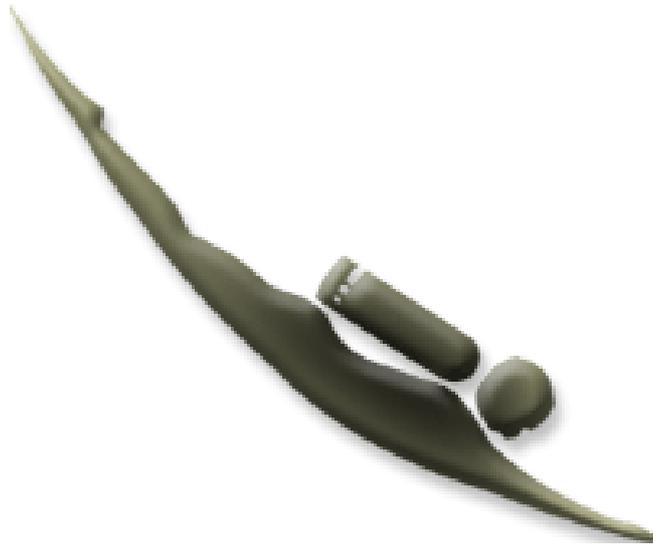


Cours de plongée

Niveau 2



Note :

Ce cours a été compilé à partir des excellents documents fournis sur le site du « Binet plongée ». Relecture, correction, compilation, remise en page : Sébastien Léon (2/2004) (3% du travail ;-)
(original : cf. <http://www.polytechnique.fr/elevs/binets/plongee>)

LES ACCIDENTS BIOPHYSIQUES

Le but de ce cours est de vous faire comprendre l'origine des accidents de plongée biophysiques de façon à pouvoir mieux les prévenir et les reconnaître.

Après avoir rappelé les notions de physiques sous-jacentes, ainsi que les notions physiologiques de base concernant les voies aériennes du corps, les différents types d'accidents seront énumérés.

Pour chaque type d'accident on précisera les causes, les conséquences, le traitement et la prévention.

1. Physique
2. Physiologie
3. Les barotraumatismes
4. Le froid
5. L'essoufflement
6. Réponse aux exercices

1. Physique

- **La pression**

La pression est une grandeur physique qui correspond à l'intensité d'une force divisée par la surface sur laquelle elle s'applique.

$$P = F / S$$

Dans de nombreux problèmes, c'est la pression qui est pertinente, et non pas la notion de force. Par exemple quand on marche dans la neige fraîche en chaussures ou en raquettes, on exerce la même force sur la neige, mais pas la même pression. Dans le premier cas on s'enfonce, pas dans le deuxième.

L'unité officielle de pression est le **Pascal** (Pa). Il correspond à un **Newton** (unité de force) par mètre carré. Une autre unité autorisée est le bar, qui vaut 100000 Pa. Il correspond à peu près à la pression exercée par une masse de 1 kg sur une surface de 1 cm², ce qui fait qu'en plongée on utilise plus souvent l'unité non officielle de kgf/cm² (kilogramme-force par centimètre carré), raccourcie de manière pas tout à fait juste en kg/cm². Enfin, on a aussi comme unité de pression l'**atmosphère**, qui correspond à la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer, soit 1 atm = 1,013 bar. À la précision des calculs de plongée, on peut considérer que 1 atm ~ 1 bar.

Dans un fluide, la pression correspond au poids du fluide. Ainsi la pression atmosphérique correspond au poids de l'atmosphère au dessus de nous. Dans l'eau, on appelle pression hydrostatique à une profondeur donnée la pression due au poids de l'eau depuis la surface. Une colonne d'eau de 1 cm² de section et de 10 m a un volume de 1 litre et exerce donc une pression de 1 kg/cm², ou plus justement 1 bar. On en déduit donc que dans l'eau, la pression hydrostatique augmente d'un bar tous les 10 m. Ce qui donne la formule suivante:

$$P_{\text{hydro}} \text{ (en bar)} \approx \text{profondeur}_{\text{(en m)}} / 10.$$

Enfin, on définit la **pression absolue** comme la somme de toutes les pressions soit la pression atmosphérique et la pression hydrostatique. C'est celle qui correspond aux forces réellement exercées sur les objets immergés.

$$P_{\text{abs}} \approx P_{\text{hydro}} + P_{\text{atm}} \approx \text{profondeur}_{\text{(m)}}/10 + 1_{\text{(au niveau de la mer)}}$$

Le tableau ci-dessous donne, à titre d'exemple, les différentes pressions à différentes profondeurs. Comme souvent en plongée, la pression atmosphérique est arrondie à exactement 1 bar.

profondeur (m)	Phydro (bar)	Pabs (bar)
0	0	1
10	1	2
20	2	3
25	2,5	3,5

- Le théorème d'Archimède

Enoncé:

Tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de ce fluide une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du liquide déplacé et s'exerçant au centre de gravité du fluide déplacé.

Sans expliciter davantage, disons juste que cette force correspond à la somme des efforts de pression exercés sur le corps en question par le fluide environnant. Cette force contrecarre donc l'effet de la gravité sur le corps, pouvant même l'annuler, voire l'inverser. On définit alors la notion de **poids apparent** :

$$\text{Poids}_{\text{apparent}} = \text{Poids}_{\text{réel}} - \text{Poussée}_{\text{Archimède}}$$

Lorsque le poids apparent est positif, l'objet est attiré vers le fond. Il coule.

Lorsque le poids apparent est négatif, l'objet est attiré vers la surface.

Lorsque le poids apparent est nul, l'objet flotte entre deux eaux, sans être attiré ni vers le fond, ni vers la surface.

On appelle **flottabilité** l'opposé du poids apparent (un objet de flottabilité négative coule).

Les effets de ce théorème sont omniprésents en plongée. Tout d'abord, pour éviter une fatigue inutile en palmant, et aussi par mesure de sécurité, on recherche une flottabilité nulle. Or la flottabilité varie au cours de la plongée, en particulier à cause des variations de pression, qui compriment plus ou moins la combinaison et le corps (perte de volume donc poids apparent plus grand), et de la consommation d'air (perte de poids réel donc diminution du poids apparent). Les règles de sécurité imposent de choisir son lestage de manière à être équilibré en fin de plongée à trois mètres de profondeur. Pour obtenir une flottabilité nulle à tout moment de la plongée, il faut alors utiliser un dispositif gonflable, comme un gilet ou une bouée.

Une autre application de ce principe consiste à remonter des objets du fond à l'aide d'un parachute. Supposons qu'on ait à remonter un objet pesant 5 kg, de volume 1 l, posé au fond de l'eau. Un tel objet a un poids apparent de 4 kg, il reste au fond. Mais si on lui attache un parachute, qu'on remplit de plus de 4 l d'air (de poids réel négligeable), le poids réel de l'ensemble reste de 5 kg, mais son volume devient de plus de 5 l. Le poids apparent devient donc négatif. Le parachute tire l'objet vers la surface.

Remarque

La salinité de l'eau joue sensiblement sur sa masse volumique, donc sur la poussée d'Archimède. A équipement identique, on flotte mieux en mer qu'en piscine, mieux en Mer Rouge qu'en Méditerranée (moins salée). Le lestage doit donc être adapté au lieu de plongée.

- La loi de Boyle-Mariotte

Si l'on peut considérer les liquides comme incompressibles, il n'en est pas de même des gaz. Une expérience simple avec une pompe à vélo nous le prouve aisément. On bouche l'orifice de la pompe et on appuie sur le piston. Ce dernier s'enfonce, et plus il est enfoncé, plus l'effort à fournir est important : la pression du gaz dans la pompe augmente à mesure que son volume diminue. Par contre, si la pompe avait été remplie d'eau, il aurait été quasiment impossible de faire bouger le piston. La loi de Boyle-Mariotte (Boyle 1627-1691, Mariotte 1620-1684) permet de quantifier cet effet de compressibilité des gaz. Elle stipule que

Pour une masse de gaz donnée, à température constante, le produit de la pression absolue par le volume est constant.

$$P \times V = \text{Cste}$$

Les effets de cette loi sont nombreux au cours d'une plongée comme on va le voir, notamment pour les accidents dus à la pression (barotraumatismes, cf. paragraphe 3), mais aussi pour l'utilisation des gilets gonflables (car si leur volume varie, la poussée d'Archimède va varier).

Il convient aussi de remarquer que, en plongée, les variations de volume sont d'autant plus importantes que l'on est près de la surface. En effet, en passant de 0 à 10 m, la pression passe de 1 à 2 bars, et les volumes sont divisés par 2. En passant de 10 à 20 m, la pression passe de 2 à 3 bars, les volumes sont donc divisés par 1,5. De 20 à 30 m, par 1,33, ... et ainsi de suite. On verra au paragraphe 3 ce que cela entraîne.

Exemples d'applications :

- Quelle est la quantité d'air, à la pression atmosphérique, contenue dans une bouteille de 12 l, gonflée à 200 bars ? Soit v ce volume. On a $200 \times 12 = 1 \times v$, soit $v = 2400 \text{ l} = 2,4 \text{ m}^3$.
- Quelle est l'autonomie qu'autorise une bouteille de 12 l, gonflée à 200 bars, à 10 m, à 20 m et à 30 m, pour un plongeur respirant 10 litres d'air par minute ?
A 10 m le plongeur consomme par minute 10 l d'air à 2 bars, ce qui correspond à 20 l à 1 bar. La bouteille contenant l'équivalent de 2400 l à 1 bar, il peut y rester (théoriquement, sans compter la descente ni la remontée) $2400/20 = 120 \text{ min}$. De même, à 20 m il pourra rester $2400/30 = 80 \text{ min}$, et $2400/40 = 60 \text{ min}$ à 30 m.
- Exercices

Dans tous les exercices on prendra pour masse volumique de l'eau : 1 kg/l soit 1000 kg/m^3

Ex.1

La pression atmosphérique à la surface d'un lac est de 0,9 bars. Calculer la pression qui règne dans le lac à 10 m, 20 m et 28 m. On donnera les résultats en bars, avec un chiffre derrière la virgule.

Ex.2

On veut remonter une ancre posée au fond de l'eau. Elle pèse 50 kg pour un volume total de 2 l. On va utiliser pour cela un parachute. Quel volume d'air minimum faut-il injecter dans ce dernier pour décoller l'ancre du sol ? (on négligera le poids du parachute !)

Ex.3

A 10 m de profondeur on attache à un poids de 2 kg, de volume 1 l un parachute rempli de 2 l d'air. On tire l'ensemble vers le bas. A partir de quelle profondeur l'ensemble va-t-il commencer à couler ?

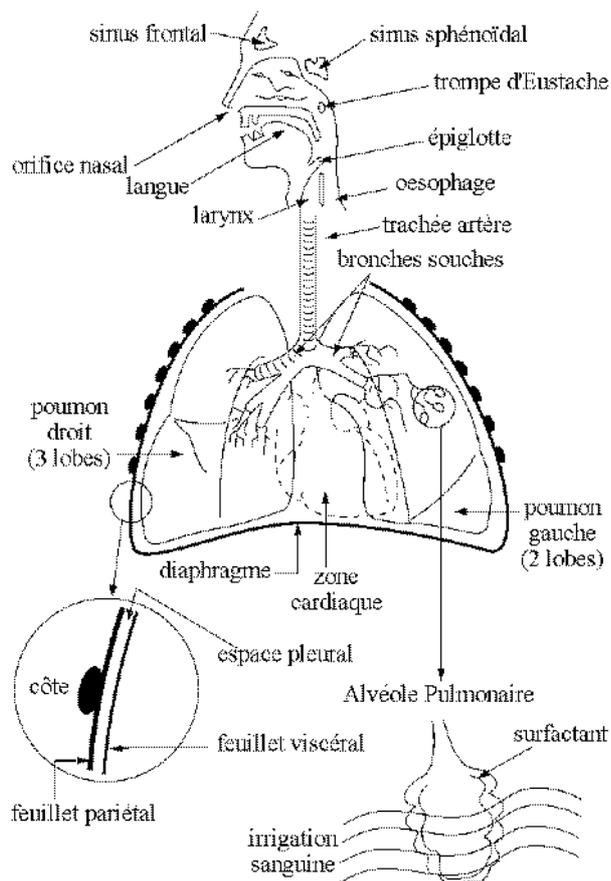
Ex.4

Un plongeur est équipé d'une bouteille de 12 l. Il consomme 10 l/min et son manomètre indique 150 bars. Il est à une profondeur de 30 m et décide d'y rester jusqu'à ce que son manomètre atteigne 50 bars. Combien de temps va-t-il rester à 30 m ?

2. Physiologie

- L'appareil respiratoire

Figure 2 : Schéma de l'appareil respiratoire



La fonction de la respiration est d'apporter de l'oxygène aux cellules de l'organisme et de les débarrasser du gaz carbonique en excès. Le cycle respiratoire commence par l'inspiration, qui est un phénomène actif. Les muscles inter-costaux, et surtout le diaphragme augmentent le volume de la cage thoracique, créant une dépression au niveau des poumons. L'air s'engouffre alors par le nez ou la bouche, dans le larynx, puis dans les bronches, bronchioles et jusqu'aux alvéoles pulmonaires. C'est là qu'auront lieu les échanges gazeux avec le sang. L'expiration est un phénomène passif ; elle est produite par la force de rappel des tissus élastiques des poumons et du thorax, étirés lors de l'inspiration.

Le cycle respiratoire peut mobiliser des volumes différents.

- Le **volume courant** est le volume d'air inspiré et expiré lors d'un cycle normal, sans intervention volontaire. Il est en moyenne de 0,5 l.
- Le **volume de réserve inspiratoire** est le volume supplémentaire pouvant être inspiré, par rapport à une inspiration normale, lors d'une inspiration forcée. Il vaut 2,5 l en moyenne.
- Le **volume de réserve expiratoire** est le volume supplémentaire pouvant être expiré, par rapport à une expiration normale, lors d'une expiration forcée. Il vaut 1,5 l en moyenne.
- Le **volume résiduel** est le volume restant dans les poumons après une expiration forcée. Son renouvellement se fait par brassage. Il est d'environ 1,5 l.

On définit alors la **capacité pulmonaire totale**, qui est la somme de tous ces volumes, et la **capacité vitale**, qui prend en compte tous les volumes sauf le volume résiduel. Tous ces volumes sont représentés sur la figure 3.

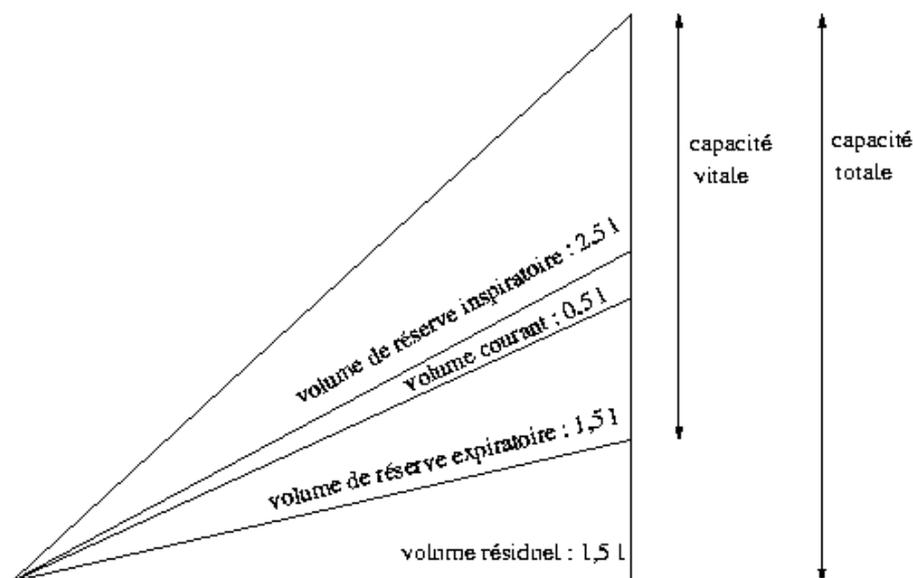
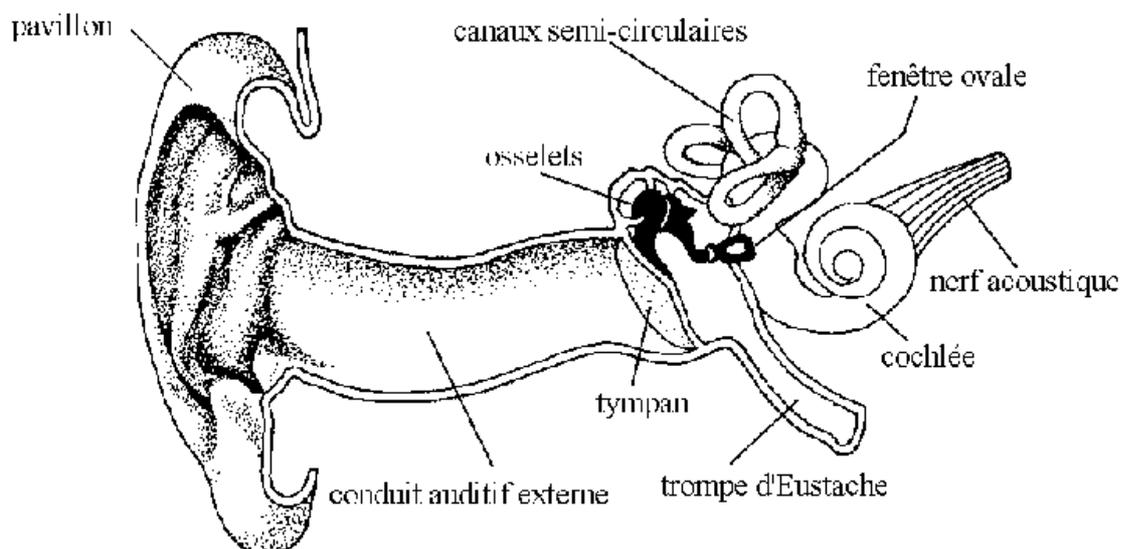


Figure 3 : Schéma de la capacité respiratoire

- **L'oreille**

Le schéma de l'oreille est représenté sur la figure 4.

