

Formation du plongeur

Niveau 2 FFESSM

Théorie

Stade de Vanves - section plongée

(FFESSM n° 07-92-0168)

Édition 2024



Sommaire

Cadre Réglementaire	p3
Prérogatives	
Conditions d'accès à la formation	
Le Code du Sport	
Les documents obligatoires	
Obligations et interdictions	
La FFESSM	
Notion de Flottabilité	p8
Compressibilité des gaz	p9
Les accidents	p12
Les barotraumatismes	
L'essoufflement	
Le Froid	
La narcose	
Les Accidents de Décompression (ADD)	
Les procédures de désaturation	p23
Les tables	
Les ordinateurs	
Le matériel	p29
La station de gonflage	
Les blocs	
Les détendeurs	

Cadre Réglementaire

Prérogatives

Le plongeur Niveau 2 est un plongeur encadré jusqu'à 40m (PE40) et un plongeur autonome jusqu'à 20m (PA20). Pour mémoire, le plongeur Niveau 1 est un plongeur encadré jusqu'à 20m (PE20).

Les qualifications PE40 et PA20 peuvent être validées indépendamment l'une de l'autre. L'ensemble de ces deux qualifications correspondent au Niveau 2.

Le plongeur encadré à 40 m (PE40) est capable de réaliser des plongées d'exploration jusqu'à 40 m de profondeur, au sein d'une palanquée, avec un Guide de Palanquée (GP) qui prend en charge la conduite de la plongée.

A partir de 14 ans, les plongeurs justifiant des aptitudes PE40, sont, sur décision du directeur de plongée (DP), autorisés à évoluer dans l'espace 0-40m. Pour les plongeurs âgés de moins de 16 ans révolus, les conditions suivantes doivent être respectées :

- Réaliser des plongées sans palier obligatoire avec le moyen de décompression utilisé,
- Se limiter à 2 plongées par jour en respectant un intervalle de 3 heures minimum entre ces deux plongées.
- La seconde plongée est limitée à 20m si la première a dépassé 30m.

Le plongeur autonome à 20 m (PA20) est capable de réaliser des plongées d'exploration jusqu'à 20 m, au sein d'une palanquée en autonomie, avec un ou deux équipiers ayant au minimum les mêmes compétences. A partir de 16 ans, les plongeurs justifiant des aptitudes PA20, sont, sur décision du directeur de plongée (DP) autorisés à évoluer en autonomie dans l'espace 0-20m, aux conditions suivantes :

- Présenter une autorisation éclairée du responsable légal pour cette pratique en autonomie,
- Informer les membres de la palanquée de la présence d'un mineur.

Ces plongées sont réalisées dans le cadre d'une organisation sécurisée, mise en place par un Directeur de Plongée (DP) présent sur le site, qui donne les consignes relatives au déroulement de la plongée selon les règles définies par le Code du Sport (CdS).

Conditions d'accès à la formation

Conditions communes aux PA20, PE40 et Niveau 2 :

- Être titulaire de la licence FFESSM en cours de validité.
- Être titulaire du brevet de plongeur niveau 1 de la FFESSM ou d'une certification dont les aptitudes sont jugées équivalentes pour débiter la formation et avoir réalisé au moins 4 plongées (attestées) en milieu naturel.
- Présenter un certificat d'absence de contre-indication à la plongée conforme à la réglementation fédérale en vigueur.

Conditions spécifiques aux :

- PE40 : être âgé de 14 ans au moins à la date d'entrée en formation et de délivrance du brevet.
- PA20 : être âgé de 15 ans au moins à la date d'entrée en formation et de délivrance du brevet.
- Niveau 2 : être âgé de 15 ans au moins à la date d'entrée en formation et de délivrance du brevet.

Nb : les prérogatives d'évolution en autonomie ne s'exercent qu'à partir de 16 ans.

Le Code du Sport

Le Code du Sport est le corpus de textes régissant tout ce qui touche à l'activité sportive en France. Sa partie réglementaire, Livre III, Titre II, Section 3 concerne plus particulièrement les Etablissements organisant la pratique de la plongée subaquatique.

