

L'ENSEIGNEMENT DE L'APNEE DANS LE CURSUS PLONGEE SCAPHANDRE

Etat des lieux, outils et perspectives

Mémoire d'Instructeur Régional

Commission Technique Régionale Ile-de-France

Juin 2021



Stéphane DESJARDINS

Remerciements :

Les parcours de vie sont les conséquences de rencontres, d'amitiés et de hasard...

Mon inscription au club de plongée de l'AS Diderot 12 plongée en septembre 1999, en est l'illustration, elle est le fruit d'une rencontre à l'UCPA sur un stage en eau vive d'un futur pote (José) qui cherchait désespérément un binôme pour s'inscrire à la plongée. 22 Ans plus tard, je le remercie car son idée et son insistance ont sans doute énormément influé sur ma vie. Avec la plongée, je me suis découvert un goût pour l'enseignement, la pédagogie, un besoin de partage, que l'étudiant parisien préoccupé avant tout par son avenir et ses partiels n'avait pas encore envisagé.

Je remercie l'ensemble des moniteurs qui m'ont accompagné durant ces 22 dernières années que ce soit en plongée ou en apnée et notamment Bernard (MF1, cofondateur du club AS DIDEROT 12 plongée) pour son partage, ses conseils, et les discussions pédagogiques que nous avons pu avoir.

Je tiens aussi à remercier Francis Merlo ainsi que toutes les personnes qui participent à l'activité de la FFESSM et favorisent le développement de la plongée que ce soit au niveau département, régional ou national. Leur investissement est souvent peu connu par le plongeur lambda mais leur temps et leur énergie sont indispensables à notre activité.

Je tiens à remercier les personnes qui m'ont accompagné dans la rédaction de ce document mes tuteurs Dominique Romand et Patrick Savourey, ainsi que les différents instructeurs qui m'ont aidé à la rédaction de ce document et qui m'ont apporté leurs conseils et leurs encouragements. Merci également à Renaud pour sa patience et sa compréhension...

Enfin je tiens particulièrement à remercier Sophie, et Christophe pour leur soutien, leurs conseils avisés et toujours bienveillants et leurs amitiés depuis notre rencontre au CODEP PARIS.

Table des matières

Résumé	4
Introduction	7
L'apnée au sein du cursus de plongée FFESSM	8
I. Evolution de la place de l'apnée dans le cursus de plongée au cours du temps	8
1) Historique de l'apnée dans le cursus technique.....	8
2) La place de l'apnée dans le cursus FFESSM en 2020	9
a) Pour le plongeur	9
b) Pour l'encadrant	11
c) Dans le cursus «Enfant et Jeune »	12
II. Etude sur les compétences d'apnée chez les plongeurs scaphandre	15
1) Moyens	15
2) Résultats	15
3) Conclusion.....	16
La physiologie de la ventilation et de l'apnée	17
I. Anatomie l'appareil ventilatoire	17
II. La ventilation	19
1) Les mouvements ventilatoires.....	20
a) L'inspiration :	20
b) L'expiration	20
c) Le cycle ventilatoire :	21
d) Le contrôle du cycle ventilatoire :.....	22
III. Les modifications physiologiques lors de l'apnée en immersion	24
1) Diminution des volumes pulmonaires lors de l'immersion :	24
2) Echanges respiratoires pendant l'apnée en immersion	24
3) Le Diving-reflex	25
a) Bradycardie lors des apnées	25
b) La vasoconstriction périphérique et baisse du débit cardiaque.....	25
c) La contraction de la rate ou contraction splénique.....	26
4) Les effets de la profondeur.....	26
5) Les effets à la remontée	27
6) Discussion	28
Les accidents de l'apnée	29
I. La perte de contrôle moteur (PCM) et la syncope anoxique	29
II. L'Œdème pulmonaire d'immersion (OPI)	32

III. Les autres accidents de l'apnée	38
1) Perte de connaissance d'origine cardio-vasculaire.....	38
2) Les accidents communs à la plongée scaphandre.....	38
L'entraînement et le travail technique en apnée	40
I. Les principes de l'entraînement en apnée	40
1) Amélioration de l'utilisation des volumes pulmonaires.....	40
2) Développement de la résistance à l'hypercapnie.....	41
3) Potentialisation des filières énergétiques et diminution de la production de CO ₂	41
4) Diminution de la sensibilité à la baisse de la PO ₂	42
5) La progression dans l'entraînement à l'apnée.....	42
II. Entraînement aux épreuves de sauvetage	43
III. Entraînement aux épreuves d'apnée verticale	45
IV. Le travail technique	45
V. L'échauffement	50
1) Echauffement physique.....	50
2) Echauffement à l'apnée et à la compensation.....	50
3) Une phase de récupération.....	51
Propositions sur l'enseignement de l'apnée en plongée scaphandre	52
I. Proposition d'un cursus apnée du N1 au N3 technique (annexe 3)	52
II. Proposition d'un cursus apnée du GP-N4 au MF2 technique	53
1) Le contenu.....	53
2) Le secourisme en apnée.....	53
3) La formation optionnelle par la commission apnée.....	54
4) Réflexions sur l'évaluation des épreuves d'apnée verticale.....	54
III. Réflexions sur l'organisation d'un atelier d'apnée dans le cadre de la plongée technique	55
1) Le sauvetage en apnée.....	55
2) Maintien d'une zone de sécurité.....	57
3) Limitation du fond.....	58
4) Organisation d'un atelier d'apnée.....	58
Conclusion :.....	59
Annexes	60
Tables des illustrations et tableaux :.....	67
Bibliographie	67

Résumé

La plongée scaphandre a été pratiquée à ses débuts par des passionnés de la mer et souvent aussi apnéistes ou chasseurs sous-marins. L'apnée a été très logiquement intégrée dans le cursus du plongeur, notamment pour les niveaux d'encadrement. L'analyse des différents référentiels au cours du temps, montre que le cursus de la pratique de l'apnée a peu évolué et notamment les attendus sont restés des éléments de profondeurs ou de temps d'apnée. A la différence des techniques de plongées scaphandre, la lecture des référentiels ne permet pas de dégager une progressivité ni les compétences spécifiques à l'apnée (position, protocole de préparation, de sortie d'apnée...) qui pourraient aider le moniteur à construire son cours et sa progression. Enfin la lecture au cours du temps des différentes versions du MFT semble montrer une difficulté de positionnement de l'enseignement de l'apnée dans le cursus du plongeur.

Pourtant, lorsqu'on interroge un panel de plongeurs scaphandre du débutant au moniteur, il ressort que le plongeur est attiré par cette pratique (80% des pratiquants souhaitent pratiquer plus d'apnée) mais 27% ne s'estiment pas suffisamment à l'aise en apnée ce qui démontre sans doute un manque dans la formation et la pratique durant la formation du plongeur. Parmi les moniteurs ou GP-N4, il ressort une pratique insuffisante de l'apnée pour la préparation les examens, ainsi seulement 51% des candidats GP-N4 avaient pratiqué occasionnellement l'apnée en milieu naturel (1 à 3 fois) avant l'examen du GP-N4 et 17% n'avaient jamais pratiqué en milieu naturel. Chez les moniteurs, 63% considèrent ne pas avoir assez de contenu pour enseigner correctement l'apnée. L'intérêt de la pratique de l'apnée pour la formation du cursus technique est aussi discuté par 15% des moniteurs interrogés et 63% se contentent des attendus du MF1.

Enfin, 41% des moniteurs interrogés ont été formés à la pratique de l'apnée par des moniteurs de la commission apnée et 50% ont ressenti la nécessité de passer la passerelle facultative d'apnée. Ceci montre un intéressant échange entre les commissions de la FFESSM mais aussi un manque dans le contenu du cursus plongeur pour l'enseignement de la pratique de l'apnée.

Au niveau physiologique, il existe peu de données sur l'adaptation de l'organisme à l'immersion, l'hyperbarie et l'hyperoxie. Cependant, il est hautement probable que des modifications de réponses existent. Les études sur l'apnée montrent que la pratique de l'apnée va permettre une adaptation et une meilleure tolérance à l'activité en hyperbarie. Il a été montré, que la bradycardie s'accompagne d'extrasystoles ventriculaires et supraventriculaires chez les sujets sains débutants, alors que ces manifestations ne surviennent pas chez les apnéistes experts. Le développement d'une acclimatation aux conditions rencontrées en plongée implique que les contraintes physiologiques ne sont pas « gérées » de la même manière chez les sujets habitués et chez ceux qui débutent. La tolérance des contraintes en deçà des risques accidentogènes est vraisemblablement plus grande chez les sujets très habitués, bien accoutumés aux contraintes. De nombreuses contraintes physiologiques sont communes entre la plongée en apnée et la plongée en

scaphandre, il est donc probable que l'entraînement en apnée peut permettre aussi de prévenir les accidents du plongeur scaphandre en développant des mécanismes d'adaptation et d'accoutumance. Le gain potentiel, pour la prévention des accidents de plongeur, d'un entraînement en apnée est donc un argument supplémentaire de maintenir l'enseignement de l'apnée dans le cursus du plongeur scaphandre.

L'apnée comme toute discipline doit être travaillée avec progressivité et en développant dès l'initiation des compétences techniques. Dans le MFT, il n'y a pas ou peu de notions de compétences techniques liées à l'apnée comme la bonne prise d'air, la bonne reprise ventilatoire ou le positionnement du corps lors de l'apnée. Ce travail est pourtant fondamental notamment pour le plongeur car il va permettre d'atteindre facilement les niveaux d'exigences de temps ou de profondeur demandés par le MFT.

De même, l'absence de progression n'aide pas l'apprentissage ainsi le moniteur prendra soin de :

- Mettre en place les fondamentaux techniques : prise ventilatoire complète, bonne reprise ventilatoire et positionnement du buste et de la tête lors des apnées.
- Construire des séances d'entraînement essentiellement axées sur la technique et sur la réalisation d'apnée en hypercapnie afin de minimiser les risques d'accident et de favoriser les adaptations physiologiques qui pourront être utiles en plongée scaphandre.
- Construire une progression dans ces ateliers et aussi entre les niveaux.

Une progression pourrait être :

- Niveau 1 :
 - Apprentissage des gestes de sécurité liés à la ventilation avant et après l'apnée
 - Apprentissage de la ventilation ventrale,
 - Initiation aux accidents spécifiques et à leur prévention afin de faire adhérer les pratiquants au bon geste de préparation à l'apnée et au protocole de sécurité.

L'objectif pourra être l'autonomie dans la préparation avec une recherche de relâchement sur des petites apnées de 10m sur un fond entre 1 et 3m.

- Niveau 2 :
 - Perfectionnement des éléments vus au niveau 1
 - Recherche d'un relâchement en apnée sur 20-25 m de distance : capacité d'enchaînement avec un temps de récupération de 1min par exemple,
 - Travail des techniques d'immersion tel que le canard et le bon positionnement en apnée verticale (pas d'hyperextension de la tête, relâchement des épaules).
 - Notions de sauvetage et de binôme

L'objectif pourra être de pouvoir réaliser des petites apnées verticales sur 3-4 m avec parcours dynamique de 5 à 10 m ou des apnées dynamiques horizontales de 20m.

- Niveau 3 :
 - Consolider des acquis des niveaux précédents.
 - Perfectionnement des techniques d'immersion dans un souci d'économie d'énergie et de conservation du relâchement indispensables pour améliorer les apnées, et plus particulièrement les apnées verticales.

L'évaluation pourra être l'épreuve actuelle : être capable de faire une apnée dynamique de 15 m sur un fond de 5m en gardant un relâchement durant l'apnée. La sortie d'eau doit être calme et avec le respect du protocole de sécurité.

- GP-N4 et MF2 : le contenu actuel semble adapté et en rapport aux futures prérogatives. Les difficultés rencontrées actuelles chez les candidats sont sans doute dues au manque de pratique dans les niveaux inférieurs. Si on introduit plus de progressivité l'acquisition des 10 ou 15 m de profondeurs ne devraient pas poser de problème avec un entraînement *a minima*.

Enfin, l'enseignement de l'apnée ne pouvant se concevoir sans prise en compte des risques des accidents spécifiques de l'apnée que sont la syncope et la perte de contrôle moteur. Il serait souhaitable que ces risques soient enseignés avant le GP-N4. Le E1 pouvant potentiellement faire pratiquer des séances d'apnée dans le cadre de la formation des futurs plongeurs, il est important que ces notions d'accidents d'apnée soit acquis dès le niveau 2.

Le moniteur, étant le garant de la sécurité de ces élèves, devrait aussi se former aux bases du secourisme en apnée en participant à une formation RIFAA en complément de son RIFAP. Il devra aussi mettre en place des ateliers prenant en compte les risques spécifiques avec des points d'appui, des surveillances rapprochées et des binômes de sécurité à l'eau prêt à intervenir. L'ensemble de ces notions ne sont pas réellement abordées dans le cursus du moniteur, mais peuvent être facilement intégrer lors d'une formation complémentaire ou d'un RIFAA

En conclusion, l'apnée est une activité en pleine essor, qui intéresse de plus en plus nos pratiquants plongeurs, et qui peut avoir un intérêt dans le développement des compétences en lien avec la plongée scaphandre. Le moniteur de plongée doit pouvoir répondre aux attentes des pratiquants qui souhaitent être initiés à la pratique de la plongée libre sans pour autant pratiquer l'apnée sportive avec des objectifs de performances ou de compétition. Pour cela, le moniteur peut se former auprès de la commission apnée de notre fédération. Il pourra aussi se reposer sur des éléments de ce document mais qui ne pourront remplacer une formation pratique. Idéalement, il serait utile que le contenu du MFT concernant l'apnée soit revu afin d'y introduire les éléments fondamentaux de préparation, et de sécurité et de proposer une véritable progression au cours du cursus du plongeur.

Introduction

Une large majorité des licenciés de la FFESSM pratique la plongée scaphandre en tant qu'activité principale mais la FFESSM propose aussi d'autres activités en lien avec le milieu subaquatique comme l'apnée, le hockey subaquatique, la nage avec palmes...

Ainsi, depuis 2004, il existe une commission d'apnée au sein de la FFESSM qui a permis de développer l'apnée sportive de façon spectaculaire avec de nombreux résultats dans les compétitions nationales et internationales, la création de niveaux d'apnéistes et de cadres à l'image de la commission technique. L'apnée se développe d'ailleurs beaucoup au sein de nos clubs fédéraux avec des séances dédiées animées et encadrées par des cadres de la commission apnée.

Historiquement, l'apnée a toujours fait partie du cursus du plongeur scaphandre et son enseignement en lien avec la plongée reste dans les prérogatives des cadres techniques. L'apnée est parfaitement complémentaire à l'enseignement des gestes techniques chez le plongeur afin de le préparer à l'ensemble des situations envisageables en plongée. Il est donc important que cet enseignement et cette activité perdurent dans le cursus de plongée. Cependant l'évolution des référentiels de plongée semble montrer une difficulté de positionnement de cet enseignement dans le cursus de plongée et un manque de contenu pour les futurs cadres pour son enseignement. De plus en plus de plongeurs ou de cadres techniques complètent leur formation de plongeurs en lien avec la commission apnée. Cette démarche est parfaitement louable mais elle ne devrait pas se justifier par un manque au niveau du cursus du plongeur mais par une recherche de complément et d'expertise.

Il est donc important si on considère que l'apnée doit bien faire partie des compétences à développer chez un plongeur scaphandre que le cursus proposé durant sa formation intègre des éléments clefs de l'apnée qui permettent au pratiquant de progresser en sécurité et aux cadres de développer leur enseignement en prenant en compte les particularités de l'apnée et notamment la prévention des accidents spécifiques que sont la syncope et la perte de contrôle moteur.

L'apnée au sein du cursus de plongée FFESSM

La place de l'apnée dans le cursus du plongeur a beaucoup évolué au cours du temps, malheureusement le plus souvent nous pouvons observer un allègement de cet enseignement. L'allègement des performances demandées peut se comprendre pour un plongeur scaphandre cependant l'ensemble des savoir et savoir être de l'apnéiste devrait continué à être enseigné. D'autant plus que le plongeur est aussi éventuellement un futur cadre, les enseignements en apnée que ce futur cadre n'a pas reçu, impacteront évidemment sa capacité à terme à mettre en place ces enseignements vers ces futurs élèves.

I. Evolution de la place de l'apnée dans le cursus de plongée au cours du temps

A la lecture des différents manuels de formation technique. Nous observons que l'apnée a toujours été présente dans le cursus fédéral que ce soit au niveau pratiquant ou au niveau encadrement.

1) Historique de l'apnée dans le cursus technique

Ainsi en 1968, dans le fascicule de la CNEP (commission nationale d'enseignement de la plongée) qui est l'ancêtre de notre manuel de formation technique (MFT) nous pouvons retrouver des épreuves d'apnée dans les attendus de différents niveaux :

- des apnées sollicitant plus particulièrement la capacité de récupération et la capacité à supporter l'hypercapnie.
- Des apnées verticales avec acquisition progressive de la profondeur au cours du cursus du plongeur.

1 ^{er} échelon	2 ^{ème} échelon	Monitorat national
	2 apnées de 20 s avec 10 s de récupération entre les 2 apnées	3 apnées successives de 20 s avec récupération de 10 s.
Apnée verticale à 5 m	Apnée verticale de 10 m	Apnée verticale de 15m

Tableau 1 : épreuves d'apnée Fascicule plongée (1968)

De même, dans le MFT (manuel de formation technique), 2 types d'apnée sont développées sur le cursus du plongeur (Tableau 2) :

- Des épreuves en lien avec le développement de la ventilation et la gestion des situations de stress ventilatoire (panne d'air, échange d'embout, essoufflement) ;
- Des épreuves en lien avec l'apnée verticale.

Cependant, l'observation de l'évolution dans le temps des attendus montre :

- Une quasi disparition de la notion d'apnée dans le MFT plongeur entre 2016 et 2019 ;

- Des épreuves d'apnée qui évoluent en fonction des versions du MFT comme par exemple l'épreuve d'apnée au niveau 2 en 2011 qui disparaît en 2019 alors qu'apparaît une épreuve quasiment équivalente au niveau 3 ;
- Peu d'évolution pour les épreuves GP-N4 et MF2.

L'analyse de cet historique montre donc un positionnement parfois difficile de l'apnée pour les rédacteurs du MFT jusqu'à une remise en question de la place de l'apnée dans le cursus du plongeur. Il est remarquable aussi que les éléments d'enseignement (limites, prérequis, progression) ne sont pas notifiés dans le cursus. Il est difficile de déceler une véritable progression entre les niveaux de plongeurs concernant la pratique de l'apnée. La tendance semble aller vers un allègement pour le cursus plongeur alors que les épreuves d'apnée pour les cadres restent les mêmes.

2) La place de l'apnée dans le cursus FFESSM en 2020

Bien que des modifications de positionnement et d'exigence concernant l'apnée sont observées en fonction des époques, l'apnée reste enseignée dans le cursus plongeur. Chez le plongeur, l'apnée sera un outil pour préparer le futur pratiquant aux différentes situations qu'il pourra rencontrer alors que pour le cadre, l'apnée sera travaillée en tant que telle notamment en apnée verticale.

a) Pour le plongeur

Chez le plongeur, l'apnée va permettre de développer une capacité de maîtrise de la ventilation qui sera utile dans des situations comme la panne d'air, le vidage de masque et au développement de la ventilation en immersion (Tableau 3).