Figure 4 : Schéma de l'oreille



Le rôle de l'oreille dans le fonctionnement du corps humain est double. C'est l'organe de l'audition, mais aussi celui de l'équilibre. Elle se divise en trois parties.

L'oreille externe se compose du pavillon et du conduit auditif externe, se terminant par le tympan. Son rôle est d'acheminer les sons vers le tympan, fine membrane, capable de vibrer sous l'impulsion des ondes sonores.

L'oreille moyenne est une cavité aérienne, contenant une série de petits os, les osselets, chargés de transmettre les vibrations du tympan à l'oreille interne. L'oreille moyenne est en communication avec le pharynx nasal par l'intermédiaire d'un conduit, la trompe d'Eustache (voir aussi fig.2). Cette dernière permet l'équilibre des pressions entre les deux côtés du tympan. Quand le voile du palais est au repos, la trompe est fermée, et elle s'ouvre lors de la déglutition.

L'oreille interne est une cavité remplie de liquide. L'organe nerveux de l'audition, la cochlée, reçoit les vibrations transmises par les osselets via la fenêtre ovale. L'oreille interne contient aussi les canaux semi-circulaires, organes de l'équilibre. Au nombre de trois ils sont disposés dans trois plans différents, remplis de lymphe et tapissés de cellules réagissant à la pression de la lymphe. Les informations sonores et d'équilibre sont envoyées au cerveau par le nerf auditif.

- **Les sinus**

Les sinus sont des cavités osseuses situées dans la partie antérieure du crâne. On distingue les sinus frontaux, dans l'os frontal au dessus des orbites oculaires, les sinus maxillaires, dans les maxillaires supérieures, et les sinus sphénoïdaux et ethmoïdaux. Les sinus sont tapissés de muqueuses très vascularisées, sensibles et facilement irritables. Une production excessive de mucosités peut parfois obstruer les orifices des sinus et gêner l'équilibre des pressions entre la cavité et l'extérieur. Le rôle des sinus est d'alléger en les consolidant les parois osseuses de la face, et ils participent aussi aux échanges gazeux des voies aériennes auxquelles ils se rattachent.

3. Les barotraumatismes

Ce sont les problèmes, plus ou moins graves, pouvant survenir lors d'une plongée et causés par les phénomènes mécaniques liés aux variations de pression et de volumes des gaz des différentes cavités aériennes du corps.

- **Le placage du masque**

La cuve du masque, remplie d'air, doit se mettre en équilibre avec la pression extérieure. Lors de la descente, le volume du masque commence donc à diminuer, par déformation de la jupe. Lorsque le masque ne peut plus se déformer, il va se trouver en dépression par rapport à l'extérieur. Le masque se comporte comme une ventouse.

CONSEQUENCE

Hémorragies oculaires, saignements de nez.

TRAITEMENT

Compression du nez ou coton dans les narines, gouttes dans les yeux. Si nécessaire, consulter un ophtalmologiste.

PREVENTION

Equilibrer fréquemment la cuve du masque en soufflant par le nez.

- **Accidents dentaires**

Des fissures dans l'émail ou des caries non soignées ou mal obturées peuvent permettre à l'air de pénétrer dans la dent. Le temps de pénétration (durée de la plongée) étant plus long que le temps d'évacuation (remontée), la cavité peut se retrouver en surpression lors de la remontée.

CONSEQUENCE

Douleurs de la pulpe et du nerf dentaire, voire éclatement de la dent.

TRAITEMENT

Dès la moindre douleur, redescendre un peu et remonter plus doucement. Consulter un stomatologue.

PREVENTION

Visite régulière chez un dentiste, si possible sensibilisé à ce genre de problèmes.

- **Accidents de l'estomac et de l'intestin**

De l'air, dégagé par fermentation ou avalé dans l'estomac, peut s'accumuler dans des zones où il ne peut pas assurer sa dilatation à la remontée.

CONSEQUENCE

Douleurs parfois très fortes à l'estomac et aux intestins.

TRAITEMENT

Stopper la remontée et essayer d'évacuer l'excédent gazeux.

PREVENTION

Eviter les aliments généralement générateurs de gaz intestinaux ainsi que les boissons gazeuses.

- **Accidents des sinus**

Obstruction de la communication entre la cavité du sinus et les fosses nasales, suite à une sinusite, un rhume ou une malformation anatomique. Il peut donc se produire un effet ventouse sur la muqueuse (à la descente) ou un effet de compression (à la remontée).

CONSEQUENCE

Douleur très intense à l'arcade sourcilière (sinus frontaux), ou entre la base du nez et la pommette (sinus maxillaire). Les autres sinus sont moins touchés car leur communication, proportionnellement à leur volume, est moins étroite. Le déséquilibre de pression peut entraîner des lésions plus ou moins importantes des muqueuses.

TRAITEMENT

Cesser la descente ou la remontée dès les premières douleurs et se placer à une profondeur où ces symptômes disparaissent. Rincer abondamment les fosses nasales. Si la douleur persiste après la plongée, consulter un O.R.L.

PREVENTION

Ne jamais forcer sur un sinus, et interrompre sans hésiter la plongée en cas de problème.

- **Accidents des oreilles**

La cause en est un mauvais équilibre (Valsalva trop fort ou en remontant), une obstruction de la trompe d'Eustache (rhume, inflammation, ou malformation). Ce problème peut survenir aussi bien à la descente qu'à la remontée.

CONSEQUENCE

Déséquilibre entre les pressions de part et d'autre du tympan, entraînant diverses lésions, de l'infection à la perforation. La rupture du tympan s'accompagne d'une douleur suraigüe; pouvant aller jusqu'à la syncope, ainsi que de vertiges.

TRAITEMENT

Cesser la descente ou la remontée dès les premières douleurs et se placer à une profondeur où ces symptômes disparaissent. Rincer abondamment les fosses nasales. Si la douleur persiste après la plongée, consulter un O.R.L.

PREVENTION

Rincer préventivement les fosses nasales à la mise à l'eau. Effectuer fréquemment les manœuvres d'équilibre à la descente, sans forcer. Si à la descente le problème subsiste même après le rinçage des fosses nasales, ne pas forcer et annuler la plongée.

- **Surpression pulmonaire**

C'est **LE PLUS GRAVE DES BAROTRAUMATISMES**, de par ses conséquences possibles.

La cause est une entrave partielle ou totale de l'expiration lors de la remontée, qui peut avoir des origines diverses : la principale est le spasme de la glotte, qui peut être dû à une panique, à l'inhalation accidentelle d'eau dans les voies aériennes, ou même au contact brusque de l'eau froide sur le visage (il est donc conseillé de faire un vidage de masque à chaque plongée). Il faut faire attention à ne pas bloquer l'expiration lors d'une remontée bouée.

CONSEQUENCE

Le gaz contenu dans les poumons se détend, jusqu'à la limite d'élasticité des alvéoles pulmonaires. Au-delà il y a rupture d'une ou plusieurs alvéoles, déchirement de l'enveloppe entourant le poumon (la plèvre), envahissement des espaces extra-pulmonaires, ainsi que passage de bulles d'air dans le sang, pouvant provoquer des lésions notamment dans le cœur et dans le cerveau.

TRAITEMENT

Faire respirer à l'accidenté de l'oxygène normobare, et l'évacuer le plus rapidement possible vers un hôpital. Ne pas donner d'aspirine.

PREVENTION

Prendre le réflexe de toujours expirer en remontant. Ne pas donner d'air aux plongeurs en apnée. Faire attention car le risque est d'autant plus important qu'on est près de la surface, car c'est là que les variations relatives de pression sont les plus importantes.

4. Le froid

CONSEQUENCE

Le froid est un problème qu'il ne faut pas négliger en plongée. Il modifie plus ou moins fortement le métabolisme, notamment par l'accélération du rythme respiratoire, ce qui n'est pas pris en compte dans les tables ou les ordinateurs de plongée (d'où risque d'accident de décompression), et qui peut favoriser l'essoufflement.

Au-delà, les tremblements et les claquements de dents apparaissent, et génèrent une perte d'attention qui peut être dangereuse.

Le stade ultime est celui de l'hypothermie : les organes périphériques ne sont plus irrigués.

TRAITEMENT ET PREVENTION

Utiliser une bonne combinaison, à la bonne taille. Ne pas hésiter à interrompre la plongée si le froid se fait sentir de façon trop forte.

5. L'essoufflement

L'essoufflement est dû à une mauvaise évacuation du gaz carbonique des alvéoles pulmonaires. Le rythme respiratoire s'accélère, ce qui a pour effet, non seulement d'accroître la production de CO₂, mais aussi de rendre l'expiration moins efficace, deux phénomènes qui ne font que renforcer le problème. Les causes conduisant à l'enclenchement de ce mécanisme sont diverses : réaction au froid, effort non contrôlé, angoisse, ...

CONSEQUENCE

Le cycle conduit à des comportements de type suffocation (la victime cherchant à ôter tout ce qui gêne sa ventilation, en particulier l'embout du détendeur), puis à la perte de connaissance, avec risque de noyade et d'accident de décompression.

TRAITEMENT

Dès les premiers signes il faut cesser toute activité autre que les gestes indispensables, remonter de quelques mètres, voire jusqu'en surface, forcer sur l'expiration pour chasser le CO₂.

PREVENTION

Ne pas chercher à faire des efforts trop violents sous l'eau (remonter un courant trop fort par exemple, avoir un lestage mal évalué nécessitant un palmage important), se protéger du froid, contrôler sa respiration.

7. Réponses aux exercices

- 1) 1,9 bars/2,9 bars/3,7 bars - 2,1 bars/3,1 bars/3,9 bars
- 2) 48 l
- 3) 30 m
- 4) 30 min

LES ACCIDENTS BIOCHIMIQUES

Le but de ce cours est de vous faire comprendre l'origine des accidents de plongée biochimiques de façon à pouvoir mieux les prévenir. Au cas où vous y seriez confrontés, vous devez pouvoir les reconnaître, aussi bien chez vous que chez les autres, et agir en conséquence. C'est pourquoi une plongée se fait toujours en observant les autres membres de la palanquée, et pas chacun dans son coin.

Pour cela quelques notions de physique et de physiologie vous seront nécessaires.

Les accidents seront présentés selon le plan logique : mécanisme, symptômes, causes, préventions, conduite à tenir.

- Rappels
- Physique
- Physiologie
- Accidents toxiques
- Accidents de décompression (Maladie de décompression)
- Exercices

1.Rappels

Ce qu'est un gaz ; Notion de pression, calcul de la pression selon la profondeur ; La loi de Mariotte ; L'appareil ventilatoire ; L'essoufflement.

2.Physique

- **L'air**

Composition (environ) :

- 4/5 d'azote (N₂).
- 1/5 d'oxygène (O₂).
- un peu de gaz carbonique (CO₂). 0,035 %

On peut se demander ce qu'il advient lorsqu'on augmente la pression (par exemple quand on plonge). C'est l'objet de la loi de Dalton.

- **Loi de Dalton**

Pour bien comprendre, il convient de revenir à l'origine microscopique de la pression.

On peut se représenter la matière comme constituée d'un grand nombre de toutes petites billes, les molécules. Dans un gaz, celles-ci s'agitent en tous sens et à toute vitesse. La pression, c'est les chocs des molécules (O₂, N₂, CO₂, ...) sur une surface (vous pouvez penser à une boîte, plus tard on considérera les alvéoles pulmonaires) qui exerce une force proportionnelle à cette surface (ça, on le sait déjà).

On peut comparer les molécules d'un gaz aux joueurs d'une équipe de rugby enfermés dans une salle, et qui courent partout en se cognant aux murs. Chaque choc sur un mur est une contribution à la pression exercée sur ce mur.

Vous vous souvenez de la loi de Mariotte? Quand je comprime un gaz, sa pression augmente.

Ici c'est évident : si je diminue les dimensions de la salle, mes joueurs de rugby se cogneront aux murs plus souvent et la pression sera d'autant plus forte.

Maintenant intéressons-nous à un mélange de gaz (on a vu que l'air en était un). On peut le représenter par un mélange de deux équipes de rugby, disons 15 rouges et 15 jaunes. On imagine facilement que quelle que soit la taille de la salle, il y aura toujours autant de chocs de rouges que de chocs de jaunes. Donc la contribution des rouges à la pression totale est la même que celle des jaunes.

On va retrouver exactement le même résultat pour les gaz, même si les molécules sont beaucoup plus nombreuses, beaucoup plus petites, beaucoup plus rapides et beaucoup moins bêtes que les joueurs de rugby. On définit la pression partielle d'un composant du mélange comme la pression résultant des chocs de ses seules molécules (les chocs d'une seule équipe). On voit automatiquement qu'elles s'ajoutent : la pression totale d'un mélange est la somme des pressions partielles des composants du mélange.

La loi de Dalton s'énonce ainsi :

$$\text{Pression}_{\text{partielle}} = \text{Pression}_{\text{totale}} * \text{pourcentage}/100$$

$$\text{soit } P_p = P_t * \%_{\text{Gaz}}/100$$

Elle exprime que la contribution d'un constituant du mélange à la pression totale est proportionnelle à la quantité de ce constituant dans le mélange, ce qui est assez intuitif.

Application : calculer les pressions partielles des constituants de l'air à 30m.

Cette loi va beaucoup nous servir car les effets des gaz sur l'organisme dépendent de leur pression partielle, notamment à cause de la loi de Henry que voici en exclusivité :

- Loi de Henry

Que fait un gaz au contact d'un liquide ?

Comme du sucre dans le café, il se dissout. Qu'est-ce que ça signifie? Le sucre a changé d'état, on ne le voit plus. Mais il n'a pas disparu : le café est sucré. Pour le gaz, c'est pareil, il s'incorpore au liquide. C'est ce qu'on appelle la dissolution.

La loi de Henry revient à dire que plus le gaz "appuie" fort sur le liquide, plus il sera dissous en grande quantité, ce qui n'est guère étonnant.

Enoncé de la loi :

A température fixe et à l'équilibre, la quantité de gaz dissoute dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle du gaz au-dessus du liquide.

Bien sûr nous serons toujours à température constante (37°C).

Que veut dire "à l'équilibre"? Dans le cas de la dissolution des gaz, on dit souvent "à saturation". On le précise parce que si la pression partielle du gaz au-dessus du liquide change rapidement, la quantité dissoute, elle, va changer plus lentement. La loi de Henry ne sera valable que quand la quantité dissoute sera stabilisée.

Par commodité on adopte une convention pour quantifier le gaz dissous. Ce serait très compliqué de parler en concentration de gaz dans le liquide, on définit donc la notion de tension.

La tension d'un gaz dans un liquide, c'est la pression partielle qu'aurait le gaz au-dessus du liquide, si on était à l'équilibre.

C'est bien une quantité dissoute, et si on n'est pas à l'équilibre elle n'a aucune raison d'être identique à la pression partielle du gaz au-dessus du liquide, même si elle s'exprime en bars. On la note T.

La notion de tension permet de comparer facilement une pression partielle de gaz au-dessus du liquide avec une quantité de gaz dissoute, ce dont on va se servir quand on étudiera l'accident de décompression.

Quand on est à l'équilibre, par définition, la tension du gaz dans le liquide est égale à sa pression partielle au-dessus du liquide, on dit qu'on est à **saturation : $T = P_p$** . Le gaz est "content".