On y trouve en particulier les notions suivantes :

Directeur de Plongée

Art. A. 322-72. - Sur le site de l'activité subaquatique, la pratique de la plongée est placée sous la responsabilité d'un directeur de plongée présent sur le lieu de mise à l'eau ou d'immersion de la palanquée. Il est responsable techniquement de l'organisation, des dispositions à prendre pour assurer la sécurité des plongeurs et du déclenchement des secours. Il s'assure de l'application des règles et procédures en vigueur. Il fixe les caractéristiques de la plongée et établit une fiche de sécurité comprenant notamment les noms, les prénoms, les aptitudes des plongeurs et leur fonction dans la palanquée ainsi que les différents paramètres prévus et réalisés relatifs à la plongée.

Le Guide de Palanquée

Art. A. 322-73. - Plusieurs plongeurs qui effectuent ensemble une plongée présentant les mêmes caractéristiques de durée, de profondeur et de trajet, y compris s'ils respirent des mélanges différents, constituent une palanquée. Lorsque la palanquée est composée de plongeurs justifiant d'aptitudes différentes ou respirant des mélanges différents, elle ne doit pas dépasser les conditions maximales d'évolution accessibles au plongeur justifiant des aptitudes les plus restrictives ou du mélange le plus contraignant.

Matériel d'assistance et de secours

Art. A. 322-78-1 Les pratiquants ont à leur disposition sur le lieu de mise à l'eau ou d'immersion un plan de secours ainsi que le matériel de secours suivant :

- un moyen de communication permettant de prévenir les secours. Une VHF est nécessaire lorsque la plongée se déroule en mer au départ d'une embarcation support de plongée ;
- de l'eau douce potable ;
- un ballon auto-remplisseur à valve unidirectionnelle (BAVU) avec sac de réserve d'oxygène et trois masques (grand, moyen, petit) ;
- un masque à haute concentration ;
- un ensemble d'oxygénothérapie médicale normobare d'une capacité suffisante pour permettre, en cas d'accident, une prise en charge adaptée à la situation jusqu'à l'arrivée des secours médicaux, avec manodétendeur, débit-litre et tuyau de raccordement au ballon auto-remplisseur à valve unidirectionnelle (BAVU) ou au masque à haute concentration ;
- une couverture isothermique ;
- des fiches d'évacuation selon un modèle type.

Le plan de secours est un document écrit, adapté au lieu et à la plongée pratiquée, régulièrement mis à jour et porté à la connaissance du directeur de plongée, des personnes encadrant les palanquées et des plongeurs autonomes. Il précise notamment les modalités d'alerte en cas d'accident, les coordonnées des services de secours et les procédures d'urgence à appliquer en surface à la victime.

Art. A. 322-78-2 - Ils ont en outre le matériel d'assistance suivant :

- une bouteille d'air de secours équipée de son détendeur et, en cas de plongée effectuée avec un mélange respiratoire autre que l'air, une ou plusieurs bouteilles de secours équipées de détendeurs, dont le contenu prévu par le plan de secours est adapté à la plongée organisée ;
- un moyen de rappeler un plongeur en immersion depuis la surface, lorsque la plongée se déroule en milieu naturel, au départ d'une embarcation ;
- une tablette de notation immergeable ; en milieu naturel, au-delà de la profondeur de 6 mètres, un jeu de tables de décompression.

Equipement des plongeurs

Art. A. 322-80. - Chaque bouteille ou ensemble de bouteilles d'un même gaz respirables est muni d'un manomètre ou d'un système équivalent permettant d'indiquer la pression au cours de la plongée.

En milieu naturel, chaque plongeur équipé d'un appareil à circuit ouvert est muni d'un système gonflable au moyen de gaz comprimé lui permettant de regagner la surface et de s'y maintenir.

En milieu naturel, chaque plongeur encadré au-delà de 20 mètres et chaque plongeur en autonomie est muni :

- d'un équipement de plongée permettant d'alimenter en gaz respirable un équipier sans partage d'embout ;
- d'équipements permettant de contrôler les caractéristiques personnelles de sa plongée et de sa remontée.

En milieu naturel, la personne encadrant la palanquée est muni :

- d'un équipement de plongée avec deux sorties indépendantes et deux détendeurs complets.
- d'un système gonflable au moyen de gaz comprimé lui permettant de regagner la surface et de s'y maintenir,
- d'équipements permettant de contrôler les caractéristiques de la plongée et de la remontée de sa palanquée.

En milieu naturel, chaque palanquée dispose d'un parachute de palier.