Ainsi :

- Dans le niveau 1, il est noté dans la compétence « Evoluer dans l'eau-se ventiler » la notion de « Réalisation d'une apnée (profondeur et distance modérées) » dans le paragraphe « Lâcher et reprise d'embout ». On peut donc interpréter cette notion d'apnée uniquement dans le cadre de la ventilation sur embout et la capacité à faire un lâcher-reprise d'embout (LRE) ou une panne d'air.
- Dans le niveau 3 : la notion d'apnée est notée dans la compétence « Intervenir et porter assistance à un plongeur en difficulté » dans le paragraphe « capacités physiques sont développées pour répondre aux exigences de la plongée profonde ». Elles sont évaluées par une apnée (immersion PMT à 5 m suivie d'un déplacement horizontal de 15 m, retour en surface avec tour d'horizon et signe OK en surface ») et une nage capelée. L'apnée est donc présente dans un objectif de capacité de

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	MF1	MF2
1989	Apnée entre 3 et 5m	Descendre à 5 m et parcours de 10m	-	10m en apnée verticale		
1998	Initiation à l'apnée Petite distance sur un fond de faible profondeur	Déplacement horizontal en apnée inspiratoire et expiratoire Une dizaine de mètres		10m en apnée verticale 2 tentatives possibles		
2011	Initiation à l'apnée Performances minimales d'apnée en vue de la sécurité du plongeur qui subirait une panne d'air Petite distance sur un fond de faible profondeur	Déplacements en apnée. Apnée inspiratoire ; apnée expiratoire Capacité qui doit être vérifiée pour des déplacements horizontaux d'une dizaine de mètres, en libre (recherche dans la zone 0-6 m)		10 m en apnée verticale		15 m en apnée verticale
2016	-	-		10m en apnée verticale Une seule tentative		
2019	Réalisation d'une apnée (profondeur et distance modérées).	-	Immersion PMT à 5 m suivi d'un déplacement horizontal de 15 m, retour en surface avec tour d'horizon et signe OK en surface,	10m en apnée verticale Une seule tentative		

Tableau 2 : compétences d'apnée dans le cursus plongeur dans les différents MFT de 1989 à 2020

développer des adaptations physiologiques et des capacités de maîtrise ventilatoire qui seront utiles en profondeur. Cependant, hormis la description de l'épreuve, peu d'informations sont données pour y parvenir.

Cette lecture du cursus fédéral permet de constater un manque de progressivité concernant les compétences d'apnée dans le cursus du plongeur. Alors que l'épreuve du niveau 3 est relativement exigeante en termes de capacités d'apnée verticale et horizontale, il n'y a pas référence à de l'apnée dans le cursus du niveau 2 et pour le niveau 1, le travail sur l'apnée est très modeste.

Les notions de préparation, de protocole de sortie ne sont pas enseignées ou en tout cas ne sont pas précisées dans le MFT comme des éléments importants à travailler, alors que cela devrait être la base de l'apprentissage notamment pour les capacités d'apnée ciblées. Le moniteur manque de contenu, et de progression. Enfin, les notions théoriques sur l'apnée ne sont pas notées comme un contenu à aborder dans le cursus plongeur alors que les candidat N3 vont devoir faire une apnée qui va nécessiter un entraînement et donc des notions théoriques pourraient être utiles pour la prévention des accidents et faciliter la performance.

Cet état de chose explique sans doute les difficultés que vont rencontrer les futurs cadres lors de leur formation GP-N4 et MF2, la base n'ayant pas été développée durant le cursus de plongeur.

b) Pour l'encadrant

L'apnée intervient dans le cursus des cadres dans 2 situations (Tableau 4) :

- Une épreuve d'apnée verticale à 10 ou 15m qui permet de « démontrer une capacité minimale à l'apnée »
- Une épreuve de mannequin qui nécessite de :
 - Faire une apnée de 20 secondes puis après récupération de 10 sec de retourner chercher le mannequin à 5m (E1/E2) ;
 - Ou descendre directement à 10 m chercher le mannequin (MF2) après un parcours de nage.

Ces épreuves d'apnée sont relativement exigeantes et demandent un réel entraînement, or comme nous avons pu le voir dans le cursus plongeur, la progression vers l'acquisition de ces capacités n'est pas présente. A titre de comparaison, on peut noter que l'épreuve d'apnée à 15m était il y a encore peu une des épreuves pour l'ancien niveau apnéiste A3 qui permettait d'acquérir l'autonomie en apnée à 20m. Cette mise en perspective doit nous interroger sur les compétences à développer chez nos plongeurs. Il ne s'agit pas seulement de descendre à 10 ou 15 m mais de réellement développer chez les plongeurs des capacités d'apnée et notamment sur la préparation ou le comportement pour éviter tout incident ou accident.

L'apprentissage en amont durant le cursus plongeur de compétences d'apnée comme le protocole de préparation, le protocole de sortie et le développement d'un minimum de compétence physique d'apnée devraient permettre de rendre ces épreuves plus accessibles aux futurs cadres.

Enfin, si on prend en compte que le niveau initiateur E1 est accessible dès le niveau 2 de plongeur et que le cadre E1 a dans des prérogatives l'enseignement de l'apnée au niveau 1 et 2 (à 6m), il sera intéressant que dès le niveau 2, on introduise les notions de préparation, de protocole de sortie, de ventilation et ainsi de faciliter par la suite le transfert de compétences du cadre vers le plongeur. De même, les notions théoriques sur les accidents d'apnée ne sont abordées dans le MFT que à partir du GP-N4 alors que les niveau 2 futurs E1 devraient avoir ces connaissances afin de prévenir les accidents durant leur séance.

c) Dans le cursus «Enfant et Jeune »

Le cursus Enfant/ jeune comprend d'une part des niveaux PMT (jeunes bulles :1^{ère} étoile, 2^{ème} étoile et 3^{ème} étoile) et des niveaux scaphandre (jeunes plongeurs (bronze, argent) et plongeur or). En conséquence, l'apnée est développée dans le cursus jeunes bulles avec des capacités minimales d'apnée et surtout l'accent est mis sur la préparation et la récupération entre les apnées (Tableau 5) afin de préparer le futur plongeur à l'évolution dans le milieu aquatique. L'existence de niveau strictement PMT (les étoiles) a sans doute comme conséquence d'avoir incité le ou les rédacteurs a développer les compétences d'apnée et la prévention des accidents.

L'analyse de l'évolution des épreuves ou des initiations à l'apnée dans le cursus de plongée montre que l'apnée a toujours fait partie du cursus du plongeur scaphandre, que ce soit pour le plongeur ou pour le cadre. Cependant les évolutions proposées semblent montrer une problématique de positionnement (suppression puis réintégration selon les périodes). La progression entre les niveaux de plongeurs n'est pas évidente, notamment avec l'apparition d'une épreuve au niveau 3 sans véritable enseignement aux niveaux précédents et des épreuves d'apnée verticale uniquement au niveau cadre.

Dans la seconde partie de ce chapitre, nous allons analyser les conséquences de ce cursus MFT chez les plongeurs et les cadres de plongée dans leur rapport à l'apnée.

Compétences	NIVEAU 1 PE20	NIVEAU 2	NIVEAU 3
EVOLUER DANS L'EAU – SE VENTILER Lâcher-reprise d'embout	Il est capable de faire sans difficultés des déplacements courts en apnée (quelques mètres en apnée inspiratoire et expiratoire). : dans un contexte de maîtrise et de contrôle de sa ventilation	Absence de référence à la notion d'apnée dans le MFT	
EVOLUER EN SECURITE	Mise en œuvre des procédures en situation d'incident : panne d'air (réalisation d'une apnée expiratoire sur une distance de 10 m à l'horizontale, utilisation de l'octopus du GP),		
INTERVENIR ET PORTER ASSISTANCE A UN PLONGEUR EN DIFFICULTE			Les capacités physiques sont développées pour répondre aux exigences de la plongée profonde. Elles sont évaluées par une apnée et une nage capelée : - apnée : immersion PMT à 5 m suivi d'un déplacement horizontal de 15 m, retour en surface avec tour d'horizon et signe OK en surface,

Tableau 3 : Extraits du MFT plongeur maj. 02/2019 mentionnant l'apnée

	GP-N4	E1-E2	E3	E4
ÉPREUVE DU MANNEQUIN	Nager en surface en PMT sur une distance de 100 m. • Effectuer un canard et descendre à une profondeur (comprise entre 4 et 6 m pour le N4 et 2 et 6m pour l'initiateur) et tenir une apnée de 20 secondes minimum en déplacement. • Après une récupération de 10 secondes au maximum en surface, redescendre à la même profondeur, récupérer le mannequin, le ramener en surface et effectuer le signal de détresse en direction du jury. • Remorquer le mannequin, les voies respiratoires hors de l'eau, sur une distance de 100 m.			Effectuer un parcours de 200 m, aller chercher un mannequin de 1,5 Kg de poids apparent à une profondeur de 10 m, le remonter à la surface et le remorquer sur une distance de 100 m.
ÉPREUVE DE PLONGÉE LIBRE À 10 MÈTRES	démontrer une capacité minimale à l'apnée : Apnée verticale à 10m			Démontrer une technique et une capacité suffisantes à la réalisation d'une apnée : apnée verticale à 15m
Théorie	Accidents liés à la pratique de l'apnée : syncope hypoxique, perte de contrôle moteur (Samba), prévention.			Accidents de l'apnée. La syncope hypoxique. Profondeur = facteur aggravant. Effets de l'hyperventilation.
Pédagogie		Enseignement de l'apnée (sujet d'examen mais pas dans le MFT)		Enseignement de l'apnée

Tableau 4 : Extraits du MFT cadres maj 03/2020 mentionnant l'apnée

	1ere étoile	2eme étoile	3 ^{ème} étoile	Plongeur bronze	Plongeur argent	Plongeur or
EVOLUER DANS L'EAU - S'IMMERGER			Le jeune enchaîne et alterne : immersion, courte apnée et retour en surface.			
EVOLUER DANS L'EAU - SE VENTILER	Il réalise de courtes apnées inspiratoires tête sous l'eau.		Le jeune vide un masque partiellement rempli d'eau en apnée Il réalise des immersions en respectant les règles de base de l'apnée (récupération, retrait du tuba si besoin, ...).		Réalisation d'apnées en déplacement à faible profondeur.	

Tableau 5 : Extraits du MFT jeunes : enfant cadres maj 04/2020 mentionnant l'apnée

II. Etude sur les compétences d'apnée chez les plongeurs scaphandre

L'objectif de ce travail a été de récolter après d'un panel de plongeurs, des informations sur leur vécu en rapport avec l'apnée durant leur cursus de plongeur. Le questionnaire a aussi différencié les questions en fonction du statut du répondant : plongeur ou encadrant.

1) Moyens

Un sondage anonyme (Annexe 1 : : Enquête sur la pratique de l'apnée dans le cursus plongée scaphandre via l'outil web « Google Form » a été envoyé par mail avec comme consigne de répondre et de faire suivre aux connaissances du milieu de la plongée. La liste des premiers destinataires étant limitée aux connaissances de l'auteur, cela limite la portée de l'étude et sa représentativité de la population des plongeurs en 2020. Il n'y a pas eu de tirage au sort qui aurait permis d'être représentatif de la population de plongeurs en France, cette enquête ne peut donc pas prétendre à décrire une image parfaite de la population des plongeurs en 2020. Cependant les résultats de cette enquête permettent d'avoir une base de réflexion sur le ressenti de l'enseignement de l'apnée dans le cursus technique par les pratiquants et les cadres.

2) Résultats

L'analyse des résultats ne sera pas statistique mais descriptif. (Annexe 2)

- La population répondante

Le questionnaire a obtenu sur une période de 45 jours mois (septembre 2020-octobre 2020) 351 réponses essentiellement de pratiquants de la région IDF (89%).

60% (212/351) des répondants sont des cadres techniques ou des GP-N4.

- L'enseignement de l'apnée dans les clubs

La moitié des répondants 48% (167/351) a été formée au moins en partie par des cadres de la commission apnée durant leur cursus. Ce pourcentage est proche que le pratiquant (52%) soit un plongeur ou un cadre (44%) qui a des épreuves d'apnée aux examens.

Cela peut être interprété de différentes façons :

- un manque d'expérience des cadres techniques pour l'enseignement de l'apnée qui fait rechercher de l'expérience auprès de cadres d'apnée.
- comme la richesse et la complémentarité des activités de notre fédération qui permettent dans une même structure d'avoir des moniteurs de plongée et des moniteurs d'apnée.

- Le niveau d'apnée des pratiquants

7% (26/351) des répondants déclarent ne pas avoir d'expérience particulière en apnée et 43% (149/351) déclarent pratiquer de l'apnée uniquement en fosse et piscine. La pratique de l'apnée en milieu naturel est plus importante chez les cadres 48,4% (130/212) que chez les plongeurs 34% (46/139).

80% des plongeurs souhaitent pratiquer plus d'apnée durant leur cursus de plongeurs et seulement 10% ne sont pas attirés par cette activité.

27% estiment ne pas se sentir suffisamment à l'aise en apnée avec les éléments apportés durant leur cursus de plongeurs.

- L'apnée et les épreuves verticales en plongée scaphandre pour les candidats GP-N4 ou MF2

Nous allons analyser plus spécifiquement les résultats pour les candidats GP-N4 et MF2 qui ont des épreuves d'apnée verticale à 10 et 15m. La préparation des épreuves d'apnée verticale semble relativement légère avec 51% des candidats ayant fait seulement de 1 à 3 séances en milieu naturel et même 17% n'ayant pas fait d'apnée en milieu naturel avant l'examen.

41% des candidats ont recherché des conseils auprès de cadres d'apnée.

5% des candidats redoutaient très clairement l'épreuve, et 10% pensaient avoir 1 chance sur 2.

32% ont trouvé *a posteriori* l'épreuve difficile pour diverses raisons : manque de préparation, adaptation au milieu naturel, compensation des oreilles.

Mais 56% ont trouvé l'épreuve facile dans la continuité de leur formation et avec une bonne préparation de leur moniteur.

- L'expérience d'apnée pour les cadres techniques et notamment l'enseignement de l'apnée
15% des cadres techniques ne voient pas d'intérêt à l'enseignement de l'apnée dans le cursus plongée et 51% se contentent des attendus du MFT
63% estiment ne pas avoir suffisamment de contenu pour enseigner l'apnée et 50% ont suivi des formations complémentaires en apnée

3) Conclusion

Ces résultats semblent montrer un véritable intérêt pour l'apnée parmi les plongeurs, notamment une majorité serait favorable à plus d'apnée dans leur cursus de plongeur mais sans pour autant vouloir en faire une pratique isolée à part entière. Parmi les plongeurs, une majorité regrettent un apport insuffisant durant leur cursus de plongeur.

Ceci se retrouve d'ailleurs ensuite chez les cadres qui ont à préparer des épreuves d'apnée verticale pour lesquels une majorité a recherché des conseils auprès de cadres d'apnée. Enfin une majorité des cadres techniques considère ne pas avoir développé suffisamment de compétences en apnée durant leur cursus technique pour l'enseigner correctement.

La physiologie de la ventilation et de l'apnée

L'apnée comme l'immersion ne sont pas des situations « normales » pour l'organisme. Elles vont entraîner des modifications de la physiologie qui sont importantes à connaître afin de prévenir les accidents d'apnée et de comprendre et mettre en place de bonnes pratiques d'entraînements.

Les éléments traités ci-dessous approfondissent les éléments théoriques au programme du GP-N4 et du MF2, ils pourront donc être utilisés pour les révisions du GP-N4 et du MF2 mais ils serviront aussi de compléments d'informations pour les cadres techniques souhaitant approfondir leur entraînement d'apnée.

I. Anatomie l'appareil ventilatoire

L'appareil ventilatoire est constitué des voies aériennes supérieures constituées de la bouche, le nez et le pharynx.

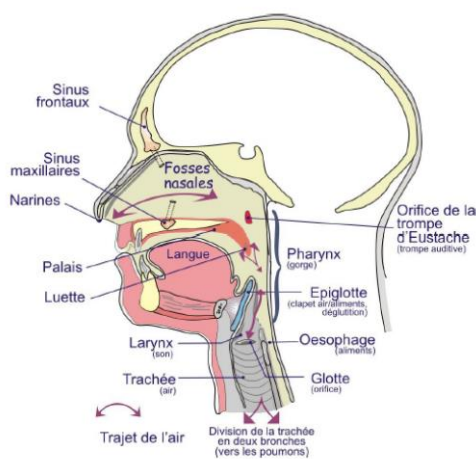


Figure 1 : voies aériennes supérieures

Le rôle des voies aériennes supérieures est de réchauffer, et réhydrater le gaz inhalé, et d'éliminer les impuretés éventuelles (poussières, pollen...). En apnée, la maîtrise des techniques de compensation de type Valsalva mais surtout Frenzel ou Béance tubaire volontaire (BTV) passent pas la compréhension de l'anatomie des voies aériennes supérieures et notamment de fermeture et d'ouverture volontaire de la glotte.

L'appareil ventilatoire se prolonge ensuite par les voies aériennes inférieures constituées de la trachée, des bronches, des bronchioles puis des alvéoles. Les poumons sont solidaires de la plèvre qui les entourent.

L'ensemble va pouvoir être mobilisé par le muscle principal de la ventilation : le diaphragme dont la contraction (abaissement) va augmenter le volume pulmonaire. Il existe d'autres

muscles ventilatoires, les muscles intercostaux qui vont permettre d'écartier les côtes et d'augmenter aussi le volume pulmonaire.

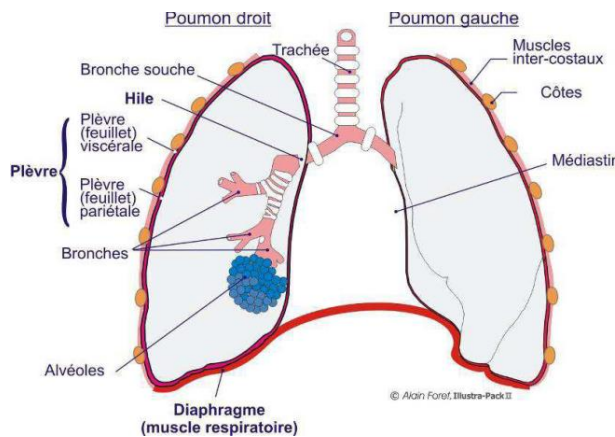


Figure 2 : Schéma des voies aériennes inférieures

Les poumons contiennent environ 300 millions d'alvéoles, chacune enveloppée dans une fine maille de capillaires (Figure 3). Les alvéoles sont des petits « sacs » d'un rayon d'environ 0,1 mm contenant de l'air et du surfactant¹. La structure en multiples sacs va permettre d'augmenter considérablement la surface totale d'échange entre l'air et le sang. Cette surface est estimée à environ 75m² si on étalait toutes les alvéoles pulmonaires.

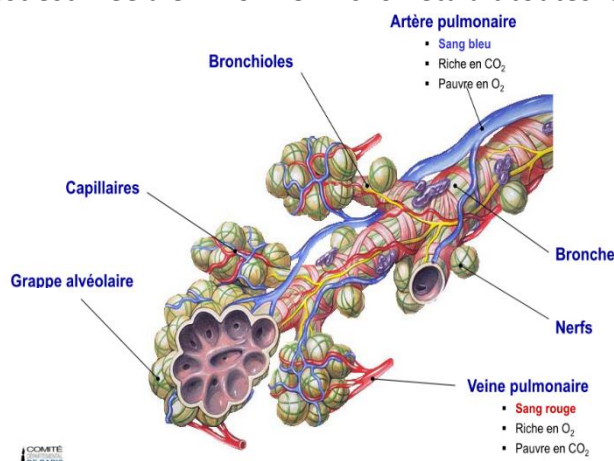


Figure 3 : schéma des voies aériennes terminales : bronchioles, alvéoles et capillaire

Les membranes de l'alvéole et des capillaires sont intimement imbriquées voire, à certains endroits, totalement fusionnées, cela forme la barrière alvéolo-capillaire. Cette barrière a la particularité d'être d'une épaisseur très faible (0,2 à 0,6 μm) (Figure 4) et d'être richement

¹ Le surfactant est un mélange de phospholipides. Ce surfactant va permettre d'une part d'éviter que les sacs alvéolaires collapser et va aussi permettre la dissolution des gaz respiratoires avant leur passage à travers la barrière alvéolo-capillaire.

vascularisée. Les échanges respiratoires vont se faire au niveau de cette barrière par diffusion osmotique (Figure 1).

