

RÈGLES DE SÉCURITÉ EN APNÉE

(Stéphan JACQUET, CAH IIB, MF1 FFESSM)



I - Objectif général

Dans le cadre de ce stage, l'apprentissage de l'apnée aura pour objectif de maîtriser une évolution de courte durée sous l'eau sans respirer. Savoir que l'on est capable de rester un petit moment sous l'eau en l'absence de toute source d'air peut en effet s'avérer utile en cas de panne d'air dans l'attente d'une assistance (demande d'air) voire d'une remontée contrôlée vers la surface.

II - Quelques règles simples

L'apnée est une activité à pratiquer avec beaucoup de prudence et quelques règles simples pour notre propre sécurité et celle des autres sont à respecter. **La limitation de la profondeur d'évolution et l'absence de performances** à atteindre constituent les 2 éléments de sécurité les plus importants. La pratique de l'apnée n'étant pas considérée comme de la plongée à proprement parlé (on ne l'utilisera pas en tant que plongeur scientifique), il s'agira ici d'un exercice de maîtrise de soi, d'une prise de conscience de notre capacité à évoluer sous l'eau sans respirer.

Le principal fondamental est la **progressivité**: pour bien se connaître, pour éduquer ses sensations, pour reconnaître ses limites et ne jamais vouloir les dépasser.

1. On pratiquera toujours l'apnée en binôme. Durant l'immersion, le deuxième plongeur surveille son camarade apnéiste depuis la surface et il doit être capable d'intervenir en cas de problème (crampe, malaise, syncope), c'est à dire aller chercher l'apnéiste pour le ramener en surface si nécessaire. Cette règle de sécurité est la plus importante. Et ce n'est pas un hasard si elle vous rappelle étrangement la pratique de la plongée avec bouteilles pour le cas de plongeurs autonomes: on ne plonge jamais seul et on doit être capable d'assister un camarade en difficulté.

Le fait de travailler en binôme a un autre avantage: pendant que le camarade est sous l'eau et qu'on le surveille, on a le temps de se reposer et de reprendre tranquillement son souffle.

2. Ne pratiquez pas d'hyperventilation, c'est à dire d'inspirations et d'expirations forcées avant l'immersion. Préparez vous plutôt en facilitant votre cycle respiratoire sans exagérer l'inspiration ou l'expiration (voire explications plus bas). Dans ce but, je vous propose de suivre la démarche suivante:

- allongez-vous à l'horizontal dans l'eau et respirez normalement
- *fermez les yeux et faites le vide ou pensez par exemple à un moment agréable vécu ou simplement à quelque chose de plaisant (il est en effet bien difficile de ne penser à rien alors autant aller dans le sens de ce qui vous mettra à l'aise).*

3. A l'immersion, le meilleur moyen pour descendre dans la colonne d'eau est de **réaliser un «canard» de manière non brutale** puis de se laisser couler avant de palmer doucement vers le fond (mouvements lents). ATTENTION, il ne s'agit pas de toucher le fond ou de valider un record dès la première descente. Descendez sur 2, 3 mètres pour la première immersion. Cela suffira. N'essayez pas d'atteindre ou de dépasser vos limites. Encore une fois, l'idée ici est de contrôler ce que l'on fait. Si vous descendez profond et remontez «plein pot», l'objectif n'aura pas été atteint.

4. Au cours de la descente, n'attendez pas d'avoir mal aux oreilles pour **équilibrer la pression** de l'eau sur les tympans. Tout le long de la descente, vous pouvez également compenser l'écrasement du masque en soufflant un peu d'air par le nez.

