eau est froide. Cela a pour conséquence d'économiser l'oxygène.

**Bradycardie et vasoconstriction sont indispensables pour protéger les organes nobles des effets délétères de l'hypoxie.**

## L'apnée et le handicap

Dans cette première partie j'ai identifié les « macros » incidences physiologiques, de la pratique de l'apnée sur le corps sans spécifiquement poser la question des incidences sur les personnes en situation de handicap. Effectivement mon orientation initiale était de vouloir repérer pour chaque grande famille de handicap qu'elles seraient les incidences particulières, et ainsi identifier les limitations associées. La pluralité des cas, la complexité de ceux-ci et mon niveau de connaissance, ne me permettait pas seul de mener ce travail. J'ai néanmoins réalisé un zoom sur les blessés médullaires, afin d'envisager les incidences de la pratique de l'apnée.

### Approche physiologique de la paraplégie

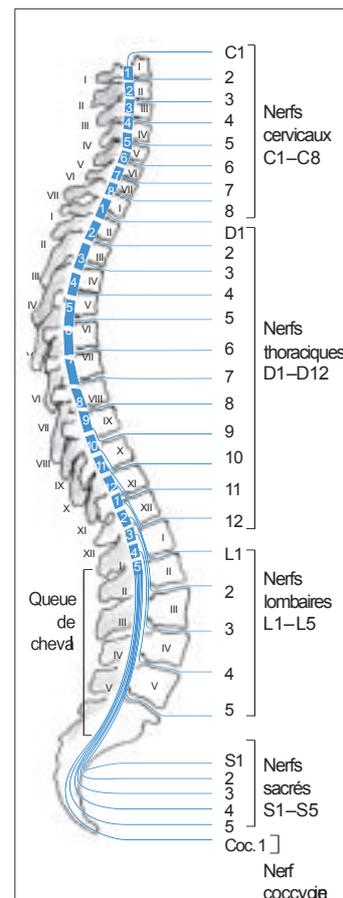
La paralysie médullaire résulte d'une section (lésion) des voies sensibles et des voies motrices dans la moelle épinière, ainsi que d'une destruction des neurones dans le territoire touché. Cela survient généralement à la suite d'un traumatisme de la colonne vertébrale, la paraplégie peut être également être provoquée par des maladies :

- **Tumorales** : développement d'une tumeur maligne ou bénigne qui comprime la moelle.
- **Infectieuses** : l'infection d'un disque intervertébral (spondylolisthésis) ou de l'enveloppe qui entoure la moelle (épidurite) peut être à l'origine d'une compression médullaire. Le Mal de Pott est l'infection d'un disque intervertébrale par le bacille de Koch (germe à l'origine de la tuberculose).
- **Malformatives** : comme la syringomyélie qui est liée à la mauvaise circulation du liquide céphalo-rachidien et qui entraîne une collection au sein de la moelle qui la comprime.
- **Inflammatoires** : comme la polyradiculonévrite de Guillain Barré ou la sclérose en plaque.
- **Vasculaires** : l'hématome épidual lors d'un traitement anticoagulant ou après une ponction lombaire peut entraîner une compression médullaire.

Elle se traduit par une perte de la mobilité musculaire et de la sensibilité en dessous du niveau lésionnel et par un dérèglement du système nerveux autonome.

On distingue deux formes principales de paralysie médullaire : la paraplégie et la tétraplégie. La paraplégie correspond à une lésion de la moelle épinière au niveau du thorax ou des lombaires, la tétraplégie au niveau des cervicales.

La hauteur de la lésion est déterminée sur la base du segment neurologique le plus bas encore intact. La paraplégie entraîne une paralysie des membres inférieurs (jambes) et de certaines parties du tronc. La tétraplégie entraîne en plus, une paralysie des membres



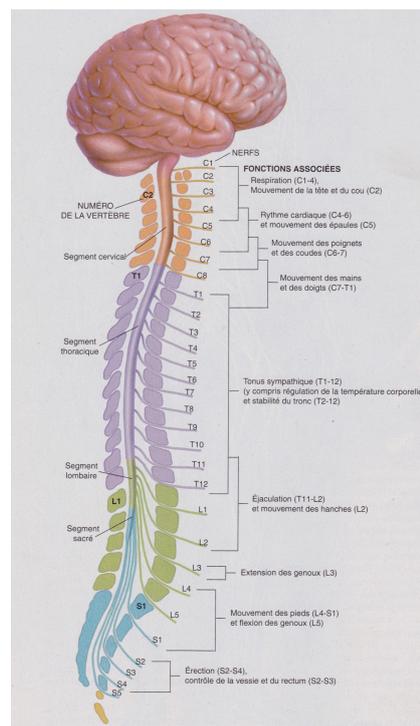
supérieurs (bras). Plus le niveau de la paralysie est élevé, plus la musculature des bras est atteinte.

Le degré de paralysie dépend du point le long de la colonne vertébrale là où la blessure ou l'anomalie s'est produite. Dans le cas d'une lésion de T6 /D6, le traumatisme est survenu au niveau de la sixième vertèbre thoracique, qui se trouve directement derrière l'extrémité inférieure du sternum ou os de la poitrine. Cette lésion va induire pour la personne touchée la perte de certaines sensations, de mouvements et de fonctions. En générale, lors d'une blessure de la vertèbre T6 /D6 les sensations du haut de la tête, des bras, de l'avant et de l'arrière du thorax jusqu'au niveau du diaphragme reste présent, par contre en dessous du diaphragme, les sensations disparaissent partiellement ou totalement.

Un paraplégique T6 /D6 conservera normalement les mouvements des membres supérieurs, y compris la tête, le visage, le cou, les épaules, les bras et le diaphragme. Par conséquent, la personne touchée reste capable de parler, manger, voir, entendre, respirer. Elle utilise ses bras et ses mains.

Dans le cas de ces lésions, le plongeur rencontrera des difficultés de gestion de la vessie et du côlon. Le fonctionnement autonome de la vessie et des intestins est désorganisé car les « messages » ne passent plus ; constipation et incontinence sont souvent présentes chez les paraplégiques. L'immobilisation du paraplégique induira également des incidences articulaires, des escarres liés à l'absence de mouvement ou au contraire à une trop forte sollicitation.

Mais le paraplégique rencontre également des complications respiratoire et cardio ventilatoire, qui dans le cadre de l'apnée, devront être prises en compte.



## Les troubles respiratoires

Les muscles inspiratoires comprennent les diaphragmes (innervation C3 à C5), les muscles intercostaux (T1) et accessoirement les sterno-cléido-mastoïdiens (C2) et les scalènes (C4). L'atteinte respiratoire est donc constante chez le tétraplégique et le paraplégique haut. Dans les atteintes C4, C5, C6, le diaphragme fonctionne mais l'atteinte des muscles intercostaux et abdominaux ne permet pas une ampliation thoracique correcte et surtout une toux efficace (expulsion d'eau difficile).

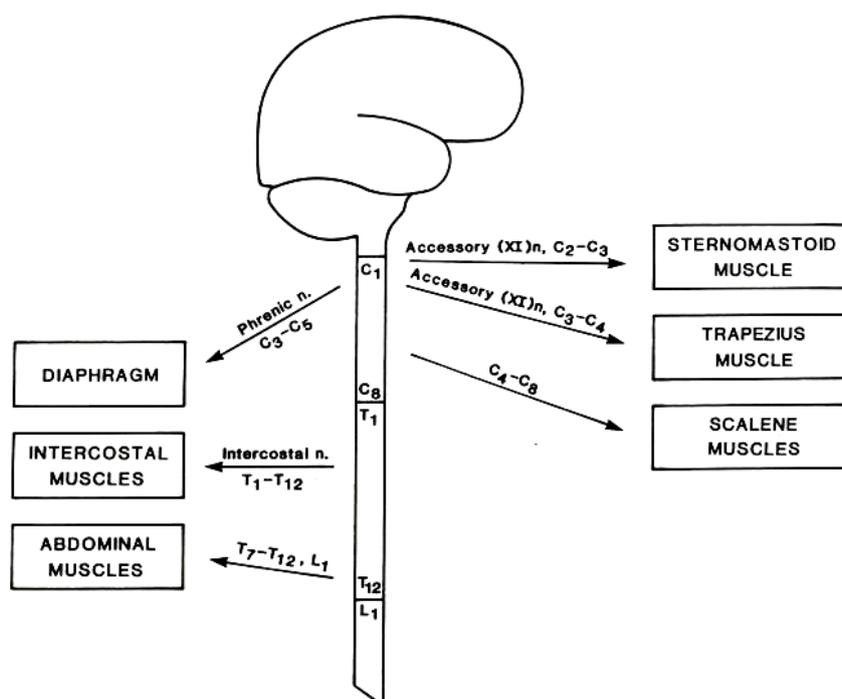
Atteinte respiratoire et niveau médullaire	Niveau métamérique de l'atteinte médullaire	Muscles respiratoires touchés
--	---	-------------------------------

Tétraplégiques	C3 à C5	Diaphragme
Paraplégiques	D1 à D10	Intercostaux
	D6 à D12	Abdominaux

Dans le cas de lésions médullaires hautes, la fonction respiratoire peut être touchée. La paralysie des muscles abdominaux diminue l'efficacité de la toux et augmente le volume respiratoire résiduel, ce qui perturbe les échanges gazeux et son renouvellement après l'apnée.