Par ailleurs, le Code du Sport définit également de façon officielle les aptitudes des plongeurs en fonction des différents niveaux. Les brevets et qualifications de la FFESSM sont bien entendu en phase avec ces aptitudes.

Les documents obligatoires

Pour plonger avec la FFESSM, le plongeur Niveau 2 doit posséder un Certificat d'Absence de Contre-Indication (CACI) à la plongée et être titulaire d'une licence.

Le CACI : Il est valable un an et peut être délivré par tout médecin. Il est obligatoire pour la pratique des activités subaquatiques à l'exception du baptême et de certaines activités de découverte (pack découverte, pass rando).

La licence FFESSM est valable dans le monde entier, elle permet :

- D'être couvert par une assurance en responsabilité civile (valable du 1^{er} octobre au 31 décembre de l'année suivante).
- De pouvoir, moyennant un surplus financier, de souscrire une assurance complémentaire Accident.
- D'être affilié à un club de la fédération FFESSM.

- De pouvoir passer des niveaux de plongée.
- De participer aux activités organisées par la FFESSM.
- De pouvoir chasser pour les plus de 16 ans.

La licence est matérialisée par une carte plastifiée (type carte de crédit) remise lors de la première prise de licence et d'un numéro unique. Elle dispose d'un QR Code qui donne accès à un espace en ligne personnel évolutif sur le site de la FFESSM sur lequel sont enregistrés l'ensemble des brevets et qualifications du plongeur.

Obligations et interdictions

En plongée avec bouteille, IL EST INTERDIT :

- De plonger dans les zones interdites (réserves, zones militaires, zones interdites). Dans certaines réserves il peut y avoir des dérogations.
- De remonter quoi que ce soit du fond.
- D'avoir à bord d'un même bateau fusil et scaphandre, sauf dérogation si le bateau est habitable (Bateau de recherche scientifique ou surveillance de compétitions).
- De toucher une amphore, un objet, un gisement d'objets présentant un intérêt artistique ou archéologique.

En plongée avec bouteille, IL EST OBLIGATOIRE :

- De signaler son activité sur un bateau par un pavillon Alpha ou Croix de Saint André.
- De se signaler par une bouée si on part de la plage.
- Les bateaux ne doivent pas approcher à moins de 100 m (si drapeau ou bouée).
- De signaler tout objet ou gisement d'objets présentant un intérêt artistique ou archéologique.
- De requalifier les bouteilles en temps voulu.
- De respecter ses prérogatives.

La FFESSM

La Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins

Un peu d'Histoire:

1948: Création de la Fédération des Sociétés de Pêche à la Nage et d'Études Sous-Marines

1950 : Création de la Fédération des Activités Sous-Marine

1955 : Naissance de la FFESSM par fusion des deux Fédérations

1959: FFESSM membre fondateur de la CMAS (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques).

Aujourd'hui: environ 150.000 licenciés

Association Loi 1901 / Agrément sport

Membres : les Clubs (environ 2200) et les SCA Structures Commerciales Agréées (environ 330).

Siège social : 24 quai de Rive Neuve à Marseille.



Représentée au CNOSF.

Fédération délégataire du Ministère des sports (renouvellement tous les 4 ans – Olympiade).

Assemblée Générale des membres (clubs et SCA) tous les ans.

Assemblée Générale électorale tous les 4 ans (olympiade).

Élection d'un Comité Directeur National composé de 20 membres comprenant obligatoirement 1 médecin, 1 représentant des SCA (élu par le Conseil des SCA) et une juste représentation féminine.

Le CDN élit en son sein un Bureau Fédéral composé de 10 membres (9 + le Président qui est la tête de liste) :

1 Président, 1 Président adjoint, 4 Vice-Présidents, 1 trésorier + 1 adjoint, 1 Secrétaire Général + 1 adjoint

Les différentes activités de la FFESSM sont réparties en 15 commissions :

Commissions culturelles :

- Photos et Vidéos
- Environnement & Biologie subaquatiques
- Plongée Souterraine
- Archéologie subaquatique

Commissions sportives :

- Nage avec palmes
- Pêche sous-marines
- Hockey subaquatique
- Tir sur cible subaquatique
- Nage eau vive
- Plongée Sportive en Piscine
- Orientation subaquatique
- Plongée libre

Autres Commissions :

- Commission Technique Nationale (Plongée scaphandre)
- Commission médicale et de prévention
- Commission juridique

Sur le plan géographique, la FFESSM est représentée sur le territoire national au travers de 16 Comités régionaux ou interrégionaux et de 90 Comités départementaux (Codep)

Il existe également d'autres fédérations ou associations :

Françaises : La FSGT, le SNMP, l'ANMP, l'UCPA.