Quand il y a plus de gaz dissous qu'à l'équilibre, on dit qu'on est en **sur-saturation : $T > P_p$** . Le gaz dissous "cherche" à s'échapper du liquide pour reprendre sa forme gazeuse et rejoindre l'équilibre.

Quand il y a moins de gaz dissous qu'à l'équilibre, on dit qu'on est en **sous-saturation : $T < P_p$** . Le gaz au-dessus du liquide "cherche" à se dissoudre dans le liquide pour rejoindre l'équilibre.

En résumé, le gaz cherche toujours à rejoindre l'état de saturation où $T = P_p$.

3. Physiologie

- L'appareil circulatoire

On a déjà vu l'appareil ventilatoire qui permet de renouveler l'air au niveau des alvéoles pulmonaires. A ce niveau s'effectuent les échanges gazeux entre l'air et le sang (qu'on appelle hématoxe), puis le sang est acheminé jusqu'aux organes où ce qu'il véhicule est utilisé. On a donc encore deux étapes à comprendre, qui nous seront utiles pour comprendre l'accident de décompression.

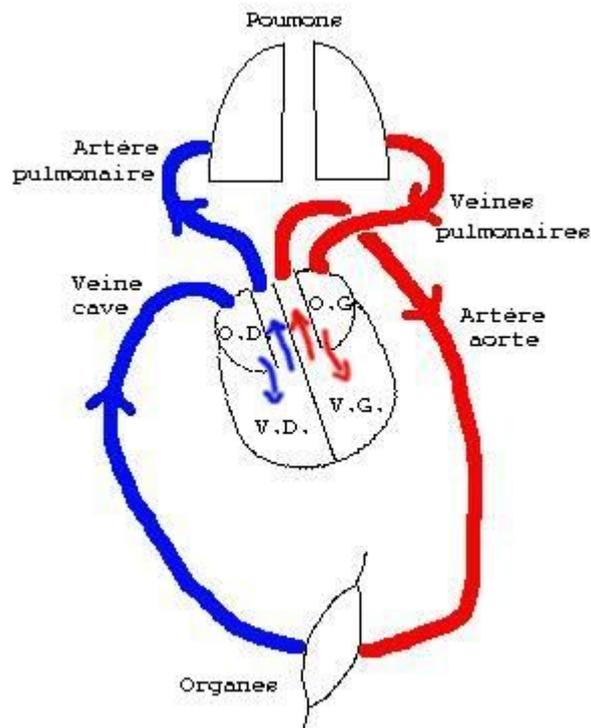
L'hématoxe

Si nous avons besoin de respirer, c'est parce que les cellules de nos organes utilisent de l'oxygène pour brûler les aliments que nous mangeons et en retirer de l'énergie. Avec cette énergie elles peuvent faire tous leurs petits boulots, contraction, synthèse de substances de toutes sortes, envoi de messages nerveux,... Donc l'oxygène est vraiment nécessaire à la vie. Mais cette réaction produit du gaz carbonique (CO₂), dont nous n'avons absolument pas besoin.

Il faut donc en permanence amener aux cellules de l'oxygène et évacuer le CO₂. C'est ce que fait le sang. L'oxygène vient de l'air et le CO₂, qui ne peut pas rester dans l'organisme, doit aussi se retrouver dans l'air. C'est là qu'interviennent les poumons : ils évacuent l'excédent de CO₂ et apportent de l'oxygène neuf au contact du sang. Comment se passent les échanges entre l'air des poumons et le sang? En fait ces échanges sont purement passifs. Les membranes des alvéoles pulmonaires sont si fines que tout se passe comme si on avait le sang directement au contact de l'air pulmonaire et soumis à la loi de Henry. Or le sang qui arrive aux poumons est très largement saturé en CO₂ et sous-saturé en oxygène. Automatiquement, pour se rapprocher de l'équilibre, il y a passage de CO₂ du sang vers l'air et passage d'oxygène de l'air vers le sang. L'échange se fait tout seul, et d'autant mieux que la vascularisation des poumons est très fine et que la surface d'échange est gigantesque (la surface des alvéoles dépliées serait d'environ 100 m², soit un très grand appartement).

- L'appareil circulatoire

Pour être utile aux cellules, ce sang de nouveau plein d'oxygène doit être acheminé jusqu'à elles, puis, une fois utilisé, reconduit aux poumons.. C'est la raison d'être de l'appareil circulatoire, qui se compose globalement de tuyaux et d'une pompe. Les tuyaux, ce sont les artères, veines et capillaires, et la pompe, c'est le coeur. Mais avant d'aller plus loin, observons un schéma simplifié de l'appareil circulatoire.



Ce schéma représente tout l'appareil circulatoire sous la forme de 4 cavités et 4 tuyaux.

On remarque qu'il n'y a pas un seul cœur mais deux, sans communication entre eux : le cœur droit et le cœur gauche. Le cœur droit collecte le sang utilisé venant des organes, via la veine cave, et le pompe vers les poumons via l'artère pulmonaire. Le cœur gauche collecte le sang neuf venant des poumons via les veines pulmonaires et le pompe vers les organes via l'artère aorte.

Bien sûr, il convient de comprendre que ces artères et ces veines se subdivisent beaucoup au niveau des poumons et des organes pour donner un grand nombre de très minces capillaires, ce qui a pour effet d'augmenter la surface de contact entre le sang et les organes, donc l'efficacité des échanges. En revanche, cela posera des problèmes au niveau de l'accident de décompression.

Regardons le cœur de plus près. Il est à peu près gros comme le poing, et bat 70 fois par minute environ. Chaque cœur (droit ou gauche) se compose d'une oreillette (petite cavité) et d'un ventricule (grande cavité) séparés par une valve qui ne laisse passer le sang que de l'oreillette vers le ventricule. Le fonctionnement sur un cycle est le

suivant : le retour veineux rempli l'oreillette, celle-ci se contracte et se vide dans le ventricule. Puis le ventricule se contracte, ce qui ferme la valve et expulse le sang dans l'artère. Puis il y a une courte période de repos, durant laquelle l'oreillette se re-remplit. C'est l'origine du battement double que l'on entend en prenant le pouls.

Un petit mot concernant le sang : nous en avons en moyenne 5 litres, il est essentiellement constitué d'un "diluant", le plasma, qui contient beaucoup d'eau, et dans lequel baignent les éléments utiles. Ce sont les globules rouges ou hématies, chargés d'hémoglobine qui transportent l'oxygène, les globules blancs chargés de l'immunité, et les plaquettes responsables de la coagulation. Les gaz autres que l'oxygène n'ont pas de taxis particuliers et circulent sous forme dissoute dans le sang.

- Le système nerveux

Le système nerveux peut être atteint aussi bien par l'accident de décompression que par la surpression pulmonaire. Comprendre son fonctionnement permet de mieux reconnaître les symptômes de ces deux accidents très graves.

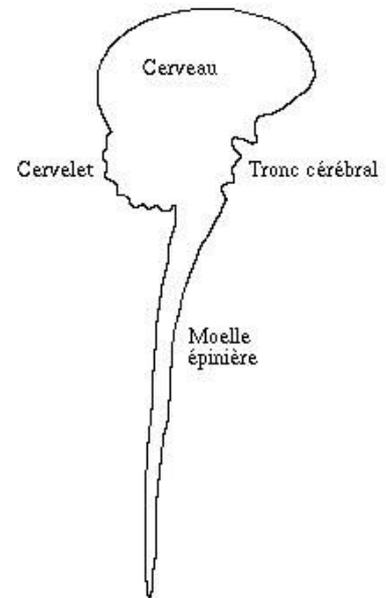
Intéressons-nous à la localisation des centres nerveux.

D'abord, il y a le cerveau, dans la boîte crânienne. Il gère la motricité et la sensibilité. Le cortex qui le recouvre est le siège de la pensée. Sous le cerveau, il y a le cervelet et le tronc cérébral, chargés des fonctions subconscientes, des diverses régulations de l'organisme. Dans la colonne vertébrale passe la moelle épinière. C'est comme un grand faisceau de nerfs. Elle a aussi pour fonction de traiter les décisions qui n'ont pas à passer par le cerveau : ce sont les réflexes.

Les centres nerveux sont reliés aux organes par des nerfs. Les nerfs ont deux fonctions. Les nerfs moteurs donnent des ordres (aux muscles de se contracter) suite aux décisions des centres nerveux. Les nerfs sensitifs amènent au cerveau les informations qui proviennent des organes des sens.

On comprend, vu la complexité du système, que les symptômes résultant puissent être très divers.

Regardons maintenant comment sont faits les centres nerveux et les nerfs. Tous sont constitués de la même entité élémentaire, le neurone. Les connexions entre les neurones s'appellent des synapses, et c'est leur nombre, qui, en formant un réseau complexe, permet au cerveau humain d'accomplir des tâches complexes.



4. Accidents toxiques

On appelle accidents toxiques ceux qui sont liés à l'action d'un gaz sur l'organisme sous sa forme dissoute. Ils sont nombreux en plongée et fixent les limites d'une pratique raisonnable de la plongée. En effet, en vertu de la loi de Henry, ils s'expriment en termes de pression partielle maximale, et donc (de par la loi de Dalton) de profondeur maximum.

- **L'oxygène**

L'effet Paul Bert apparaît lorsque $P_pO_2 > 1.6 \text{ bar}$

C'est un accident grave, de type neurologique, avec des crises genre épileptique, qui dans l'eau devient facilement mortel (noyade ou surpression pulmonaire). Les militaires qui plongent à l'oxygène pur sont donc limités à 6 m.

Pour la plongée loisir, **cet accident nous limite à 66 m.**

- **L'azote**

L'azote est à l'origine d'un accident en lui-même bénin, qui nous guette tous à partir d'une certaine profondeur : c'est la narcose ou ivresse des profondeurs.

Elle apparaît quand $P_pN_2 > 2.8 \text{ bar}$, c'est-à-dire **à partir de 30m.**

Ce chiffre comme les autres est approximatif, dépend de la personne et varie suivant les jours pour une même personne. Mais il faut savoir qu'à partir de 30m le risque de narcose cesse d'être faible, et qu'à 50-60m tout le monde l'est plus ou moins.

C'est la raison majeure pour laquelle la plongée à l'air est interdite au-delà de 60m.

Le mécanisme précis de la narcose est mal connu, mais il apparaît que sous pression l'azote, d'ordinaire inerte, agit sur les synapses comme un neuroleptique. Il faut savoir aussi que, pour des raisons obscures, la narcose est favorisée par un fort taux de CO₂.

SYMPTÔMES

Euphorie, accentuation du dialogue intérieur

Vertiges, rétrécissement du champ visuel ("effet tunnel")

Difficulté à fixer son attention, problèmes de mémoire ou de coordination

Concrètement, on voit le plongeur narcosé regarder plusieurs fois de suite son profondimètre parce qu'il n'a pas "enregistré" ce qu'il lisait, ou on peut observer des réponses aux signes bizarres, incohérentes. Il faut savoir les reconnaître chez soi comme chez ses équipiers. Toute attitude inhabituelle devient suspecte avec la profondeur. Le plongeur narcosé devient incapable de s'équilibrer, de nager correctement, il perd ses repères et sa technique.

Le danger principal vient de ce que la narcose provoque la perte de la notion de risque, et donc des comportements irraisonnés. Au plus fort de la narcose, le plongeur peut arracher son masque et son détendeur, c'est la noyade assurée.

Sans aller jusque-là, le plongeur devient vite incapable de prendre la seule décision raisonnable, celle de remonter. C'est ainsi que cet accident, bénin au départ, peut devenir très dangereux.

On peut maintenant comprendre le cercle vicieux essoufflement - narcose. Il commence généralement par un faible essoufflement en profondeur, par exemple à causé par un mauvais équilibrage. En effet, tout effort de palmage en profondeur est pénalisant. Le CO₂ qui s'accumule favorise un début de narcose, le palmage et l'équilibrage s'empirent, le plongeur perd progressivement ses repères, l'essoufflement devient plus poussé,... Il est très difficile de se sortir de ce genre de situation.

CAUSES

Profondeur (surtout combinée avec une faible habitude de la profondeur).

Descente rapide, tête en bas, arrêt brutal en bas.

Mauvais équilibrage, efforts inutiles.

Essoufflement.

PRÉVENTIONS

Respecter les limites de profondeur de son niveau et de sa condition. Pour cela, avec l'autonomie que vous procure le niveau 2, vous devez apprendre à vous connaître, et à respecter vos limites en fonction de votre état au moment de la plongée.

Attention à la descente, une descente trop brutale est dangereuse, surtout suivie ou accompagnée d'un effort de palmage. C'est le moyen utilisé par certains moniteurs pour tester la résistance des niveaux 4 à la narcose.

Toujours contrôler sa technique de nage et d'équilibrage.

Toutes les préventions de l'essoufflement.

Surveiller chez soi et chez les autres l'apparition des symptômes.

Il est parfois difficile de se rendre compte soi-même que quelque chose ne va pas. Il est donc bon en plongée de se poser régulièrement les questions suivantes :

Suis-je en train de palmer sans m'en rendre compte pour ne pas couler ?

Ai-je les poumons vides ou pleins ?

La réponse à ces questions entraîne un ajustement rapide de la flottabilité.

Si celui-ci me pose un problème, c'est que je suis déjà narcosé (ou alors j'ai volé mon niveau 2).

Suis-je toujours conscient de mon rythme respiratoire? Je ne dois pas le "perdre de vue" de l'immersion à la sortie de l'eau.

Pour savoir si je suis essoufflé, un moyen sûr est de tenter une apnée expiratoire de 3 secondes. En temps normal, elle est dérisoire. Pour un plongeur essoufflé, elle est surhumaine.

Si vous plongez sans manomètre, ajoutez ceci :

Suis-je en train de têter ma réserve? C'est en effet un très bon moyen de combiner un essoufflement, éventuellement une narcose, une panne d'air et donc une remonté plus ou moins aléatoire.

CONDUITE À TENIR

Remonter à vitesse contrôlée pour faire redescendre la pression partielle d'azote.

Comme le plongeur narcosé ne prendra pas toujours lui-même cette saine décision, il est indispensable de plonger à deux au moins. Non pas deux qui font chacun leur plongée de leur côté, mais se surveillant mutuellement.

De plus, chacun de son côté doit surveiller l'apparition des premiers symptômes de la narcose ou de l'essoufflement et demander à ce que tout le monde remonte (souvenez-vous des signes : "Je suis essoufflé", "Je suis narcosé". Ces accidents peuvent arriver à tout plongeur et le pire serait d'avoir honte de les signaler. Ce serait se mettre en danger, et par conséquent mettre en danger le reste de la palanquée.

- **Le gaz carbonique (CO₂)**

SYMPTÔMES

On a toute une gradation de symptômes en fonction de la pression partielle du CO₂.

Ils commencent par des maux de tête surtout sensibles de retour sur le bateau si la ventilation au fond est inefficace. A dose plus importante s'installe un essoufflement plus ou moins prononcé (rythme accéléré, ventilation superficielle). Vers 0.03 bars, apparaissent nausées, vertiges, narcose quelle que soit la profondeur, l'essoufflement est à peine supportable (sensation de manque d'air). Des comportements panique sont à craindre. Puis ce sont délire et perte de conscience. Enfin, vers 0.06 bars, la mort est assurée.

CAUSES

Le CO₂ peut avoir deux origines.

Soit il vient de l'air respiré, dans ce cas il a été introduit dans les bouteilles au moment du gonflage. Attention, dans ce cas la pression partielle augmente avec la profondeur. Un mélange parfaitement respirable en surface (0.01 bar) atteint le stade du délire à 30m.

Soit c'est le CO₂ produit par l'organisme et on est dans le cas déjà vu de l'essoufflement.

L'intoxication au CO₂ est favorisée par le froid et le stress.

PRÉVENTIONS

Bien sûr elles comprennent toutes les préventions de l'essoufflement.

De plus, il faut prendre certaines précautions au gonflage : la prise d'air doit être en hauteur, dans un lieu dégagé. Il est très délicat de gonfler les blocs avec un compresseur thermique transportable, car la prise d'air n'est jamais très loin de l'échappement.

Il faut aussi veiller à l'entretien du compresseur et au renouvellement régulier de ses différents filtres.

CONDUITE À TENIR

L'accident étant le même, c'est la même que pour un essoufflement :

Cesser tout effort, notamment de palmage.

Régler sa ventilation, en forçant l'expiration.

Remonter en utilisant la bouée et non les palmes. Comme dans le cas de la narcose, la pression partielle chutant, l'essoufflement se résorbera le plus souvent de lui-même.