Dans les atteintes cervicales basses ou les paraplégies hautes, l'atteinte respiratoire existe du fait de l'absence d'abdominaux, mais la toux peut être partiellement efficace grâce aux muscles intercostaux, grand dorsal, grand pectoral et grand dentelé, comme muscles accessoires.

Les paraplégiques ayant une lésion située au-dessus de T12 ont une atteinte des muscles abdominaux ce qui affecte la toux et la respiration forcée. Au-dessus de T7 les muscles intercostaux sont affectés. La fonction de la toux peut être beaucoup plus affaiblie et il existe une diminution de la capacité vitale. Au-dessus de C7 les muscles accessoires sont atteints. Si la lésion est complète, la toux est absente et la capacité respiratoire tombe sous 40% de la norme. Le diaphragme n'est touché que pour des lésions au-dessus de C5



Selon le niveau de la lésion, un certain nombre de muscles ne pourront pas fonctionner correctement. Les muscles abdominaux sont innervés de T6 à T10, les muscles intercostaux de T2 à T12. Au repos, la ventilation se fait essentiellement sous l'action du diaphragme avec l'aide de la tonicité abdominale. Lors de l'hyperventilation d'effort, les intercostaux externes

favorisent l'inspiration forcée et les muscles abdominaux sont impliqués dans l'expiration forcée. Chez le paraplégique, les difficultés seront la possible difficulté à s'hyperventiler,

phénomène encore aggravé par la pression de l'eau qui gêne la ventilation et les éventuels effets compressifs dus à la combinaison.

## Trouble de la régulation thermique / déshydratation

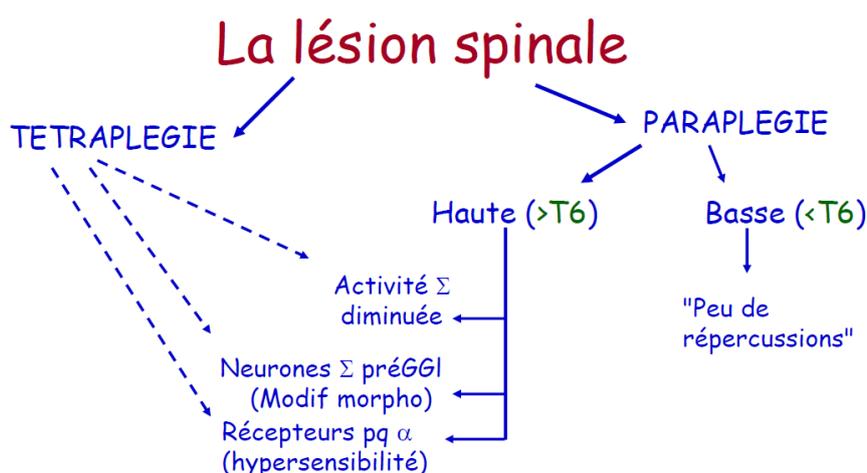
L'absence de frisson thermique (qui permet la production de chaleur) dans le territoire sous-lésionnel est responsable d'hypothermie lors d'expositions prolongées à de basses températures, des paraplégiques avec lésions hautes. La pratique de l'apnée encore plus que celle de la plongée génère des périodes de récupération longues où le corps n'est pas mobilisé, la température n'augmente pas et favorise l'hypothermie. Vasodilatation et sudation sont également atteintes en sous-lésionnel et ne permettent pas la déperdition de chaleur des para et tétraplégiques, avec risque d'hyperthermie.

## Les déficiences neuro-végétatives

Du fait de son étroite relation avec le système nerveux volontaire, le système nerveux autonome subit lui aussi des dommages en cas de lésion médullaire. Ainsi une tension artérielle basse liée à la réduction de l'activité sympathique est fréquente.

La dérégulation de la fréquence cardiaque et de la tension artérielle est une problématique à laquelle les paralysés médullaires sont confrontés. Ses conséquences sont particulièrement graves lorsque la lésion se situe au-dessus de T6 puisque, à partir de ce seuil, toutes les fibres sympathiques qui innervent le cœur émergent de la moelle épinière. C'est la raison pour laquelle les tétraplégiques présentent une adaptation cardiovasculaire à l'effort très précaire, qui limite leur capacité de performance.

## Le système nerveux autonome ne fonctionne pas correctement

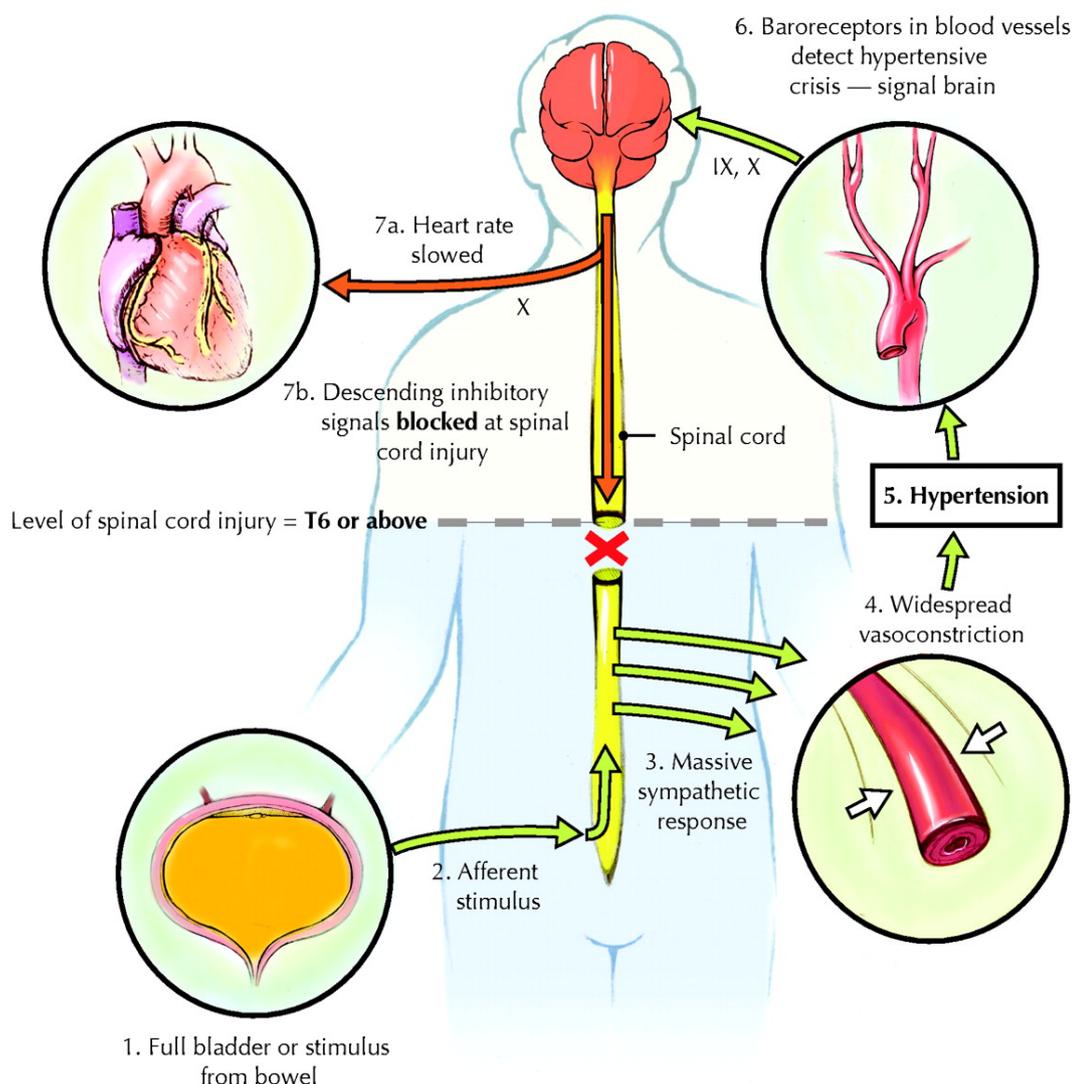


### ELonsdorfer, juin 2010

L'activité sympathique est systématiquement en hypofonctionnement dès lors que la lésion est haute (au-dessus de T6).

L'hyper-réflexie autonome (HRA) est un phénomène parfois redoutable chez le paraplégique.

Il s'agit d'une réponse sympathique massive et inappropriée à un stimulus, nociceptif ou non, provenant de la région sous-lésionnelle. Elle touche 48 à 90% des blessés haut (>T6)



Canadian Med Ass Journal

L'HRA est un emballement paroxystique du sympathique sous lésionnel. Il s'ensuit une réaction hypertensive par vasoconstriction sous-lésionnelle. La personne ressent des maux de tête pulsatiles, des paresthésies, des flushes, des sueurs, parfois un malaise général avec état d'anxiété. La TA augmente fortement. On observe une bradycardie (10%) ou une tachycardie (38%) ;

### *L'adaptation cardiovasculaire à l'effort est très différente du sujet valide*

Le blessé médullaire a de grandes difficultés pour obtenir une adaptation vasculaire correcte à l'effort. Chez le sujet valide, le débit cardiaque (Q) représente la capacité fonctionnelle du système circulatoire.