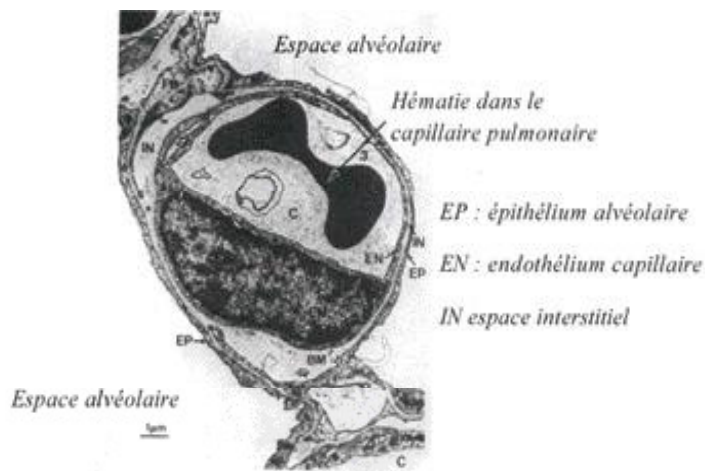


Figure 4 : La barrière alvéolo-capillaire. Photographie au microscope électronique

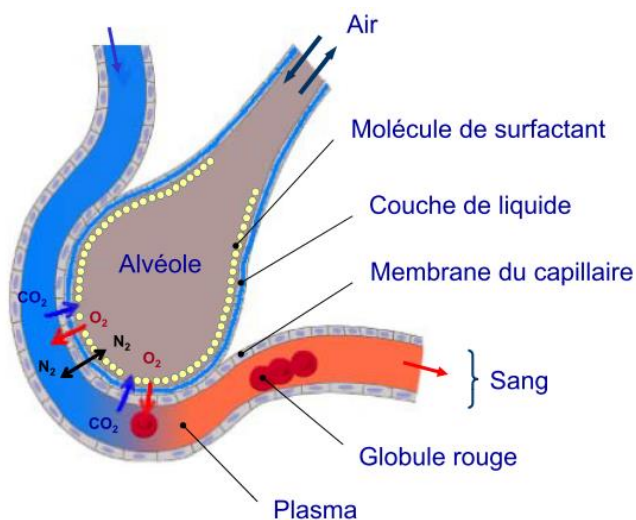


Figure 5 : Diffusion des gaz respiratoires par osmoe au niveau de la barrière alvéolo-capillaire

II. La ventilation

La ventilation est un phénomène réflexe permettant à l'organisme le renouvellement de l'oxygène et le rejet du CO₂ produit durant la respiration. Le système neuro-ventilatoire permet de limiter les variations de O₂ et CO₂ en régulant l'apport et l'élimination de ces gaz en fonction de l'état du milieu intérieur et/ou en anticipant les besoins physiologiques.

D'autre part, ce réflexe est contrôlable de façon volontaire par le système nerveux central (cortex).

1) Les mouvements ventilatoires

a) L'inspiration :

Au repos, l'inspiration est un phénomène actif avec contraction du muscle principal de la ventilation : le diaphragme. Cette contraction va provoquer son abaissement par rapport à sa position au repos, entraînant avec lui la base des poumons. L'augmentation du volume de la cage thoracique qui en résulte va abaisser la pression dans les poumons et entraîner une entrée d'air.

Lors d'une inspiration active les muscles éleveurs des côtes vont participer par leurs contractions à l'augmentation du volume pulmonaire. Enfin un redressement du haut du dos avec les muscles claviculaires va aussi permettre l'expansion pulmonaire.

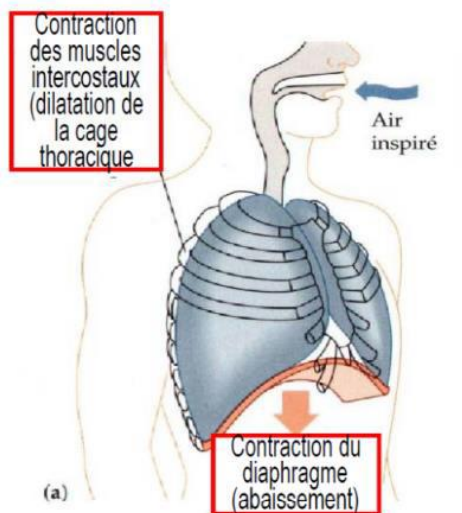


Figure 6 : Mouvements inspiratoires

b) L'expiration

Inversement, l'expiration va être au repos un phénomène passif, le diaphragme et les muscles releveurs des côtes ne sont plus contractés. Le diaphragme va reprendre sa position initiale de repos ce qui va entraîner l'expiration.

Lors d'une expiration active, la contraction abdominale va permettre de faire remonter le diaphragme vers le haut en poussant les viscères.

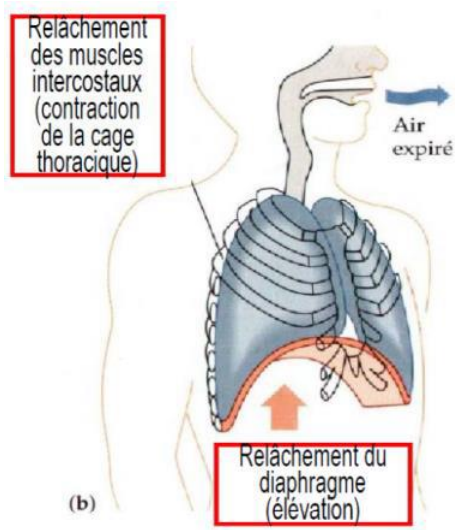


Figure 7 : Mouvements expiratoires

c) Le cycle ventilatoire :

Lors d'un cycle ventilatoire, plusieurs volumes pulmonaires vont être mobilisés. Au repos, nous respirons sur le **volume courant** qui correspond à environ 0,5L, nous ne mobilisons alors que le diaphragme.

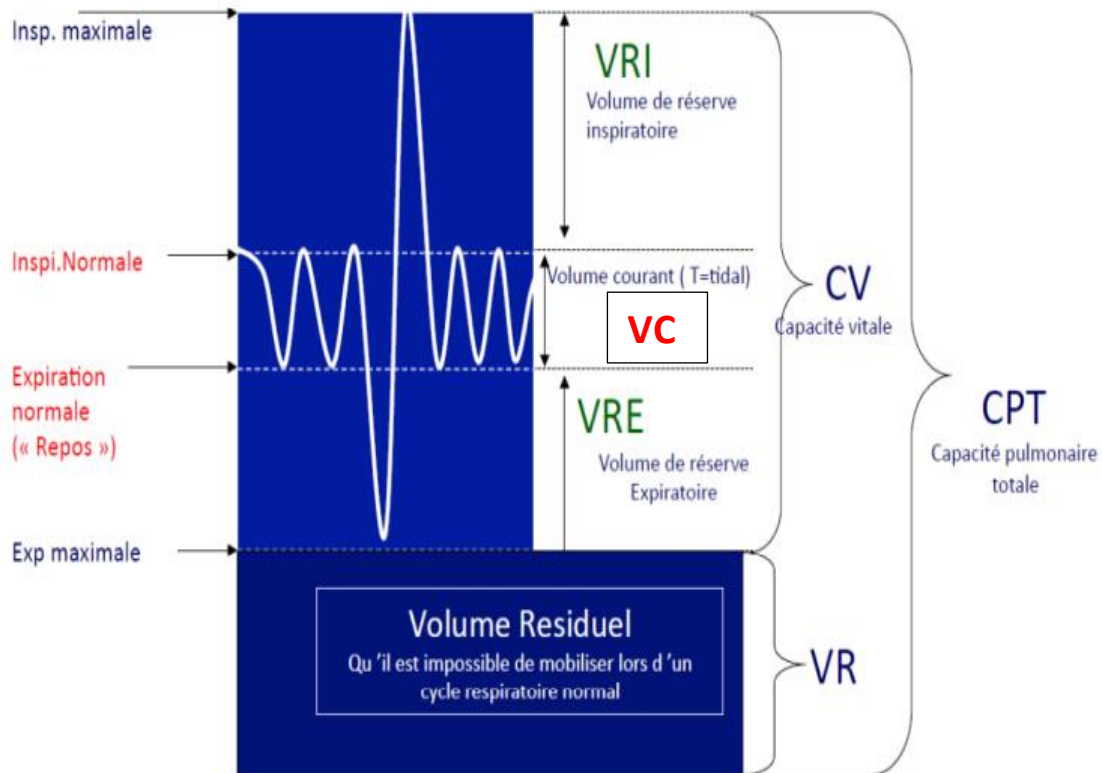
Lorsque l'organisme a besoin de plus d'oxygène (lors d'un effort ou lors de la préparation à l'apnée), et que nous forçons sur l'inspiration, nous mobilisons le **volume de réserve inspiratoire VRI** qui peut être atteindre 2,5L chez une adulte.

Lorsque nous forçons sur l'expiration, nous mobilisons le **volume de réserve expiratoire VRE** qui est d'environ 1,5L.

La somme VRI+VRE+Volume courant correspond à la **capacité vitale CV**.

Lors d'une expiration forcée, le volume pulmonaire final correspond au **volume résiduel VR**, qui n'est pas mobilisable lors de la ventilation.

Chez les apnéistes, la mobilisation optimale du VRI est primordiale afin de partir avec suffisamment de réserve d'air, cela repose sur une bonne technique d'inspiration qui est trop souvent négligée par le pratiquant néophyte.



La ventilation normale est assurée par la mobilisation du VT

Figure 8 : le cycle ventilatoire

d) Le contrôle du cycle ventilatoire :

La ventilation est une fonction vitale qui est contrôlable par la volonté. Ainsi l'apnée se définit comme un arrêt volontaire de la ventilation. Cependant la ventilation est aussi une fonction vitale réflexe qui est contrôlée au niveau du tronc cérébral par les centres respiratoires qui participent à l'automatisme et au contrôle ventilatoire. Les mécanismes de contrôle et de régulation sont importants à comprendre car c'est sur cela que repose la base de la prévention des accidents et de l'entraînement à l'apnée.

Le système neuro-ventilatoire est constitué :

- des centres respiratoires,
- des voies motrices des muscles ventilatoires et du thorax,
- des mécanorécepteurs
- des voies de la sensibilité profonde thoraco-pulmonaire

et reçoit en permanence des stimuli entraînant une réponse adaptée aux besoins de l'organisme. La ventilation va ainsi être modulée afin de maintenir l'homéostasie dans

l'organisme. Les principaux stimuli sont les pressions partielles artérielles en dioxyde de carbone (PaCO_2) et en oxygène (PaO_2), ainsi que le pH artériel (pHa).

Les chémorécepteurs positionnés en différents points du système circulatoire sont sensibles à ces modifications chimiques² et renvoient des informations vers les centres respiratoires qui renverront des informations vers les muscles ventilatoires afin de modifier la ventilation.

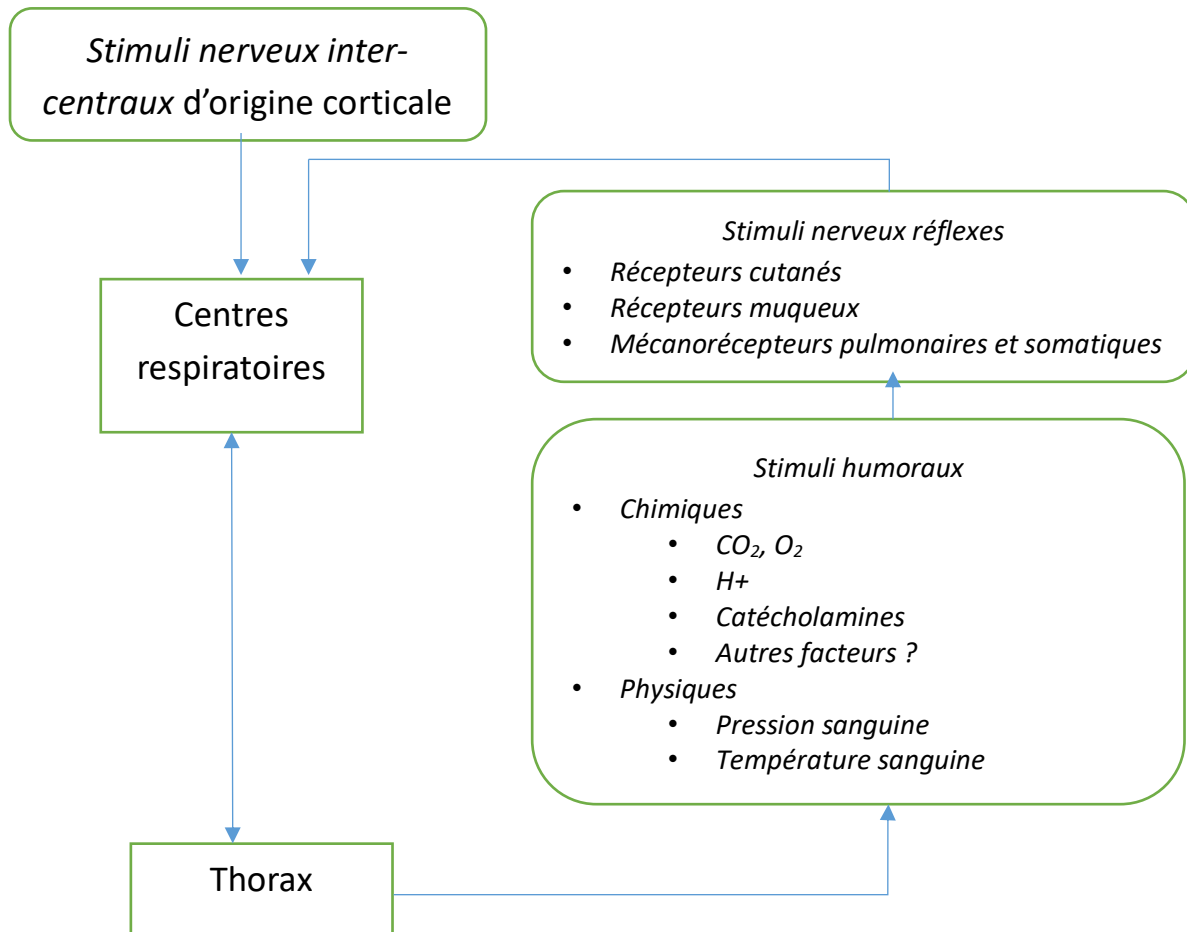


Figure 9 : Schéma du système neuro-ventilatoire et des différentes catégories de stimuli ventilatoires

Le principal stimulus sera la PaCO_2 , lorsque celle-ci est détectée comme trop élevée par les chémorécepteurs, une augmentation de l'amplitude du volume courant puis de la fréquence se mettent en route. En cas d'apnée volontaire, l'augmentation de PaCO_2 va être traduite par une envie de respirer, et des contractions diaphragmatiques dont le but est de stopper cette apnée et de reprendre une ventilation normale.

Il existe aussi d'autres contrôles périphériques non chémosensibles :

² Les variations de PCO_2 et de pH stimulent les chémorécepteurs périphériques et centraux alors que les changements de PO_2 ne stimulent que les chémorécepteurs périphériques.

- Le réflexe pulmonaire : lorsque nous inspirons de façon profonde, l'apnée qui s'en suit est souvent décrite comme désagréable avec une envie d'expiration rapide. L'inspiration provoque un étirement alvéolaire croissant qui est détecté par les mécanorécepteurs. L'inhibition de l'inspiration sera commandée via les nerfs vagues.
- Le réflexe provenant de la paroi thoracique : les réflexes pariétaux jouent un rôle dans l'appréciation de l'adéquation du mouvement thoracique avec l'ordre envoyé par les centres respiratoires : ainsi lors d'une apnée volontaire, ils vont induire un ordre de soulèvement de la cage thoracique en agissant sur les muscles intercostaux.

III. Les modifications physiologiques lors de l'apnée en immersion

Comme nous venons de le voir, l'apnée entraîne une réaction du corps ayant pour conséquence à plus ou moins long terme une reprise ventilatoire que l'apnéiste va pouvoir plus ou moins contrôler. Mais l'apnée va aussi provoquer sur l'organisme des modifications et des adaptations physiologiques non contrôlables qui vont s'ajouter avec celle provoquées par l'immersion.

1) Diminution des volumes pulmonaires lors de l'immersion :

Plusieurs phénomènes vont entraîner une diminution des volumes pulmonaires :

- L'immersion et la pression hydrostatique qui augmente vont entraîner un déplacement du diaphragme vers le thorax, entraînant une diminution du volume pulmonaire.
- La pression hydrostatique qui s'exerce sur le thorax va entraîner une réduction du VRE et par conséquent une diminution de la capacité résiduelle fonctionnelle et de la compliance thoracique.
- Par ailleurs, l'immersion entraîne une augmentation relative du volume sanguin dans le thorax par déplacement du sang des extrémités vers le thorax. Ce déplacement est majoré par la vasoconstriction périphérique due au froid.

Ces phénomènes ont comme conséquence de diminuer le volume pulmonaire mobilisable pour la ventilation en plongée scaphandre. En apnée, cela va réduire la capacité de mobilisation du volume pulmonaire pour compenser les oreilles avec les méthodes type Valsalva.

2) Echanges respiratoires pendant l'apnée en immersion

L'augmentation de la pression hydrostatique lors de l'immersion en apnée va majorer la pression alvéolaire d'oxygène. Le gradient de pression va être plus important entre l'air

alvéolaire et les capillaires, ce qui va faciliter la diffusion de l'oxygène alvéolaire vers le sang. Ceci va favoriser une majoration de la durée d'apnée.

Lors de la remontée en apnée, les pressions partielles alvéolaires et artérielles d'oxygène vont chuter à des valeurs très faibles du fait de la diminution de la pression ambiante, ce qui entraînent des risques des syncopes anoxiques.

3) Le Diving-reflex

Les adaptations cardiocirculatoires observées chez l'homme lors des apnées en immersion sont considérées comme des vestiges des adaptations à l'environnement aquatiques et sont regroupées sous le terme de diving-reflex. Cette réponse réflexe se caractérise principalement par une bradycardie, une vasoconstriction périphérique et une augmentation de la pression artérielle systémique.[1, 2]

a) Bradycardie lors des apnées

Lors d'une apnée, une bradycardie (diminution de la fréquence cardiaque) est observée[3]. Plusieurs facteurs vont influencer cette bradycardie :

- L'immersion de la face va de façon indépendante à l'immersion entrainer une stimulation des thermorécepteurs faciaux et accentuer les mécanismes de bradycardie.
- L'entraînement va augmenter la rapidité de la diminution de la fréquence cardiaque et son ampleur (-30% par rapport à la fréquence cardiaque au début de l'apnée chez les apnéistes entraînés contre -20% chez les sujets débutants)[4] ;
- La bradycardie observée va être d'autant plus élevée que la température de l'eau est basse.

	Apnée à l'air libre	Apnée avec le seul visage immergé	Apnée avec le corps immergé
Température 27°C	-10%	-30%	-30%
Température 10°C	-40%	-60%	-50%

Figure 10 Evolution de la fréquence cardiaque lors d'apnée réalisées par des plongeurs Ama lors de trois situations : dans l'air, le seul visage ou la totalité du corps immergé pour une température de 27°C ou de 10°C. La valeur de repos est ramenée à 100% permettant ainsi de comparer la totalité du groupe

- Enfin la profondeur va aussi augmenter la bradycardie. Le cœur ou myocarde est un des principaux organes consommateurs d'oxygène chez l'individu au repos. La diminution du travail du myocarde va ainsi permettre une réduction globale de la consommation en oxygène pour l'organisme.

b) La vasoconstriction périphérique et baisse du débit cardiaque

L'apnée provoque une vasoconstriction périphérique qui concerne principalement les tissus les moins oxygène-sensibles comme les muscles striés. La vasoconstriction va :

- Diminuer le débit sanguin dans ces territoires et donc leur consommation d'oxygène.
- Entraîner la redirection du sang vers des territoires préférentiels comme le cœur et le cerveau.

Cette adaptation des apnéistes va permettre de ne pas augmenter la charge de travail cardiaque pour maintenir un niveau de perfusion suffisant des organes les plus sensibles à l'hypoxie, malgré la baisse du débit cardiaque observée lors des apnées.