Si vous avez à remonter un plongeur victime d'un fort essoufflement, pensez :

- à veiller à ce qu'il garde le détendeur en bouche
- à l'empêcher de palmer et de faire tout effort.
- à contrôler la remontée, qui doit être lente proche de la surface, et à lui mettre la tête en légère extension pour éviter la surpression pulmonaire.

Au retour sur le bateau, éviter soleil et froid.

5. Accident de décompression

L'accident de décompression est un accident qui peut être très grave, et qui demande beaucoup d'attention pour être évité. C'est lui qui justifie l'existence de paliers de décompression, l'emploi des tables de plongée,... Il est donc important de bien comprendre cet accident pour mieux l'éviter et, le cas échéant, le reconnaître.

MÉCANISME

Nous allons voir que l'accident de décompression est lié au retour à l'état gazeux de l'azote dissous dans le sang. Traitons dès maintenant le cas de l'oxygène. Celui-ci ne va causer aucun accident de ce type car il est utilisé au fur et à mesure par toutes les cellules de l'organisme. On n'aura donc jamais "trop" d'oxygène. En revanche, l'azote lui n'est pas utilisé et peut s'accumuler. C'est pourquoi il est le seul à pouvoir être à l'origine de cet accident.

Nous avons vu avec la loi de Henry les états de sous-saturation, saturation et sur-saturation, le gaz cherchant toujours à se rapprocher de l'équilibre.

Imaginons un plongeur en surface depuis longtemps. Dans son organisme, l'azote est à saturation, donc $T(N_2)=P_p$ (N_2)=0.8 bars. Maintenant ce plongeur descend. P augmente. Automatiquement, de l'azote va se dissoudre pour se rapprocher de l'équilibre. Donc T augmente.

Puis le plongeur décide de remonter doucement. P diminue. Il va y avoir un moment où P va repasser en-dessous de T : le plongeur se trouve en sur-saturation. Dès lors, le gaz cherche à retourner à l'état gazeux. Il fait donc des micro-bulles dans le sang, au niveau des organes. Ces bulles sont acheminées par des vaisseaux de plus en plus gros vers le cœur puis les poumons où elles sont normalement éliminées. Là tout se passe bien.

Supposons maintenant que le plongeur remonte rapidement jusqu'en surface. La sur-saturation sera telle que la quantité de bulles produites ne pourra plus être éliminée par les poumons. Ce seuil, qui est physiologique et non physique, est appelé sur-saturation critique. C'est la sur-saturation au-delà de laquelle il y a un accident. En effet, une fois que les bulles ont passé les poumons, elles repartent vers les organes, ou, elles passent dans des vaisseaux de plus en plus petits. En même temps, de par la loi de Mariotte, leur taille augmente puisque le plongeur monte. Elles finissent forcément par se coincer.

Une bulle d'azote qui se coince dans un vaisseau empêche l'irrigation des cellules situées en aval, qui sont donc privées d'oxygène. Selon l'organe auquel elles appartiennent, les symptômes sont très variés.

Cette fois-ci, supposons que le plongeur s'arrête de remonter alors qu'il est en sur-saturation, mais pas en sur-saturation critique (l'accident n'est pas à craindre). Pour rejoindre l'équilibre, l'azote quitte progressivement son organisme, il tend vers l'état de saturation. Mais alors, après avoir attendu assez longtemps, lorsque sa tension aura diminué, le plongeur pourra remonter un peu, toujours sans risques. Et ainsi de suite jusqu'en surface.

C'est le principe des paliers de décompressions. Les tables sont là pour nous indiquer où arrêter notre remontée et combien de temps attendre. Elles nous imposent aussi une vitesse de remontée entre les paliers.

SYMPTÔMES

Les symptômes sont nombreux. Heureusement, un accidenté n'en présentera que quelques-uns. Il faut cependant les reconnaître très vite. C'est souvent en s'intéressant au profil de la plongée qu'on va suspecter plus particulièrement un accident de décompression, ou un barotraumatisme (surpression, oreilles). Toute attitude anormale de retour au bateau (quelqu'un qui reste dans un coin, ne se change pas, se plaint) doit éveiller l'attention. Il est bon de connaître les gens avec qui vous plongez et leurs réactions normales pour déceler des changements.

Nous allons étudier les symptômes en les classant suivant l'organe touché.

* articulaires

Ce sont des douleurs persistantes et croissantes aux articulations importantes : épaule, hanche, genou, coude. Elles sont caractéristiques de l'accident de décompression, et peuvent annoncer des troubles plus graves.

* oreille interne

L'oreille interne est très sensible à l'accident de décompression car elle est très finement vascularisée, et les bulles s'y coincent facilement. Elle donne donc des symptômes assez sensibles. Cependant, il peut aussi bien s'agir d'un barotraumatisme.

- troubles de l'audition, "oreilles qui sifflent"
- troubles de l'équilibre : vertiges, nausées.
- battement incontrôlé de l'œil.

* moelle épinière

Les troubles de la moelle épinière sont plus particulièrement liés à l'accident de décompression.

Il est donc important de reconnaître ces symptômes révélateurs.

Troubles des réflexes : genou, dessous du pied.

Troubles des sphincters : impossibilité d'uriner.

Épilepsie.

Paralysies du type paraplégie (les deux jambes), tétraplégie (les 4 membres).

Attention : une paralysie commence par une simple perte de force.

Syncope, mort.

* cœur

Les problèmes au cœur viennent de la difficulté de pomper avec un gaz compressible des bulles dans la pompe. Ils peuvent aussi bien signaler une surpression pulmonaire.

Pouls irrégulier, filant

Infarctus.

Enfin, certains symptômes doivent plutôt vous faire suspecter une surpression pulmonaire, même s'ils peuvent accompagner un accident de décompression :

* poumons

Ceux-ci sont probablement dûs à une surpression. Douleur ventilatoire, toux, crachats rosés.

* cerveau

Les lésions au cerveau peuvent a priori résulter de l'un ou l'autre type d'accident.

Troubles de la vision, de la parole, fatigue, pâleur.

Caractéristique : l'hémiplégie (paralysie d'un côté du corps).

CAUSES

Étudions les facteurs de dissolution :

A cause de la loi de Henry, la profondeur atteinte donne la quantité maximale dissoute.

Le temps pendant lequel on y reste est le temps qu'on donne à l'azote pour rejoindre l'équilibre. Plus il est long, plus on va dissoudre d'azote.

Ce sont ces deux facteurs qu'on rentre dans les tables pour calculer les paliers.

Statistiquement, les accidents graves (neurologiques) apparaissent aux plus grandes profondeurs et les accidents moins graves (articulaires) aux plus faibles profondeurs.

Ensuite, selon les tissus et leur vascularisation, on comprend que certains organes seaturent plus ou moins vite.

Le flux de sang qui passe au niveau des organes accélère les échanges, et il augmente avec l'effort. Donc tout effort physique entraîne une dissolution d'azote plus importante.

A l'inverse, le froid réduit la circulation dans les membres. Il diminue donc les échanges gazeux. Or il intervient plus souvent en fin de plongée, donc occasionne une élimination inefficace de l'azote au cours des paliers, et augmente le risque d'accident.

PRÉVENTIONS

La toute première et évidente est de respecter toujours les paliers et la vitesse de remontée. Les calculs doivent être faits selon les règles strictes d'utilisation des tables.

Pour qu'elles soient valables, il faut absolument garder les mêmes tables et les mêmes palanquées sur la journée, sous peine de complications.

La plongée à l'ordinateur est aussi possible, mais alors il est OBLIGATOIRE que la palanquée ne change pas entre le matin et l'après-midi.

Il est bon de faire dans tous les cas un palier de principe de 3 minutes à 3 mètres, même si les tables n'indiquent rien.

Attention à l'accumulation des facteurs favorisants :

- faire des folies de son corps : fatigue, alcool, médicaments, tabac.
- être en mauvaise condition physique : âge, faible entraînement, obésité.
- En plongée : froid, effort, profondeur, serrez la courbe avec l'ordinateur, mauvais profil.

Tout simplement ne plongez pas si vous n'en avez pas envie.

Il est possible d'allonger sans danger le palier de 3m (mais seulement celui-là). Ne vous en privez pas si vous pensez accumuler les facteurs favorisant l'accident de décompression. Ce n'est jamais mal vu.

Limitez les efforts en plongée et après la plongée (on a vu qu'ils influent sur les échanges gazeux).

Ne faites pas d'apnée après la plongée.

Ne prenez pas l'avion, ne montez pas en montagne dans les 12h qui suivent la plongée. Ce serait en effet une baisse de pression supplémentaire, alors que les tissus ne sont pas désaturés complètement.

Revenons au profil de plongée :

Les tables sont calculées pour un profil carré (toute la plongée à la profondeur maximale).

Il faut absolument éviter un profil descendant (à plus forte raison encore si on utilise un ordinateur). En effet, passer la plongée à des profondeurs croissantes revient à bien saturer, et à faire la remontée tout à la fin. Alors que la même plongée prise dans l'autre sens donne un profil montant, beaucoup plus favorable.

En effet, dans un profil montant, la fin de la plongée, à faible profondeur, sert déjà à désaturer le début de la plongée, avant même de commencer les paliers.

Enfin, on réservera les plongées de type "yoyo" aux exercices, où on ne peut s'en passer, en sachant qu'elles sont pénalisantes parce qu'elles alternent création de bulles à la montée, et compression des bulles (Mariotte) à la descente, les bulles comprimées pouvant s'infiltrer un peu partout. C'est pourquoi on réserve après les exercices niveau 2 par exemple un temps pour une petite ballade au fond.

CONDUITE A TENIR

Il faut tout de suite faire évacuer l'accidenté vers le caisson de recompression multiplace le plus proche, donc prévenir les secours dès le diagnostic. ne jamais faire redescendre un accidenté pour le recomprimer. Ce serait le vouer à un deuxième accident superposé au premier.

Entre-temps :

Placer l'accidenté légèrement tête en bas (pour irriguer le cerveau).

Lui faire respirer de l'oxygène pur (l'équipement est obligatoire à bord du bateau de plongée). Le but est double : lutter contre les anoxies locales dues à l'accident, et éliminer l'azote plus rapidement.

Lui administrer 500 mg d'aspirine non effervescent, pour fluidifier le sang.

Lui faire boire de l'eau (1 à 2l.). En effet, pendant l'accident de décompression, le volume sanguin a tendance à diminuer, et il faut le restaurer. L'eau permet aussi de fluidifier le sang.

Le sécher, le réchauffer, le rassurer. Ne négligez jamais ces aspects, qui sont très importants quelque soit l'accident.

Noter précisément le profil de plongée, les symptômes observés, les soins apportés pour les présenter à l'arrivée de l'équipe de secours.

Conclusion

Vous voyez à quel point le cours suivant sur les tables est important. Ce n'est pas seulement de la théorie, vous devrez savoir l'appliquer aussi bien sur le bateau qu'au fond, même et surtout en situation plus ou moins stressante. Vous devez donc connaître les procédures sur le bout des doigts.

6.Exercices

1. Une bouteille est gonflée avec de l'air contenant 0.5% de CO₂. A quelle profondeur la pression partielle de CO₂ respiré sera-t-elle de 0.02 bars ?

Quelle sera la pression partielle de CO₂ respiré à 40m ?

2. Un plongeur descend rapidement de la surface à 20m. Arrivé là (on suppose que l'azote n'a pas eu le temps de se dissoudre), quelle est la tension en azote dans son organisme? La pression partielle d'azote dans l'air qu'il respire?

Mêmes questions quand il est resté très longtemps à 20m (on a atteint l'équilibre) ?

LES TABLES DE PLONGEE

Présentation générale

Introduction

Le but des tables de plongée est de définir les critères qu'un plongeur doit respecter afin d'éviter tout dégazage anarchique d'azote dans le corps et, par suite, tout accident de décompression.

Ces critères ont été définis de manière empirique et affinés expérimentalement sur des plongeurs militaires (entraînés et en bonne forme physique). Depuis quelques années, on tient également compte des accidents «non mérités».

Les tables utilisées dans le cadre de la FFESSM sont les tables de plongée fédérales établies à partir des tables MN90 (écrites par la Marine Nationale et revues en 1990) : il s'agit des tables MN90 auxquelles une correction sur la vitesse de remontée entre les paliers a été apportée.

Critères à respecter

Ces critères sont au nombre de deux.

- La **vitesse de remontée** : celle-ci doit être de 9 à 15 m/mn (et de 6 m/mn entre chaque palier). Il s'agit donc d'une donnée qui est totalement indépendante du profil et du type de plongée effectuée.
- La profondeur et la **durée des paliers** à effectuer. Quand des paliers sont nécessaires, ceux-ci sont toujours à effectuer aux mêmes profondeurs (3m, 6m, 9m, 12m, 15m). La durée des paliers, en revanche, dépend des paramètres de la plongée et doit donc être déterminée grâce aux tables de plongée.

Qu'appelle-t-on paramètres d'une plongée ?

Ces paramètres sont au nombre de deux.

1. La profondeur : il s'agit de la profondeur maximale caractérisant la plongée. On la note **P**.

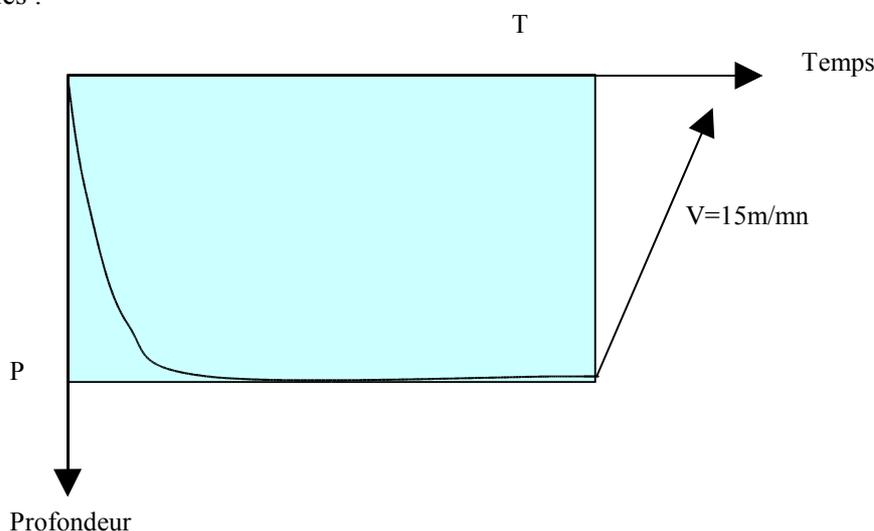
2. La durée : il s'agit du temps total entre la mise à l'eau et le début de la remontée. On la note **T**.

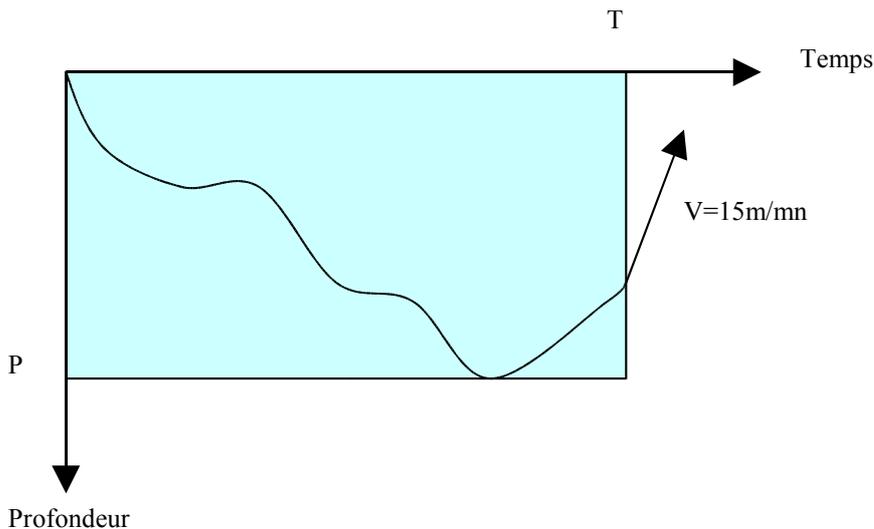
La descente est donc comprise dans T, mais pas la remontée à partir du moment où le déplacement vertical s'effectue à une vitesse de 15 m/mn.

Note importante : les paramètres d'une plongée dépendent du type de la plongée, c'est-à-dire qu'ils peuvent être majorés pour pénaliser une plongée donnée.

(Dans le cas de plongées nitrox, ces paramètres sont minorés, comme on le verra dans le deuxième cours sur les tables)

Exemples :





Quel que soit son profil, toute plongée est approchée par un rectangle : les tables gèrent donc des plongées dites carrées.

NB : Le cas de remontées à une vitesse supérieure à 15 m/mn est un cas qui ne fait pas partie des plongées simple, consécutive et successive et n'est pas abordé dans le présent cours.