$Q = FC \times VES$  (volume d'éjection systolique). Le débit cardiaque augmente en fonction de l'intensité de l'exercice de 5L/min à 20-25L/min à l'exercice maximal essentiellement en raison de l'augmentation du VES. Le flux sanguin est régulé en fonction de l'activité métabolique. Au cours de l'exercice, la plupart du débit cardiaque est orienté vers les muscles.

La capacité cardio-respiratoire est représentée par la  $VO_{2max}$  :

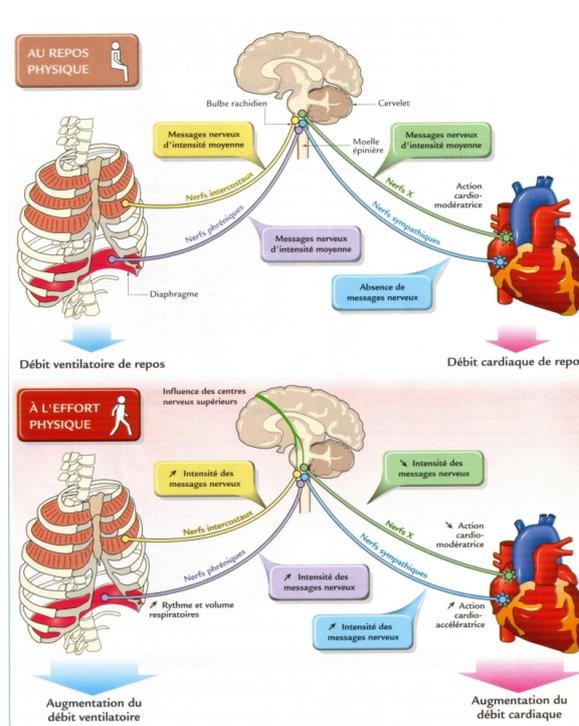
$$VO_{2max} = Q \times (a-v)O_2$$

(a-v) $O_2$  est la différence artério-veineuse en  $O_2$

Les sujets entrainés ont un plus grand débit cardiaque et leur capacité d'extraction de l' $O_2$  est améliorée par l'exercice. La  $VO_{2max}$  est 25% plus grande lors de l'exercice avec les jambes qu'avec les bras. La contrainte physiologique est supérieure quand l'exercice est réalisé avec les bras.

L'hypertrophie cardiaque est une adaptation fondamentale de l'entraînement.

Chez le blessé médullaire, il n'y a plus ou peu de conceptions afférentes des muscles en activité jusqu'au SNC, et donc peu de contrôle de la pression artérielle avec des différences notables entre para et tétraplégiques.



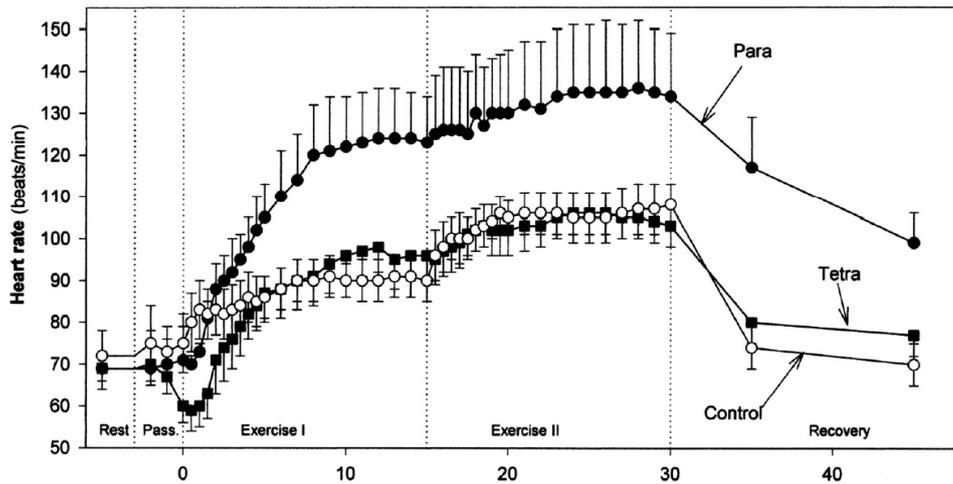
- chez le tétraplégique, il n'y a plus de contrôle sympathique et plus de vasoconstriction réflexe

- chez le paraplégique, les catécholamines provenant des neurones des membres supérieurs en activité peuvent contribuer au maintien de la pression artérielle.

Les conséquences s'observent à la fois sur l'évolution de la fréquence cardiaque et sur celle de la pression artérielle. Ces « défauts » d'augmentation à l'effort contribuent à l'incapacité des personnes à effectuer un effort conséquent.

## Fréquence cardiaque

Fréquence cardiaque à l'effort chez le sujet valide (Control), paraplégique (Para) ou tétraplégique (Tétra)

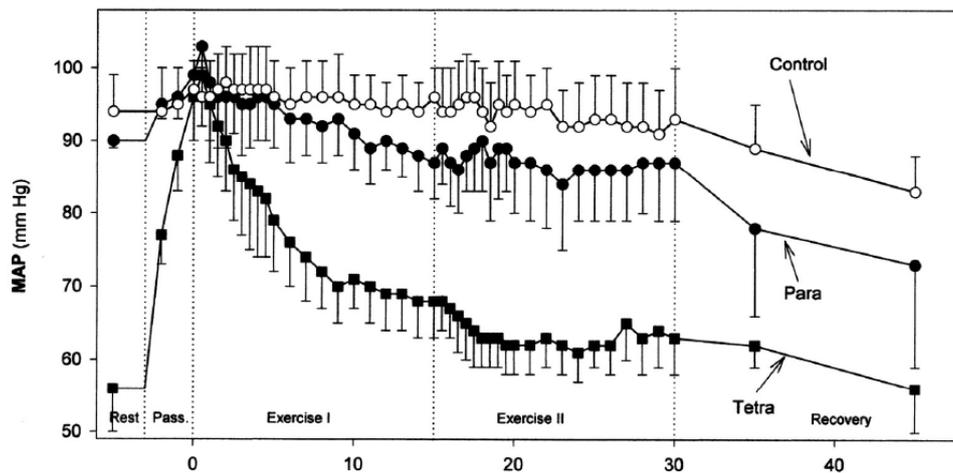


Deal F, Circulation, 2003

Cœur et Sport- Saint Etienne- juin 2010

### Evolution de la Pression artérielle moyenne

Evolution de la pression artérielle moyenne (MAP) à l'effort chez le sujet valide (Control), paraplégique (Para) ou tétraplégique (Tétra)



Deal F, Circulation, 2003

Cœur et Sport- Saint Etienne- juin 2010

Pour résumer, chez le sujet paraplégique ayant une lésion haute, le débit cardiaque maximal à l'effort est réduit par interruption de la stimulation sympathique. En cas de lésion basse, le VES est +/- abaissé en raison du faible retour veineux. Une compensation est possible par augmentation de la fréquence cardiaque.

## Les effets de l'apnée chez le blessé médullaire

En sus du défaut de réception des informations sensibles en provenance des membres inférieurs, la personne paraplégique connaît des troubles moteurs qui touchent la motricité volontaire et réflexe.

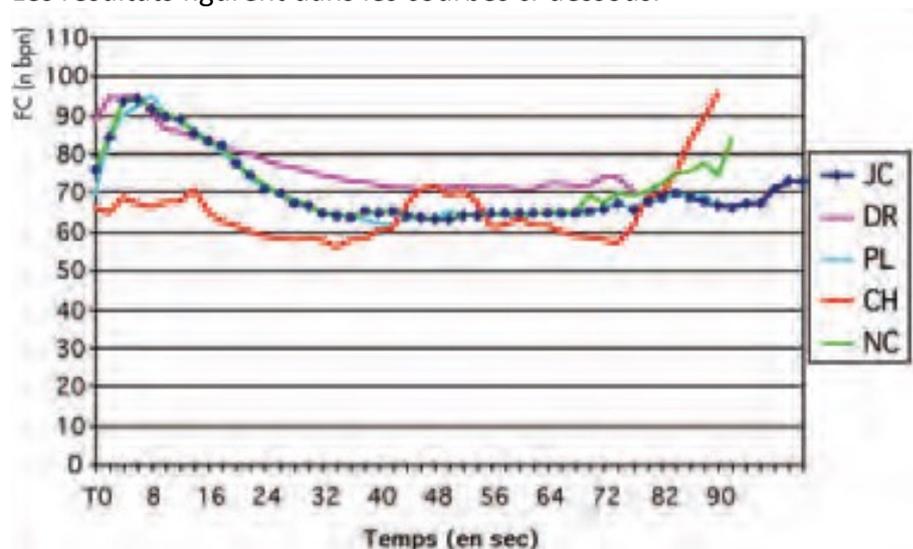
### Les troubles circulatoires, la circulation n'est pas optimale

Le plongeur paraplégique a une hypotension artérielle par mauvaise activation vaso-motrice sous-lésionnelle et par baisse du débit cardiaque. Cette baisse du débit cardiaque est liée au retour veineux insuffisant. La paralysie des muscles de la partie inférieure du corps, surtout si elle est flasque, entraîne une stase veineuse. Le débit sanguin est diminué et ne peut s'accroître normalement en cas d'effort physique, d'où une grande fatigabilité, des hypotensions, des malaises, etc. Néanmoins en plongée comme en apnée, la pression exercée par l'eau devrait améliorer cette situation du fait de l'apesanteur relative.