Internationales : PADI, TDI, SSI, NAUI.

Notion de Flottabilité

Il existe une relation entre le poids, le volume et la flottabilité d'un corps, comme vous pouvez vous en rendre compte à tout moment en plongée :

- en pratiquant les exercices de poumon ballast ;
- en portant votre bloc en surface, puis sous l'eau.

On en conclut que le poids d'un objet immergé dans un liquide est inférieur à son poids dans l'air. Le poids de l'objet dans l'air est appelé poids réel, tandis que le poids immergé est appelé poids apparent.

Cette notion de flottabilité est exprimée dans le principe d'Archimède qui énonce que tout corps plongé dans un liquide subit une force verticale dirigée du bas vers le haut et égale au poids du volume de liquide déplacé, ce qui s'exprime aussi sous la forme :

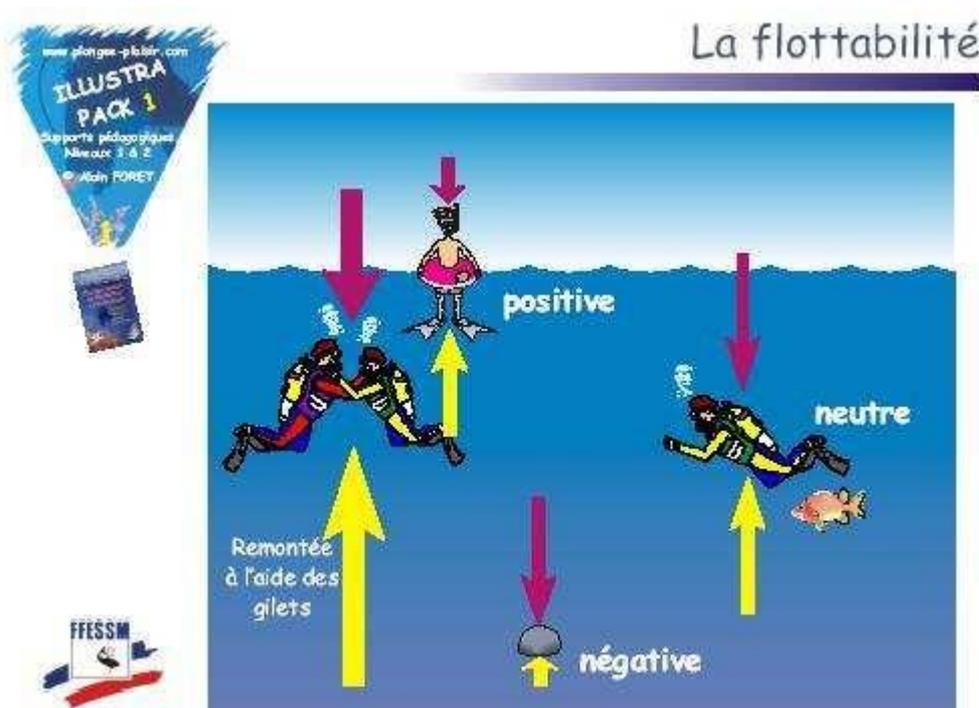
Poids réel - Poussée d'Archimède = Poids apparent

Autrement dit, du fait de la poussée d'Archimède, le poids réel de l'objet est en partie compensé (allégé), on parle alors de poids apparent de l'objet.

Lorsque le poids apparent d'un objet est positif, il coule. On dit que sa flottabilité est négative.

Si le poids apparent d'un objet est négatif, celui-ci reste à la surface et flotte. On dit qu'il a une flottabilité positive.

Enfin, lorsque le poids apparent d'un objet est nul, c'est-à-dire qu'il flotte entre deux eaux, on dit que sa flottabilité est neutre.