Quelques définitions

Heure de sortie : heure à laquelle on termine une plongée, à savoir l'heure à laquelle on refait surface.

Intervalle : durée entre l'heure de sortie d'une plongée et le début de la plongée suivante.

Palier : profondeur à laquelle on doit rester stabilisé pendant une durée déterminée grâce aux tables. Dans le cas où aucun palier n'est à effectuer, il est souhaitable néanmoins de réaliser un :

palier de sécurité de 3 minutes à 3 mètres.

Conventions pour les calculs de tables (épreuves théoriques)

Vitesse de remontée jusqu'au premier palier = 15 m/mn.

Vitesse de remontée entre paliers (ou du dernier palier à la surface) = 6 m/mn (soit une durée de 30 s).

Durée totale de remontée : à arrondir à la minute immédiatement supérieure.

Attention :

La durée de remontée dépend de la profondeur à laquelle on est au moment où l'on commence la remontée.

Cette profondeur n'est pas forcément celle considérée pour le calcul des paliers.

Par exemple, un plongeur peut descendre à une profondeur de 40 mètres, se balader le long d'un tombant en remontant petit à petit à 20 mètres et de là, remonter à la surface à la vitesse de 15 m/mn. Dans un tel cas, la profondeur à considérer pour le calcul des paliers est 40 mètres (i.e. la profondeur maximale atteinte) et celle à considérer pour le calcul du temps de remontée est 20 mètres (i.e. la profondeur réelle à laquelle est le plongeur au moment où il décide de remonter).

Dans les sections 2 et 3, on considère que les plongées se font au niveau de la mer (i.e. à la pression atmosphérique de 1 bar) et à l'air (i.e. mélange 80% d'azote – 20% d'oxygène).

Plongée simple

Une **plongée** est considérée comme **simple** si l'**intervalle** avec la plongée précédente est d'**au moins douze heures**.

Dans ce cas, on suppose qu'il n'y a plus d'azote résiduel dû à la plongée précédente dans le corps. Par suite, la plongée précédente n'intervient pas dans le calcul des paliers de la plongée simple.

Les paramètres à considérer sont donc :

- P : profondeur maximale atteinte pendant la plongée,
- T : temps entre le début de la descente et le début de la remontée.

Fonctionnement des tables

On prend les paramètres P et T de la plongée et on cherche dans les tables la durée des paliers à effectuer.

Remarque :

Les paramètres à considérer vont toujours dans le sens de la pénalisation de la plongée. Par suite :

8. si P n'est pas dans les tables, on prend la profondeur immédiatement supérieure apparaissant dans les tables,
9. si T n'est pas dans les tables, on prend la durée immédiatement supérieure apparaissant dans les tables.

Exemple :

Pour une plongée dont la profondeur maximale est de 19 m et la durée de 58 mn, on prendra dans les tables :

P = 20 m

T = 60 mn

Ce qui donne un palier à 3 m de 13 mn.

La dernière colonne des tables donne le groupe de sortie de la plongée. Ce groupe de sortie sert dans le calcul des paliers d'une plongée successive, comme on le verra plus loin.

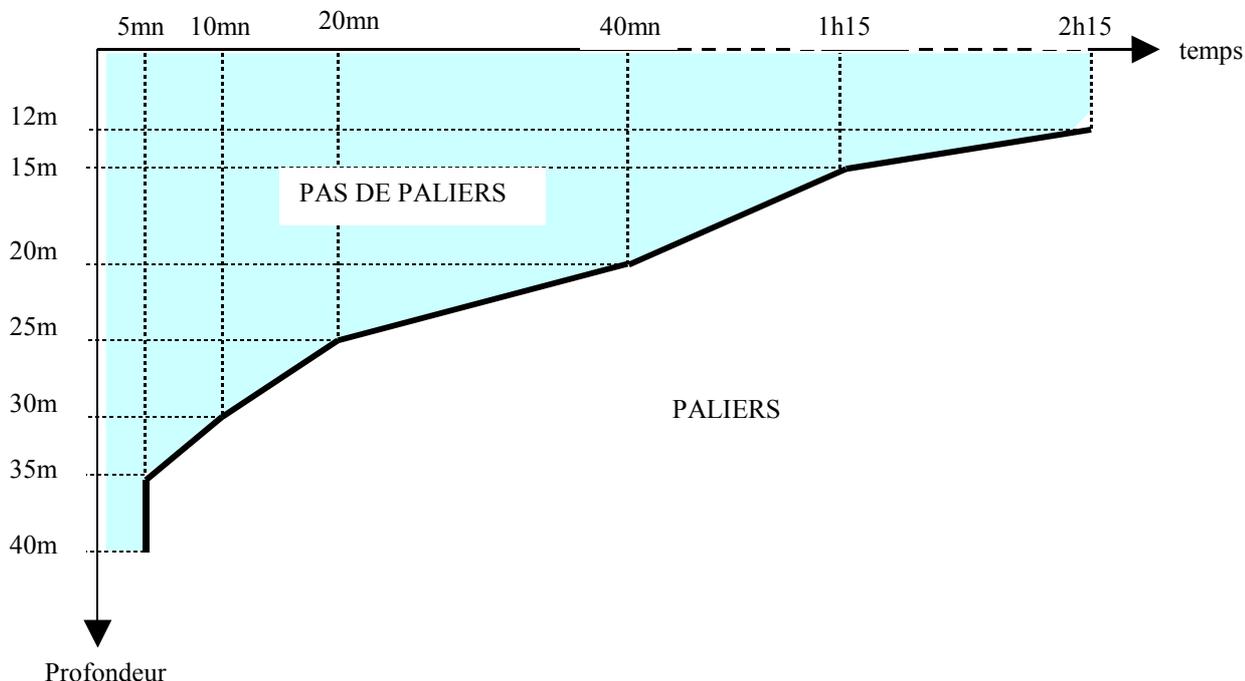
Courbe de sécurité

Il s'agit des couples (P, T) pour lesquels il n'y a aucun palier à effectuer.

Profondeur (en m)	Temps
12	2h15
15	1h15
20	40mn
25	20mn
30	10mn
35 et 40	5mn

On peut noter qu'à partir de 20 mètres, le temps de plongée sans paliers est divisé par 2 tous les 5 mètres et ce, jusqu'à 35 m.

La courbe est représentée ci-dessous.



Exemples :

- une plongée de 30 mn à 20 m ne nécessite pas de paliers
- une plongée de 30 mn à 30 m nécessite de calculer les paliers grâce aux tables.

NB :

Il est conseillé de connaître ces couples afin d'éviter de faire des calculs inutiles.

Mais il est évidemment interdit de faire des interpolations personnelles sur cette courbe en vue de présupposer des temps de plongée sans paliers à des profondeurs intermédiaires à celles données dans le tableau.

Exercices

Pour répondre à ces exercices, il peut être pratique de dessiner le profil de la plongée.

NB : ne pas oublier qu'il est souhaitable d'effectuer un palier de sécurité de 3 minutes à 3 mètres lorsqu'on n'a pas de paliers.

1. Après deux semaines sans plonger, une palanquée s'immerge à 16h30 et descend à une profondeur de 25 mètres. Après 20 minutes d'exploration, la palanquée commence sa remontée.
Profondeur et durée des paliers ? Heure de sortie ? Groupe de sortie ?
2. Après deux jours sans avoir effectué de plongée, une palanquée s'immerge à 10h20 et descend à une profondeur de 19 mètres. Après 35 minutes d'exploration, la palanquée commence sa remontée.
Profondeur et durée des paliers ? Heure de sortie ? Groupe de sortie ?
3. Deux plongeurs n'ayant pas plongé depuis un mois s'immergent à 14h00 et descendent à 33 mètres. Ils se baladent pendant 40 minutes avant de débiter leur remontée.
Profondeur et durée des paliers ? Heure de sortie ? Groupe de sortie ?
4. Une palanquée fait une plongée de réadaptation et s'immerge à 9h35. Elle descend à une profondeur de 22 mètres. 30 minutes plus tard, elle remonte à une profondeur de 15 mètres et poursuit son exploration pendant 10 minutes avant de remonter en surface.
Profondeur et durée des paliers ? Heure de sortie ? Groupe de sortie ?

Plongées consécutives et successives

Introduction

L'intervalle entre la plongée que l'on va effectuer et la plongée précédente est de moins de 12 heures.

On ne suppose donc plus que l'azote résiduel dû à la plongée précédente a disparu du corps et on doit donc tenir compte de la plongée précédente.

Le but est de ramener la plongée à une plongée simple en la pénalisant afin de prendre en compte les paramètres de la plongée précédente.

Il est à noter que la première plongée a ses propres paramètres et que cette section s'applique à la deuxième plongée.

Plongée consécutive

L'intervalle entre les deux plongées est strictement inférieur à 15 minutes.

La première plongée a eu lieu selon les règles normales (vitesse de remontée et paliers respectés). La seconde plongée débutant moins de 15 minutes après l'heure de sortie de la première, les paramètres englobent les deux plongées avec :

- la profondeur maximale atteinte au cours des deux plongées,
- la somme des durées des deux plongées : soit la durée entre la mise à l'eau pour la **première** plongée et le début de la remontée de la **première** plongée augmentée de la durée entre la mise à l'eau pour **deuxième** plongée et le début de la remontée de la **deuxième** plongée.

Typiquement :

- soit P_1 , la profondeur maximale atteinte au cours de la première plongée,
- soit P_2 , la profondeur maximale atteinte au cours de la deuxième plongée,

La **profondeur** considérée pour le calcul des paliers de la deuxième plongée ne sera pas P_2 mais la plus grande profondeur entre P_1 et P_2 , à savoir $P = \text{Max}(P_1, P_2)$.

Et :

- soit t_1 , l'heure d'immersion de la première plongée,
- soit t_2 , l'heure de sortie de la première plongée,
- soit t_3 , l'heure d'immersion de la deuxième plongée (avec $t_3 - t_2 < 15$ mn),
- soit t_4 , l'heure à laquelle on décide de remonter de la deuxième plongée,

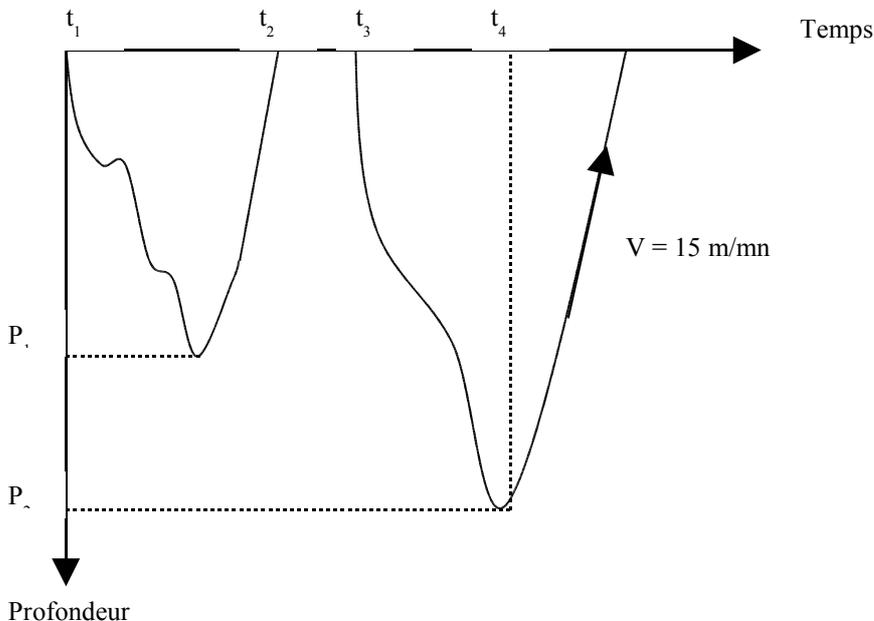
La **durée** considérée pour le calcul des paliers de la deuxième plongée ne sera pas $(t_4 - t_3)$ mais $T = t_2 - t_1 + t_4 - t_3$

La pénalisation a donc lieu sur :

- le temps de plongée dans tous les cas (somme des durées des deux plongées),
- la profondeur de la plongée, si la première plongée a une profondeur maximale supérieure à celle de la deuxième plongée.

Exemples : Dans les deux exemples ci-dessous, on suppose que $(t_3 - t_2)$ est inférieur à 15 mn.

Exemple 1



La première plongée ayant une profondeur inférieure à la seconde, on a : $P = P_2$

- il n'y a donc pas, dans ce cas, de pénalisation sur la profondeur par rapport à une plongée simple.

La durée considérée est : $T = t_4 - t_3 + t_2 - t_1$

- il n'y a donc une pénalisation sur la durée par rapport à une plongée simple.

Plongée successive

Les paramètres

L'intervalle entre les deux plongées est supérieur ou égal à 15 minutes et inférieur à 12 heures.

La profondeur à considérer est la profondeur maximale atteinte au cours de la deuxième plongée.

$$P = P_2.$$

La durée à considérer est la durée de la deuxième plongée majorée d'une durée due à la première plongée.

Cette majoration correspond au temps que l'on aurait passé à la profondeur maximale de la deuxième plongée P_2 pour arriver au taux d'azote résiduel que l'on a au début de cette deuxième plongée.

Ce temps de majoration prend donc en compte :

- le profil de la première plongée (via le groupe de sortie de ladite plongée),
- l'intervalle entre les deux plongées,
- la profondeur de la deuxième plongée.

Le profil de la première plongée permet de connaître l'azote résiduel que l'on a en sortant de la première plongée. L'intervalle entre les deux plongées permet de déterminer l'azote résiduel que l'on a au début de la deuxième plongée. Enfin, la profondeur de la deuxième plongée permet de déterminer le temps pendant lequel il aurait fallu que l'on reste à cette profondeur pour parvenir à un taux d'azote résiduel correspondant à celui que l'on a en commençant la deuxième plongée. Ce temps est la majoration que l'on va ajouter au temps réel de plongée.

Pour une plongée successive, la pénalisation a donc lieu uniquement sur le temps de plongée.

Fonctionnement des tables

Calcul de la majoration

On récupère le groupe de sortie de la première plongée dans la dernière colonne des tables, que l'on note GS.

Dans les tables, on considère le tableau I : évolution de l'azote résiduel entre deux plongées.

On récupère, dans ce tableau, le chiffre situé au croisement du groupe de sortie GS de la première plongée et de l'intervalle entre les deux plongées. Ce chiffre nous donne l'azote résiduel AR que l'on a dans le corps au début de la deuxième plongée.

NB : Le groupe de plongée est obligatoirement dans le tableau. En revanche, l'intervalle n'y est pas forcément. Dans ce cas, on prend l'intervalle immédiatement *inférieur* (sens de la pénalisation de la plongée).

On considère ensuite le tableau II : détermination de la majoration en minutes.

On récupère, dans ce tableau, le chiffre situé au croisement de l'azote résiduel AR et de la profondeur maximale de la deuxième plongée. Ce chiffre nous donne la majoration à ajouter au temps réel de la deuxième plongée.

NB : L'azote résiduel ou la profondeur ne sont pas forcément dans le tableau. Dans ce cas, on prend l'azote résiduel ou la profondeur immédiatement *supérieur(e)* (sens de la pénalisation de la plongée).

Calcul des paliers

En prenant la profondeur maximale et la durée majorée de la deuxième plongée, on applique la même méthode que celle explicitée en 2.2.

Exercices

Pour répondre à ces exercices, il est important de dessiner le profil des plongées.

Il est à noter que, pour pouvoir répondre aux questions concernant la deuxième plongée, il faut déjà répondre aux mêmes questions concernant la première plongée et, en particulier, récupérer son groupe de sortie.

NB : ne pas oublier qu'il est souhaitable d'effectuer un palier de sécurité de 3 minutes à 3 mètres lorsqu'on n'a pas de paliers.

1. Une palanquée s'immerge à 14h50 et effectue une plongée à une profondeur de 18 mètres de 40 minutes. Le soir, une plongée de nuit est organisée et la même palanquée se met à l'eau à 21h00 et descend à une profondeur de 15 mètres. Elle se balade pendant 35 minutes avant de débiter sa remontée.

Profondeur et durée des paliers ? Heure de sortie ?

2. Une palanquée s'immerge à 10h00 et descend à une profondeur de 26 mètres. Elle y reste pendant 18 minutes, puis remonte le long d'un tombant jusqu'à une profondeur de 12 mètres qu'elle atteint 20 minutes plus tard. Elle décide alors de remonter en surface. À 15h30, cette même palanquée refait une plongée de 45 minutes à une profondeur de 17 mètres.

Profondeur et durée des paliers ? Heure de sortie ?

Récapitulatif

Soit I l'intervalle de temps entre deux plongées.