### Comment s'adapte la fréquence cardiaque ?

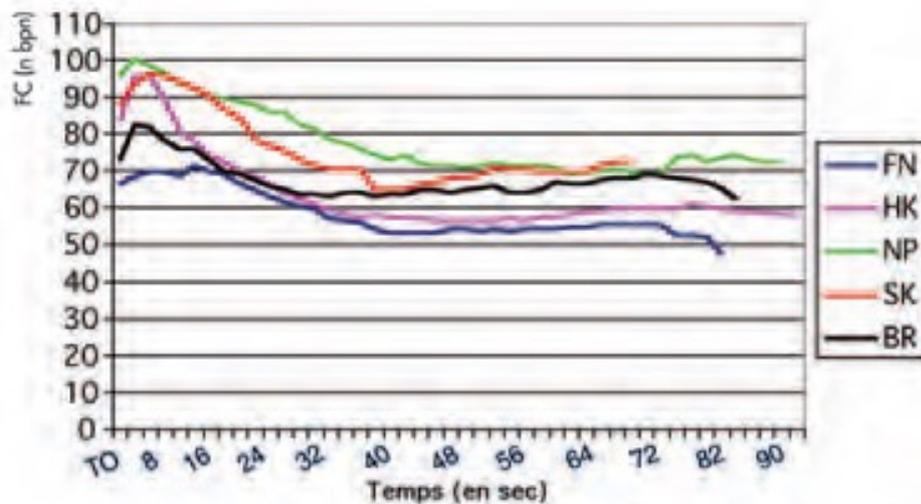
L. Nioré et P. Zenatti (Faculté des Sciences du Sport, Marseille, [www.clubcardioport.com](http://www.clubcardioport.com)) ont étudié en comparant l'effet d'apnées statiques des personnes paraplégiques, des apnéistes de haut niveau et des étudiants en STAPS. Les paraplégiques (30-45 ans) étaient handicapés depuis plus de 15 ans, avec section complète de la moelle épinière, au même niveau médullaire (D8), et de morphologie voisine (80 + 3 kg, 180 ± 3 cm). Le protocole d'étude a compris 3 apnées statiques successives, sans masque ni combinaison, pour éviter les interférences du matériel avec les adaptations cardiovasculaires. Tous les enregistrements ont eu lieu en piscine, en nocturne, dans une eau à 27°C (± 0,5°C). La fréquence cardiaque était contrôlée avec des cardiofréquencesmètres étanches. Il était nécessaire d'être encadré par des moniteurs.

Les résultats figurent dans les courbes ci-dessous.



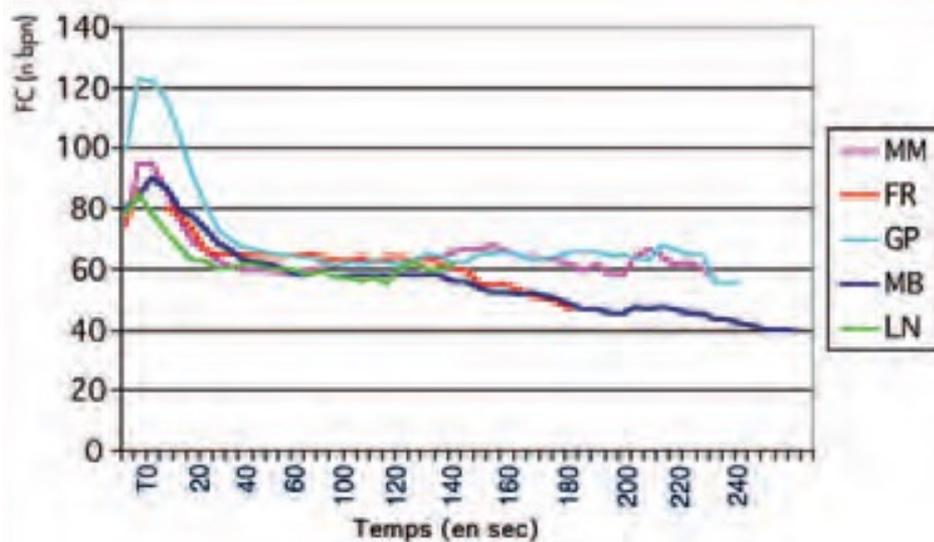
**Groupe**

**Paraplégique**



**Groupe**

**Contrôle**



**Groupe**

**Expert**

La conclusion des auteurs est que les adaptations de la fréquence cardiaque lors de l'apnée statique chez les hommes paraplégiques (niveau D8) sont similaires à celles observées chez les sujets contrôles non entraînés à cette activité. Les tachycardies initiales plus marquées, observées chez les sujets experts, pourraient être dues au niveau de remplissage pulmonaire différent lors de la dernière inspiration. En effet, des récepteurs pulmonaires sensibles à l'étirement ont une action inhibitrice sur le nerf vague et provoquent donc une tachycardie transitoire. Les groupes non entraînés ne savaient pas, pour la plupart, remplir leurs poumons aussi efficacement que les experts.

Les auteurs ajoutent qu'ils n'ont pas, dans ce travail, observé de contre-indication majeure à l'apnée statique, au moins pour les adaptations de la fréquence cardiaque, qui sont un bon reflet des adaptations cardiovasculaires aux contraintes extérieures. Leur souhait est au contraire de privilégier de pratiquer l'apnée chez ces personnes ce qui permettra de développer les capacités respiratoires des personnes qui la pratiquent (amélioration de l'élasticité de la cage thoracique, renforcement des muscles respiratoires, augmentation de la valeur des volumes respiratoires).

L'apnée apparait comme une discipline accessible aux blessés médullaires et donc à une partie des personnes en situation de handicap. Néanmoins il convient d'être particulièrement prudent dans la mise en place des entrainements dans les différentes disciplines car chacune d'entre elles présentent ces contraintes physiologiques et organisationnelles. Je vous propose donc pour chacune des disciplines habituelles de l'apnée d'identifier les compétences que chacune d'entre elles mobilisent, les contraintes et les adaptations potentielles ou possibles pour rendre la pratique accessible au plus grand nombre.

## *Typologie des pratiques et adaptations*

Parmi l'ensemble des règles de pratique de l'apnée l'une d'entre elle est pour moi primordiale : « je dis ce que je fais, je fais ce que je dis ». En effet dans la pratique des disciplines de l'apnée il est important pour identifier une éventuelle syncope de repérer les signes annonciateurs. L'un des signes les plus flagrants est le non-respect des protocoles définis. Il est donc particulièrement important lors de la pratique de ces disciplines de définir des règles de réalisation de chacun des exercices (longueur, profondeur, temps, type de palmage, signe de conscience...). Pour les publics rencontrant des difficultés dans la communication expressive et réceptive, l'encadrant devra être particulièrement vigilant s'il estime que son plongeur n'a pas intégré les limites et les contraintes des exercices proposés. Cela sera particulièrement vrai avec les personnes souffrant de handicap sensoriel et/ou des personnes présentant des troubles du comportement, des déficiences mentales, ou des maladies mentales.

## **L'apnée statique**

L'apnée statique est sans doute parmi l'ensemble des disciplines celles la plus accessible pour les personnes en situation de handicap, car elle ne mobilise que très peu d'action motrice. Elle est donc à ce titre, très peu traumatisante au niveau musculo-squelettique mais favorise l'hypothermie du fait de l'absence quasi totale de mouvement. Pour les atteintes médullaires, une vigilance particulière devra être mise en œuvre pour la protection thermique des pratiquants, et ce même en piscine. La durée des séances et des exercices devra être limitée dans le temps.

L'apnée statique est également sans doute la discipline où les signes pré-synopaux sont les plus difficiles à détecter du fait de l'absence totale de mouvements. Il est donc indispensable de suivre les moindres signes et de garder un contact permanent avec le pratiquant. Pour ce faire, le protocole habituel consiste à faire les apnées statiques en se laissant flotter en surface et en se tenant la main. Une légère pression de la main de l'encadrant devra être suivi d'une réponse identique de la personne qui fait son apnée. En gardant ainsi un contact direct, on pourra détecter la moindre crispation, le plus petit changement d'attitude.

L'encadrant devra donc prendre en compte les limitations motrices du plongeur et définir avec le participant un signe qui soit sans équivoque possible et réalisable par le pratiquant. En effet dans le cadre de blessé médullaire l'acte moteur doit pouvoir être réalisé sans

difficulté. Pour le tétraplégique la pratique de l'apnée statique ne me semble pas impossible mais nécessitera un encadrement de un pour un.