5. A la fin de la descente, **évitiez un retournement brutal** et profitez en pour **regarder autour de vous**. Prenez un peu de temps avant de remonter. Si cet exercice a pour but de nous habituer à ne pas respirer sous

l'eau en toute décontraction, il ne faut pas oublier que l'apnée est également le centre de nombreuses activités de loisirs visant à observer (et photographier), à chasser, ou à pratiquer une activité sportive (tir sur cible, hockey, natation synchronisée). Profitez en donc pour regarder faune et flore mais éviter de toucher à mains nues certains organismes vivants tels qu'oursins, anémones, et autres poissons urticants ou venimeux.
Rassurez votre binôme par le signe OK

6. A la remontée, vous vous appliquerez à **remonter tranquillement** en regardant autour de vous notamment au-dessus de votre tête pour être sur que rien n'entravera votre sortie à l'air libre. Vous pouvez de plus rassurer votre binôme en lui disant que tout va bien (par le signe OK). Profitez en pour constater si votre lestage est approprié ou pas.

7. En surface, **surveiller** le partenaire pendant quelques secondes car il se peut que la perte de connaissance intervienne après la première inspiration en surface

Disposer d'une bonne condition physique est importante. Cela est valable pour toutes les activités dites sportives. Au cours de ce stage, la pratique régulière de la nage permettra d'améliorer sensiblement nos capacités physiques. Pour l'apnée, l'intérêt est multiple:

- augmenter la capacité vitale pulmonaire
- diminuer la fréquence de la respiration
- diminuer la sensibilité aux stimuli respiratoires
- augmenter la tolérance au CO2

En résumé, il faut:

- Plonger à deux
- Ne pas hyperventiler
- Limiter la durée
- Limiter la profondeur
- Etre en forme
- Etre calme
- Se surveiller

Remarque: si ce stage vous donne le goût de faire de l'apnée, ces quelques règles de sécurité sont bien sur toujours valables. Quelques une se rajoutent concernant **l'organisation de la sortie**:

- choisir sa zone, sa profondeur, une absence de courant, une bonne météo, une bonne visibilité
- utiliser un vêtement adapté car la respiration ne doit pas être entravée, le froid doit être limité (l'hypothermie peut avoir des conséquences dramatiques sur l'apnéiste)
- connaître les organismes de secours locaux, l'emplacement des cabines téléphoniques si vous n'avez pas de VHF ou de portable
- si il y a une embarcation, avoir le matériel nécessaire à bord
- pour une sortie longue (demi-journée et plus), prévoir des vêtements de rechange, des boissons chaudes et froides, des aliments énergétiques à assimilation rapide
- convenir d'un signal de ralliement en cas de problème, connaître les rudiments du sauvetage pour pouvoir ramener à la conscience un camarade qui aurait perdu connaissance

III – Un peu plus loin...

A - Objectif

Après avoir vu d'une façon pratique les règles de sécurité à la pratique de l'apnée en mer, nous allons entrer un petit plus dans le détail et approcher l'apnée du point de vue physiologique. Cela restera très succinct car il s'agit d'un domaine d'étude qui est loin d'avoir tout dit et surtout je ne suis pas un spécialiste de la question. Ici, nous resterons dans l'objectif premier qui est celui de la **sécurité** et c'est pourquoi j'insisterai surtout sur un problème dont vous avez déjà entendu parler: l'hyperventilation.

Dans une deuxième partie, on regardera d'un peu plus près les signes pré-syncopaux, les types de perte de connaissance (accidents compris) et l'intervention proprement dite.

B - Introduction

Qu'est-ce que l'apnée? L'apnée est la suspension temporaire des mouvements ventilatoires. Il s'agit d'un exemple unique en physiologie d'une fonction végétative pouvant être interrompue volontairement. Bien que pratiquée depuis les temps les plus anciens, la première étude médico-physiologique de la plongée en apnée digne de ce nom ne date que de 1932: un travail de G. Teruoka portant sur la consommation d'oxygène, la production de gaz carbonique, le quotient respiratoire, la fréquence cardiaque, l'influence de la température de l'eau et j'en passe.

C - Physiologie respiratoire du plongeur en apnée

Le problème central de l'étude la plongée en apnée est celui des échanges respiratoires au sein du système fermé que constitue l'organisme. Les facteurs propres à l'apnée liés à ceux tenant aux variations de pression au cours de la plongée rendent d'autant plus difficile l'analyse physiologique. De nombreux facteurs entrent en ligne de compte et il est en fait simpliste de limiter la physiologie de la plongée en apnée aux seuls problèmes respiratoires (il y a aussi d'importants changements au niveau cardio-vasculaire) mais nous en resterons là en réponse à l'objectif du présent cours.