Soient :

- P_1 la profondeur maximale de la première plongée,
- T_1 la durée de la première plongée (ne comprenant pas la durée de remontée ni celle des paliers),
- P_2 la profondeur maximale de la deuxième plongée,
- T_2 la durée de la deuxième plongée (ne comprenant pas la durée de remontée ni celle des paliers).

Alors, on peut récupérer les paramètres utiles au calcul des paliers comme suit :

Type de plongée	Intervalle avec la plongée précédente	Profondeur	Temps
Plongée simple	$I > 12$ heures	P_2	T_2
Plongée consécutive	$I < 15$ minutes	$\text{Max}(P_1, P_2)$	$T_1 + T_2$
Plongée successive	$15 \text{ minutes} \leq I \leq 12$ heures	P_2	$T_2 + \text{majoration}$

Autour de la plongée

Le matériel

Une présentation du matériel et de son entretien a été faite lors des cours théoriques niveau 1.

Pour un niveau 2, qui commence à devenir autonome, il faut connaître le matériel individuel et son entretien afin d'assurer la sécurité.

Rappels

Le scaphandre est composé :

- d'une bouteille ou d'un bi (contenance allant de 9 à 18 litres), avec un robinet de conservation (de l'air) et un siège sur lequel se fixe le détendeur
- éventuellement d'une tige de réserve (avec un volant de réserve) et de sangles.

Inscriptions sur la bouteille

- nom du constructeur
- année et numéro d'ordre de fabrication
- volume interne de la bouteille
- gaz contenu (de l'air)
- pression d'épreuve (PE à 15°)
- pression de service (PS à 15° : 2/3 de la pression d'épreuve)
- date d'épreuve ou de dernière ré-épreuve
- poinçon des mines (tête de cheval)
- poids de la bouteille à vide

En cas d'agrément CEE

4. signe ϵ suivi du numéro de la directive CEE
5. lettres distinctives de l'état et deux derniers chiffres de l'année de l'agrément
6. numéro caractéristique de l'agrément
7. valeur de résistance à la rupture du matériau (en N/mm²)
8. lettre : N pour normalisé ou T pour trempé et revenu

Vérification CEE

- lettre e
- lettres distinctives de l'état suivi d'un numéro
- marque ϵ
- date de vérification

Contrôles périodiques

La ré-épreuve

La ré-épreuve consiste à mettre avec de l'eau le corps de la bouteille à la pression d'épreuve puis de vérifier qu'il n'y a pas de déformation.

La ré-épreuve est matérialisée par le frappage de la date de ré-épreuve et du tampon des mines (tête de cheval)

La visite périodique

Cette visite est effectuée par une personne formée (dit Technicien en Inspection Visuelle ou TIV). Les points vérifiés sont l'état intérieur et extérieur du corps ainsi que l'état de la robinetterie.

Elle est matérialisée par l'apposition d'un macaron donnant la date de prochaine visite.

Réglementation

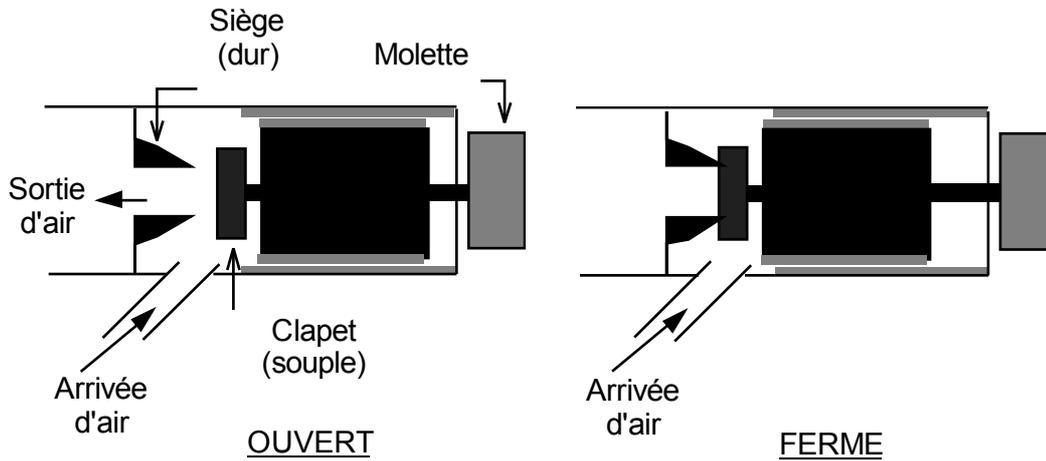
Pour les bouteilles en acier :

- ré-épreuve tous les deux ans
- par dérogation, ré-épreuve tous les cinq ans sous réserve qu'il y ait une visite tous les ans (TIV), avec étiquetage sur la bouteille du macaron de TIV et tenue d'un cahier de TIV.

Le robinet de conservation

Le robinet classique

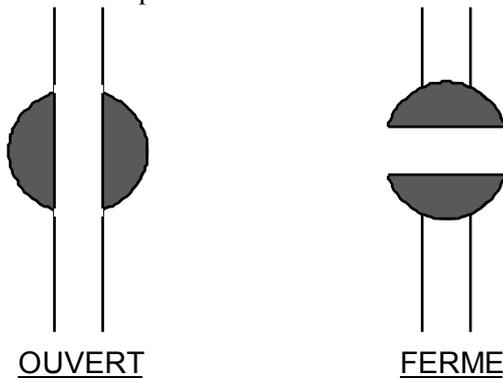
Schéma de principe :



Le système siège / clapet permet d'assurer l'étanchéité : quand le robinet est fermé, le clapet est plaqué sur le siège, ce qui empêche le passage de l'air.

Pour assurer la pérennité du matériel, il ne faut pas laisser le robinet ouvert à fond, mais revenir d'un demi tour.

Le robinet quart de tour



Il faut ouvrir le robinet lentement pour éviter d'abîmer détendeurs et instruments. Ce type de robinet se trouve fréquemment sur les compresseurs.

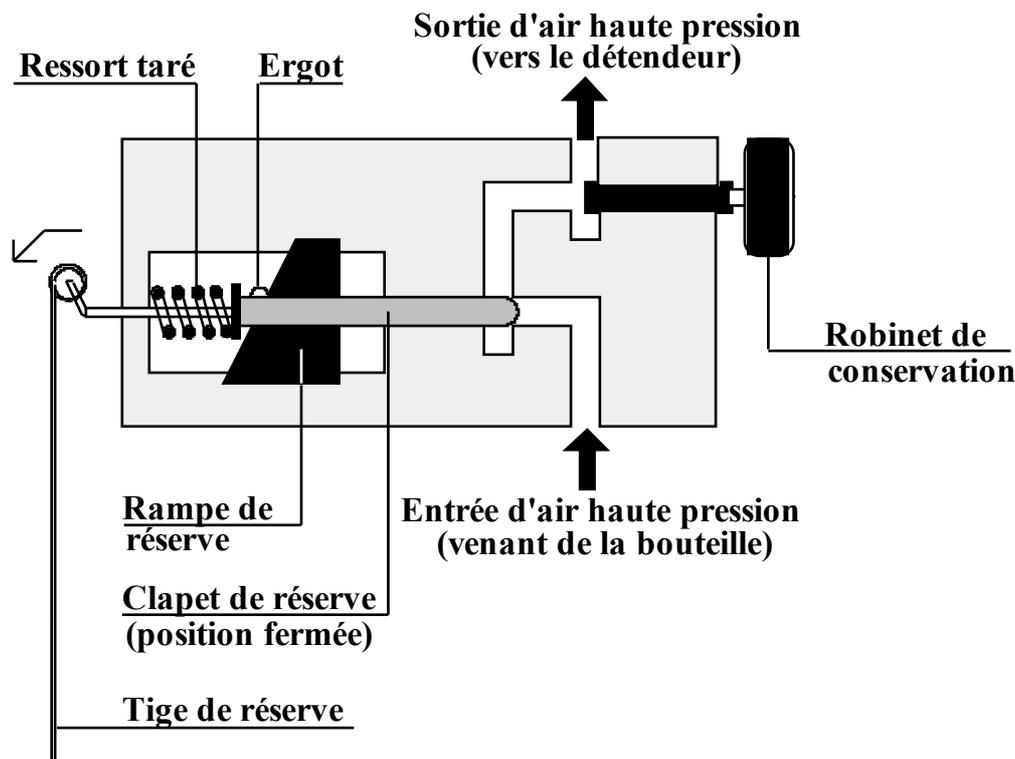
La réserve (en voie de disparition)

Lorsque la réserve est haute, tant que la pression dans la bouteille est supérieure à la valeur du ressort de réserve (30 à 50 bars), le clapet est décollé du siège et l'air passe. Dès que la pression devient égale ou inférieure à la valeur du ressort, le clapet se plaque sur le siège et il devient difficile de respirer. Cependant, Le clapet étant non étanche, il est toujours possible de respirer, même s'il faut faire plus d'effort.

Lorsque l'on a du mal à respirer, il faut baisser la réserve. Le ressort de réserve est alors comprimé, le clapet est éloigné du siège et l'air qui reste dans la bouteille peut être utilisé sans difficulté.

On peut remarquer que si la réserve reste haute il est impossible de gonfler la bouteille : le clapet se colle au siège et empêche l'air de passer.

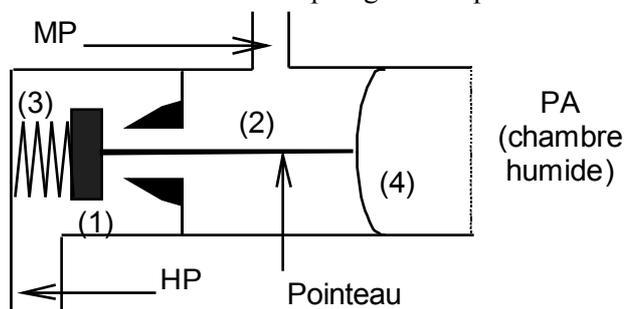
Schéma d'une robinetterie avec robinet de conservation et système de réserve :



Le détendeur

Le but du détendeur est de fournir au plongeur de l'air à sa demande.

De plus, si on essayait d'utiliser un tuba très long, dès que la profondeur dépasse 50 cm il deviendrait difficile de respirer car les muscles inspiratoires n'arriveraient pas à vaincre la pression ambiante. Pour éviter ce problème, le détendeur fournit l'air au plongeur à la pression ambiante.



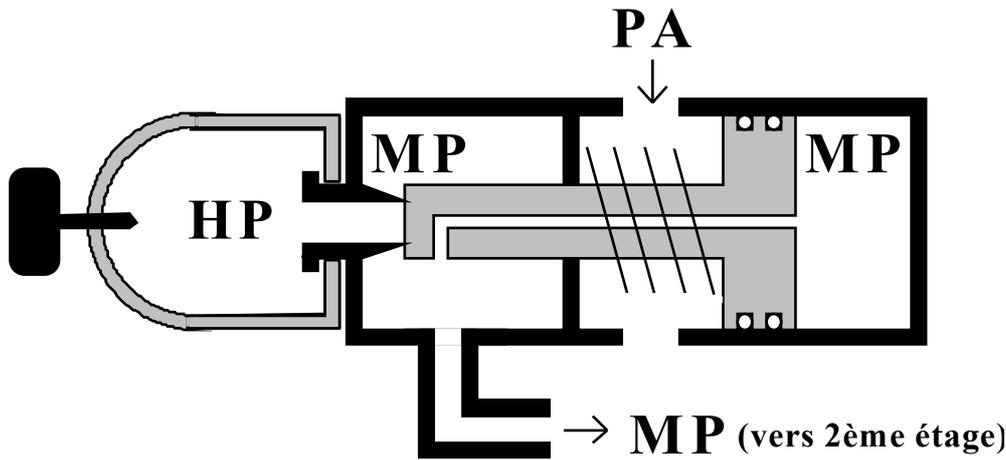
- (1) Empêcher l'air de la bouteille de sortir par un système clapet / siège
- (2) Mettre un pointeau pour ouvrir en cas de besoin le détendeur et permettre l'admission d'air
- (3) Mettre un ressort de rappel pour refermer la bouteille après l'admission d'air
- (4) Commander le pointeau par la pression ambiante pour que l'air délivré le soit à la pression ambiante.

Le fonctionnement est simple : si l'on inspire, on crée une dépression dans la chambre basse pression. La pression de la chambre humide est alors plus forte que celle de la chambre basse pression et donc la membrane se déforme vers la gauche. Cela déplace le pointeau vers la gauche et donc décolle le clapet du siège. L'air à haute pression passe alors dans la chambre basse pression jusqu'à ce que la pression dans la chambre basse pression soit égale à la pression ambiante. La membrane reprend alors sa place, ce qui ramène le pointeau vers la droite et recolle donc le clapet sur le siège.

Ce schéma n'est qu'un schéma de principe : dans les détendeurs actuels, la pression est amenée à la pression ambiante en deux étapes : c'est le détendeur à deux étages.

Le premier étage

Son but est d'effectuer une première détente de l'air. L'air est alors à une pression dite moyenne pression.

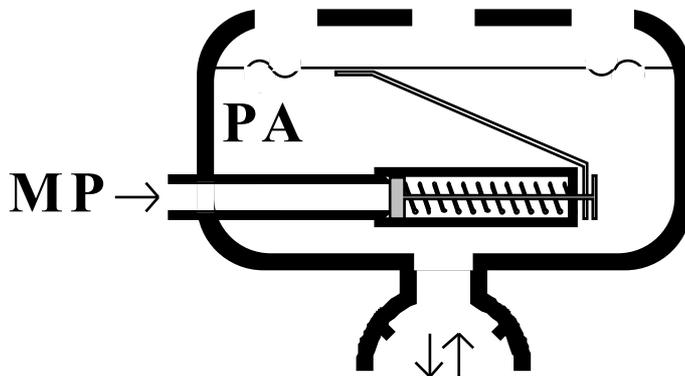


Le ressort de réglage ajoute quelques bars (5 à 9) à la pression ambiante pour fixer la valeur de la moyenne pression.

Le second étage

Son but est de détendre l'air arrivant à moyenne pression pour le passer à la pression ambiante.

Un schéma de principe de deuxième étage est :



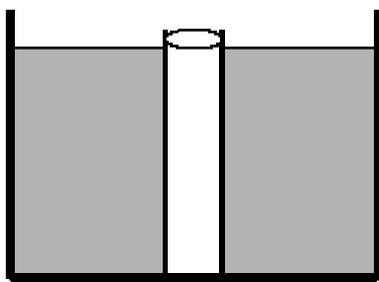
Le pointeau qui décollait le clapet du siège dans le premier étage a été remplacé par un levier ici.

On remarque qu'ici le clapet est aval : si la moyenne pression augmente, le clapet se décolle du siège et l'air fuse. Cela protège le tuyau de moyenne pression.

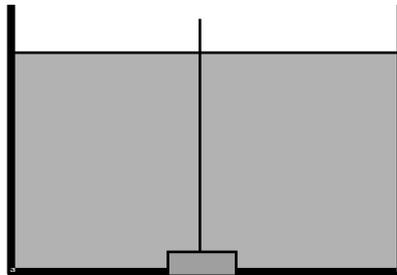
La soupape d'expiration est une membrane souple. Lorsque l'on souffle dans l'embout, le clapet est plaqué contre le siège ; la membrane se décolle donc et laisse sortir l'air. Cela ne peut pas se produire à l'inspiration puisque à ce moment l'intérieur du deuxième étage est en sous-pression et donc la membrane reste collée.

Autre principe : le détendeur compensé

Le principe de la compensation repose sur une expérience assez simple de bonde d'un évier:

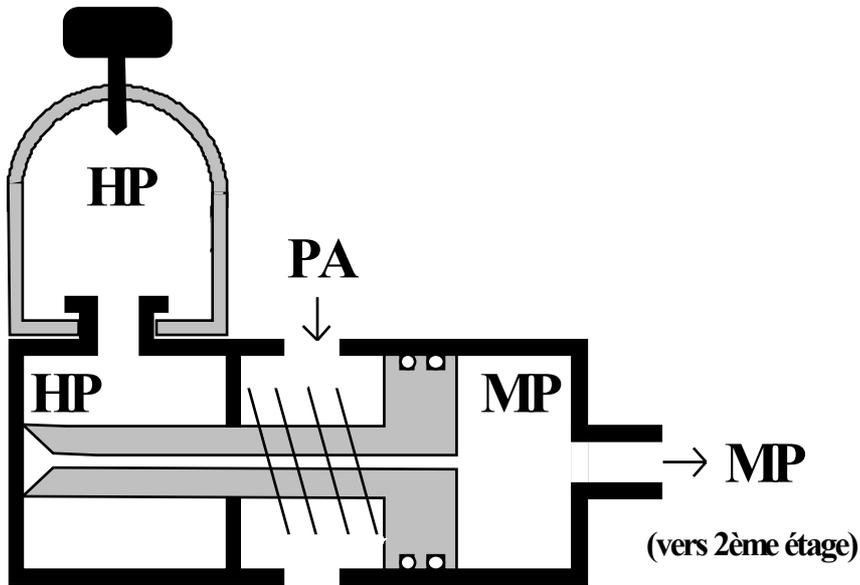


OUVERTURE FACILE
(ne dépend pas de la hauteur d'eau)



OUVERTURE DIFFICILE
(dépend de la hauteur d'eau)

Dans le cas où le bouchon ne monte pas au dessus de la hauteur de l'eau, une partie de l'eau appuie sur le bouchon, ce qui rend l'ouverture difficile.