Dans tous les cas il faudra s'assurer de la compréhension par le pratiquant de la consigne. Pour les plongeurs présentant des difficultés de communication, que celles-ci soient liées à une problématique sensorielle (sourd, muet, déficients visuels) ou autre, il sera impératif que l'encadrant puisse vérifier la parfaite compréhension du protocole. Pour les pathologies mentales, cognitives (autismes, troubles envahissants du développement, retard mental, déficience mentale), une approche au cas par cas doit être réalisée, et la progression extrêmement prudente.

L'apnée statique se pratique de préférence dans un bassin où l'on a pied, pour faciliter la surveillance et les interventions éventuelles. Si cela n'est pas possible, il faut impérativement disposer d'un point d'appui stable et d'une flottabilité importante. Bien que le MFA impose un taux d'encadrement de un pour huit, il faudra nécessairement réduire ce dernier en fonction des situations, ou faire appel à des assistants pour contrôler plus efficacement et intervenir au moindre doute.

### L'apnée dynamique avec et sans palme

L'apnée dynamique en faible profondeur favorise le travail de propulsion et d'hydro dynamisme sans les contraintes du scaphandre autonome. Elle permet également de travailler les appuis, mais également les temps de glisse qui certes sont importants pour le « compétiteur » en apnée mais également pour les plongeurs rencontrant des difficultés de propulsion. Les temps de glisse favorisent également la récupération musculaire, et incitent au contrôle de ses mouvements.



Le principal risque en apnée dynamique provient de la volonté du plongeur d'accéder à l'objectif qu'il s'est fixé (souvent le mur ou une distance particulière). Il convient donc de réaliser des séances qui visent à travailler sur des distances réalistes ou chacun pourra améliorer ses techniques de palmage, son hydrodynamisme et son relâchement. Par ailleurs chez les blessés médullaires, utilisant de fait uniquement les bras, une attention particulière devra être portée sur l'intensité des entraînements afin de ne pas favoriser l'émergence de traumatismes liés à l'effort (ex tendinopathie).

Toute tentative de « performance » (même minime) doit nécessiter la mise en œuvre d'une surveillance individuelle accrue par un apnéiste formé à l'intervention et au sauvetage.

Dans le cadre de l'apnée dynamique, il est fréquent que les pratiquants pour maintenir une assiette la plus horizontale possible utilisent des lests placés au niveau du bassin mais également au niveau du thorax. Dans le cadre des personnes en situation de handicap, il sera nécessaire d'ajouter du lest pour compenser la flottabilité de la protection thermique et utile de placer des lests à d'autres endroits pour permettre une meilleure posture dans l'eau. Certes le lest présente l'avantage de faciliter l'immersion, la glisse et l'hydrodynamisme, mais présente en revanche un danger par rapport à la flottabilité et par

rapport aux éventuels points d'appui pouvant provoquer des blessures ; en particulier chez les lésés médullaires.

Dans un souci de sécurité, l'encadrant et le pratiquant devront chercher à ajuster le lestage au minimum tout en privilégiant le confort. L'utilisation de plomb devra donc se faire progressivement et sous le contrôle rigoureux de l'encadrant.

Le principe même de l'apnée dynamique est de parcourir la plus grande distance, soit en palmant, soit à la brasse. D'un point de vue moteur il est clair qu'en fonction des handicaps et des techniques de propulsion, une adaptation évidente devra être mise en place comme elle l'est en plongée scaphandre. Il n'est pour moi pas inconcevable de constituer des binômes de deux plongeurs pratiquants l'apnée ensemble ; l'un étant chargé d'assurer la propulsion du binôme.



D'un point de vue sensoriel, les déficients visuels vont rencontrer des difficultés particulières pour percevoir les distances et se maintenir à l'intérieur d'une ligne d'eau. Certains bassins présentent des marquages spécifiques dont les contrastes ou la texture permettent de se repérer. En l'absence de ces derniers, il est possible de placer des objets lourds (cordes lestées, plombs...).



Comme pour l'apnée statique, il ne semble pas exister à priori de contre-indication pour les personnes atteintes de déficience mentale ou de trouble du comportement. Néanmoins comme pour le statique, une approche au cas par cas doit être réalisée, et la progression extrêmement prudente.

Pour la sécurité active lors des apnées dynamiques, contrairement à l'apnée statique où la zone de reprise ventilatoire est connue, le lieu de sortie du pratiquant être aléatoire. Il est donc nécessaire de prévoir sur l'ensemble du parcours des points d'appui pour le pratiquant et l'encadrement qui assure sa sécurité.

Pour ces disciplines également, le nombre des pratiquants par encadrant devra être adapté en fonction de l'environnement et des compétences de chacun des participants.

### 16x 50m ou 16x 25m

Cette pratique nécessite une très bonne condition physique, car elle sollicite fortement le système cardio-vasculaire et ventilatoire du fait de l'effort intense fourni pour parcourir les distances mais aussi pour lutter contre la présence de CO<sub>2</sub> et la dette d'oxygène. Les plongeurs alternent successivement une tachycardie à chaque reprise ventilatoire, une bradycardie liée à l'immersion, une tachycardie liée à l'effort. Il semble donc opportun de

réserver cette discipline aux personnes ne présentant aucune pathologie cardiaque, respiratoire ou circulatoire. Par ailleurs, l'objectif étant de réaliser cette épreuve dans le temps le plus court possible les incidences musculaires et tendineuses liées à l'effort sont importantes et doivent être prises en compte. Dans tous les cas, l'avis d'un médecin sera nécessaire pour pratiquer ce type d'épreuve.

### **Le sprint 100 mètres**

Comme pour les 16 × 50, nous sommes ici sur une discipline qui mobilise très fortement le système cardio-vasculaire. Il est donc important que les publics qui pratiquent cette discipline possèdent une forme physique adaptée.

### **Le travail en verticalité**

Pour mémoire, plusieurs disciplines existent le poids constant avec ou sans palme, l'immersion libre, le poids variable, la gueuze lourde. Toutes ces disciplines sans exception présentent des risques complémentaires du fait de la profondeur et liés à l'adaptation physiologique, mais également la capacité et la rapidité d'intervention du staff en cas de difficulté. Les publics particulièrement émotifs, ou au comportement instable, aux réactions pas ou peu contrôlées devront évoluer dans des profondeurs réduites permettant une intervention rapide.

Idéalement, l'encadrant devra suivre son élève en apnée pour surveiller son comportement, rassurer et pouvoir intervenir immédiatement en cas de besoin. Par ailleurs, il serait illusoire de vouloir suivre un apnéiste en grande profondeur et d'être capable de lui porter secours. Il conviendrait donc de rester dans une profondeur <20 m. Au-delà, il faudrait prévoir des dispositifs de sécurité complémentaires.

## Immersion libre

Cette discipline qui consiste à se déhaler en utilisant les bras le long d'un câble est particulièrement propice au relâchement, à la détente, à la découverte de son corps de ses sensations. Le travail vertical sur un point d'appui permet également l'apprentissage de techniques de compensation par exemple en réduisant les risques barotraumatismes que du fait de l'appui.

Pour les paraplégiques elle permet une immersion sans l'aide d'un tiers, un contrôle de la vitesse de descente et une autonomie relative totale.

Pour les déficients visuels cette pratique permet de se repérer dans l'espace et de contrôler aussi bien sa descente que sa remontée, il est nécessaire d'installer sur la corde des repères permettant aux plongeurs de contrôler sa profondeur. Une technique simple consiste à ajouter des repères sur les cordes.

## Le poids constant

La pratique même du poids constant se veut que les sportifs se propulsent à la seule force des bras et/ou des jambes sans l'aide d'un appui. Cela limite donc l'accès à certains de nos plongeurs (lésés médullaires haut). Dans cette activité, l'apnéiste doit pouvoir gérer lui-même la propulsion, la verticalité et la compensation. Les blessés médullaires bas pourront tout à fait pratiquer cette discipline mais la profondeur devra être atteinte de manière progressive et limitée à la zone des 20 m afin de limiter les effets du Blood Shift.

Dans tous les cas, la sécurité doit être assurée avec un travail en binôme.

## Le poids variable

Cette discipline est particulièrement facile d'accès dès lors que la compensation est acquise, la descente se fait aisément, sans effort, par contre la remontée nécessite un travail musculaire du plongeur. Comme pour le constant cette activité reste accessible avec des aménagements liés à la propulsion.

Les encadrant devront être particulièrement vigilants sur :

- le fait que le pratiquant ne doit souffrir d'aucune problématique de compensation,
- faire enlever systématiquement les ceintures de plombs pour faciliter la remontée,
- prévoir une zone de sécurité en surface pour prévenir les risques de collision avec le bateau ou d'autres plongeurs,
- se méfier de la facilité de cet exercice pour lui-même et pour le plongeur
- n'évoluer qu'à une profondeur qu'il est capable de remonter sans difficulté, lui-même et avec son plongeur,
- maîtriser la vitesse de descente en adaptant le poids de façon progressive.