La baisse du débit cardiaque est proportionnelle à la bradycardie et représente une adaptation à la vasoconstriction périphérique. Cette vasoconstriction due à l'apnée va s'ajouter aux vasoconstrictions dues à l'immersion et au froid.

c) La contraction de la rate ou contraction splénique

La rate est un réservoir d'érythrocytes³, et il a été montré que son volume diminue lors des hypoxies. Une contraction splénique et une augmentation du nombre d'érythrocytes circulants sont observées lors des apnées[5], ce qui favorise une augmentation des capacités de transport de l'oxygène vers les organes cibles.

4) Les effets de la profondeur

Lors de la descente, la pression exercée par l'eau sur le corps augmente de 1 bar tous les 10m. Contrairement à la plongée scaphandre où le plongeur ventile grâce au détendeur un mélange gazeux en équi-pression avec le milieu ambiant. En apnée, la quantité de gaz emportée ne varie pas et va donc subir les lois physiques de Boyle et Mariotte. L'augmentation de la pression ambiante entraîne donc une diminution proportionnelle du volume de gaz. Au niveau du volume pulmonaire, le diaphragme va remonter vers le thorax sous l'effet de la pression hydrostatique, et la cage thoracique partiellement déformable, va permettre une diminution du volume jusqu'à une limite de déformation correspondant au volume résiduel pulmonaire.

Théoriquement, l'apnéiste ne pourrait pas descendre à une profondeur pour laquelle le volume pulmonaire est égal au volume résiduel (volume minimal afin que les alvéoles ne se collapsent pas). En suivant ce raisonnement, l'homme ne pourrait pas dépasser environ 38-40m sans connaître des dégâts au niveau de ses alvéoles. L'expérience a montré que l'homme peut aller bien au-delà de 40m. Il existe donc un mécanisme compensatoire permettant de lutter contre l'écrasement de la cage thoracique. Il s'agit du « blood-shift », qui conjugue plusieurs phénomènes :

- La cage thoracique est peu déformable, et en plongée, l'intérieur de celle-ci se trouve en dépression relative par rapport au reste du système circulatoire.

³ Erythrocyte =globules rouges, cellule sanguine dont le rôle est le transport de l'hémoglobine et de l'oxygène

- La vasoconstriction périphérique du diving-reflex et du froid augmente le retour veineux.

Ces 2 phénomènes conjugués vont entraîner une « séquestration » sanguine pulmonaire qualifiée de blood-shift et estime à environ 1L à 30m de profondeur. Le liquide étant incompressible, la cage thoracique va pouvoir résister aux fortes pressions dues à la profondeur.

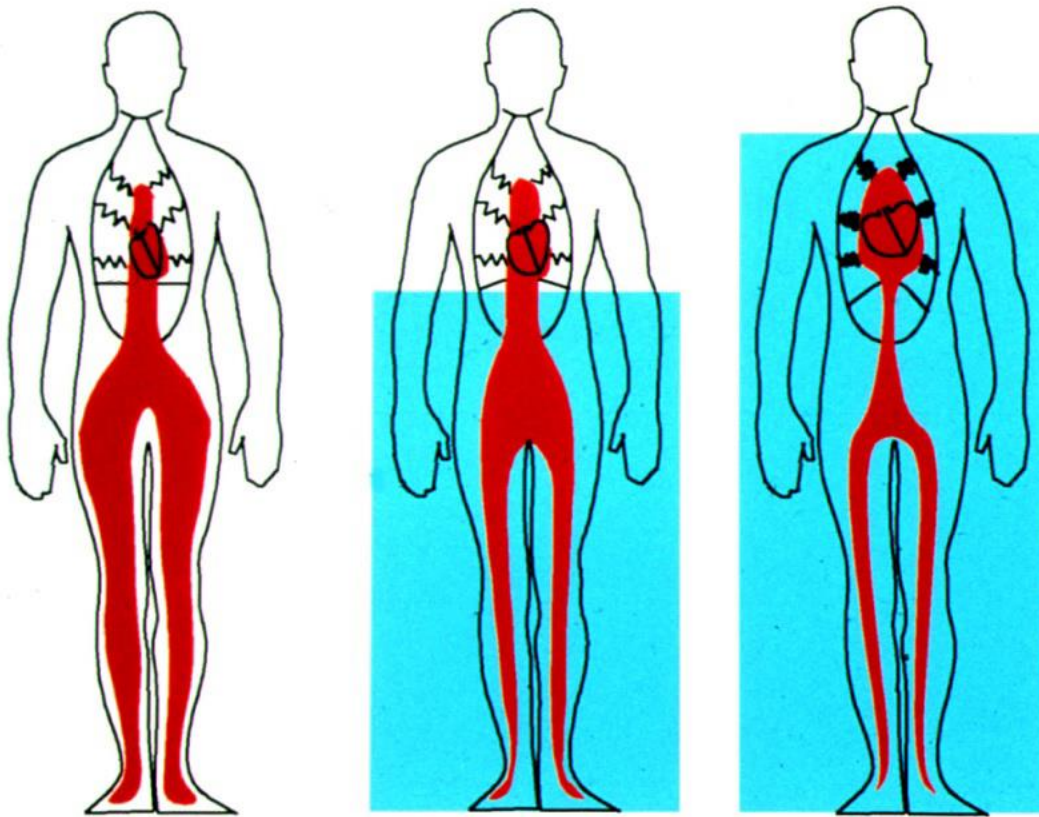


Figure 11 : Blood shift

5) Les effets à la remontée

La remontée est la phase la plus critique. Cette remontée est rapide, avec des variations de pression dont l'amplitude va en augmentant au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface et elle est initiée par un effort important au fond pour initier le décollage.

On observe :

- Une hypoxie (diminution de la pression ambiante et donc de la PpO_2) combinée à une acidose métabolique et respiratoire secondaire à l'apnée : le risque de syncope hypoxique sera d'autant plus important là où les variations de pressions sont élevées (soit près de la surface : 10 derniers mètres) ;

- Une surcharge de travail avec une « vidange » du blood-shift alors que la vasoconstriction périphérique est toujours présente et donc qu'il persiste des résistances au retour du sang à la périphérie ;
- Une persistance de la bradycardie jusqu'à la surface.

L'arrivée en surface est aussi une phase critique car la bradycardie est levée, ainsi qu'une partie de la vasoconstriction périphérique. Le cœur va s'accélérer brutalement avec des risques de troubles du rythme (favorisés par le froid et le vidage de tuba[1]).

6) Discussion

Il existe peu de données sur l'adaptation de l'organisme à l'immersion, l'hyperbarie et l'hyperoxie. Cependant, il est hautement probable que ces modifications de réponses existent. Il a été montré, que la bradycardie s'accompagne d'extrasystoles ventriculaires et supraventriculaires chez les sujets sains débutants, alors que ces manifestations ne surviennent pas chez les apnéistes experts[6].

Le développement d'un acclimatement aux conditions rencontrées en plongées implique que les contraintes physiologiques ne sont pas « gérées » de la même manière chez les sujets habitués et chez ceux qui débutent. La tolérance des contraintes en deçà des risques accidentogènes est vraisemblablement plus grande chez les sujets très habitués, bien accoutumés aux contraintes. De nombreuses contraintes physiologiques sont communes entre la plongée en apnée et la plongée en scaphandre, il est donc probable que l'entraînement en apnée peut permettre aussi de prévenir les accidents du plongeur scaphandre en développant des mécanismes d'adaptation et d'accoutumance. Le gain, pour la prévention des accidents de plongeur, d'un entraînement en apnée est donc un argument supplémentaire de maintenir l'enseignement de l'apnée dans le cursus du plongeur scaphandre.

Enfin le bon entraînement physique cardiovasculaire au sec facilite certainement aussi de bonnes réponses de l'organisme aux contraintes ventilatoires et circulatoires rencontrées lors des efforts en plongée (apnée ou scaphandre). Il est donc nécessaire dans la mesure du possible de pratiquer des activités sportives annexes comme la course à pied ou le vélo.

Les accidents de l'apnée

Les accidents les plus fréquents de la plongée en apnée sont les pertes de connaissances, d'où le risque de noyade. Elles sont essentiellement dues à l'hypoxie due à l'apnée. Nous verrons que nous pouvons aussi observer d'autres accidents communs avec la plongée.

I. La perte de contrôle moteur (PCM) et la syncope anoxique

La perte de contrôle moteur (PCM) et la syncope sont deux accidents qui partagent le même mécanisme et les mêmes facteurs favorisants.

1) La perte de contrôle moteur (PCM)

La perte de contrôle moteur est aussi appelée « samba » du fait des mouvements involontaires qui la caractérise. A la sortie de l'apnée, l'apnéiste présente des mouvements saccadés de la tête, des membres, des doigts. Fréquemment la PCM va être détectée à la sortie de l'eau, l'apnéiste présentant alors une incapacité à retirer son masque du fait de mouvement de la tête ou des mains qui tremblent.

Le mécanisme est l'hypoxie, la récupération est quasi immédiate et ne nécessite pas d'intervention hormis le fait de maintenir les voies aériennes hors de l'eau. Les conséquences à long terme de cette hypoxie cérébrale ne sont pas connues.

2) La syncope

La syncope correspond à une perte de connaissance, elle est comme la PCM liée à une hypoxie cérébrale. La perte de connaissance en elle-même ne semble pas être particulièrement dangereuse. Cependant les effets à long terme de la répétition de syncopes ne sont pas connus et mériteraient d'être étudiés.

Le danger connu de la syncope est essentiellement dans le risque qu'entraîne la perte de conscience dans l'eau, celle-ci va entraîner une reprise ventilatoire réflexe et si cette reprise a lieu avec les voies aériennes immergées, c'est la noyade.

La syncope et la PCM sont dues à une hypoxie détectée comme excessive par l'organisme cependant les 2 accidents sont indépendants. Il peut y avoir une syncope sans PCM en amont.

3) Mécanisme et facteurs favorisants

- L'hyperventilation :

L'hyperventilation se définit par une augmentation de la fréquence ou de l'amplitude des mouvements ventilatoires. Les effets de l'hyperventilation sont connus depuis longtemps et sont souvent enseignés très tôt chez le plongeur, afin d'éviter cette pratique chez le débutant à la recherche de performance. L'hyperventilation est très faiblement efficace pour augmenter la pression partielle d'oxygène et donc cette pratique ne va pas ou peu modifier le seuil de syncope (défini par une PaO₂ critique). Le risque est que le seuil de syncope arrive

avant le seuil de rupture de l'apnée (défini par une PaCO_2 critique) d'un point de vue chronologique ce qui entrainera donc une syncope.

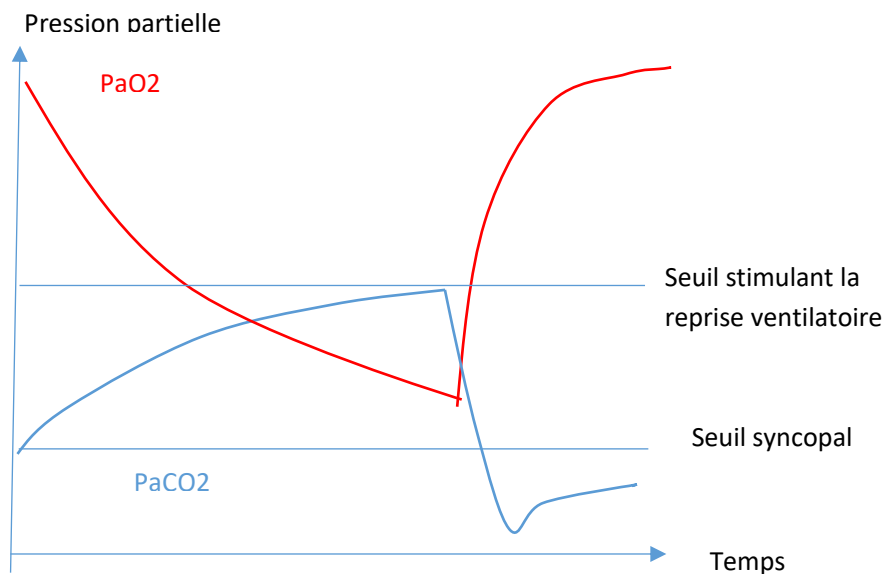


Figure 12 : Courbes des PaO_2 et PaCO_2 sans hyperventilation : arrêt apnée par atteinte du seuil de reprise ventilatoire avant le seuil syncopal

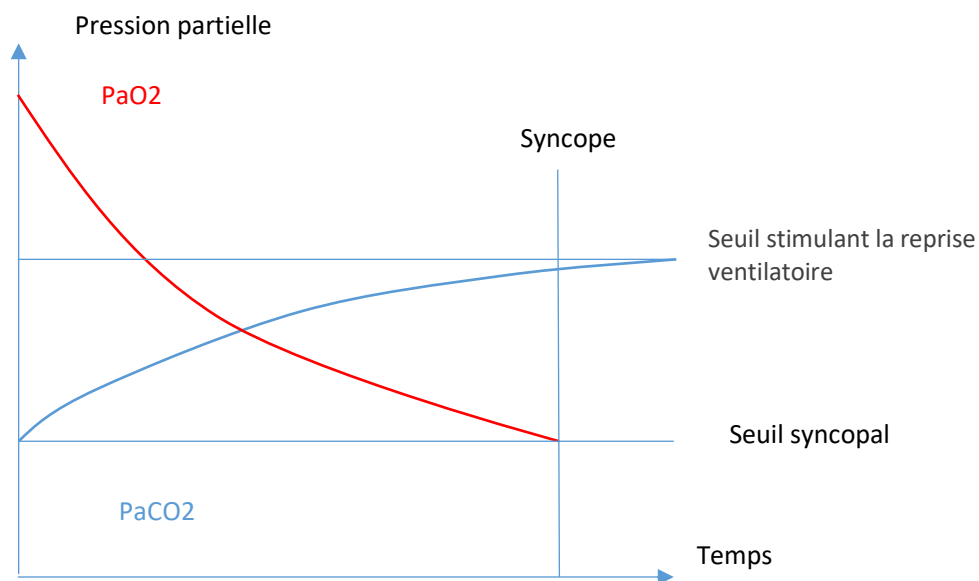


Figure 13 : Courbes CO_2 et PO_2 avec hyperventilation au cours d'une apnée statique : explication de la syncope

Le protocole optimal de préparation à l'apnée doit tendre à la mobilisation de l'ensemble du volume pulmonaire mais surtout à l'utilisation du volume de réserve inspiratoire (VRI), l'objectif étant d'augmenter son « stock » d'oxygène et d'air afin d'augmenter sa capacité d'apnée. Le risque de l'hyperventilation repose surtout sur la mobilisation excessive du volume de réserve expiratoire (VRE) sans mobilisation du VRI. Lors de cette action la PO_2 alvéolaire ne va que très peu augmenter, en revanche elle va diminuer de façon significative la PCO_2 . Cette diminution de la PCO_2 va permettre à l'apnéiste de conserver plus longtemps

un confort dans son apnée et va retarder la rupture de l'apnée. Le risque est alors d'allonger la durée de l'apnée jusqu'au seuil de syncope.

Il ne faut pas augmenter le nombre de mouvements ventilatoires mais faire un nombre restreint (2 ou 3 cycles) de mouvements complets afin de mobiliser l'ensemble du volume pulmonaire. La préparation ventilatoire à l'apnée est donc un bon dosage entre l'augmentation de la prise d'air et le risque potentiel de l'hyperventilation. Il est difficile de donner une règle. Lors d'une préparation à l'apnée, il est important de :

- D'insister sur l'inspiration et non pas l'expiration
- De garder systématiquement le même protocole de préparation (même nombre de cycles)
- De modifier et optimiser son protocole de préparation de façon progressive et toujours à la marge.

Remarque : historiquement, il a été proposé de pratiquer l'hyperventilation en utilisant la règle du 1/3 temps⁴. Cette méthode ne doit plus être enseignée car elle n'a jamais été validée scientifiquement et ne peut garantir une apnée en sécurité.

- La profondeur :

Au cours de la descente, la pression ambiante augmentant, la PpO₂ croît. Les pertes d'oxygène par consommation sont « cachées » par cette augmentation de PpO₂ due à la profondeur : l'hypoxie est minorée.

A la remontée, la diminution de la pression ambiante va entraîner des modifications des PaCO₂ et PaO₂ :

- Une diminution de la PpO₂ de façon brutale, avec potentiellement une syncope hypoxique : la pression alvéolaire d'oxygène va chuter du fait de l'augmentation du volume pulmonaire et on peut observer une inversion du gradient des pressions d'oxygène entre le sang et les alvéoles. L'oxygène va passer du sang vers l'alvéole avec un risque majeur d'hypoxie.
- Pour le CO₂, la PpCO₂ va diminuer à la remontée (diminution de la pression ambiante) ce qui va entraîner une augmentation du passage du CO₂ du sang vers les alvéoles et donc diminuer l'inconfort due à l'hypercapnie.

Il est possible de lire parfois la notion de rendez-vous syncopal des 7m. Il ne faut évidemment pas prendre ce chiffre au pied de la lettre, mais prendre en compte que à la remontée les risques de syncope sont majorés d'où la nécessité de mettre en place une sécurité adaptée et une évolution progressive dans les apnées verticales.

⁴ Méthode de Sciarli : propose de déterminer le temps d'apparition des signes d'hypocapnie lors d'une hyperventilation (vertige, picotement, trouble vision), puis de prendre comme temps de préparation à l'apnée le 1/3 de ce temps. Cette méthode est désormais clairement

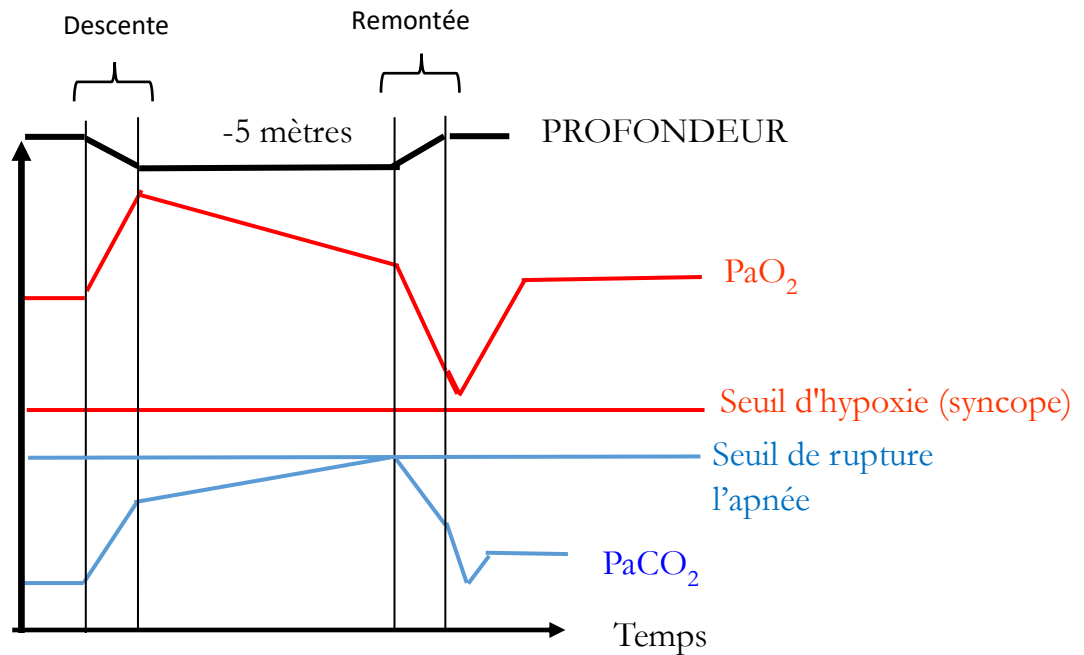


Figure 14 : Evolution des PaCO₂ et PaO₂ au cours d'une apnée verticale

Il est important de noter que la PaO₂ continue à diminuer après la reprise ventilatoire en surface et ceci pendant plusieurs dizaines de secondes. Le risque de syncope est donc toujours possible après la reprise ventilatoire, il est donc important de pratiquer correctement un protocole de sortie et de ne pas s'éloigner de la zone sécurisée avant 30-60 secondes.