Que se passe t il au cours d'une apnée en surface?

Les pressions partielles alvéolaires d'oxygène décroissent et les pressions alvéolaires de gaz carbonique croissent en réponse aux combustions liées au métabolisme cellulaire. L'évolution au cours du temps, pour les pressions partielles comme pour les volumes des gaz, est différente suivant que l'on considère l'oxygène ou le gaz carbonique.

La PAO_2 diminue régulièrement au cours du temps mais à mesure que les réserves d' O_2 s'amenuisent, les échanges se ralentissent, la chute de la pression partielle d' O_2 se modère et les gradients entre pressions alvéolaire et artérielle se réduisent. L'exercice musculaire accélère la décroissance des pressions partielles d' O_2 et réduit donc la durée de l'apnée.

La $PACO_2$ croît en tendant rapidement vers une asymptote avoisinant 55-60 torrs. Après environ 1 min d'apnée, la $PACO_2$ rejoint la $PaCO_2$ dont la valeur demeurera inférieure à la précédente pour atteindre à 4 min 51 torrs. Cet aspect asymptotique résulte de l'intervention des substances tampons présentes dans le milieu intérieur qui fixent la plus grande partie du CO_2 qui ne peut être évacué par la voie pulmonaire au cours de l'apnée.

Ces variations simultanées et de sens opposés des Pp d' O_2 et de CO_2 diminuent donc progressivement les gradients de chacun de ces gaz entre l'alvéole et le sang. Les échanges diminuent donc avec l'apnée.

PA=Pression partielle Alvéolaire

Pa=Pression partielle artérielle ou tension

Durée de l'apnée

Elle est variable suivant les individus et les conditions environnementales. En eau tiède et au repos, cette durée peut atteindre 6 minutes et correspond à celle que l'on peut prévoir par le calcul en fonction des réserves d'oxygène du métabolisme. Une certitude est que l'exercice musculaire réduit la durée de l'apnée, comme toute action physiologique consommatrice d'oxygène et productrice de gaz carbonique. **Rester calme et la pratique d'une bonne ventilation (j'entends par là la réalisation de 3-4 cycles respiratoires avec une ventilation ample et lente)** peuvent augmenter la durée de l'apnée.

En eau froide et/ou avec un effort musculaire modéré (**ce qui est notre cas ici**), la durée de l'apnée est donc réduite par l'augmentation du métabolisme. Les durées d'apnée réelles sont en fait toujours inférieures à celles données par le modèle car d'autres facteurs sont à prendre en compte comme:

- la composition initiale de l'air alvéolaire
- le remplissage gazeux alvéolaire
- la tolérance des centres régulateurs de la respiration aux stimuli
- le stimulus psychologique (la volonté de résister à l'envie de ventiler)

Les mécanismes de rupture de l'apnée

Les stimuli mis en jeu pour rompre l'apnée sont ceux qui interviennent dans la régulation de la ventilation.

- Le stimulus CO_2 prédominant agit sur les chémorécepteurs des *glomus* quand la pression partielle artérielle de CO_2 est supérieure à 40 torrs et sur les centres respiratoires bulbaires pour des pressions partielles supérieures à 30 torrs.

- Le stimulus O_2 agit sur les chémorécepteurs des glomus quand la pression partielle artérielle d' O_2 est inférieure à 150 torr.

Il s'agit d'actions réflexes. La première peut être bloquée si la pression artérielle d'oxygène est supérieure à 200 torr. Les pressions partielles des gaz respiratoires constituent les paramètres de «base» dans le contrôle de la ventilation; d'autres facteurs interviennent pour expliquer la rupture de l'apnée (contractions diaphragmatiques, hyperventilation préalable, facteurs pariétaux d'origine nerveuse).