## La gueuze lourde

Elle consiste à descendre rapidement à l'aide d'un lest et à remonter aussi rapidement à l'aide d'un parachute gonflé d'air. Cette discipline est particulièrement ludique et procure aux pratiquants des sensations d'accélération importante. Les contraintes sont essentiellement liées à la compensation car aucun effort n'est à réaliser par le pratiquant.

En effet c'est le pilote de la gueuze qui se charge de l'ensemble des manœuvres. Comme pour la plongée en scaphandre une autonomie complète doit s'entendre « relative » car la présence d'un encadrant aux côtés du plongeur surtout sur ce type d'exercice est indispensable.

Comme pour le poids variable l'encadrant devra :

- interdire la pratique aux personnes rencontrant des difficultés de compensation
- faire plonger les pratiquants sans lest
- vérifier la zone de sécurité en surface
- vérifier l'état fonctionnel de la gueuze
- n'évoluer qu'à une profondeur adaptée aux plongeurs mais également sa capacité à remonter le plongeur sans difficulté.

### *L'organisation et la planification des entrainements*

Comme dans toute progression et préparation physique, il est nécessaire de planifier les cycles, les séances et séquences. Dans le cas du paraplégique, des précautions similaires à celles de la plongée sont à prendre en compte : l'intensité des entrainements, la sollicitation musculo-squelettique, les points d'appui, le froid, la récupération. La planification suivante est inspirée des programmes du site Apnée que j'utilise pour la construction de mes progressions

#### **Comment procéder ?** (exemple de préparation en piscine)

**Définir les dates clés.**

- ✓ Début du cours : septembre
- ✓ Fin du cours : mi-décembre
- ✓ Rythme : 1 cours par semaine de 1h30

**Établir la liste des points faibles et des points forts des participants.**

A titre d'exemple :

- ✓ Souplesse de la cage thoracique,
- ✓ Hydro dynamisme,
- ✓ Coordination,
- ✓ Efficacité de la propulsion,
- ✓ Efficacité de la compensation,
- ✓ Tolérance à l'hypoxie,
- ✓ Tolérance à l'hypercapnie,
- ✓ Efficacité de la ventilation et de l'utilisation des volumes pulmonaire,
- ✓ Relaxation mental et physique,
- ✓ Musculature pour la nage,
- ✓ Musculature pour la ventilation,

- ✓ Endurance et VO2 max,
- ✓ Utilisation du matériel,
- ✓ Contrôle du tonus musculaire,
- ✓ Résistance au stress et capacité à positiver,
- ✓ Perception du corps et de son environnement,
- ✓ Situation médicale, intervention à venir, contrainte temporelle, organisationnelle.

### Liste des principales capacités physiques et mentales à développer et retenues pour le cycle

Choix des axes :

- ✓ Souplesse de la cage thoracique
- ✓ Hydro dynamisme, coordination
- ✓ Efficacité de la propulsion
- ✓ Efficacité de la ventilation et de l'utilisation des volumes pulmonaires
- ✓ Tolérance à l'hypoxie
- ✓ Tolérance à l'hypercapnie
- ✓ Relaxation mental et physique

### Établir des objectifs

Objectifs globaux : les objectifs sont fixés par rapport au niveau de compétence actuel de chacun :

- ✓ Pour ceux qui réalisent entre 5 et 10 m, l'objectif est une amélioration de 25%
- ✓ Pour ceux qui réalisent entre 10 et 25m, l'objectif est une amélioration de 15%
- ✓ Pour ceux qui réalisent plus de 25 m, l'objectif est une amélioration de 10%

Les tests sont à faire au début et à la fin du cycle :

- ✓ Temps maximum en statique
- ✓ Temps maximum en dynamique
- ✓ Faire un maximum d'allers et de retours (sur une distance maîtrisée) en apnée en 8 minutes

### Définir les courbes de volume de travail global

Dans cet exemple le volume de travail global est imposé (1 séance par semaine). Ce rythme semaine ne nécessite pas de repos spécifique.

A sec :

- ✓ Souplesse de la cage thoracique : étirement spécifique
- ✓ Relaxation mentale et physique : relaxation sur un son, une image, une sensation, avec une histoire imaginaire, des associations d'idées et de souvenir

Technique :

- ✓ Hydro dynamisme, coordination : exercice de glisse, contrôle du lestage.
- ✓ Efficacité de la propulsion : technique de brasse, technique de virage,
- ✓ Efficacité de la ventilation et de l'utilisation des volumes pulmonaires : entrée et sortie de l'eau,

Spécifique :

- ✓ Tolérance à l'hypoxie : exercice de O2 dans l'eau et table pour la statique : STA O2, DYN O2
- ✓ Tolérance à l'hypercapnie : Exercice de CO2 dans l'eau : STA CO2, DYN CO2,
- ✓ Self : faire la distance maximum en apnée durant une durée donnée. La distance en apnée (5m, 10m... ou 50m) ainsi que le temps de récupération sont gérés par chacun, à son rythme (d'où le nom Self)

### Définir le contenu de la séance type (à sec et dans l'eau)

- ✓ Préparation à sec : Étirements, Respiration, Relaxation
- ✓ Techniques : Lestage, virages, glisse, brasse, sortie et entrée dans l'eau, mental et motivation
- ✓ Entraînement spécifique : Self, Statique CO2, Statique O2, DYN CO2, DYN O2, DYN lactique.

Pour planifier le contenu de chaque séance, il est possible de faire un tableau avec chacun des points à aborder. Les colonnes donnent les séances (ici une par semaine). Les lignes donnent les exercices à faire. Dans cet exemple la partie du bas donne les cumuls par semaine du travail fait en Hypoxie, hypercapnie et en lactique.

Exercices	Numeros de semaine												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Préparation à sec	Étirements	15			15			15					
	Respiration		15			15			15		10		10
	Relaxation			15			15			15		10	
Techniques :	Lestage	15											5
	palmage		15									10	
	virages			15							10		
	glisse				15					10			
	brasse					15			15				
	sortie et entrée mental et m						10						
Entraînement spécifique :	Self	10	10	10	10	15	15	15	15	20	20	15	10
	Statique CO2	10		10		10		5		5			
	Statique O2		10		10		10		10		10	10	10
	DNF CO2	20		20		15		5		5		5	
	DNF O2		5		5		10		15		20		10
	DYN CO2		25		25		15		5		5		5
Temps cumulés	DYN O2	10		10		10		20		20		20	20
	DYN lactique						5	5	5	5	5	10	10
	Total	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Temps cumulés	CO2	30	25	30	25	25	15	10	5	10	5	5	5
	O2	10	15	10	15	10	20	20	25	20	30	30	40
	Lactique	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	10	10

### Planification du contenu de chaque séance (exemple)

Semaine 1, le tableau indique :

- ✓ 15 minutes d'étirement
  - ✓ 15 minutes de travail de lestage
  - ✓ 10 minutes de self
  - ✓ 20 minutes de statique CO2
  - ✓ 20 minutes de DYN O2
- Cela peut donner :
- ✓ 15 m d'étirement sur la base du yoga en ciblant la cage thoracique (avec respiration et arrêt de 30s sur les positions).
  - ✓ 10 m de self. Dans cet exercice le para gère lui-même ses apnées (récupération, ventilation).
  - ✓ 15 m de travail de lestage avec des tests du lestage pour être neutre à mi profondeur, avec du plomb au cou, à la ceinture, poumons vides, poumons pleins. Le but est de bien faire sentir l'effet du lestage et d'aider les personnes à choisir le bon poids et le bon placement.
  - ✓ 20 minutes statiques CO2 : durant 10 minutes, faire des apnées à 60 % du max et travailler sur des séries à récupération fixe ou des pyramides de 30% à 70% du max en gardant des récupérations fixes égales à la durée de l'apnée.
  - ✓ 20 DYN O2 : 6 apnée de 75% du Max en DYN.

## Exemple d'exercices pour l'apnée statique :

Départ fixe : cet exercice consiste à faire un départ toutes les 6 minutes. On commence à faire sa statique, on sort par exemple à 1 minute, à la troisième minute et on recommence. Si l'exercice est fait sans trop d'efforts, mais de manière soutenue, progressivement on devrait augmenter son temps d'apnée. La durée de cet exercice est fixe. Elle est de 36 minutes. Cet exercice permet de s'entraîner avec des partenaires de niveaux différents.

Diminution des temps de récupération : cet exercice consiste à faire des apnées de durée constante, mais entre chaque apnée l'on diminue le temps de récupération. Par exemple, on part avec une apnée à 50 % de son maximum et avec trois minutes de récupération. L'apnée suivante est toujours à 50 % de son maximum, mais le temps de récupération sera seulement de 2 minutes 50. L'on fait ainsi huit séries.

Pour progresser sur cet exercice, la séance suivante, on fera la huitième série deux fois. Pour changer les objectifs, lors de la séance suivante, on partira avec un temps de récupération plus court (2 minutes 40 par exemple). Toujours pour changer les objectifs, lors de la séance suivante, on partira avec un temps d'apnée de 60 % de son maximum.