Illustrations en plongée de l'effet de la poussée d'Archimède :

L'utilisation d'une combinaison, en augmentant le volume du corps, augmente la flottabilité d'un plongeur. Pour avoir une flottabilité neutre à trois mètres en fin de plongée, il faut augmenter son poids apparent, on utilise une ceinture de plomb. La combinaison s'écrase avec l'augmentation de la pression due à la profondeur. La flottabilité diminue donc avec la profondeur jusqu'à rendre la plongée pénible. Il faut en effet fournir un effort de plus en plus important avec la profondeur pour se maintenir à une profondeur donnée.

Le poumon ballast et le gilet sont utilisés pour augmenter ou diminuer sa flottabilité, pour exécuter l'immersion en phoque, pour se maintenir stabilisé à une profondeur donnée (la respiration obligatoire entraîne des variations de volume du corps qui influent sur la flottabilité).

La possibilité de levage d'objets immergés (par exemple l'ancre du bateau) par l'utilisation de parachutes de relevage remplis d'air de façon appropriée :

Exemple : Soit un caisson d'appareil photo de volume 3 litres, de poids réel 1,5 kg. Son poids apparent est $(1,5 - 3)$ soit -1,5 kg.

Le caisson flotte.

Aussi, pour rendre neutre la flottabilité, il faut lester le caisson de 1,5 kg.

Compressibilité des gaz

Notion de PRESSION

La notion de pression accompagne le plongeur à chaque instant de son activité. Le plongeur subit les pressions et doit s'y adapter, nous allons donc les définir et en étudier quelques aspects.

Une FORCE (F)

Elle est définie comme toute cause capable de déformer un corps, de modifier l'état de mouvement d'un corps. L'unité que nous utiliserons est le kilogramme-force (Kgf).

Une SURFACE (S)

Elle est définie comme étant une figure géométrique à deux dimensions. L'unité utilisée est le mètre carré (m^2), le centimètre carré (cm^2).

Il existe une relation entre une force et la surface sur laquelle elle s'applique.

Par exemple, il est plus facile de marcher sur une épaisse couche de neige avec des raquettes aux pieds que de marcher dans la même couche de neige sans raquette. De même il est plus facile d'enfoncer une punaise dans une planche de bois par la pointe que par la tête.

C'est ce qu'exprime la notion de PRESSION,

Une PRESSION est l'application d'une force sur une surface, ce qui s'écrit mathématiquement :

$$P = \frac{F}{S}$$

Ainsi, la pression augmente avec l'augmentation de la force et/ou avec la diminution de la surface.

F s'exprime en Kgf, S s'exprime en cm^2 , P s'exprime en bars (b) et

$$1 \text{ b} = \frac{1 \text{ kgf}}{1 \text{ cm}^2}$$

La pression à laquelle nous sommes soumis en permanence est la **PRESSION ATMOSPHÉRIQUE (Patm)**. Elle est due au poids de la masse d'air qui entoure la terre.

Cette pression diminue avec l'altitude. Sa valeur au niveau de la mer est 760 mm de mercure (mm Hg). On l'exprime aussi en atmosphère (atm) et en bars. Ainsi :

$$\mathbf{Patm = 760 \text{ mm Hg} = 1 \text{ atm} = 1 \text{ b}}$$

En plongée, nous sommes soumis de plus à la pression de l'eau **ou PRESSION HYDROSTATIQUE**, cette pression est variable avec la profondeur.

Cette pression, que nous appelons **PRESSION RELATIVE (PR)**, augmente de 1 bar tous les 10 m.

Ainsi à 20 m elle est de 2 b, à 27 m elle sera de 2,7 b, à 30 m elle sera de 3 b.

Mais deux points situés à un même niveau seront soumis à une même pression.

Nous serons soumis, au total, à une **PRESSION ABSOLUE (Pabs)** qui sera la somme de la Pression atmosphérique et de la Pression Relative.

$$\mathbf{Pabs = Patm + PR}$$

A tout moment nous devons être capables de connaître la Pabs à laquelle nous sommes soumis en fonction de la profondeur de notre plongée ; de même nous devons savoir calculer la profondeur de notre plongée à partir de la Pabs.

Ainsi, en plongée, nous subissons des variations de pression :

- à la descente : la pression augmente ;
- à la remontée : la pression diminue. Il va donc falloir utiliser un **matériel adapté**.