Effet de la profondeur

En plongée, l'air emporté dans les poumons est comprimé et les pressions partielles des gaz alvéolaires sont modifiées. Ainsi à 10 m la pression partielle est théoriquement le double de celle en surface (Loi de Boyle Mariotte). Toutefois des échanges gazeux ont lieu constamment entre le sang et les alvéoles si bien que la composition de l'air alvéolaire évolue en permanence.

- Pour le CO_2 , jusqu'à 8 m $PACO_2$ (PA=Pression partielle Alvéolaire) augmente lentement. A 8 m, $PACO_2 = PaCO_2$ sanguin (Pa=Pression partielle artérielle ou tension). Après 8 m, c'est l'alvéole qui cède le CO_2 au sang. En effet, au-delà de cette profondeur, la pression partielle de gaz carbonique n'augmente que faiblement et la pression ambiante entraîne une fixation accrue du CO_2 sur les substances tampons du sang ce qui fait que la pression dans le sang est peu supérieure à celle en surface. Il en résulte qu'au-delà de 8 m, les gradients de pression étant inversés, les échanges gazeux s'inversent également pour le CO_2 : l'alvéole cède du gaz carbonique au sang. A la remontée, les gaz alvéolaires se dilatent, les pressions partielles chutent mais le sang n'abandonne que lentement le CO_2 qu'il a fixé. Ainsi, il est possible en fin d'apnée que $PACO_2$ soit plus faible que sa valeur initiale. Ceci est d'autant plus vraie que la vitesse de remontée est rapide ce qui empêche le CO_2 de repasser du sang vers l'alvéole. Le transport est en effet trop lent pour compenser les effets de la décompression au sein des poumons. **Remontons donc lentement.** L'élimination aura lieu lentement à la reprise respiratoire et demandera plusieurs minutes.

- Pour l' O_2 , c'est un peu plus compliqué car aux variations de pression s'ajoutent le fait que l' O_2 est consommé. A la descente, une fraction importante de l'oxygène passe de l'alvéole au sang et est utilisé par les métabolismes oxydatifs. A la remontée, la PAO_2 chute alors brutalement car consommation et décompression vont dans le même sens pour diminuer la pression partielle d'oxygène alvéolaire. Il s'en suit que les pressions partielles d'oxygène artérielle et alvéolaire peuvent descendre très bas en fin de remontée et c'est là la principale cause de pertes de connaissances (syncope anoxique) et des accidents chez les apnéistes.

- Pour l' N_2 , pas grand chose à dire en ce qui nous concerne ou dans tous les cas de plongées en apnée qui ne sont ni trop rapprochées dans le temps, ni trop profondes, et dont la durée des séances est courte. Il faut quand même savoir que les accidents de décompression existent (l'exemple bien connu est le taravana des plongeurs polynésiens).

Les dangers de l'hyperventilation

Que signifie hyperventiler? Normalement le débit ventilatoire est tel qu'il maintient l'homéostasie (soit un équilibre dynamique de certaines constantes physiologiques tels que le pH, la pression partielle artérielle du gaz carbonique...). Hyperventiler correspond à établir un débit ventilatoire supérieur à celui qui permet de maintenir l'homéostasie (Tenney et Lamb 1965, cité dans Corriol).