La compensation permet d'éviter que la moyenne pression ne dépende pas de la valeur de la haute pression (qui diminue au cours de la plongée). C'est un élément important de sécurité dès que l'on dépasse l'espace médian (20m).

Entretien d'un détendeur

Le détendeur est un élément indispensable à la plongée : il faut en prendre soin.

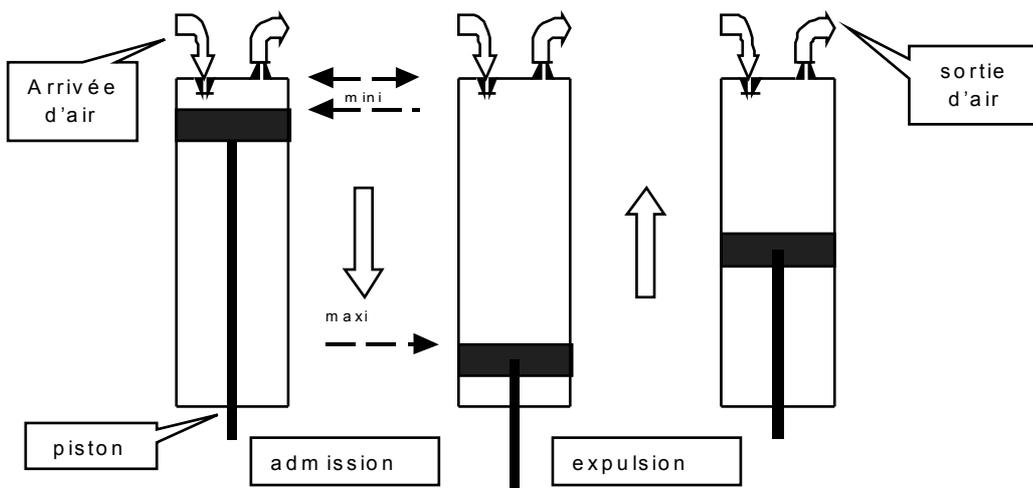
L'entretien est simple :

- il faut rincer le détendeur à l'eau douce, bouchon mis dans l'étrier pour éviter que de l'eau ne pénètre dans la chambre haute pression,
- lorsque le détendeur est sec, il faut le stocker à l'abri de la poussière bouchon ôté,
- il faut faire réviser son détendeur tous les ans (ou tous les deux ans),
- il faut changer de temps à autre le bronze poreux qui sert de filtre à l'entrée de la haute pression sur le premier étage (ce bronze sert à filtrer les poussières qui pourraient être contenues dans les bouteilles).

Sur certains deuxièmes étages, il peut exister des systèmes qui évitent que le clapet reste en contact sur le siège car cela risque de faire des marques sur le clapet et de nuire ensuite à l'étanchéité.

Le compresseur

Le principe est celui de la pompe à vélo :



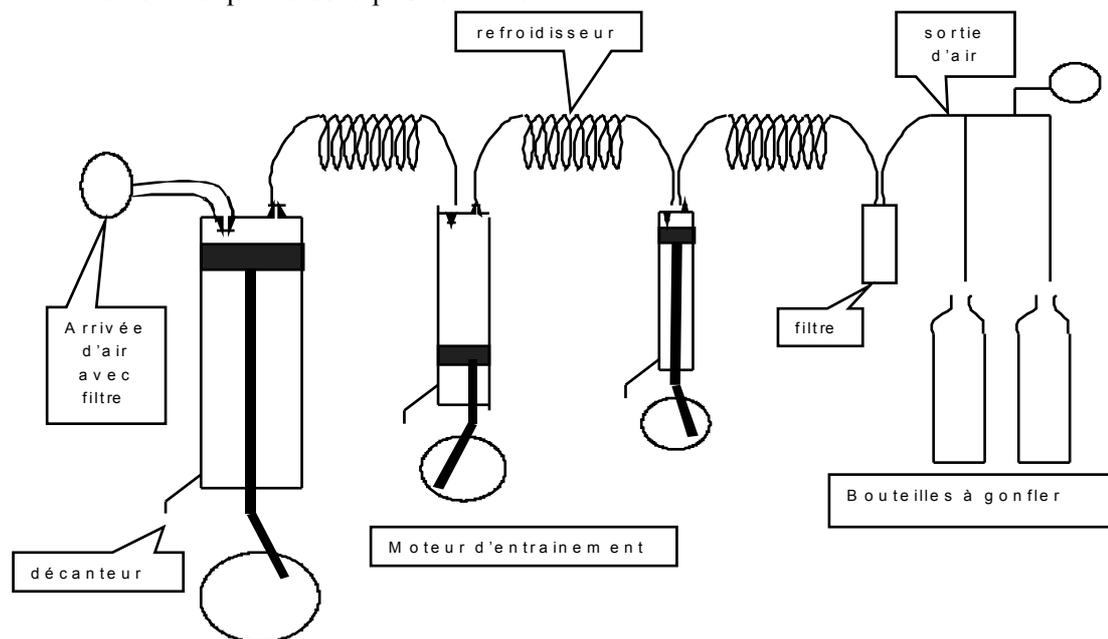
Le rapport de compression est le rapport du volume maximum sur le volume minimum du piston. Dans un compresseur, plusieurs étages sont enchaînés afin d'atteindre la pression de gonflage (ex : 200 bars). Avec un rapport de compression de 6 par étages, et trois étages, on obtient :

Air d'arrivée à 1 bar → 6 bars après le 1^{er} étage → $6*6=36$ bars après le 2^{ème} étage → $6*36=216$ bars en sortie

Il faut rajouter des refroidisseur entre les étages (la compression échauffe le fluide) et des filtres pour enlever les poussières en entrée, les graisses (lubrifiant des différents pistons) et des décanteurs dans chaque chambre pour l'humidité.

Hormis les révisions périodiques, l'entretien d'un compresseur consiste en la vidange des bacs de décantation et au remplacement régulier du filtre (charbon actif).

Il faut veiller à la qualité de la prise d'air neuf.



Le matériel de l'autonome

Outre son matériel individuel (palmes, masque, tuba, bloc, détendeur) un autonome doit avoir :

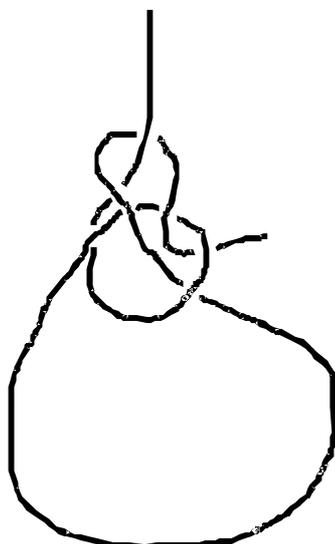
- un gilet stabilisateur ou une bouée,
- une montre et un profondimètre,
- des tables de plongée,
- et en autonomie, chaque plongeur d'une palanquée doit disposer de deux 2eme étages de détendeur

Il est de plus recommandé qu'il possède un parachute de palier et sache s'en servir.

Le matelotage

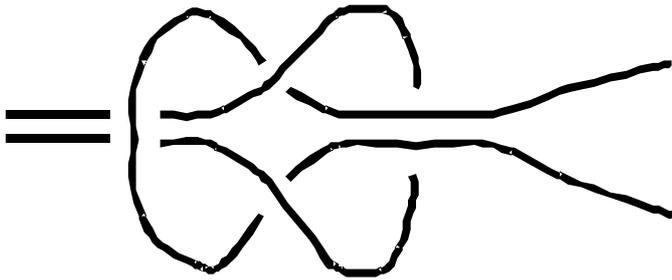
Les noeuds

Le principal nœud à connaître est le nœud de chaise. Son usage est assez universel.



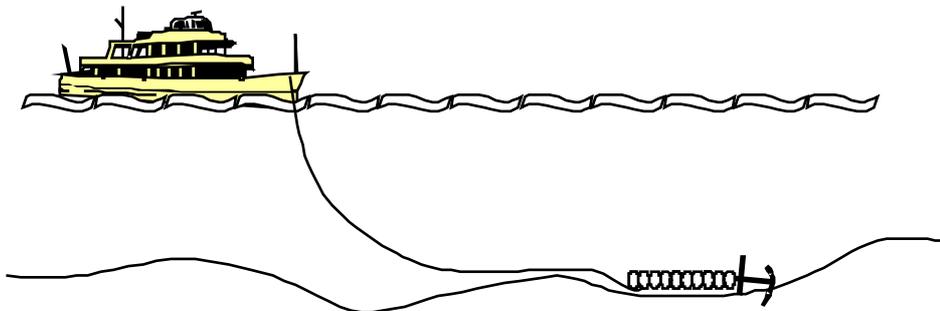
Ce nœud peut servir à amarrer un bateau, à créer une boucle (œil) dans un bout, à accrocher un objet (bouteille) à un pendeur, ...

Un autre nœud classique est le nœud plat, il sert à attacher entre eux deux bouts, mais il est difficile à défaire si il est serré (souqué).



Le mouillage d'un bateau

Un bateau est dit au mouillage quand il a jeté l'ancre. Lors de plongées où le bateau mouille, il est recommandé que la première palanquée descende le long du mouillage afin de vérifier la bonne tenue de l'ancre. En fin de plongée, si le guide de palanquée s'est bien repéré au fond, une remontée le long de ce mouillage est d'un confort certain. La longueur du mouillage à immerger est d'environ trois fois la profondeur. Un mouillage ne doit pas être tendu afin d'assurer une certaine élasticité. En fonction d'un courant ou du vent, un bateau peut tourner autour de son ancre, on dit qu'il évite.



La réglementation

Les règles : Arrêté du 22 juin 1998

Les conditions d'encadrement en milieu naturel ou en bassin pour une profondeur supérieure à 6 mètres sont définies par l'arrêté ministériel du 22 juin 1998 (éventuellement modifié par les décisions de la Commission Technique Nationale (CTN)) :

Espace	Niveau des plongeurs	Niveau minimum d'encadrement	Effectif maximum de la palanquée encadrement non compris
Médian (6-20m)	Niveau 2	E2 si enseignement	4 + P4 éventuellement
		- Possibilité d'absence d'encadrement	3
Lointain (20-40m)	Niveau 2	E3 si enseignement	2 + P4 éventuellement
		P4 si exploration	4

Dans les conditions d'autonomie, il n'y a pas de guide de palanquée au sens légal, les membres de la palanquée sont co-responsables (c'est pour cela que l'autonomie est interdite aux mineurs). Bien sûr il faut désigner dans ce cas un des membres de la palanquée plus particulièrement chargé de la conduite de la palanquée.

Dans des conditions d'autonomie, chacun doit avoir :

- un système gonflable au moyen d'une réserve de gaz comprimé leur permettant de regagner la surface et de s'y maintenir,

- les moyens de contrôler personnellement les caractéristiques de sa plongée et de la remontée,

un équipement permettant d'alimenter en gaz respirable un équipier sans partage d'embout.
Il est nécessaire d'avoir un directeur de plongée. C'est le directeur de plongée qui autorise les niveaux 2 à plonger en autonomes.

Licence

La licence est un élément important et obligatoire pour le plongeur en structure club. Ses avantages sont :

- c'est une attestation d'adhésion à la FFESSM au travers d'un des clubs la constituant (la signature est obligatoire sur la licence, signature des parents pour les mineurs, pour attester que le possesseur a pris connaissance des statuts et du règlement intérieur de la fédération),
- c'est une attestation d'assurance en responsabilité civile au tiers pour l'activité dans le monde entier, elle permet de souscrire une assurance complémentaire personnelle à un tarif préférentiel,
- c'est un permis de pêche sous-marine pour les plus de 16 ans,
- c'est un préalable au passage des brevets,
- c'est un préalable à la participation aux compétitions,

Et aussi :

- elle permet d'obtenir un abonnement à SUBAQUA à un tarif préférentiel,
- elle permet de bénéficier de réductions chez certains commerçants.

Il existe plusieurs licences :

- la licence adulte (valable 15 mois),
- la licence cadet (pour les moins de 16 ans),
- la licence compétition qui est la licence adulte avec un certificat médical et l'adhésion à une assurance complémentaire personnelle.

Certificat médical

La fourniture d'un certificat médical de "non contre-indication" à la pratique de la plongée est obligatoire pour la pratique de l'activité. Ce certificat est valable une année. Certains considèrent que sa validité se termine avec la licence.

Le certificat médical doit être établi par ;

- un médecin généraliste pour la pratique ou le passage du niveau 1,
- un médecin fédéral ou un médecin titulaire d'un CES médecine du sport pour le passage des autres brevets.

Le certificat médical n'est pas nécessaire pour le baptême.

Pour les compétitions, la validité du certificat médical est de 120 jours pour le premier et 180 jours pour un renouvellement.

La FFESSM

La Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins est une association loi 1901 qui regroupe des clubs affiliés.

Il existe des commissions pour les domaines particuliers de l'activité (juridique, corporatif, médicale et prévention, pêche sous-marine, hockey subaquatique, tir sur cible, nage avec palmes, nage en eau vives, orientation, technique, archéologie, audiovisuel, biologie, plongée souterraine).

Une décentralisation a été effectuée sur le plan inter-régionaux ou régionaux, et éventuellement sur le plan départemental.

la conduite de palanquée

Introduction

Lors de vos plongées encadrées, vous avez apprécié de revenir au bateau en fin de plongée afin de faire les paliers au mouillage et d'éviter un long trajet en capelé. Vous vous sentez en sécurité avec le guide de palanquée qui vous encadre.

Avec votre niveau 2, il vous sera possible de plonger en autonomes (à 2 ou 3 plongeurs de même niveau) dans la zone des 20 mètres. Tout ce que fait pour vous votre guide de palanquée pour le moment, ce sera à vous de le faire pour vous même et pour les autres.

La conduite de palanquée comporte plusieurs parties :

- le contrôle des paramètres de la plongée,
- l'utilisation d'un parachute de palier,
- l'orientation,
- l'assurance de la sécurité de la palanquée.

Le contrôle des paramètres de la plongée

Il est important pour l'autonome de respecter les paramètres de plongée fixés et de gérer sa réserve d'air.

Contrôle de la profondeur

Lors de vos plongées de niveau 1, vous êtes habitués à ne pas vous trouver en dessous du guide de palanquée.

En tant qu'autonome, vous devez contrôler vous même votre profondeur et éviter de descendre hors de votre espace d'évolution ou de devoir recalculer une majoration sous l'eau.

Quelques petits conseils simples :

Vérifier la profondeur lors des descentes pour éviter de dépasser les limites fixées.

Lors de déplacements horizontaux, et surtout le long des tombants, vérifier régulièrement sa profondeur.

Garder une petite marge pour les dépassements accidentels : par exemple si la plongée ne doit pas dépasser 18 mètres, une évolution à 15 mètres laisse 3 mètres de marge...

Rester vigilant sur la profondeur des paliers.

Contrôle de la décompression

En tant que niveau 1 il vous fallait déjà pouvoir remonter seul en cas de perte de votre palanquée. Niveau 2 vous pourrez évoluer accompagné dans la zone des 40 mètres, avec nécessité de faire des paliers.

Vous devez donc être à même de :

parer à une éventuelle panne des instruments : il vous faut donc pouvoir à tout moment être capable de donner la profondeur maximale atteinte et la durée de la plongée,

déterminer qu'une remontée a été trop lente ou trop rapide pour le prendre en compte dans les procédures de désaturation,

bien sûr connaître parfaitement l'utilisation du moyen de décompression que vous utilisez.

Contrôle de la réserve d'air

Accompagné, c'est le guide de palanquée qui gère votre réserve d'air.

Il vous faut maintenant prendre en compte cette gestion, surtout en tant qu'autonome.

Pour cela vous devez :

contrôler la pression dans la bouteille à l'arrivée au fond (bouteille à la température ambiante),

contrôler la pression dans la bouteille 5 minutes après pour en déduire votre autonomie,

vérifier au cours de la plongée que la consommation n'évolue pas.