Augmentation du temps apnée : cet exercice consiste à faire des apnées consécutives dont la durée augmente progressivement. Le temps de récupération reste constant. Par exemple, on part avec une apnée de 1 minute 50 et une récupération de 2 minutes 45. L'apnée suivante sera de 2 minutes avec un temps de récupération de 2 minutes 45. On fait ainsi huit séries. Pour progresser sur cet exercice, lors de la séance suivante, on fera la huitième série deux fois de suite.

Pour changer les objectifs, lors de la séance suivante, on partira avec un temps d'apnée plus long. Toujours pour changer les objectifs, lors de la séance suivante, on partira avec un temps de récupération plus court.

Augmentation du temps d'apnée et diminution de temps de récupération : cet exercice est un mixte des deux précédents. Les objectifs et les variations sont sur le même principe que pour l'augmentation du temps d'apnée et la diminution des temps de récupération.

D'autres types d'exercices peuvent être pris en compte : apnée avec poumons pleins à 50 %, apnée poumons vides, apnée avec un temps de récupération fixe mais avec un maximum à chaque fois, apnée en expiration progressive.

Ces types d'exercices se basent sur l'adaptation de l'organisme. Pour bien fonctionner, le début d'exercice est facile, la fin de l'exercice doit être difficile. Changer ses objectifs à chaque séance permet de garder un certain niveau de motivation.

	Durée	Temps total écoulé
Apnée 1	2'00"	2'00"
Récup 1	2'30"	4'30"
Apnée 2	2'10"	6'40"
Récup 2	2'20"	9'00"
Apnée 3	2'20"	11'20"
Récup 3	2'10"	13'30"
Apnée 4	2'30"	16'00"
Récup 4	2'00"	18'00"
Apnée 5	2'40"	20'40"
Récup 5	1'50"	22'30"
Apnée 6	2'50"	25'20"
Récup 6	1'40"	27'00"
Apnée 7	3'00"	30'00"
Récup 7	1'30"	31'30"
Apnée 8	3'10"	34'40"

## Nouveaux cursus d'apnée de juin 2017

Depuis juin 2017, les cursus de formation en apnée au sein de la FFESSM ont évolué pour créer deux axes : l'un centré sur la piscine (horizontal) et l'autre centré sur le milieu naturel (plus vertical). Les performances attendues sont reprises dans les tableaux ci-après et pourraient au moins pour les premiers niveaux être accessibles à certains de nos plongeurs.

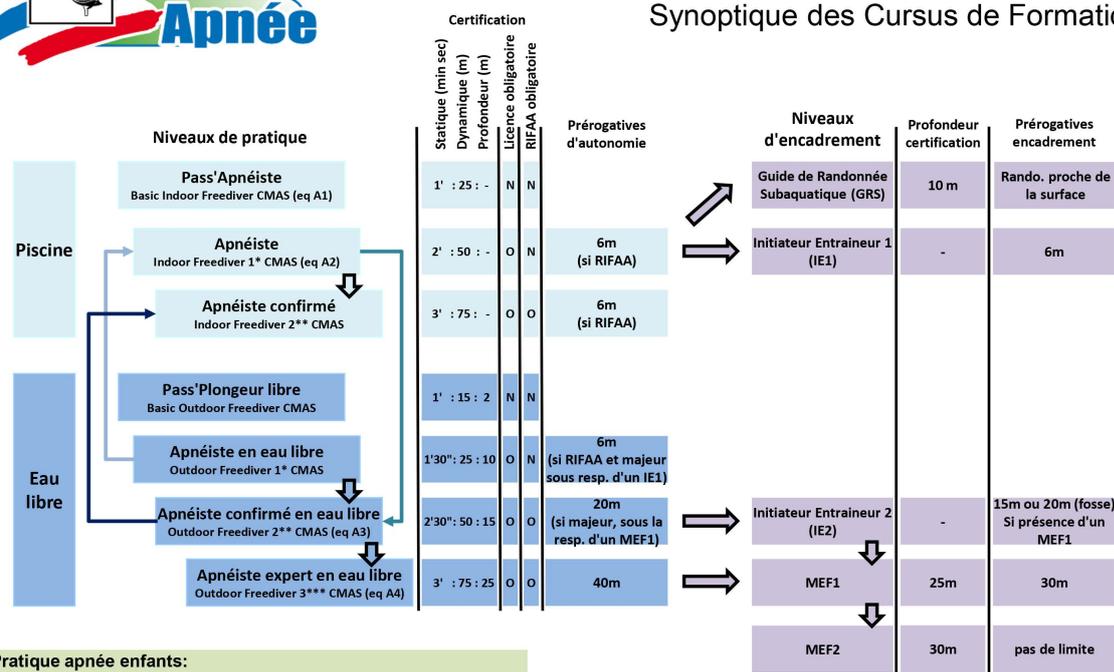
Concernant les plongeurs en situation de handicap, comme pour le scaphandre, la notion d'autonomie ne peut s'entendre qu' « accompagné par un encadrant ».

Par ailleurs, pour les personnes atteintes de trouble du comportement, les cursus indoor et outdoor « pass plongeur libre » peuvent être envisagés, l'accès à des profondeurs supérieures ne peut être envisagé qu'au cas par cas.

En outre il faut noter la création d'un titre professionnel ; le Brevet Professionnel sans scaphandre fruit du travail de longue haleine, de nombreux échanges, entre la FFESSM les organismes professionnels qui constitue en elle-même une très grande avancée de l'apnée au sein du Ministère des Sports pour organiser cette discipline.



Fédération Française d'Études et de Sports Sous-Marins  
**Commission Nationale Apnée**  
 Synoptique des Cursus de Formation



**Pratique apnée enfants:**  
 < 8 ans : limitation égale à l'âge divisé par 2.  
 8-11 ans inclus : limitation à 10 m.  
 12-13 ans inclus : limitation à 15 m.  
 14 -15 ans inclus : limitation à 20 m.  
 ≥16 ans : profondeur limitée en fonction des prérogatives fédérales

Les flèches indiquent la possibilité d'accès à un autre brevet  
 eq : équivalences avec les anciens brevets