- La carbonarcose

Ce risque ne se retrouve pas dans les apnées que les plongeurs « scaphandre » peuvent pratiquer dans leur formation. A la descente sur le fond, lorsque l'effort est important, la PaCO₂ peut atteindre des valeurs importantes, avec un risque de carbonarcose et perte de connaissance. L'effort entraînant une hypoxie, on se trouve alors dans la situation d'une hypoxie hypercapnique, c'est-à-dire une asphyxie.

II. L'Œdème pulmonaire d'immersion (OPI)

L'œdème pulmonaire d'immersion n'est pas un accident spécifique de l'apnée mais de l'activité physique en immersion. De nombreuses études ont montré que dans des situations de nage intense[7], apnée ou encore en plongée en scaphandre autonome[8, 9] cet accident peut se produire. Dans certaines séries d'accidents de plongée, l'OPI représente 13 à 15% des accidents.

Son mécanisme est complexe, les contraintes imposées par la pression hydrostatique, associées à celles de l'effort, du travail ventilatoire (plongeur scaphandre et nage), du stress, entraînent une défaillance de la barrière alvéolo-capillaire[10]. Les 3 formes induites par la natation, l'apnée et la plongée sous-marine ont certaines caractéristiques en commun, mais il existe des différences significatives notamment dans la démographie, leur causalité et leur prise en charge clinique.

1) Physiopathologie

L'OPI doit être suspecté lorsqu'une dyspnée survient au cours d'un effort en natation ou en plongée (apnée ou scaphandre). L'OPI a longtemps été absent des manuels de plongée ou d'apnée du fait que la majorité sont pauci symptomatique ou avec une régression rapide.

L'OPI ayant un fort risque de récurrence, il est essentiel de ne pas négliger tout problème respiratoire survenu en immersion.

Le tableau de gravité est variable, d'une simple gêne respiratoire, rapidement régressive à la sortie de l'eau à une situation de détresse vitale. Le tableau clinique peut s'installer et s'aggraver progressivement ou peut être d'une survenue brutale avec une détresse vitale d'emblée. Les signes régressent généralement assez rapidement avec la sortie de l'eau et l'oxygénothérapie, en 24-48h.

Les symptômes fréquemment rencontrés vont être :

- Hémoptysie
- Toux (82%)
- Difficultés respiratoires
- Perte de connaissance en surface

Il peut y avoir association avec des signes généraux tels que : angoisse, pâleur, cyanose, tachycardie voire un malaise avec perte de connaissance pouvant aller jusqu'à l'arrêt cardio respiratoire.

L'élément de gravité de l'OPI tient à l'environnement spécifique dans lequel il se produit. Il y a un risque important de suraccident. En particulier de noyade si le sujet ne peut être sorti rapidement de l'eau. En plongée scaphandre le risque de remontée panique ou de rupture de palier peut entraîner un suraccident comme la surpression pulmonaire ou l'accident de décompression.

Il est essentiel en cas de suspicion de consulter afin de d'explorer les éventuelles pathologies sous-jacentes ayant favorisées cet OPI.

2) Les mécanismes

Les activités physiques en immersion rassemblent sur le tissu pulmonaire un ensemble de contraintes mécaniques et hémodynamiques qui s'appliquent aux structures alvéolo-capillaires et sur les vaisseaux de la muqueuse bronchique.

- Altération de la barrière alvéolo-capillaire

Comme nous l'avons vu dans le chapitre physiologie, la barrière alvéolo-capillaire est très fine de l'ordre de 0,2 à 0,6 μm . Or elle va être soumise à d'importantes contraintes mécaniques, notamment à l'effort. L'élévation de la pression capillaire pulmonaire et la majoration de la dépression inspiratoire intra-alvéolaire se traduit par une augmentation de la pression

transmurale qui progressivement entraîne une augmentation de la perméabilité de la barrière alvéolo-capillaire jusqu'à une rupture de cette perméabilité.

Les situations d'hyperinflation pulmonaire (effort, essoufflement en scaphandre, prise d'air importante en apnée) fragilisent encore davantage cette barrière par un jeu sur les tensions d'étirement des alvéoles.

L'œdème interstitiel produit est normalement drainé par le système lymphatique qui fonctionne par un mécanisme de « pompage » créé par des alternances de pression : dépression respiratoire. En apnée, l'absence de mouvement ventilatoire va freiner le drainage de l'œdème.

- Les effets de l'immersion

L'immersion entraîne une augmentation du retour veineux et une redistribution sanguine de la périphérie vers le thorax. Cette redistribution va diminuer la compliance pulmonaire et participer à l'augmentation du travail ventilatoire (nage et plongée scaphandre).

Le port de la combinaison va majorer les effets de la pression hydrostatique.

L'immersion va aussi jouer sur la sécrétion des peptides natriurétiques qui vont augmenter la perméabilité des capillaires.

- Le froid

Les OPI vont survenir le plus souvent en eau froide. La vasoconstriction induite par le froid entraîne une augmentation des résistances périphériques et une augmentation des pré-charges et post-charges cardiaques.

Ces différents éléments vont contribuer à l'augmentation du retour veineux et de la redistribution sanguine vers le thorax.

Il est important de noter que même si le pratiquant ne ressent pas une sensation désagréable de froid, son organisme est en situation de lutte contre le froid et donc les mécanismes de lutte vont se mettre en place.

- L'effort

L'effort entraîne une augmentation du débit sanguin, et une élévation des pressions artérielles pulmonaires qui va favoriser l'apparition d'un œdème interstitiel pour tout effort que ce soit un effort en immersion ou terrestre. En immersion il a été montré qu'un effort modéré entraîne une augmentation des pressions artérielles pulmonaires aussi importante qu'un effort terrestre intense, dépassant chez certains sujets le seuil de limite pathologique.

Enfin, cette augmentation de pression est plus majorée avec l'âge avec une variabilité inter-individuelle importante.

En nage dans l'eau ou en scaphandre, des mouvements ventilatoires insuffisants et inadaptés ne vont pas permettre de générer le drainage lymphatique et ainsi favoriser l'installation de l'œdème. En apnée, l'absence de mouvement ventilatoire ne permet pas le drainage lymphatique[1].

- La profondeur

La profondeur va combiner de nombreux facteurs favorisant l'OPI comme le froid, et le stress psychologique. En plongée scaphandre, l'augmentation des résistances ventilatoires liées à la ventilation d'un gaz dense va s'ajouter à ces facteurs. L'augmentation du travail ventilatoire et du travail myocardique va favoriser le risque d'OPI.

L'hyperoxie joue aussi probablement un rôle par son action sur les résistances vasculaires périphérique et la contractilité ventriculaire gauche.

Les phénomènes de la décompression avec les bulles associées au stress oxydatif est aussi susceptible de favoriser une dysfonction endothéliale et une altération de la barrière alvéolo-capillaire.

- Le stress psychologique

Le stress psychologique peut à lui seul favoriser la survenue d'un œdème pulmonaire chez les sujets sains. La libération des hormones du stress va être à l'origine de vasoconstriction coronaire ou de troubles de la repolarisation des cellules myocardiques favorisant la genèse de troubles du rythme cardiaque qui entraîne une moins grande efficacité de la pompe cardiaque et donc un risque d'OPI.

- L'apnée

En cours de l'apnée, la relation inversement proportionnelle entre pression et volume s'applique sur le poumon ce qui n'est pas le cas pour le plongeur scaphandre.

Le volume pulmonaire diminue ainsi proportionnellement à l'augmentation de la pression ambiante jusqu'à atteindre le volume résiduel, majorant le Blood shift. La pression intrapulmonaire va se retrouver plus basse que la pression ambiante ce qui concourt à l'extravasation sanguine.

Au cours de la remontée, le poumon reprend progressivement son volume tandis que le blood-shift diminue. Mais la remontée en apnée est souvent rapide, l'évacuation du sang du thorax peut être trop lente par rapport au retour des volumes à leur volume initial. Ceci va favoriser des tensions au niveau de la barrière alvéolo-capillaire et augmenter sa perméabilité.

Complément pour le scaphandre autonome

On retrouve l'OPI aussi en plongée scaphandre, les éléments ci-dessous se retrouvent aussi dans les facteurs favorisant l'apparition de l'OPI en plongée scaphandre. De plus la ventilation sur détendeur est aussi un facteur favorisant.

La ventilation sur détendeur demande un travail ventilatoire supplémentaire du fait :

- De la respiration d'un air plus dense qui génère des résistances respiratoires ;
- De la respiration d'un air froid et sec qui a un effet broncho-constricteur et favorise une réaction inflammatoire locale ;
- L'augmentation de la pression hydrostatique va diminuer la compliance thoracique ;

- Des résistances mécaniques dans le cas d'un détendeur ancien, mal réglé, ou mal entretenu.

Cette augmentation du travail ventilatoire va entraîner une majoration des écarts de pression alvéolaire fragilisant la paroi alvéolaire[1]

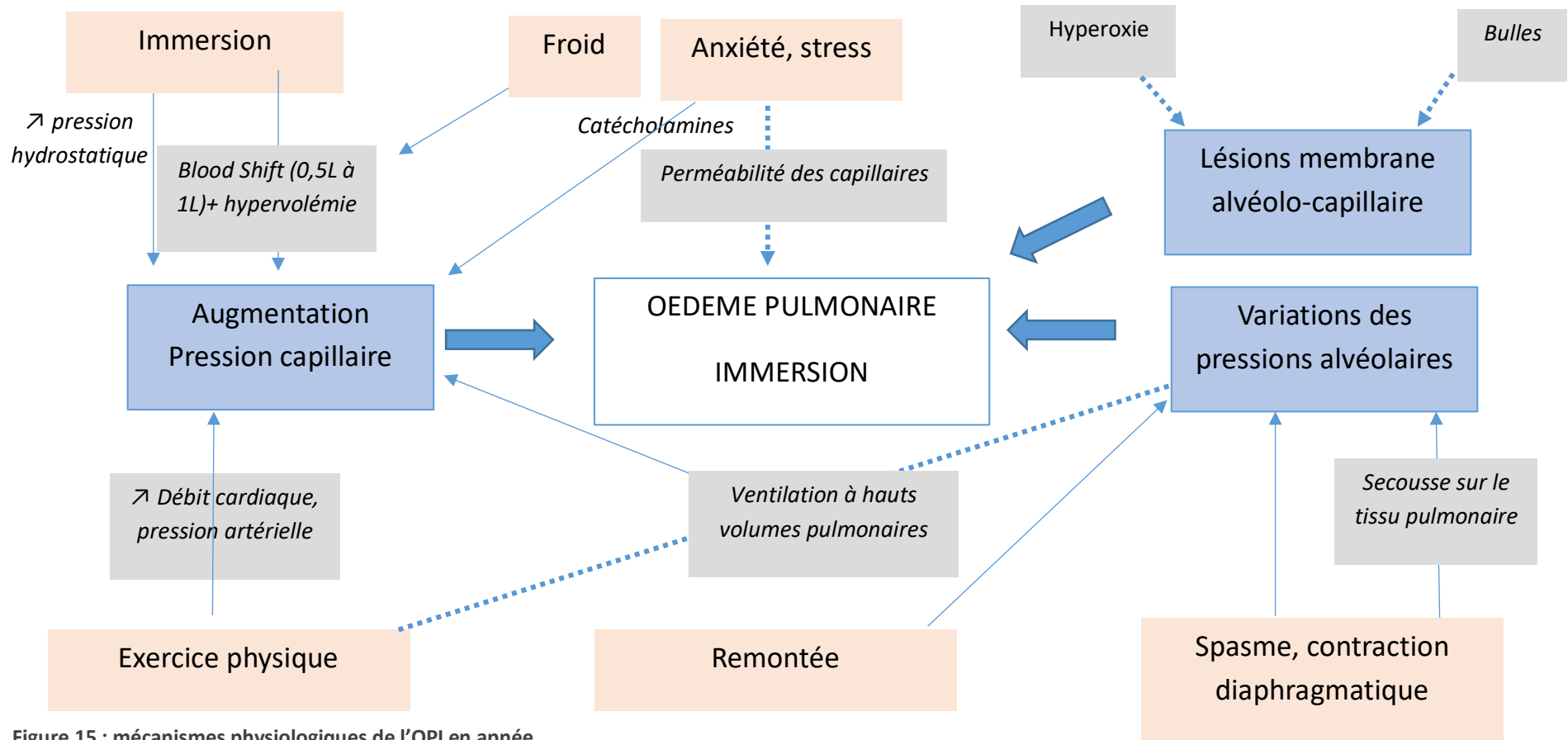


Figure 15 : mécanismes physiologiques de l'OPI en apnée

III. Les autres accidents de l'apnée

1) Perte de connaissance d'origine cardio-vasculaire

Comme nous l'avons vu, l'apnée entraîne l'installation rapide d'une bradycardie. Celle-ci va être plus ou moins importantes selon les conditions de l'apnée. Elle peut être très importante (Fréquence < 30 battements/min, pause de l'ordre de dix secondes).

Cette bradycardie peut parfois s'accompagner de troubles du rythme et de la conduction cardiaque entraînant des troubles du rythme cardiaque responsables de pertes de connaissances ou d'arrêt cardiaque.

Ces troubles peuvent être favorisés et aggravés par l'hypoxie générale et notamment l'hypoxie myocardique et le froid en apnée.

2) Les accidents communs à la plongée scaphandre

Les autres accidents observables en apnée sont similaires à ceux de la plongée scaphandre :

- Les barotraumatismes des oreilles et du masque

Ces accidents ont les mêmes mécanismes que ceux rencontrés en plongée scaphandre. On peut remarquer cependant que le fait de descendre avec une quantité d'air fixée au départ implique de développer des méthodes de compensation pour les oreilles ou pour le masque économe en air. Il sera intéressant de développer les méthodes alternatives au valsalva durant les ateliers d'apnée comme Frenzel, ou la béance tubaire volontaire.

Les ateliers d'apnée se prêtent particulièrement bien aux développements de ces méthodes car les séances d'apnée sont basées sur la répétition des descentes et donc plusieurs occasions de compensation et donc de travailler les techniques. Ces méthodes seront par la suite utilisables en plongée scaphandre.

- Les Accidents neurologiques de désaturation en apnée

Les premiers cas décrits ont été observés chez les ramasseurs d'huîtres perlières dans des îles du Pacifique (Archipel des Tuamotu). Les habitants de cet archipel donnaient le nom de *Taravana* (« tomber fou ») à ces accidents. Les signes décrits sont : vertiges, nausées, angoisse, troubles neurologiques (troubles visuels, perte de connaissance, paralysie d'une ou plusieurs extrémités). Ces accidents apparaissent en fin de journée après des séances de cueillettes pouvant durer 6h consécutives et pour lesquelles le temps de récupération en surface diminue.

Les accidents de type Tavarana sont rares mais plusieurs cas ont été décrits notamment avec le développement de l'apnée et des performances de profondeur chez les pratiquants loisir.

Le mécanisme physiologique de cette saturation en azote serait dû à l'augmentation de pression intrapulmonaire augmentant avec la profondeur. Cette augmentation favoriserait l'absorption alvéolaire de l'azote et permettrait à des tissus de se saturer avec des plongées répétées et profondes. A la remontée, la libération des bulles favoriserait la survenue des accidents de décompression sur le même principe que les ADD en scaphandre. Cependant

concernant ces accidents, les mécanismes ne sont pas encore complètement élucidés. Il est remarquable notamment de noter que seules des atteintes neurologiques centrales sont constatées. Il n'est pas encore décrit d'accidents médullaires, ni d'atteinte articulaire.

L'entraînement et le travail technique en apnée

Ce chapitre ne prétend pas se substituer à un cours pratique d'apnée proposée par un encadrant compétent mais essaye de donner des outils pour l'entraînement et la préparation de ces épreuves. Il s'adresse plus particulièrement aux candidats GP-N4, E1/E2 et MF2 qui ont des épreuves de sauvetage et parfois aussi de l'apnée verticale. Il pourra aussi être utile aux cadres techniques souhaitant perfectionner leur enseignement à la pratique de l'apnée.

I. Les principes de l'entraînement en apnée

L'apnée est souvent décrite comme une activité pour lequel on est soit dans la catégorie des « bons » apnéistes soit dans la catégorie des « mauvais », comme si les performances en apnée étaient génétiquement déterminées et fixées. L'apnée comme toute activité physique demande un entraînement que ce soit physique ou technique qui permettra de développer ses capacités individuelles et améliorer ses performances. Le niveau d'apnée recherché chez le plongeur ne correspond pas à des performances hors norme pour lesquelles des prédispositions physiques ou physiologiques seraient indispensables. Le simple respect de certaines règles de progression et d'entraînement permettent normalement aux candidats de développer le niveau d'apnée requis.

1) Amélioration de l'utilisation des volumes pulmonaires

Les apnéistes experts ont des capacités pulmonaires totales plus importantes que les plongeurs débutants [11]. Les différents volumes pulmonaires augmentent progressivement avec la durée de la pratique. L'entraînement va augmenter tous les volumes de 5 à 10% aux dépens du volume résiduel qui décroît de 10%.

Les raisons sont multiples :

- Une meilleure maîtrise de la ventilation du fait de l'entraînement et de la prise de conscience de la ventilation
- Le développement des capacités pulmonaires par l'exercice, la nage.
- L'utilisation du tuba aux entraînements est aussi un outil utile pour travailler les muscles ventilatoires : le tuba augmente l'espace mort anatomique de l'appareil ventilatoire d'environ 160 mL et induit une augmentation du taux de CO₂ alvéolaire. Pour être efficace la ventilation devra être plus profonde et faire intervenir plus de muscles que sans tuba. Cela va participer au développement de capacités ventilatoires chez les apnéistes. Il est donc recommandé de s'entraîner à nager avec tuba afin d'améliorer ses performances en apnée. Ce travail ventilatoire sera de plus profitable pour le plongeur et la ventilation sur détenteur.
- L'assouplissement spécifique que peut apporter les exercices de yoga pratiqué par de nombreux apnéistes.

L'augmentation des capacités ventilatoires va permettre d'augmenter le temps d'apnée car l'apnéiste aura plus d'O₂ et va aussi permettre de descendre à des profondeurs plus

importantes car il aura à sa disposition une quantité d'air importante qui lui permettra de compenser le masque, et les oreilles.

2) Développement de la résistance à l'hypercapnie

L'apnée peut être schématiquement divisée en 2 phases :

- Phase de bien-être
- Phase de lutte : envie de respirer intense, avec potentiellement des contractions diaphragmatiques.

L'entraînement va permettre de modifier le temps de chaque phase et va faire reculer le seuil de rupture de l'apnée en modifiant la sensibilité des chémorécepteurs au CO₂ d'une part mais aussi en augmentant les capacités de stockage du CO₂ dans les différents tissus.

L'augmentation de la capacité de stockage par les tissus va être augmentée,

- Par l'entraînement et la synthèse de système tampon sanguin de type enzymatique ;
- Par l'immersion qui augmente la capacité de stockage.

3) Potentialisation des filières énergétiques et diminution de la production de CO₂

Il existe différentes filières énergétiques qui permettent de produire de l'énergie à partir de la dégradation des aliments et des réserves énergétiques grâce à l'oxygène (métabolisme aérobie) ou sans oxygène (métabolisme anaérobie). Cette énergie sera utilisable pour les contractions musculaires, ou la production de chaleur nécessaire au fonctionnement de l'organisme.