Par exemple, arrivé au fond la pression dans votre bloc est de 180 bars. Au bout de 5 minutes, la pression n'est plus que de 160 bars. Vous en déduisez qu'il vous faut encore $70 \text{ bars} / 20 \text{ bars} * 5 \text{ minutes} = 13 \text{ minutes}$ avant d'avoir 100 bars dans le bloc, mais aussi $120 / 20 * 5 \text{ minutes} = 30 \text{ minutes}$ avant d'être sur réserve.

Vous devez signaler au guide de palanquée lorsque la pression est de 100 bars (signe de mi-pression) et lorsque vous êtes sur réserve (passage réel de la réserve ou arrivée dans la zone du manomètre de pression bouteille).

L'utilisation du parachute de palier

Le parachute est à la fois un élément de sécurité qui permet de signaler au bateau de plongée que la palanquée est au palier et de se signaler aux autres bateaux, mais aussi un élément de confort qui facilite un palier en pleine eau.

La mise en place d'un parachute de palier est assez simple. Supposons que le bout du parachute fasse 6 mètres.

Lorsque l'on veut mettre en place le parachute, on se place vers 7 mètres de profondeur, on déplie le parachute et on déroule le bout en faisant attention de ne pas s'emmêler dedans. On vide son gilet, on gonfle le parachute en utilisant son détendeur principal ou le détendeur de secours. On laisse alors le parachute monter vers la surface en laissant glisser le bout puis en le bloquant pour ne pas qu'il parte à la dérive.

On doit alors se retrouver à 6 mètres de profondeur, parachute en main. Il suffit alors de remonter à la vitesse préconisée jusqu'au premier palier (en général à 3 mètres).

Il vaut mieux être un peu lourd, mais pas trop, pour faire poids sur le parachute et qu'il soit bien vertical hors de l'eau.

Il ne faut en aucun cas être attaché au parachute car, dans ce cas, si un bateau accrochait le parachute dans son hélice, le plongeur serait happé vers cette hélice. Mieux vaut la perte du parachute.

Les pétards de rappel

En cas de problème grave, le responsable de la surveillance en surface peut être amené à rappeler les palanquées immergées. Dans ce but, il fait exploser à la surface des pétards dit de rappels. Ces équipements font partie de l'accastillage spécifique à un bateau emmenant des plongeurs. Les palanquées doivent alors arrêter leur plongée, tout en remontant dans les conditions normales de sécurité : vitesse, paliers, en groupe.

L'orientation

L'orientation n'est pas quelque chose de facile en plongée, mais avec un peu d'entraînement, tout le monde arrive à se retrouver sous l'eau.

Ne nous voilons pas la face, il arrive à tout le monde de se perdre et de revenir piteusement au bateau après un exercice impromptu de capelé.

Il faut de préférence savoir s'orienter sans instrument, bien que dans quelques cas le compas soit indispensable.

Hors de l'eau

La première étape de l'orientation se fait hors de l'eau, avant la plongée. Le directeur de plongée décrit la plongée, éventuellement trace un plan du site.

C'est le moment de trouver des éléments de repère qui pourront servir sous l'eau :

le courant de surface,

le soleil,

la côte ou une roche qui émerge.

Il faudra retrouver ces éléments sous l'eau.

Dans l'eau

La première chose à faire lors d'une descente au mouillage est de regarder le site où se trouve l'ancre et en particulier sa profondeur : il ne sert à rien de chercher l'ancre à 18 mètres si elle se trouve à 10 mètres.

Ensuite, au cours du déplacement, il faut essayer de savoir en permanence où se trouve le bateau : direction et distance (la distance peut être mesurée en temps, en consommation d'air....).

Si le retour doit se faire sur le même trajet que l'aller, il faut se retourner régulièrement pour trouver des points remarquables qui seront repris au retour (la grosse gorgone à côté de la faille, l'éponge rouge qui ressemble à un cerge, le rocher dont la forme se reconnaît si bien). Il faut aussi prendre conscience de la direction en regardant le courant au fond (les rides dans le sable, les poissons statiques, les mouvements des algues...).

Tout cela demande de la pratique plus que de la théorie.

L'utilisation du compas ou de la boussole peut être également utile. Demandez à votre guide de palanquée de vous expliquer comment il s'en sert.....

La sécurité de la palanquée

C'est le point crucial de la conduite de palanquée.

Dans le cadre de l'autonomie, il n'y a pas légalement de guide de palanquée. Tous les membres de la palanquée concourent à sa sécurité. Il faudra bien cependant que l'un des membres de la palanquée en prenne la direction...

La sécurité de la palanquée passe par tous les éléments vus précédemment pour votre propre sécurité, votre capacité à faire des signes et les interpréter, votre capacité de porter assistance à un coéquipier.

Dans le cadre de ce cours, nous nous limiterons à la capacité de conduire une palanquée.

Contrôle des paramètres de la palanquée

En tant que "conducteur" de la palanquée, c'est à vous de contrôler que personne ne dépasse les paramètres fixés, de rappeler à l'ordre un coéquipier moins attentif.

Il faut également penser en fin de plongée à vérifier les paramètres des autres plongeurs (profondeur maximale atteinte ou paliers affichés par l'ordinateur). Dans tous les cas il faudra songer à prendre les paramètres les plus contraignants pour que toute la palanquée soit en sécurité. Bien sur, toute la palanquée remonte ensemble.

Orientation

Tout ce qui a été dit pour le plongeur individuel reste évidemment vrai lors d'une conduite de palanquée.

Contrôle de la palanquée

Le contrôle de la palanquée débute avant la plongée. Il faut en premier lieu établir un dialogue avec les autres membres de la palanquée :

état physique,

expérience (nombre de plongées, plongées en autonomie),

précédentes plongées pour prendre en compte la majoration éventuelle ou pour plus surveiller quelqu'un qui n'a pas plongé depuis longtemps,.....

Vous devez également vérifier le matériel de vos coéquipiers :

gilet ou stab pour savoir quelle prise faire en cas d'assistance ou de sauvetage,
moyen de décompression,
position du deuxième détendeur, du manomètre,.....

Il faut bien sur écouter les consignes données par le directeur de plongée, mais juste avant la mise à l'eau, il faut rappeler les éléments prévus de la plongée :

profondeur maximale,
durée de la plongée,

pression dans la bouteille pour arrêter la plongée (en particulier, plus la profondeur est grande, plus il faut prévoir de marge pour la remontée),

organisation de la palanquée (qui passe devant, comment on se place sous l'eau),.....

Lors de la mise à l'eau, il faut se regrouper en surface pour vérifier que personne n'a de problème. C'est le moment de prendre ses repères en surface. Quand tout le monde est prêt, la descente peut débuter.

Lors de la descente il faut veiller à ce que la palanquée reste groupée. En particulier, si quelqu'un a des problèmes pour passer ses oreilles, toute la palanquée doit rester à son niveau.

Arrivé au fond, il faut vérifier que tout le monde va bien, consulter les manomètres et prendre ses points de repère pour le retour.

Au bout de 5 minutes, la consultation des manomètres permettra de déterminer la personne qui consomme le plus et qu'il faudra suivre plus particulièrement. Comme les consommations peuvent évoluer au cours de la plongée, il faut quand même surveiller tout le monde. Toute augmentation de la consommation d'air doit être un indice de début d'essoufflement.

En cas de courant, la plongée se fera au début face au courant, pour bénéficier de son effet au retour.

Il faut être extrêmement prudent si l'on pénètre un peu dans des épaves ou des grottes

Au bout de la durée prévue, ou quand un des coéquipiers atteint la limite de pression que l'on s'est fixée, ou à la fin de l'exploration prévue, mais en tout cas dès qu'un coéquipier est passé sur réserve, un des plongeurs doit indiquer qu'il faut remonter.

La remontée se fait en restant groupé, en respectant la vitesse de remontée (si certains plongent à l'ordinateur, il vaut mieux remonter à la vitesse de l'ordinateur et prendre en compte cette remontée dans la durée de plongée)..

Les paliers seront faits si possible au mouillage, sinon autour d'un parachute qu'il faudra déployer. Dans tous les cas, un palier de sécurité de 3 minutes à 3 mètres sera fait. Dans tous les cas, il ne faut pas oublier de vérifier qu'il n'y a pas de danger lors de l'émersion.

Arrivé à la surface, après qu'un des membres de la palanquée ai fait un signe Ok franc et clair au bateau, le retour se fait grouper, en général au tuba.

La sortie de l'eau se fait palanquée par palanquée, personne ne se trouvant sous l'échelle lorsqu'une personne est en train de monter. Lorsque la palanquée complète est sur le bateau, il faut le signaler à la surveillance de surface et lui donner les paramètres de la plongée.

Mais, tout n'est pas fini. Après la plongée il faut vérifier que l'ensemble du matériel de la palanquée est rangé et amarré. Il est intéressant de discuter avec les autres du déroulement de la plongée, de ce que l'on a vu.

Il faut également suivre l'état de santé des coéquipiers (mutisme, fatigue).

L'environnement dans l'air

Il y a plusieurs éléments de l'environnement dans l'air qui peuvent influencer sur notre comportement de plongeur :

Le vent

Le vent va nous refroidir (voir le cours sur le froid), mais peut également produire un courant de surface qui peut ne pas être dans le même sens que le courant dans l'eau.

Le vent peut également provoquer de la houle ou entrainer un plongeur au gilet gonflé.

La houle

Elle peut provoquer le mal de mer. Pour éviter cela, il faut s'occuper, ne pas rester dans un réduit fermé ou garder la tête dans son sac ; il faut regarder l'horizon.

Si malgré tout vous avez le mal de mer, évitez de plonger cela peut favoriser la narcose. Evitez également les médicaments anti-mal de mer qui favorisent la somnolence et donc réduisent l'attention.

Pour éviter les chocs, il faut s'éloigner des rochers.

En surface, pour éviter de boire la tasse, garder le tuba (ou le détendeur si la mer est vraiment mauvaise) en bouche et se mettre dos à la houle si l'on attend qu'un bateau vienne nous chercher.

Attention il est d'autant plus dangereux de rester sous l'échelle lors de la sortie de l'eau car le risque de chute est plus important (en règle générale il ne faut pas rester sous l'échelle lorsque quelqu'un d'autre y remonte).

En cas de houle, il faut également veiller particulièrement à l'arrimage du matériel.

Généralement, passé six mètres on ne sent plus la houle.

En cas de forte houle, préférer faire un palier plus profond qu'un palier à une profondeur variant avec la houle. Eviter de tenir la ligne de mouillage ce qui fait varier la profondeur et fatigue les articulations de l'épaule (voir l'accident de décompression). Faire également attention au mal de mer quand on regarde la surface.

Le soleil

Le soleil favorise la déshydratation. De plus une exposition prolongée au soleil peut provoquer des coups de soleil ou des coups de chaleur. En particulier, si le corps est trop échauffé en rentrant dans une eau froide, il peut se produire un accident connu sous le nom d'hydrocution. Il est bon d'avoir de l'eau à boire à bord du bateau.

La visibilité

En cas de mauvaise visibilité en surface il faut rester groupés et faire particulièrement attention aux autres bateaux. Un sifflet sur les gilets ou un feu à main peuvent être utiles pour se faire repérer par le bateau.

Eléments artificiels

Attention aux bateaux en surface, sortir groupés, et à proximité du bateau si possible.

Ecouter et faire un tour d'horizon sous l'eau pour les bateaux à moteurs.

Refaire un tour d'horizon en surface pour les voiliers.

Garder le parachute à la main ou avoir un gilet de couleur pour être plus visible en surface.

Environnement dans l'eau

Le courant

En cas de courant il faut mettre une ligne de vie qui relie le mouillage à l'échelle puis traîne dans l'eau derrière le bateau.

Après la mise à l'eau on se déhale sur cette ligne de vie pour rejoindre le mouillage et y descendre.

Après la plongée, si on n'est pas au mouillage, il faut viser un point en avant du bateau, puis s'accrocher au bout traînant à l'arrière du bateau et à se déhaler dessus pour rejoindre le bateau.

Dans tous les cas la palanquée doit rester groupée et au besoin il faut aider le plus faible.

Le courant dans l'eau risque de nous fatiguer. La plongée débute à contre-courant.

Attention à l'essoufflement quand on fait des efforts pour remonter le courant.

En cas de palier en pleine eau, sortir son parachute pour se faire repérer par le bateau et par les autres embarcations.

La visibilité

En cas de faible visibilité (plancton, sable, débouché de fleuve...), rester très proches ; éventuellement se tenir.

Faire attention à ne pas palmer trop près du fond quand les fonds sont au fond sableux ou vaseux.

Les grottes

Ne pas y entrer : nous ne sommes pas des plongeurs spéléo.

Eviter de respirer dans les poches d'air.

Les épaves

Mêmes précautions que dans les grottes. Ne pas y entrer en général.

Les lignes et les filets

Il faut les éviter. Si l'on est retenu dans une ligne ou un filet, il ne faut pas s'affoler et se dégager ou se faire dégager : c'est l'utilité du poignard ou des ciseaux.

Si c'est la ligne d'un pêcheur il faut tenir le fil en amont pour éviter que l'hameçon ne s'enfonce dans le corps ou la combinaison.

Les explosifs

Bien évidemment il ne faut pas les manipuler. Un obus peut ressembler à un cul d'amphore enfoui.

La flore

La flore peut avoir deux effets majeurs.

On peut se retrouver retenu par de grandes algues (les laminaires par exemple). Dans ce cas il ne faut pas s'affoler et se dégager ou se faire aider.

L'autre effet est le balancement des herbiers en cas de houle. Cela peut provoquer des vertiges et des nausées.

La faune

Morsures et pincements

Elles peuvent provenir des requins (aucune attaque répertoriée en France depuis 1962), barracudas, congres, roussettes, poulpes, murènes, crustacés (une pince broie et l'autre coupe).

Généralement ces animaux n'attaquent pas l'homme, ils ne font que se défendre (mais ils ont pu être dérangés par une palanquée précédente ou être attirés par de la nourriture dans le gilet).

Dans le cas des murènes, les plaies s'infectent de manière grave et il faut avoir recours à un traitement médical (antibiotique).

Dans le cas d'un animal agressif, il faut se plaquer contre le rocher, ne pas présenter de parties facilement mordables (cacher ses mains) et remonter éventuellement.

Piqûres non venimeuses

Il peut arriver de poser la main ou une autre partie du corps sur des oursins. Dans ce cas il faut ôter les épines :

- avec une pince à épiler et une aiguille,
- avec de l'eau de javel, du vinaigre ou de l'urine et l'aide d'une aiguille

Piqûres venimeuses

Elles peuvent être provoquées par des vives (cachées dans le sable), des rascasses, des raies, des poissons pierre. Le venin injecté est aussi virulent que celui d'un cobra. Il faut faire attention où l'on pose ses mains (voire une autre partie du corps).

La piqûre du poisson pierre peut être mortelle.

Pour faire diminuer la douleur il faut appliquer de l'eau très chaude ou approcher la braise d'une cigarette, puis aller consulter un médecin.

Piqûres urticantes

Elles sont provoquées par les anémones, les holothuries, les méduses (dont pour certaines les filaments très longs sont invisibles), le corail de feu.

Pour faire diminuer la douleur il faut appliquer de l'eau très chaude ou approcher la braise d'une cigarette, puis aller consulter un médecin.

Pour prévenir ces problèmes, il faut porter une combinaison et faire attention de ne pas porter une main gantée à la bouche après avoir approché ces animaux.

Décharges électriques

Elles peuvent être provoquées par la raie torpille. Le voltage est le même qu'une bougie de mobilette. Eviter de toucher ces animaux.

Protection du milieu

Il est interdit de remonter tout animal. Il faut savoir que les gorgones, le corail, les coquillages et bien d'autres sont des animaux.

Dans le doute ne rien remonter (sauf les photographies)

Il est interdit de faire de la chasse sous-marine avec bouteilles. Il est même interdit d'avoir à la fois sur un bateau un fusil sous-marin et une bouteille.

Pour pouvoir plonger dans un milieu agréable le plongeur se doit de respecter quelques règles de protection du milieu :

Ne rien jeter qui ne soit bio-dégradable

Nettoyer les fonds

Ne pas perturber la vie :

Ne pas retourner de caillou sans le remettre en place (éviter de retourner un caillou de toute manière)

Attention au palmage qui peut être dévastateur (herbier, tombant, gorgones....)

Eviter de stresser les animaux (poulpe par exemple)

Apprendre à connaître le milieu

Il est de l'intérêt de tous de mieux connaître le milieu marin.

Chacun peut demander des renseignements à son guide de palanquée en fin de plongée, lire des livres, suivre une formation bio, utiliser les plaquettes bio....