Pourquoi est-ce dangereux ? Chez le plongeur en apnée, le signal de la remontée est donné par une sensation de dyspnée qu'engendre l'élévation de la teneur du sang en CO_2 par l'intermédiaire de chémorécepteurs situés au niveau du liquide céphalo-rachidien. Pour prolonger sa plongée, le sujet peut passer outre les premiers signaux de dyspnée. Cette pratique peut avoir des conséquences dramatiques surtout si le plongeur a hyperventilé ses poumons avant le départ pour augmenter sa réserve d'oxygène et surtout diminuer les $PpCO_2$ alvéolaire et sanguine. Cette pratique va augmenter le risque d'anoxie hypoxémique. Vers 8-10 m de profondeur, la pression intra-pulmonaire est telle que le sens du mouvement du CO_2 est inversé par rapport à l'habitude et il va donc des poumons vers le sang plutôt que du sang vers les poumons. Le stock d' O_2 au niveau des poumons diminue plus rapidement qu'en apnée en surface alors que la $PaCO_2$ augmente, elle, plus rapidement. Le signal «remontée» sera donc donné en retard par rapport à l' O_2 effectivement consommé: ce qui peut donner au plongeur inexpérimenté connaissant mal ses limites l'impression qu'il peut encore rester au fond quelque temps. A la remontée, la pression des gaz diminue rapidement dans les poumons et dans le sang. L'échange d'oxygène cesse alors, amenant un risque d'anoxie et de syncope (avec noyade post-syncopale) si le plongeur n'atteint pas la surface suffisamment vite pour reprendre de l'oxygène. Ce risque est d'autant plus grand que le temps passé en plongée est important et donc que le stock d' O_2 pulmonaire et sanguin est bas. Il est encore largement augmenté par une **hyperventilation**

préalable excessive. Cette pratique, si elle augmente un peu la PpO₂ au niveau alvéolaire, diminue par contre nettement la PpCO₂, retardant ainsi le signal de remontée qui risque alors d'arriver trop tard. Au fond, le taux de CO₂ remontera sans atteindre la valeur critique qui stimule les centres inspiratoires bulbaires. Le réflexe ventilatoire est inhibé; l'apnéiste se sent bien et n'éprouve pas le besoin de ventiler, il prolonge son apnée. A la remontée, la baisse brutale du taux d'oxygène peut provoquer une syncope entre 10 mètres et la surface.

Après l'apnée, le stock d'O₂ se reconstitue en quelques minutes mais pas celui de CO₂ et ce d'autant plus s'il y a eu hyperventilation. En effet, la réhabilitation des réserves de gaz carbonique s'effectue uniquement à partir des métabolismes oxydatifs de l'organisme. En fin d'apnée, PaCO₂ peut donc demeurer très bas pendant plusieurs minutes; on constate alors simultanément hypoxie et hypocapnie. Or leurs effets se cumulent, l'hypocapnie provoquant une vasoconstriction cérébrale intense qui aggrave l'hypoxémie cérébrale. Cette constatation explique que les pertes de connaissance en apnée surviennent souvent à des pressions partielles d'O₂ relativement modérées qui seraient bien tolérées par l'organisme en l'absence de l'hypocapnie due à l'hyperventilation préalable.

En résumé:

Préférer une préparation de 3-4 cycles respiratoires amples et lents à l'hyperventilation. Elle vous permettra d'accumuler un surplus d'O₂ sans diminuer dangereusement votre stock de CO₂

Pour vous convaincre de l'intérêt d'augmenter l'amplitude respiratoire:

Imaginons un homme au repos qui respire à raison de 15 cycles (inspiration+expiration) par minute. Le volume courant est de 0.5 l et les espaces morts (qui ne participent pas aux apports et rejets gazeux) contribuent à 0.2 l. Le débit ventilatoire de notre homme est de

$$15 \times (0.5 - 0.2) = 4.5 \text{ l/min.}$$

Pour répondre à un effort, imaginons qu'il faille doubler le débit ventilatoire. Pour cela, notre homme a deux possibilités: soit doubler son rythme avec 30 cycles par minute soit doubler l'amplitude avec donc 1 l

$$\text{soit : } 30 \times (0.5 - 0.2) = 9 \text{ l/min.}$$

$$\text{soit : } 15 \times (1 - 0.2) = 12 \text{ l/min.}$$

La ventilation est donc meilleure si on augmente l'amplitude plutôt que la cadence respiratoire.