Attention seule la dernière version du MFA (Manuel de Formation Apnée) fait foi

V4.2 aout 2017

# Cursus APNÉE FFESSM-CMAS 2017

## Piscine

## Milieu naturel

### Autre Type de Participation (ATP)

Pas de licence, pas de certificat médical, 4 séances



#### PASS'APNEISTE

Statique : 1 min  
Dynamique : 25 m

Piscine

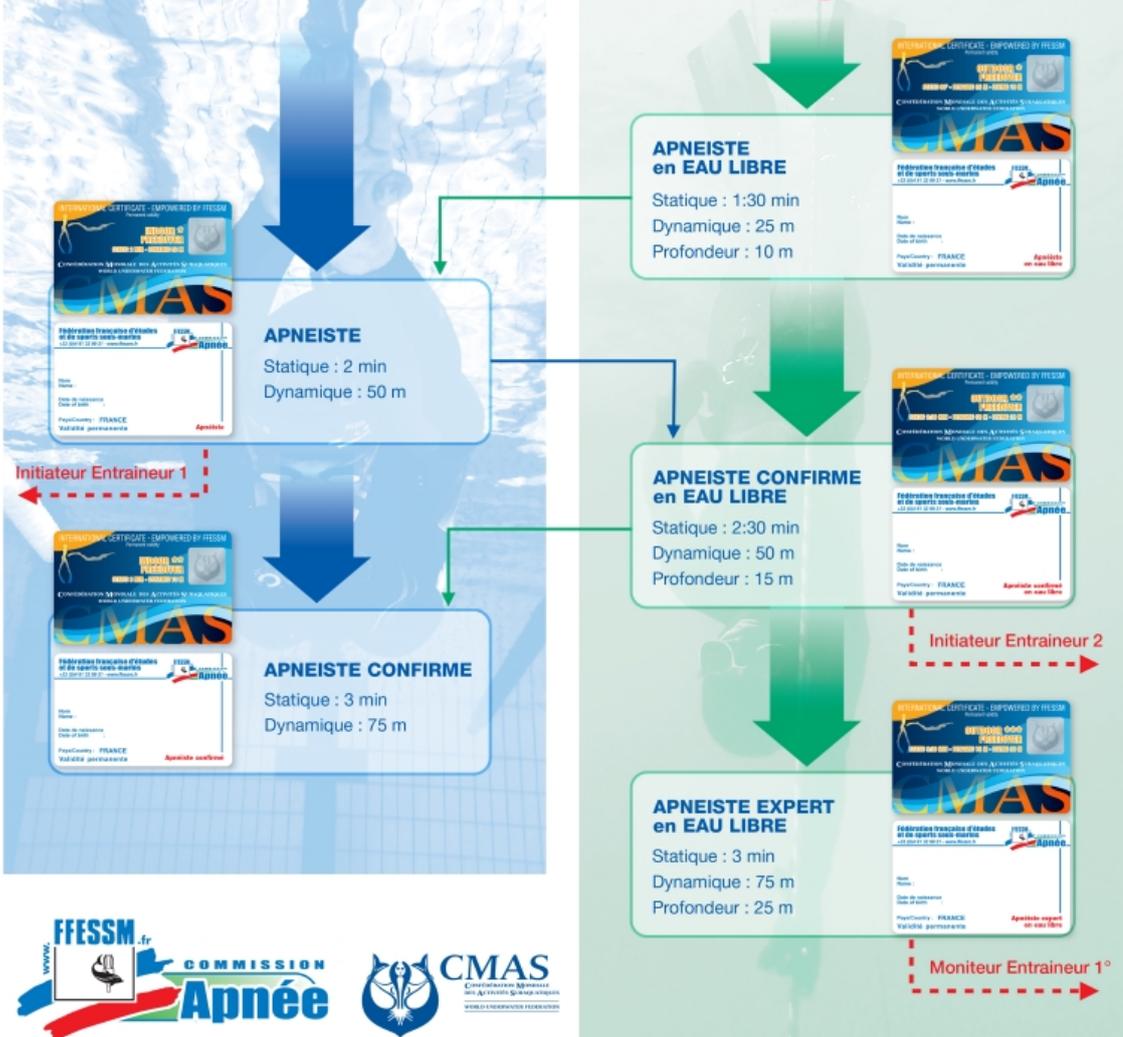


#### PASS'PLONGEUR LIBRE

Statique : 1 min  
Dynamique : 15 m  
Profondeur : 2 m

Milieu naturel

### Licence FFESSM et certificat médical obligatoire



Crédits : D'après FFESSM - Photos : O. Fofor



## Conclusion

En comparant la pratique du scaphandre et de l'apnée, il m'apparaît que l'apnée sollicite moins notre organisme que le scaphandre. Les contraintes de matériel sont moindres ce qui limite les sollicitations musculo-squelettiques également. Les gradients de pression et les durées d'immersion étant faibles, ils effacent quasiment la problématique de la saturation des tissus et donc les potentiels accidents liés à l'azote. Pour la toxicité des gaz, les risques liés à l'hyperoxie, le CO et le N<sub>2</sub> (narcose) sont absents, néanmoins il subsiste les risques liés à l'hypoxie et l'hypercapnie (syncope). Les barotraumatismes sont plus sensibles pour la sphère ORL du fait de la répétition des descentes, mais de gravité moindre. La surpression pulmonaire est inexistante. En apnée comme en plongée scaphandre, les risques augmentent avec la profondeur et la recherche de « performance ». La pratique de l'apnée loisir encadrée par des personnes formées, limite les risques.

Nous faisons tous de l'apnée, dans notre vie quotidienne, les personnes en situation de handicap également. Dans notre pratique en scaphandre nous réalisons fréquemment des apnées et demandons du reste à nos plongeurs en scaphandre de le faire dans différents exercices (LRE, panne d'air..). L'apnée peut même apporter un certain plaisir du fait de la décontraction qu'elle apporte, du lâcher prise qu'elle nous entraîne à faire, de la liberté qu'elle nous offre. L'apnée n'est donc pas un danger en soi, ce qui est dangereux dans la pratique de l'apnée c'est la performance et la compétition qui y sont associées. Pour autant il est impossible de supprimer le besoin de dépassement et les défis que chacun se fixe dans la pratique de ces activités.

Les personnes en situation de handicap pour la plupart d'entre elles, dans leur quotidien et leurs activités professionnelles se définissent des objectifs permettant de repousser un peu plus loin les limites de leur autonomie. Comment pourrait-il en être différemment dans la pratique de l'apnée ?

Comme pour la plongée en scaphandre, les encadrants doivent pouvoir apporter les éléments de connaissance, les compétences et les savoirs être permettant aux plongeurs d'évoluer en conscience dans les différentes disciplines. Pour autant l'encadrant de plongeurs en situation de handicap lors de la pratique de l'apnée et cela comme en bouteille, doivent garder à l'esprit que le plongeur dont il a la responsabilité restera toujours un plongeur encadré.

L'encadrement de public en situation de handicap en plongée scaphandre implique une bonne condition physique et un bon niveau technique. Il en est de même pour l'encadrement de l'apnée qui nécessite de l'enseignant une bonne condition physique et une excellente technique individuelle lui permettant d'intervenir en cas de difficulté d'un pratiquant. Dans le cadre de la pratique avec des personnes en situation de handicap, l'encadrant devra la plus part du temps accompagner le pratiquant pour chacune de ses immersions ; ce qui nécessitera une condition physique importante et d'évoluer dans sa zone de confort pour conserver suffisamment de ressources et faire face à toute situation.

Par ailleurs, les pathologies des plongeurs pouvant être multiples il est indispensable que la pratique de l'apnée soit soumise au préalable à l'avis d'un médecin disposant les éléments précis de ou des pratiques envisagées. Par ailleurs nous disposons de peu d'étude sur les incidences de l'apnée sur les porteurs de handicap, ce qui conduit à la plus grande prudence dans les exercices et les progressions que nous pouvons envisager avec nos plongeurs. Le

lien entre le pratiquant, « l'entraîneur », le ou les médecins référents du plongeur me semble indispensables.

Sur le territoire, des clubs ont déjà développé la pratique de l'apnée Handi et détiennent une expérience qui serait utile de centraliser et de mutualiser pour faire un état des lieux des observations sur les pratiques et leurs limites. Par ailleurs envisager la création d'un protocole national de suivi de plongeurs volontaires accompagnés d'un encadrant et d'un médecin serait sans doute un axe permettant de préciser les marges d'évolution des plongeurs dans cette discipline.

Cette approche aurait sans doute éclairée de manière plus pragmatique mon raisonnement et le contenu de ce document.

J'espère que ce document ouvrira des perspectives pour l'accès des plongeurs en situation de handicap à ces disciplines.

La question du rattachement des plongeurs en situation de handicap à la commission technique reste par ailleurs posée et nécessite un positionnement national sur l'ouverture des commissions à l'ensemble des publics.

## Bibliographie et références

- ✓ L'apnée de la théorie à la pratique : Frédéric Lemaître édition université de Rouen et du Havre
- ✓ Profondeur : Guillaume NERY édition Arthaud
- ✓ La plongée en apnée : Physiologie et médecine. J.H.CORRIOL. Ed MASSON.
- ✓ Apnée de l'initiation à la performance. U.PELIZZARI & S.TOVAGLIERI. Ed AMPHORA.
- ✓ Plongée, Santé, Sécurité : des docteurs FRUCTUS & SCIARLI. (éditions d'outremer)
- ✓ Conférence de Frédéric Lemaître : « les journées d'apnée » avril 2008
- ✓ Adaptation physiologique et réponse physiopathologique du système cardio-respiratoire à la plongée : DR Étienne ROUX
- ✓ L'enseignement de l'apnée dans le cadre de la plongée en scaphandre (mémoires d'instructeurs régionale) Anne CORBE 2009
- ✓ La sécurité en apnée : Jean Marie Knecht, D Gérard, F.Fevre
- ✓ La syncope hypoxique en apnée sportive pèse du DR Anouck DEMATTEO
- ✓ Les œdèmes pulmonaires d'immersion : Dr Cyril D' ANDREAS 2007
- ✓ Apnée sportive : influence des techniques de compensation sur la bradycardie d'immersion ; thèse Dr Christophe Montiel 2006
- ✓ La plongée en apnée de l'information à la prévention des risques : mémoires Dr Florent Bonnet 2013
- ✓ Handicap et plongé : mémoire Dr Yann ENGELBERT 2009
- ✓ Dossier paraplégie : coordonnées par Laurence MAIHAN revue de neurologie novembre 2002
- ✓ Lésion médullaire traumatique et médicale Dr Jean-François DESSERT
- ✓ Modification de la fonction cardio-circulatoire induite par l'exercice immergé Thèse DR Karine AYME
- ✓ Les effets de l'hypoxie chez le sujet sain Thèse Guillaume Costalat 2015
- ✓ Physiologie et physiopathologie Dr Philippe Vigouroux

## Abréviations

- ✓ AIDA : Association Internationale pour le Développement de l'Apnée
- ✓ CMAS : Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques
- ✓ CNA : Commission Nationale d'Apnée
- ✓ CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone
- ✓ FFESSM : Fédération Française d'Etude et de Sports Sous-Marins
- ✓ IE1 : Initiateur Entraîneur du 1er Degré
- ✓ IE2 : Initiateur Entraîneur du 2ème Degré
- ✓ MEF1 : Moniteur Entraîneur Fédéral du 1er Degré
- ✓ MEF2 : Moniteur Entraîneur Fédéral du 2ème Degré
- O<sub>2</sub> : Oxygène
- ✓ PCM : Perte de contrôle moteur PaO<sub>2</sub> : Pression artérielle en oxygène
- ✓ PAO<sub>2</sub> : Pression alvéolaire en oxygène
- ✓ PO<sub>2</sub> : Pression partielle en oxygène
- ✓ PaCO<sub>2</sub> : Pression artérielle en dioxyde de carbone
- ✓ PACO<sub>2</sub> : Pression alvéolaire en dioxyde de carbone
- ✓ PCO<sub>2</sub> : Pression partielle en dioxyde de carbone