On distingue généralement 3 filières qui seront plus ou moins prépondérantes en fonction de l'exercice, de son intensité et de sa durée :

- La filière anaérobie alactique permet la mise à disposition immédiate (<10 sec) d'énergie en ayant recours aux réserves d'adénosine triphosphate (ATP) et de phosphocréatine présentes dans les muscles ;
- La filière anaérobie lactique permet la mise à disposition rapide (entre 30 sec et 2 min) d'énergie en dégradant le glycogène sans apport d'oxygène, ce qui conduit à la production d'acide lactique. En apnée, la lactatémie est un facteur prépondérant d'émergence du point de rupture de l'apnée ;
- La filière aérobie permet la mise à disposition lente d'énergie en dégradant les glucides et les lipides en présence d'oxygène. Cette dégradation permet la reconstitution des stocks d'ATP par phosphorylation oxydative. Elle produit de la chaleur, du CO₂ et de l'eau.

Les 2 filières qui interviennent en apnée sont plus particulièrement la filière anaérobie lactique et la filière aérobie. Le travail de la filière aérobie par du travail foncier va permettre une meilleure utilisation de l'oxygène et donc une moindre production de CO₂, ce qui va permettre de retarder l'arrivée du seuil de rupture d'apnée. Le travail de la filière anaérobie lactique par du travail en fractionné (exercice courts et intense avec récupération incomplète) va permettre d'habituer l'organisme à la charge en acide lactique et donc augmenter le temps d'apnée avant l'arrivée du seuil de rupture.

On peut remarquer que ces filières peuvent se travailler en apnée mais aussi au sec et en nage ce qui permet de multiplier les possibilités d'entraînement (footing, nage...).

4) Diminution de la sensibilité à la baisse de la PO₂

L'entraînement va permettre à l'organisme de développer des mécanismes d'optimisation de l'utilisation de l'oxygène qui vont permettre de produire moins de CO₂. Ainsi la bradycardie et la vasoconstriction vont permettre de diminuer l'utilisation de l'O₂ dans certains tissus (tissus musculaires, peau...) pour prioriser l'utilisation dans les tissus essentiels (myocarde, cerveau) durant la période d'apnée. L'organisme va aussi développer une résistance à la baisse de la teneur en O₂ en augmentant la perfusion sanguine de certains tissus. C'est le cas du cerveau qui voit sa perfusion augmenter considérablement chez les apnéistes entraînés ce qui va donc diminuer leur seuil de syncope.

5) La progression dans l'entraînement à l'apnée

Tout entraînement doit

- Être progressif avec une augmentation de l'intensité par étape afin de soumettre l'organisme à des charges de travail dans le but de créer une adaptation qui se traduit par une amélioration des performances
- Des étapes avec des écarts pas excessivement importants au risque d'avoir des échecs ou des accidents ou blessures ;

L'arrêt de l'entraînement entraîne rapidement une perte des capacités développées ainsi il est important de planifier son entraînement à l'apnée pour les examens en fonction aussi de la date visée. Il sera nécessaire de planifier dans l'année un programme d'entraînement.

Dans un premier temps, l'entraînement se concentrera sur le travail aérobie, sur l'hydrodynamisme et la technique du plongeur. Puis, on introduira de l'apnée en quantité croissante en travaillant essentiellement l'apnée hypercapnique. Ensuite à l'approche de l'épreuve, on travaillera plus les apnées hypoxiques et la performance.

Concernant l'apnée pratiquée par le plongeur, le travail hypoxique pourra être très limité voire négligé car les performances attendues ne nécessitent sans doute pas une phase d'entraînement en hypoxie et cette phase d'entraînement est à risque important de syncope.

		Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
Technique	Hydrodynamisme	+++			+++		+++
	Palmage	+++			++		+
	Coordination	+++			++		+
Physiologie	Hypercapnique	+++			++		+
	Hypoxique	+			++		+++
	Aérobie	+++			++		+
	Lactique	+			++		+++
Psychologie et musculature	Souplesse	+++			+++		+++
	Musculation spécifique	+++			++		+
	Musculation des muscles inspiratoires	+++			++		+
	Relâchement	+++			+++		+++

Tableau 6 : exemple de programmation d'un entraînement d'apnée au cours d'une saison

II. Entraînement aux épreuves de sauvetage

Ces épreuves sont retrouvées à l'examen initiateur, au GP-N4 et au MF2. Elles ont pour objectif de montrer une capacité de sauvetage en apnée et PMT pour les futurs cadres technique.

- Pour l'initiateur et le GP-N4, l'épreuve consiste à un parcours de 100m, puis une apnée exploratoire de 20 secondes, une récupération de maximum 10 secondes en surface puis aller chercher un mannequin :
 - Soit entre 2 et 6 m pour l'initiateur,
 - Soit entre 4 et 6m pour le GP-N4,

et un tractage en surface sur 100m.

- Pour le MF2, l'épreuve consiste à faire 200m en PMT, aller chercher un mannequin situé à 10m de profondeur puis à le tracter sur 100m.

Ces épreuves sont chronométrées avec un barème prenant en compte, le temps, la rectitude, la position du mannequin et l'efficacité de la prise.

La phase d'apnée qui intervient pour ces épreuves suit donc un effort plus ou moins important représenté par une nage de 100 ou 200m, le candidat est donc en hypercapnie dès le début

de son apnée et a donc déjà ses signaux d'alerte activés qui l'incite à stopper l'apnée et remonter.

Il va falloir :

- Préparer le corps à supporter l'hypercapnie et développer des éléments physiologiques pour compenser cette hypercapnie. Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents ceci repose sur l'entraînement à l'apnée hypercapnique afin de développer dans l'organisme des systèmes tampons qui permettent de supporter et de prolonger les apnées. Afin que cette phase d'apnée soit mieux ressentie par l'organisme, il convient d'habituer son organisme à pouvoir faire des apnées avec une charge en CO₂. Pour cela plusieurs exercices qui reposent tous sur le fait de cumuler les apnées successives en évitant une récupération totale qui nous feraient revenir à une charge de CO₂ normale.

Ci-dessous quelques exemples :

Exercice 1 :
En continu, faire des parcours PMT en surface suivi d'une apnée. La répétition de l'exercice doit être de 6 à 8 répétitions. Il est important d'avoir un nombre de répétition suffisant pour augmenter le CO ₂ . La distance pourra être de faire 25 ou 30 m en PMT puis 15m en apnée.
Intérêt : proche de la première partie de l'épreuve mannequin
Exercice 2 :
Les séries d'apnées horizontales avec récupération faible : par exemple faire des apnées de 25m avec des départs (temps apnée + récupération) toutes les 1min 30 sec. En fonction de l'évolution et de la facilité ressentie, on pourra faire des départs toutes les 1min 15sec ou toutes les minutes.
Intérêt : facile à mettre en place et évaluation des améliorations simples
Exercice 3 :
Les pyramides : série d'apnée de 25m avec diminution du temps de récupération après chaque apnée : 40 sec, puis 30 sec, puis 20 sec, puis 10 sec, puis 1 ventilation, ensuite toujours on augmente la récupération à 10 sec, 20 sec, 30 sec puis 40 sec.
Intérêt : Augmentation progressive de la difficulté et retour au calme actif, permet de travailler la résistance psychologique
Exercice 4 :
Séries hypercapniques lactiques : faire 6 apnées successives de 25m avec un rythme rapide de palmage et une récupération de 1min. Ne pas faire trop de répétition, l'objectif est de garder le même rythme durant tout l'exercice
Intérêt : travail la production d'acide lactique et la résistance à cette production

Tableau 7 : Exercices d'apnée dynamique

Ces exercices vont permettre comme nous l'avons vu dans le chapitre « physiologie » de développer les mécanismes tampons qui vont permettre de « piéger » le CO₂ et vont aussi permettre l'apprentissage psychologique du candidat à résister à l'automatisme de ventilation et du besoin de remonter.

- Préparer le corps à produire moins de CO₂ pour le même effort. Il faut donc faire un travail sur la filière aérobie avec du foncier (nage par exemple) et travailler l'amélioration technique afin d'améliorer le rendement (palmage, canard).

III. Entraînement aux épreuves d'apnée verticale

Ces épreuves consistent pour :

- Le GP-N4 à réaliser une apnée verticale de 10m
- Le MF2 à réaliser une apnée verticale de 15m

Ces épreuves sont, comme nous l'avons vu dans l'étude chez les plongeurs, ressenties par une proportion non négligeable de candidats comme des épreuves difficiles voire pour certains insurmontables. La plus grande difficulté réside sans doute pour certains plongeurs à l'absence de travail spécifique à l'apnée avant d'envisager ces épreuves. Comme pour toute activité physique, la réussite en apnée dépend avant tout de la technique développée, on constate trop souvent chez les candidats GP-N4 ou MF2 un manque de technique avec des immersions en canard non maîtrisées et très consommatrices d'énergie, des prises ventilatoires inefficaces et un positionnement dans l'eau non efficient. Ces apnées ne sont pas hypercapniques car nous partons sans avoir réalisé d'effort au préalable. Nous ne sommes pas non plus dans un contexte d'apnée hypoxique car les apnées ne durent pas assez longtemps. L'objectif ici pour réussir ces apnées sera de travailler sur le relâchement, la compensation des oreilles et la technique d'immersion et d'apnée.

Nous partons du principe que ces épreuves peuvent être réussies avant tout en travaillant la technique que nous verrons dans le chapitre suivant.

IV. Le travail technique

Ce chapitre traite essentiellement de savoir être et savoir-faire. Il est délicat d'essayer de retranscrire des éléments qui s'enseignent en pratique dans l'eau. Nous allons essayer ici de donner des éléments de base mais cela ne pourra pas remplacer un cours d'apnée avec un moniteur.

1) La technique de prise d'air

Le constat systématiquement retrouvé chez les personnes débutantes est une prise d'air insuffisante ou inefficace, or de la qualité de la prise d'air va dépendre la réussite de l'apnée et le maintien du relâchement nécessaire, l'oxygène étant le carburant nécessaire à l'apnée. Lors d'une ventilation préparatoire à l'apnée, il est important d'insister sur la ventilation diaphragmatique, celle-ci est la plus facile à mettre en œuvre et la plus efficace en termes de volume mobilisable.

a) Travail sur la ventilation diaphragmatique

Nous avons déjà exploré cette problématique dans le chapitre sur la ventilation. Nous reprenons ici les points essentiels. La ventilation diaphragmatique ou ventrale est la plus

efficace pour augmenter le volume ventilatoire que ce soit pour l'inspiration ou pour l'expiration.

Une bonne prise d'air doit :

- Etre suffisamment longue et ne peut se faire en 1 voire 2 secondes, car il faut laisser le temps à l'air de pénétrer dans les poumons.
- Se faire en prenant en compte l'ensemble du volume pulmonaire mais surtout la base des poumons. Pour cela il faut activer le diaphragme et les côtes lors de la prise d'air. Les poumons peuvent être schématiser en forme de triangle, lors de l'inspiration, le gain de volume sera d'autant plus important si la ventilation se concentre sur la base du triangle. L'apnéiste se concentrera à ne pas mobiliser le haut du corps et notamment les clavicules afin de garder un relâchement musculaire.

De façon réflexe, le débutant va faire le mouvement inverse, et va à l'inspiration contracter les abdominaux et rentrer le ventre. Lors de la prise d'air, l'apnéiste se concentrera sur une ventilation ventrale :

- Abaissement du diaphragme (« sortir » le ventre) à l'inspiration
- Remontée du diaphragme (« rentrer » le ventre) à l'expiration.

Le mouvement des côtes va permettre aussi d'augmenter le volume de la cage thoracique.

Idéalement la prise d'air se fera sans tuba afin de limiter l'espace mort qu'il représente. Si la prise d'air doit se faire avec tuba, le mieux sera d'inspirer par la bouche et d'expirer au maximum par la bouche et le nez.

b) Travail sur le relâchement :

Il est primordial de maintenir un relâchement important lors de la prise d'air notamment au niveau des épaules. Trop souvent il est constaté chez les débutants, une prise d'air avec une contraction des muscles des épaules et une remontée des clavicules. Ce geste a pour effet une faible prise d'air et surtout un blocage claviculaire qui va être néfaste par la suite pour le relâchement nécessaire à l'apnée et à l'équilibrage tympanique.

2) La technique d'immersion

Plusieurs erreurs sont classiquement constater et à éviter :

a) Position du canard par rapport à la bouée

Malgré des consignes répétées, l'erreur est systématiquement observée dans des stages préparatoires que ce soit pour le GP-N4 ou le MF2. L'immersion se fait devant la bouée et l'apnéiste se retrouve avec le bout derrière le dos et sans repère pour sa descente. Ceci va entrainer un effort pour retrouver le bout, une perte de relâchement qui peut être

préjudiciable pour la performance ou pour la compensation des oreilles. Il est important de systématiquement faire le canard après le bout, le bon repère étant d'avoir la bouée au niveau des hanches pour faire le canard. Cela va permettre d'avoir le bout en visuel dès la position verticale et de pouvoir garantir la verticalité et le bon positionnement par rapport à l'atelier.

b) Canard souple et économe en énergie

Les apnéistes apprennent à faire un canard à l'arrêt et économe en énergie car :

- L'apnéiste sportif est le plus souvent longée au bout de descente pour sa sécurité ;
- L'objectif est de garder de l'énergie et de l'air pour l'apnée à venir et pas pour se déplacer en surface ;
- Permet de garder le maximum de relâchement nécessaire à l'apnée à venir et à la compensation.

Le candidat GP-N4 ou MF2 pourra essayer d'améliorer son canard en s'entraînant au canard pratiqué par les apnéistes. Il sera utile pour l'épreuve d'apnée verticale mais aussi pour l'épreuve de sauvetage.

Erreurs à éviter	Bonne pratique en apnée	Intérêts
Canard précipité	Garder le maximum de relâchement Bien séquencer les gestes.	Econome en énergie et maintien du relâchement
Bras tendu devant soi, prendre appui sur l'eau pour casser le buste	Pénétrer dans l'eau de la façon la plus douce et la souple possible : on tentera d'arrondir le dos plutôt que de casser le buste. Les bras ne servent pas d'appui mais au contraire sont ramener au niveau du torse afin de diminuer la portance. Le buste n'est pas « cassé » mais l'apnéiste va arrondir le dos en projetant les bras vers le fond afin de se retrouver à la verticale avec les bras tendus. Une fois à la verticale, un mouvement de brasse des bras permet de s'immerger facilement.	Permet d'avoir un canard souple et moins consommateur en énergie
Casser le buste en mobilisant fortement les muscles de la sangle abdominale	Projeter les bras vers le fond et arrondir le dos pour « suivre » le mouvement des bras	Moins de consommation d'énergie pour s'immerger. Les bras se trouvent dans la bonne position pour

		permettre un mouvement de brasse et faciliter l'immersion.
Avoir un battement de jambes parasites hors de l'eau	Pas de battement de jambes hors de l'eau	Un mouvement de brasse unique des bras permet d'améliorer l'immersion et éviter de battre des jambes hors de l'eau

Tableau 8 : Bonnes pratiques pour un canard d'apnéiste

3) La technique de compensation

Souvent la compensation est un des freins à l'apnée notamment pour les épreuves d'apnée verticale. Les techniques ne sont pas spécifiques en apnée par rapport à la plongée, cependant nous partons avec un volume non renouvelable d'air et donc les techniques devront être plus finement maîtrisées. Il sera important d'essayer de bien maîtriser sa technique de compensation que ce soit Valsalva, Frenzel, la déglutition, ou la béance tubaire volontaire. Pour les profondeurs de 10 ou 15m toutes les techniques pourront convenir. Après avoir choisi sa technique de compensation, le plongeur devra rechercher le relâchement maximal au niveau du cou et des épaules. Ce relâchement passe par une bonne position dans l'eau.

4) Position dans l'eau

Nous allons aborder dans ce chapitre la 2^{ème} erreur la plus fréquemment rencontrée chez les apnéistes débutant : La position dans l'eau.

L'apnéiste doit comme nous l'avons abordé précédemment garder un relâchement maximal durant sa descente afin de faciliter la compensation des oreilles, et consommer un minimum d'énergie.

Ce relâchement passera par :

- La position de la tête : la recherche de la profondeur entraîne fréquemment chez le plongeur une position de la tête en hyperextension avec le regard vers le fond. Cette position va entraîner une contraction musculaire au niveau du cou et des épaules qui ne facilitera pas la compensation. De plus, cette position entraîne par réaction des chaînes musculaires et articulaires une courbure du corps qui ne va pas faciliter la verticalité. La tête devra donc être en position neutre, le regard étant horizontale, le bon repère étant de visualiser le bout et non pas le plomb au fond. Souvent d'un point de vue pratique, on demande à l'apnéiste d'imaginer qu'il tient une balle de tennis entre son menton et le haut de son sternum, ce qui obligera à avoir la tête correctement positionnée.
- La position des bras : l'objectif étant toujours de rechercher le relâchement maximum, les bras seront soit au niveau du thorax pour pouvoir être utilisés pour compenser par Valsalva, soit le long du corps. On évitera les bras en avant qui ne servent à rien⁵

⁵ Les bras tendus en prolongement du corps peuvent servir à la bonne pénétration dans l'eau mais la perte de relâchement que cela entraîne est au final préjudiciable chez les apnéistes débutants.

lorsque le plongeur est en bipalmes (pas de besoin d'appui comme en monopalme) et qui le plus souvent sont mal positionnés et sont un frein hydrodynamique car rarement dans une position parfaitement en prolongement du corps.

5) La descente et la remontée

A la descente comme à la remontée, il est souhaitable de profiter de la variation de flottabilité. A la descente, le palmage se fera moins important au fur et à mesure que la flottabilité diminuera afin d'économiser de l'oxygène et de se concentrer sur le relâchement pour compenser les oreilles et maintenir son apnée.

A la remontée, le départ du fond sera énergique mais rapidement le palmage sera diminué afin de profiter de l'augmentation de flottabilité à la remontée.

Dans les 2 phases, l'apnéiste se concentrera pour garder le relâchement maximal avec la bonne position de la tête et des bras comme déjà évoqué.

Sauf si cela est présent dans les consignes du jury, on évitera le tour d'horizon et le bras tendu vers la surface correspondant au protocole du plongeur scaphandre qui remonte en surface. L'apnéiste ne devant jamais faire d'apnée seul, l'apnéiste de sécurité est présent pour vérifier l'absence de danger à la surface, il est donc inutile de tendre le bras pour vérifier tout danger. Par contre cette attitude est consommatrice d'oxygène, met l'apnéiste dans une mauvaise position (tête en hyperextension) et l'apnéiste va perdre son relâchement en regardant la surface alors que sa seule préoccupation devrait être de préparer son protocole de sortie.

6) Le retour en surface

C'est le point technique crucial car il va conditionner la sécurité de la fin de l'apnée.

Comme nous l'avons vu le retour en surface entraîne des réactions physiologiques et notamment cardiovasculaires qui peuvent entraîner la syncope. Il est important d'avoir un protocole de sortie strict qui minimisera les risques de syncope ou de PCM.

Le bon protocole consiste :

- Prendre appui si possible en tenant le bout ou la bouée afin d'éviter un palmage de sustentation consommateur d'oxygène.
- Se concentrer sur sa reprise de ventilation :
 - Sans tuba si possible afin d'éviter le volume mort et l'effort expiratoire nécessaire pour le vider ;
 - Pratiquer une inspiration active, un temps mort (1 ou 2 secondes) et une expiration passive en débutant le cycle par l'inspiration ;
 - Faire 2 ou 3 cycles ;
 - Rester concentré sur la ventilation 30 sec après l'apnée *a minima* Le fait de faire une inspiration active suivie d'un petit temps de pause permet d'augmenter la pression alvéolaire et d'augmenter le passage de l'oxygène de l'alvéole vers les poumons. L'expiration passive permet d'éviter de « chasser » l'oxygène restant.
- Faire le signe et si possible libérer les voies aériennes (masque).

Pour rappel, la baisse d'O₂ sanguin continue après l'apnée et la reprise de la ventilation pendant plusieurs dizaines de secondes et le risque de syncope est donc toujours présent même après la reprise ventilatoire et le protocole de sortie. L'apnéiste doit rester à la disponibilité de l'apnéiste de sécurité (et le cas échéant du jury), 30 sec à 1min après la sortie. Le retour au bateau devra se faire plutôt en position dorsale et sans tuba.