D - les signes pré-syncopaux

Perceptibles par l'apnéiste

Avant l'apnée: picotement dans les extrémités, sensations de flottement, excitation importante

Au fond: sensation de confort inhabituel, disparition de l'envie de respirer ou de remonter

A la remontée: lourdeur ou chaleur dans les muscles des cuisses, y compris en surface, petits troubles visuels étoilés ou d'obscurcissement, confort prolongé ou au contraire difficulté anormale

Observables par l'équipier en surface

Au fond: durée excessive, absence de mouvements, relâchement anormal, lâcher de bulles, tremblements

A la remontée: largage de la ceinture et précipitation, ne répond pas au signal particulier convenu avant l'immersion, tremblements désordonnés, arrêt du palmage, coloration des lèvres et du visage anormal, ne répond pas au signe 'tout va bien', lâcher de bulles, regard vide, arrêt de la propulsion et se met à couler

En surface: coloration anormale des lèvres, pas de reprise active de la respiration par expulsion de l'eau du tuba, pas d'enchaînement respiratoire perceptible (son ou mouvement), tremblements, inertie et redescende vers le fond si le lestage est excessif, ou si l'inconscience survient après l'expiration

E - La perte de connaissance

La syncope

Cette perte de connaissance est brutale et constitue en apnée une urgence absolue en terme d'intervention car elle précède généralement la noyade. Les causes de syncope sont multiples. Les plus fréquentes se produisent en fin de remontée du plongeur, voire en surface. L'origine de celle ci dépend de plusieurs facteurs :

- l'hypoxie de fin d'apnée
- la diminution relative de la vascularisation cérébrale (tête en haut)
- la stimulation du sinus carotidien par les mouvements de la tête, cou étiré, la face regardant la surface, serré par la combinaison
- la baisse relative du retour veineux par inversion du positionnement (tête en bas puis tête en haut)

- une bradycardie

les barotraumatismes des oreilles et des sinus

Ces traumatismes, outre la douleur dont ils sont responsables, peuvent en ce qui concerne l'oreille, provoquer également des troubles de l'équilibre. Ceux ci intervenant sous l'eau, peuvent entraîner de telles perturbations que l'apnéiste ne pourra pas retrouver la surface, suivi d'une perte de temps qui peut aussi entraîner inconscience et noyade.

L'œdème aigu du poumon

Il s'agit d'un accident grave mais qui n'apparaît qu'à des profondeurs importantes. Lors de la descente de l'apnéiste, le volume pulmonaire diminue jusqu'à atteindre le volume résiduel. En poursuivant la descente, alors que la pression externe augmente, la pression intrapulmonaire reste constante (selon la loi de Boyle Mariotte: $PV = \text{constante}$). Cette différence de pression provoque un afflux sanguin intrathoracique appelé 'blood shift' pouvant aboutir à une suffusion et un œdème aigu du poumon.

F – l'intervention en cas de perte de connaissance

Cas de figure où votre partenaire apnéiste parvenu en surface est pris de spasmes. Il ne reprend pas sa respiration et reste inerte :

- enlever son masque et son tuba
- signaler l'accident aux autres pour assistance et alerte
- maintenir les voies respiratoires hors de l'eau
- solliciter énergiquement par la voix et en le secouant
- donner un coup sur le sternum main à plat

a ce stade, la reprise de conscience est assez rapide et sans suite

Cas de figure où l'équipier arrête de remonter et commence à couler :

- aller le récupérer
- larguer les ceintures
- maintenir la bouche fermée pour éviter qu'il inhale plus d'eau
- remonter en surface
- faire les signaux d'alerte en surface
- le solliciter

a ce stade, si cela ne marche pas, il faut envisager un bouche à bouche

Sources

- Sites WEB sur la pratique de la plongée en Apnée
- CTR info n° 8, nov. 1996
- Enseigner et organiser la plongée (P. Molle, Ed AMPHORA, 1993)
- Guide de préparation au niveau IV (P. Villeveille, Ed GAP, 1992)
- La plongée en apnée: Physiologie et médecine (J. H. Corriol, Ed Masson, 2^{ème} édition 1996)
- Code vagnon sur l'apnée (M. Cantou, M.. Hugues, P. Le Bourdonnec, G. Oliveras, les Editions du Plaisancier, 2000)