V. L'échauffement

Souvent la phase d'échauffement est négligée par les plongeurs de peur de se mettre en hypercapnie et de faire des apnées moins bonnes ou plus difficiles. C'est une erreur car comme tout exercice physique, l'apnée nécessite un échauffement pour optimiser sa performance et éviter les accidents.

Le jury devra aussi prévoir un temps correct d'échauffement pour tous les participants s'il souhaite mettre les candidats dans de bonnes conditions de réussite.

1) Echauffement physique

Cela va permettre à l'organisme de se préparer à l'activité : montée en température, mobilisation des alvéoles pulmonaires. Comme pour tout échauffement l'importance est de limiter l'intensité de l'activité afin que cela reste un échauffement. Une nage pendant quelques minutes (10 min) à un rythme n'entraînant pas d'essoufflement chez le plongeur est un échauffement adapté avant une apnée.

Chez certains apnéistes de haut niveau, la technique du « No Warm up » est développée. Cette méthode consiste à se mettre à l'eau pour réaliser une performance, sans avoir fait d'échauffement préalable. Cette méthode permet de débiter l'apnée de façon parfaitement détendu, sans consommation involontaire et inutile d'O₂, en optimisant le réflexe d'immersion dont la bradycardie. Ce protocole est plutôt à déconseiller pour nos performances de plongeur car elles demandent un véritable entraînement et une préparation ventilatoire et d'assouplissement à sec.

2) Echauffement à l'apnée et à la compensation

L'échauffement physique doit être suivi d'un échauffement spécifique à l'apnée et à la compensation.

Il est important de s'échauffer à la compensation avant de faire une apnée verticale, notamment chez les apnéistes débutants. La vasoconstriction et la production de mucus au niveau des voies aériennes supérieures peut altérer la capacité de compensation. Quelques apnées d'échauffements à faible profondeur seront utiles, elles permettraient en plus à l'apnéiste à s'habituer à la visibilité et à la température de l'eau qui lui permettront de diminuer l'appréhension éventuelle du milieu.

De plus les petites apnées successives vont permettre la mise en place des mécanismes d'adaptation à l'apnée (mécanisme tampon) qui font que les apnées sont plus faciles. Comme pour l'apnée et le protocole de préparation, il sera judicieux d'avoir toujours le même protocole d'échauffement. Cela va permettre à l'organisme à s'habituer, va nous permettre de diminuer le stress car nous plaçons notre organisme et notre cerveau dans une situation connue et déjà maîtrisée.

3) Une phase de récupération

Avant la performance, il faut s'accorder une phase de récupération, il est important d'éviter toute production de CO₂ inutile, notamment en faisant du palmage de sustentation. Elle pourra être courte (5 à 10 min), légèrement active pour éviter l'installation du froid.

Propositions sur l'enseignement de l'apnée en plongée scaphandre

I. Proposition d'un cursus apnée du N1 au N3 technique (Annexe 3)

L'apprentissage de l'apnée pour le plongeur a comme objectif de donner les bases pour pratiquer une apnée en sécurité et de travailler l'apnée en lien avec les situations potentiellement observables en plongée : la panne d'air et l'amélioration de la ventilation en immersion. L'amélioration des capacités physiques en apnée par l'entraînement ne sera pas recherchée, bien que, comme nous l'avons abordé, la pratique de l'apnée présente un intérêt pour le plongeur scaphandre avec le développement des mécanismes d'adaptations physiologiques communs à l'apnée et la plongée scaphandre.

L'élaboration de la proposition ci-dessous repose sur la recherche de la progression dans l'acquisition des compétences sur l'ensemble du cursus et avant tout l'apprentissage des bons gestes et des bonnes techniques qui doivent suffire à atteindre les objectifs de la formation du plongeur scaphandre.

- Niveau 1 :

Nous concentrons l'apprentissage sur l'enseignement des gestes de sécurité liés à la ventilation avant l'apnée et après l'apnée et l'apprentissage de la ventilation ventrale. L'initiation aux accidents spécifiques et à leur prévention peut être déjà abordé afin de faire adhérer les pratiquants au bon geste de préparation à l'apnée et au protocole de sécurité.

L'objectif peut être l'autonomie dans la préparation avec une recherche de relâchement sur des petites apnées de 10m sur un fond entre 1 et 3m.

- Niveau 2 :

Lors de la formation au niveau 2 de plongée, le perfectionnement des éléments vus au niveau 1 doit être recherché. Un travail plus approfondi sur le relâchement en apnée et la technique d'immersion doit être travaillé, notamment avec le positionnement sous l'eau (pas d'hyperextension de la tête, relâchement des épaules).

L'objectif pourra être de pouvoir réaliser des petites apnées sur 3-4 m avec parcours dynamique de 5 à 10 m ou des apnées dynamiques horizontales de 20m.

Les plongeurs N2 pouvant être candidats à l'initiateur E1, il semble nécessaire de développer des compétences suffisantes en apnée afin qu'ils puissent ensuite les enseigner aux futurs niveau 1 ou niveau 2 et assurer la sécurité de son groupe d'élèves : les notions de sauvetage et de binôme seront enseignées ainsi qu'un approfondissement de la connaissance des accidents et de la prévention

- Niveau 3 :

L'objectif pour le niveau 3 sera d'initier à l'apnée verticale et de consolider les acquis des niveaux précédents. On se concentrera sur le perfectionnement des techniques d'immersion dans un souci d'économie d'énergie et de conservation du relâchement indispensables pour améliorer les apnées, et plus particulièrement les apnées verticales.

L'évaluation pourra être l'épreuve actuelle : être capable de faire une apnée dynamique de 15 m sur un fond de 5m en gardant un relâchement durant l'apnée. La sortie d'eau doit être calme et avec le respect du protocole de sécurité.

II. Proposition d'un cursus apnée du GP-N4 au MF2 technique

Concernant le cursus d'apnée pour les cadres techniques (GP-N4, Initiateur, MF1 et MF2), l'objectif peut être triple :

- Développer les capacités d'apnée nécessaires à assurer le sauvetage PMT ;
- Développer l'ensemble des capacités nécessaires aux prérogatives des cadres de plongées (guide de randonnée subaquatique, enseignement de l'apnée aux différents niveaux de plongeur) ;
- Développement de l'apnée verticale afin de répondre aux exigences des examens actuels de GP-N4 et MF2.

1) Le contenu

Le contenu du GP-N4 ou du MF2 semble adapté et en rapport aux futures prérogatives actuelles. Cependant, l'écart entre le niveau d'apnée enseigné chez les plongeurs et le niveau exigé à partir du N4 semble très important, et nécessiterait sans doute d'introduire plus de progression sur tout le cursus de plongeur afin que les plongeurs ne découvrent pas l'apnée verticale au GP-N4. Comme nous avons pu le constater sur les réponses aux questionnaires envoyés aux cadres techniques, un manque de pratique est souvent souligné et peut provoquer des difficultés importantes pour le passage des examens GP-N4 et MF2.

Le développement durant tout le cursus de compétences d'apnée permettrait au futur cadre d'avoir plus de compétences et d'outils pour l'enseigner.

2) Le secourisme en apnée

Les cadres techniques étant amenés à mettre en place des ateliers d'apnée, cet apport complémentaire traitant les particularités du sauvetage en apnée (apnéiste de sécurité, binôme, procédure) semble indispensable.

Pour cela, plusieurs possibilités :

- L'inclure dans la formation de plongée dès le niveau 2 afin de prendre en compte la possibilité pour les N2 de devenir E1 et l'approfondir pour les niveaux 4 ou les E2, notamment avec le sauvetage pour les apnées verticales.
- L'inclure dans la formation du RIFAP
- Promouvoir les échanges avec la commission apnée

3) La formation optionnelle par la commission apnée

Une des forces de la fédération est de disposer de commissions pour les différentes activités développées en son sein. Comme nous avons pu le constater dans les réponses aux questionnaires à destination des cadres, nombreux sont ceux qui ont été chercher de l'expertise auprès des cadres d'apnée de leur club ou de leur région.

La commission d'apnée propose aux cadres des autres commissions de la fédération une formation optionnelle d'apnée qui permet en 16h dont 4h de pratique d'acquérir des bases d'enseignement d'apnée afin d'animer si besoin des ateliers d'apnée. Elle permet la délivrance de la carte IE1 initiateur apnée aux cadres de la commission technique si ceux-ci sont en possession du RIFAA. Cette formation est optionnelle car dans les statuts fédéraux, le cadre technique peut demander sa carte IE1 apnée directement à la fédération sans passer par cette formation optionnelle (sous réserve d'être en possession de son RIFAA).

Bien qu'optionnelle, elle devrait être encouragée par tous les présidents de club et les responsables techniques car elle permet aux cadres d'acquérir les éléments techniques, de progression et de sécurité qui manquent dans le MFT pour construire correctement une séance d'apnée.

Dans les clubs disposant aussi de moniteur d'apnée, les formations dans une même session au secourisme plongée (RIFAP) et au secourisme apnée (RIFAA) sont aussi relativement fréquentes soit en interne soit avec l'aide des CODEP. Cet échange permet ainsi de développer le sauvetage spécifique de l'apnée chez les pratiquants scaphandre. Si les compétences d'apnée étaient plus développées dans le cursus plongée comme nous le proposons l'intégration d'un module sauvetage en apnée pourrait aussi être intégrée dans le RIFAP. En effet, l'apnée faisant partie intégrante de notre enseignement de plongeur, il est important que les encadrants aient acquis les bons réflexes d'intervention face à un accident d'apnée comme la syncope ou la PCM.

4) Réflexions sur l'évaluation des épreuves d'apnée verticale

Nous avons repris les critères notés dans le MFT pour les épreuves d'apnée verticale du GP-N4 et du MF2 :

- Réalisée une apnée en une seule tentative,
- Descendre au fond et faire face à l'examineur et se stabilisant au fond ;
- Aisance à 10m (signe ok à l'examineur, s'identifie et signe ok)
- Remontée avec tour d'horizon stabilisé à 5m

Plusieurs éléments peuvent être discutés :

En apnée, la sécurité impose que à la remontée l'apnéiste soit en flottabilité positive 5 ou 7 m. Le critère de tour d'horizon stabilisé est contraire à l'apprentissage de sécurité de base

pour l'apnée. Si l'apnéiste est capable de se stabiliser à 5m et faire une tour d'horizon, il est probable qu'il était surlesté. La notion de tour d'horizon est aussi non retrouvée chez les apnéistes sportifs car c'est le rôle de l'apnéiste de sécurité de veiller à ce qu'il n'y a pas d'obstacle à l'arrivée. Le tour d'horizon va avoir tendance à faire perdre le relâchement. Si l'objectif de cette épreuve est de démontrer une capacité minimum d'apnée, il est nécessaire de juger les capacités mais aussi le comportement. Les bonnes pratiques devraient donc être recherchées et le tour d'horizon abandonné.

Le critère de pouvoir réaliser en un seul essai est source de stress important pour le candidat, un problème de compensation pouvant toujours arriver même chez les apnéistes experts. La possibilité de 2 tentatives ne remettrait pas en péril l'organisation d'un examen et permettrait sans doute au différent candidat de garder un relâchement nécessaire à une bonne apnée.

Si l'objectif est de vérifier la maîtrise de l'apnée du candidat, il serait plus judicieux de demander 2 descentes successives avec une récupération sur temps déterminé. Ce type d'épreuve permettrait de juger de la qualité de la préparation, du protocole de sécurité, de la récupération, et de la maîtrise de la profondeur recherchée.

Enfin les critères en immersion : la bonne position du corps et de la tête devrait être dans les critères (pas d'hyperextension de la tête, rectitude) mais aussi l'utilisation de la variation de la flottabilité au cours de descente et à la remontée serait intéressante (diminution du palmage à la fin de la descente et à la fin de la remontée).

L'ensemble de ces propositions pourrait paraître excessif pour des candidats à des niveaux de plongée mais se justifie si on considère que ces épreuves sont présentes pour montrer une maîtrise d'apnée dans un objectif d'enseignement ou de démonstration et si ces épreuves sont la résultant d'une progression obtenue durant tout le cursus de plongeur.

Ces propositions ne demandent pas des changements fondamentaux dans le déroulé des examens et ne nécessitent pas non plus un volume de pratique beaucoup plus important (sous réserve d'une progression plus important dans l'ensemble du cursus).

III. Réflexions sur l'organisation d'un atelier d'apnée dans le cadre de la plongée technique

L'objet de ce chapitre est de proposer des pistes de réflexion sur l'organisation d'un atelier d'apnée pour les moniteurs dans le cadre de la formation à la plongée scaphandre.

Dans un premier temps nous rappellerons les bases du sauvetage en apnée et nous proposerons des outils pour organiser l'activité.

1) Le sauvetage en apnée

La pratique de l'apnée est comme nous l'avons vu une composante de la formation du plongeur technique. Les accidents redoutés en apnée sont la perte de conscience moteur ou syncope qui vont potentiellement entrainer la noyade si l'apnéiste/plongeur se trouve sous

l'eau. Les exercices d'apnée que nous sommes amenés à pratiquer durant les formations techniques pourraient laisser supposer que le risque d'accident est faible. Il n'existe pas à notre connaissance de donnée publiée sur les accidents d'apnée constatés durant les épreuves d'examen de brevet technique. Cependant, la simple discussion entre moniteurs ayant fait passer ou préparer au GP-N4 ou au MF2 permet de confirmer que ce risque est avéré.

Plusieurs explications sont possibles :

- Comme nous l'avons expliqué le manque de préparation à l'épreuve et plus particulièrement une mauvaise préparation à l'apnée (prise ventilatoire), un mauvais protocole de sortie sont des éléments à prendre en compte pour la survenue des accidents d'apnée chez les plongeurs techniques
- Une préparation insuffisante à l'épreuve
- Le stress de l'examen : ces épreuves (GP-n4 ou MF2) sont souvent mal vécues par les plongeurs car elles se passent dans un contexte d'examen difficile à fort enjeu personnel.
- Les épreuves sont uniques et sans possibilité de recommencer en cas de défaillance (problème de compensation, mauvaise prise d'air...) ce qui entraîne un stress supplémentaire sans doute favorisant à l'accident ou à la mauvaise pratique.
- Les conditions de passage : un nombre important de candidats à faire passer sur un temps court impliquent parfois des conditions de passage difficiles voire stressantes avec peu de temps de préparation et un rythme inadapté au relâchement nécessaire à ces épreuves.

En conséquence, la préparation à la pratique du sauvetage en apnée semble essentielle mais celui-ci n'est pas enseigné dans le module RIFAP (réactions et intervention face à un accident en plongée) obligatoire pour les encadrants techniques.

Idéalement, considérant la forte proportion de plongeurs également apnéistes et l'existence d'épreuve d'apnée dans le cursus fédéral de plongeur scaphandre, le passage du RIFAA (équivalent du RIFAP mais pour la pratique de l'apnée) en complément du RIFAP est à encourager chez tous les pratiquants. Cependant, il pourrait être aussi envisagé d'inclure dans la formation RIFAP des éléments de sauvetage apnée qui pourraient être suffisant pour la pratique des plongeurs. Cela ne demanderait qu'un complément correspondant à la prise dans l'eau, le protocole de bouche à nez, le tractage, le reste étant commun avec le RIFAP⁶.

Nous allons donner ici quelques éléments spécifiques du sauvetage en apnée, non pas pour se substituer à une formation au RIFAA mais pour sensibiliser le lecteur aux bonnes pratiques.

- Le sauvetage repose sur le maintien des voies aérienne hors de l'eau ou d'empêcher l'eau d'être inhalée lorsque la personne est encore sous l'eau. Lors de la syncope, la

⁶ Etant ANTEOR/MF2 et MEF2 apnée, je le pratique depuis maintenant 8 ans dans mon club.

perte de la conscience va provoquer la reprise ventilatoire et donc potentiellement une entrée d'eau si les voies aériennes sont sous l'eau ;

- Faire un « bouche à nez » afin de favoriser la reprise de conscience en stimulant les récepteurs des voies aériennes ;
- Stimuler la personne verbalement ;
- Puis sortir la personne hors de l'eau et la mettre sous O₂ à 15l/min pendant 10min ;
- En cas de suspicion d'inhalation d'eau, évacuation vers un service de secours.

Vous pouvez retrouver ci-dessous ces éléments en vidéo mais évidemment rien ne remplace la pratique avec un encadrant pour vous enseigner les bons gestes.

[Video de prise d'un sauvetage en apnée](#)

Figure 16 Prises de sauvetage en apnée

Cette pratique n'est possible que par un sauveteur sans scaphandre, un plongeur scaphandre à 10 m ou 5m de profondeur ne peut réellement intervenir avec efficacité sur une apnéiste en difficulté :

- Agilité insuffisante pour intervenir efficacement
- Difficulté à boucher les voies aériennes avec l'encombrement du scaphandre.
- Effort demandé au plongeur scaphandre est favorisant d'OPI ou de crampes (remontée force d'un apnéiste en perte de flottabilité sans utilisation possible du gilet stabilisateur étant donné qu'il faut fermer les voies aériennes du syncopé avec les mains).

Il serait donc judicieux sur les exercices d'apnée d'avoir une personne disponible en PMT afin d'assurer la sécurité. Idéalement cette personne a acquis les éléments de secourisme du RIFAA et est capable d'atteindre la profondeur d'exercice. Elle pourra partir à la rencontre de l'apnéiste lors de remontée.

2) Maintien d'une zone de sécurité

En apnée verticale, le bout de descente est un guide qui détermine la direction, permet de limiter la zone d'évolution et est un point clef de la sécurité. L'apnéiste est longé au bout ce qui permet de limiter la zone d'évolution, de l'empêcher de perdre le bout et de remonter éloigné d'un apnéiste de sécurité et d'un support flottant. Il n'est pas envisageable d'introduire l'utilisation de la longe pour les épreuves d'apnée des plongeurs scaphandre, il s'agirait alors d'introduire une technique supplémentaire très éloignée du besoin du plongeur. Cependant il est nécessaire, pour la sécurité, que le plongeur ait un guide qui lui permette de faire une descente en sécurité et qu'il remonte sur une zone sécurisée avec un apnéiste de sécurité et un support flottant.

L'atelier d'apnée devra donc disposer d'un flotteur avec un bout. La consigne pourra être de ne jamais quitter le bout des yeux, ou de maintenir le bout entre ces doigts si la visibilité est très mauvaise. Pour l'épreuve d'apnée du N3, il est aussi possible de demander au candidat de faire passer le bout entre les doigts durant toute l'épreuve.

3) Limitation du fond

Le risque chez certains (rares) candidats est une descente au-delà de la zone d'évolution demandée soit plus de 10m pour les GP-N4 et plus de 15m pour les E4. Il est recommandé de limiter la zone d'évolution

4) Organisation d'un atelier d'apnée

Pour tous les ateliers :

Il sera nécessaire de mettre en place des binômes qui devront se surveiller mutuellement. Les apnées devront être pratiquées à tour de rôle si la formation de sauvetage a été enseignée. Si ce n'est pas le cas, le moniteur devra être capable d'assurer le sauvetage pour les apnéistes. Il faudra prévoir un support pour la sortie d'eau qui pourra être une ligne d'eau ou le bord de la piscine ou des bouées à disposition le long du parcours pour les ateliers en milieu naturel.

En piscine :

La piscine est un environnement d'évolution « protégé » mais où l'accident peut arriver très rapidement. L'environnement connu de la piscine peut avoir pour conséquence un certain relâchement que l'encadrant n'aurait pas en milieu naturel.

Les ateliers d'apnée réunissent souvent un nombre important de personnes. Il est recommandé de limiter le nombre en fonction des exercices que l'on pratique et de la longueur de la piscine. A la différence des ateliers verticaux ou statiques, les plongeurs peuvent être éloignés du moniteur en fonction de la longueur de la piscine ou de l'exercice d'apnée dynamique. Il pourra être judicieux d'encadrer son atelier avec des apnéistes à jour de la procédure de sauvetage au début et à la fin du groupe ou de les placer sur le trajet de l'atelier. Une autre solution est aussi de former le groupe au préalable aux procédures de sauvetage.

Pour les ateliers verticaux en fosse ou milieu naturel :

La commission apnée limite le nombre d'apnéistes à 8 pratiquants pour un cadre d'apnée. Une bouée avec un bout lesté pourra être utilisée et on pourra limiter la profondeur par le choix des sites ayant une profondeur proche de celle de l'atelier. Bien que la présence d'une bouée avec un bout pourrait sembler excessif pour des petites apnées c'est un élément fondamental dans l'acquisition des bons gestes (verticalité, rectitude) et un élément de sécurité indispensable.

Conclusion :

L'apnée est donc comme nous avons pu le voir une activité complémentaire et même à recommander dans l'enseignement de la plongée d'un point de vue technique et développement physiologique. Le travail de l'apnée permet sans doute de mieux préparer les futurs plongeurs aux contraintes physiologiques d'un déplacement en immersion.

De plus, la plupart des plongeurs sont demandeurs d'initiation à cette activité, les cours de plongée sont donc l'occasion pour introduire les notions d'apnée et les bonnes pratiques. Le plongeur ne recherche pas obligatoire la performance que pourrait lui apporter un cours d'apnée spécifique assurée par un cadre d'apnée, il est donc important que le cadre technique puisse apporter les éléments indispensables à cette activité tout en restant dans le cadre d'un cours pour la pratique de la plongée scaphandre.

Cependant comme toute compétence, son enseignement mérite la mise en place d'une progression et d'objectif précis pour chaque niveau, pour cela il pourrait être utile de revoir la place de l'apnée dans l'ensemble du cursus du plongeur et le contenu de notre référentiel afin d'apporter des précisions sur les compétences à développer et la progression à mettre en place.

Annexes

Annexe 1 : : Enquête sur la pratique de l'apnée dans le cursus plongée scaphandre

- 1) Région d'appartenance
- 2) Au sein de votre club et durant votre cursus de plongeur, l'enseignement de l'apnée a été réalisé : *
 - par des cadres de plongée technique
 - par des cadres d'apnée
 - je ne sais pas
- 3) Quelle est votre expérience d'apnée actuelle ?
 - pas d'expérience particulière
 - apnée horizontale 25m essentiellement en piscine
 - apnée verticale en fosse
 - apnée verticale en milieu naturel dans la zone de 10-15m
 - apnée verticale en milieu naturel au delà de 15m
 - j'ai un niveau d'apnée FFESSM
- 4) Niveau de plongée
- 5) Quelle était votre compétence d'apnée AVANT d'entreprendre les passages du GP-N4 ou du MF2 ? *
 - Absence de pratique d'apnée
 - Pratique irrégulière durant les entraînements de plongée technique
 - Pratique régulière de l'apnée horizontale en club et piscine
 - Pratique de l'apnée verticale en fosse
 - Pratique de l'apnée verticale en milieu naturel jusqu'à 10m
 - Pratique de l'apnée verticale en milieu naturel jusqu'à 15m
 - Pratique de l'apnée verticale en milieu naturel jusqu'à 20 m et au-delà
- 6) Quel a été votre entraînement POUR LE PASSAGE des épreuves d'apnée du GPN4 et/ou du MF2 ?
 - Entraînement avec un moniteur technique en piscine ou en fosse
 - Entraînement avec un moniteur d'apnée en piscine ou en fosse
 - Participation à des séances d'apnée en milieu naturel avec moniteur technique
 - Participation à des séances d'apnée en milieu naturel avec moniteur d'apnée
- 7) A la fin de votre préparation, quelle était votre expérience d'apnée verticale en milieu naturel AVANT l'examen final de passage du GP-N4 et/ou MF2 ? *
 - Pas de descente verticale en milieu naturel
 - 1 à 3 séances en milieu naturel pour tester
 - Programme spécifique en mer ou milieu naturel
 - Non concerné.e car je pratique régulièrement l'apnée verticale en milieu naturel
 -
- 8) Quel était votre état d'esprit avant l'épreuve d'apnée ?
 - Epreuve insurmontable, je ne vais pas y arriver
 - Une chance sur 2, on verra...

- Epreuve un peu stressante mais je me suis bien préparé.e
 - Epreuve facile, pas de souci
- 9) Comment jugez-vous, a posteriori, votre préparation à ces épreuves d'apnée ? *
- Epreuves difficiles pour lesquelles j'ai manqué de préparation
 - Epreuves difficiles pour lesquelles j'ai dû me préparer de façon intensive et régulière
 - Epreuves difficiles mais peu préparées car non prioritaire par rapport au reste des épreuves de l'examen GP-N4 et/ou MF2
 - Epreuves nouvelles mais il m'a été facile de me préparer avec les conseils de mes moniteurs
 - Epreuves faciles dans la continuité de ma formation de plongée
 - Pas de préparation spécifique, je fais de l'apnée
- 10) L'apnée fait-elle partie intégrante de votre enseignement de plongée scaphandre ? *
- Oui, je fais les épreuves notées dans le MFT
 - Oui, je l'enseigne de façon régulière et approfondie
 - Non, pas ou peu d'intérêt
- 11) Pensez-vous avoir reçu suffisamment de bases pour l'enseignement de l'apnée dans le cadre de la plongée technique ? *
- Oui
 - Non
- 12) Avez-vous suivi un enseignement d'apnée en parallèle ? *
- La passerelle optionnelle pour les cadres techniques Des niveaux de pratiquant d'apnée Des niveaux d'encadrement d'apnée Non, pas de complément suivi
- 13) Les enseignements que vous avez pu recevoir durant votre cursus de plongeur vous ont-ils permis de vous sentir à l'aise en apnée ? *
- Oui
 - Non
- 14) Auriez-vous souhaité pratiquer plus d'apnée dans le cadre de votre cursus de plongée scaphandre ?
- Oui
 - Non
- 15) En tant que plongeur, la pratique de l'apnée est pour vous :
- une discipline complémentaire à la plongée et que vous aimeriez approfondir durant votre cursus de plongeur scaphandre
 - une discipline spécifique que vous aimeriez approfondir en parallèle de la plongée
 - une discipline complètement différente qui ne vous attire pas
- 16) Commentaires :

Annexe 2. : Résultats de l'étude

<u>Répartition des réponses par régions</u>			<u>Répartition des réponses par niveau de plongée</u>		
Région	Nombre de répondants	%	Niveau de plongée	Nombre de répondants	%
Auvergne-Rhône-Alpes	6	1,7%	AUTRES (PADI, SSI...)	4	1,14%
Bourgogne-Franche-Comté	1	0,3%	E1	18	5,13%
Bretagne	4	1,1%	E2	52	14,82%
Centre-Val de Loire	1	0,3%	E3	72	20,51%
Corse	2	0,6%	E4	53	15,10%
Département ou régions d'outre-mer	1	0,3%	GP-N4	17	4,84%
Grand Est	2	0,6%	N1	29	8,26%
Hauts-de-France	2	0,6%	N2	43	12,25%
Ile-de-France	313	89,2%	N3	63	17,95%
Normandie	2	0,6%	Total général	351	100,00%
Nouvelle-Aquitaine	5	1,4%			
Occitanie	4	1,1%			
Pays de la Loire	3	0,9%			
Provence-Alpes-Côte d'Azur.	5	1,4%			
Total général	351	100,00%			
<u>Enseignement de l'apnée par :</u>			<u>Expérience d'apnée des répondants :</u>		
	Nombre de répondants	%		Nombre de répondants	%
Je ne sais pas	14	3,99%	Pas d'expérience particulière	26	7%
Par des cadres d'apnée	69	19,66%	Apnée horizontale en piscine	98	28%
Par des cadres de plongée technique	170	48,43%	Apnée en fosse	51	15%
Par des cadres de plongée technique et par des cadres d'apnée	98	27,92%	Apnée en milieu naturel 10-15m	108	31%
Total général	351	100,00%	Apnée en milieu naturel au-delà de 15m	68	19%
			Total	351	100,00%

Expériences d'apnée chez les plongeurs			Expériences d'apnée chez les cadres		
Expériences	Nombre de répondants	%	Expériences	Nombre de répondants	%
Pas d'expérience particulière	19	14%	Pas d'expérience particulière	7	7%
Apnée horizontale en piscine	55	40%	Apnée horizontale en piscine	43	28%
Apnée en fosse	19	14%	Apnée en fosse	32	16%
Apnée en milieu naturel 10-15m	23	17%	Apnée en milieu naturel 10-15m	85	30%
Apnée en milieu naturel au-delà de 15m	23	17%	Apnée en milieu naturel au-delà de 15m	45	19%
Total général	139	100%	Total général	212	100%
Préparation des cadres aux épreuves apnée :			Ressentis avant l'épreuve pour GP-N4 ou MF2		
	Nombre de répondants	%		Nombre de répondants	%
1 à 3 séances en milieu naturel pour tester	108	51%	Epreuve facile, pas de souci	63	30%
Non concerné.e car je pratique régulièrement l'apnée verticale en milieu naturel	10	5%	Epreuve insurmontable, je ne vais pas y arriver	9	4%
Pas de descente verticale en milieu naturel	40	19%	Epreuve un peu stressante mais je me suis bien préparé.e	103	49%
Programme spécifique en mer ou milieu naturel (vide)	36	17%	Une chance sur 2, on verra...	19	9%
	18	8%	(vide)	18	8%
Total général	212	100%	Total général	212	100%
L'apnée fait partie de l'enseignement du plongeur ?			Pensez-vous avoir suffisamment de bases pour l'enseignement de l'apnée ?		
	Nombre de répondants	%		Nombre de répondants	%
Non, pas ou peu d'intérêt	16	8%	Non	135	64%
Oui, je fais les épreuves notées dans le MFT	109	51%	Oui	62	29%
Oui, je l'enseigne de façon régulière et approfondie (vide)	72	34%	(vide)	15	7%
	15	7%			
Total général	212	100%	Total général	212	100%

Avez-vous suivi un enseignement d'apnée en parallèle ?			En tant que plongeur, la pratique de l'apnée est pour vous :		
	Nombre de répondants	%		Nombre de répondants	%
Des niveaux de pratiquant d'apnée	26	12%	une discipline complémentaire à la plongée et que vous aimeriez approfondir durant votre cursus de plongeur scaphandre	65	42%
Des niveaux de pratiquant d'apnée, Des niveaux d'encadrement d'apnée	1	0%	une discipline complètement différente qui ne vous attire pas	16	10%
Des niveaux d'encadrement d'apnée	12	6%	une discipline spécifique que vous aimeriez approfondir en parallèle de la plongée	72	47%
La passerelle optionnelle pour les cadres techniques	30	14%	Total général	153	100%
La passerelle optionnelle pour les cadres techniques, Des niveaux de pratiquant d'apnée	19	9%	Auriez vous souhaité pratiquer plus d'apnée durant votre cursus de plongeur ?		
La passerelle optionnelle pour les cadres techniques, Des niveaux de pratiquant d'apnée, Des niveaux d'encadrement d'apnée	9	4%		Nombre de répondants	%
La passerelle optionnelle pour les cadres techniques, Des niveaux d'encadrement d'apnée	3	1%	Non	32	21%
Non, pas de complément suivi (vide)	97	46%	Oui	122	79%
	15	7%	Total général	154	100%
Total général	212	100%	Enseignement de l'apnée durant votre cursus de plongeur vous ont permis d'être à l'aise ?		
				Nombre de répondants	%
			Non	42	27%
			Oui	112	73%
			Total général	154	100%
			En tant que plongeur, la pratique de l'apnée est pour vous :		
				Nombre de répondants	%
			une discipline complémentaire à la plongée et que vous aimeriez approfondir durant votre cursus de plongeur scaphandre	65	42%
			une discipline complètement différente qui ne vous attire pas	16	10%
			une discipline spécifique que vous aimeriez approfondir en parallèle de la plongée	72	47%
			Total général	153	100%

Annexe 3: Proposition de formation à l'apnée en plongée

NIVEAU 1 PE20	
Compétence attendue : le plongeur est capable de se préparer seul à faire une apnée avec une ventilation ventrale et une bonne prise d'air. Il ressort de l'apnée sans essoufflement et avec un protocole de sécurité approprié.	
TECHNIQUE	
Ventilation avant l'apnée	On recherchera chez le plongeur une bonne utilisation du volume d'inspiration. Pas d'hyperventilation. Le recherche du relâchement maximal sera l'objectif
Ventilation après l'apnée et protocole de sortie	Protocole compris et appliqué : inspiration, plusieurs cycles, un point d'appui.
COMPORTEMENT	
Binôme d'apnée	Surveille son binôme, sait donner l'alerte
CONNAISSANCES THEORIQUES	
Initiation aux risques de l'apnée : notion de binôme, notion du risque de l'hyperventilation en expiration	
Modalités d'évaluation : Le plongeur est capable de faire des apnées sur 2m-3 m sans appréhension et sur 5 à 10 mètres de distance. Il est autonome dans sa préparation à l'apnée et dans sa gestion de sortie avec un protocole de sécurité adéquate. La notion de binôme en apnée est acquise.	
NIVEAU 2 PA20-PE40	
Compétence attendue : Capable de mettre en place la sécurité pour des petites apnées à 3m avec déplacement sur 10m, perfectionnement de l'apnée horizontale par rapport au N1	
TECHNIQUE	
Canard	Perfectionnement du canard
Perfectionnement de l'apnée	Perfectionnement du palmage et du positionnement en apnée verticale
COMPORTEMENT	
Intervention sur une personne en syncope	Est capable d'intervenir sur une personne en syncope en surface ou à 3m
CONNAISSANCES THEORIQUES	
Prévention des risques en apnée, notion d'apnée hypercapnique et hypoxique	
Modalités d'évaluation : Capable de faire des petites apnées en binôme sur une profondeur de 2 à 3m et une distance de 10m. Met en place la sécurité en binôme. Capable d'intervenir sur une personne en syncope.	
NIVEAU 3	
Compétence attendue Est capable de faire des apnées à 5m avec déplacement horizontal	
TECHNIQUE	
Perfectionnement de l'apnée horizontale	Bonne position de la tête, des bras Palmage ample
Perfectionnement du carnard	Doit acquérir un canard adapté à l'apnée verticale : immobile, rectiligne, bonne position du corps à la descente
COMPORTEMENT	
Relâchement dans l'apnée	Apnée sans précipitation, est capable de se déplacer avec des changements de direction Retour surface avec calme et perfectionnement du protocole de sortie
CONNAISSANCES THEORIQUES	
Prévention des risques en apnée, notion d'apnée hypercapnique et hypoxique	
Modalités d'évaluation : Fait des apnées à 5m sur un déplacement de 10 à 15m	

NIVEAU 4	
Compétence attendue : Capable de faire une apnée verticale jusqu'à 10m et de réagir sur une personne en syncope dans le cadre d'un atelier d'apnée verticale	
TECHNIQUE	
Apnée verticale	Position verticale de l'apnée et absence de geste parasite
COMPORTEMENT	
Intervention sur une personne en syncope	Est capable de réagir à une syncope à 5m
CONNAISSANCES THEORIQUES	
Prévention des accidents en apnée, les accidents de l'apnée, les bases de l'entraînement	
Modalités d'évaluation : 2 apnées verticale à 10m en 6min avec gestion de la préparation et de la récupération de façon autonome Intervention sur un syncopé à 5m et mise en sécurité (jusqu'au bord ou à l'échelle)	

Tables des illustrations et tableaux :

Figure 1 : voies aériennes supérieures.....	17
Figure 2 : Schéma des voies aériennes inférieures	18
Figure 3 : schéma des voies aériennes terminales : bronchioles, alvéoles et capillaire	18
Figure 4 : La barrière alvéolo-capillaire. Photographie au microscope électronique	19
Figure 5 : Diffusion des gaz respiratoires par osmose au niveau de la barrière alvéolo-capillaire.....	19
Figure 6 : Mouvements inspiratoires	20
Figure 7 : Mouvements expiratoires	21
Figure 8 : le cycle ventilatoire.....	22
Figure 9 : Schéma du système neuro-ventilatoire et des différentes catégories de stimuli ventilatoires....	23
Figure 10 Evolution de la fréquence cardiaque lors d'apnée réalisées par des plongeurs Ama lors de trois situations : dans l'air, le seul visage ou la totalité du corps immergé pour une température de 27°C ou de 10°C. La valeur de repos est ramenée à 100% permettant ainsi de comparer la totalité du groupe.....	25
Figure 11 : Blood shift.....	27
Figure 12 : Courbes des PaO ₂ et PaCO ₂ sans hyperventilation : arrêt apnée par atteinte du seuil de reprise ventilatoire avant le seuil syncopal	30
Figure 13 : Courbes CO ₂ et PO ₂ avec hyperventilation au cours d'une apnée statique : explication de la syncope	30
Figure 14 : Evolution des PaCO ₂ et PaO ₂ au cours d'une apnée verticale	32
Figure 15 : mécanismes physiologiques de l'OPI en apnée.....	37
Figure 16 Prises de sauvetage en apnée	57
Tableau 1 : épreuves d'apnée Fascicule plongée (1968).....	8
Tableau 2 : compétences d'apnée dans le cursus plongeur dans les différents MFT de 1989 à 2020	10
Tableau 3 : Extraits du MFT plongeur maj. 02/2019 mentionnant l'apnée	13
Tableau 4 : Extraits du MFT cadres maj 03/2020 mentionnant l'apnée	14
Tableau 5 : Extraits du MFT jeunes : enfant cadres maj 04/2020 mentionnant l'apnée	14
Tableau 6 : exemple de programmation d'un entraînement d'apnée au cours d'une saison	43
Tableau 7 : Exercices d'apnée dynamique	44
Tableau 8 : Bonnes pratiques pour un canard d'apnéiste.....	48

Bibliographie

- [1] V. Lafay *et. al.*, *Coeur et plongée*. Ellipses, 2017.
- [2] U. Pelizzari, *Respiration pour l'apnée*. Amphora, 2009.
- [3] S. K. Hong, T. O. Moore, G. Seto, H. K. Park, W. R. Hiatt, and E. M. Bernauer, "Lung volumes and apneic bradycardia in divers," (in eng), *J Appl Physiol*, vol. 29, no. 2, pp. 172-6, Aug 1970, doi: 10.1152/jappl.1970.29.2.172.
- [4] F. Joulia, J. G. Steinberg, F. Wolff, O. Gavarry, and Y. Jammes, "Reduced oxidative stress and blood lactic acidosis in trained breath-hold human divers," (in eng), *Respir Physiol Neurobiol*, vol. 133, no. 1-2, pp. 121-30, Oct 2002, doi: 10.1016/s1569-9048(02)00133-7.
- [5] K. Espersen, H. Frandsen, T. Lorentzen, I. L. Kanstrup, and N. J. Christensen, "The human spleen as an erythrocyte reservoir in diving-related interventions," (in eng), *J Appl Physiol (1985)*, vol. 92, no. 5, pp. 2071-9, May 2002, doi: 10.1152/jappphysiol.00055.2001.

- [6] B. Broussolle, J.-L. Méliet, M. Coulange, and e. al, *Physiologie et médecine de la plongée*. 2006.
- [7] C. MILLER, K. CALDER-BECKER, and F. MODAVE. (2010, OCT 28) Swimming-induced pulmonary edema in triathletes. 941-6.
- [8] A. HENCKES, F. LION, and G. COCHARD. (2008, SEP 27) Pulmonary oedema in scuba-diving: frequency and seriousness about a series of 19 cases. 694-9.
- [9] G. Cochard *et al.*, "Swimming-induced immersion pulmonary edema while snorkeling can be rapidly life-threatening: case reports," (in eng), *Undersea Hyperb Med*, vol. 40, no. 5, pp. 411-6, 2013 Sep-Oct 2013.
- [10] C. Edmonds, "Scuba divers' pulmonary oedema. A review," (in eng), *Diving Hyperb Med*, vol. 39, no. 4, pp. 226-31, Dec 2009.
- [11] F. Lemaitre. *et. al*, *L'apnée De la théorie à la pratique*. Publications des universités de Rouen et du Havre 2007.