Calculons par exemple :

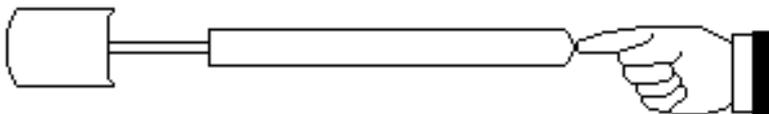
- de 0 à 10 mètres, la pression absolue passe de 1 à 2 bars : elle est multipliée par deux ;
- de 10 à 20 mètres, la pression absolue passe de 2 à 3 bars : elle est multipliée par 1,5.

Les **variations de pression sont les plus importantes dans les dix premiers mètres**. Cette notion est importante pour la prévention des accidents de plongée.

Notion de COMPRESSION DES GAZ

Les solides sont totalement incompressibles. Les liquides sont relativement incompressibles. Les gaz, par contre, peuvent être comprimés.

Il est facile de le constater sur une pompe à vélo, en obstruant l'extrémité avec un doigt et en poussant fortement sur le piston.

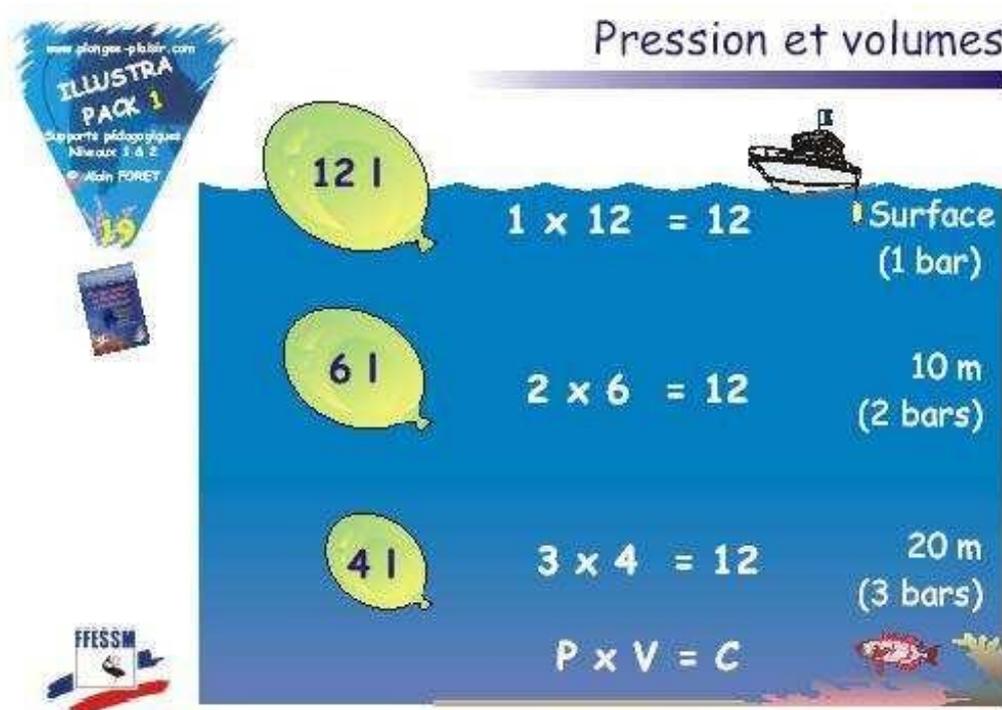


Si on remplit le corps de la pompe préalablement avec de l'eau, le piston ne bougera pas, alors qu'il s'enfoncera si le corps de la pompe est rempli d'air.

Ainsi en plongée :

- si on veut **maintenir constant le volume d'air dans son gilet stabilisateur** au fur et à mesure que l'on s'immerge, il faut rajouter de l'air régulièrement pour compenser exactement la diminution du volume de ce gaz sous l'effet de l'augmentation de la pression liée à l'augmentation de la profondeur à laquelle on se trouve ;
- lors de la **manœuvre de Valsalva**, nous injectons de l'air dans la caisse du tympan ;
- lorsque nous soufflons par le nez, dans le masque, à la descente, pour éviter le **placage du masque** ;
- nous **respirons d'autant plus d'air que nous descendons profond**.

Si on gonfle un ballon de baudruche de 12 Litres en surface, on constate qu'à 20 mètres son volume aura été divisé par 3, alors que la pression aura été multipliée par 3.



Le **produit de la pression par le volume est constant**. Il est égal à 12 dans cet exemple.

C'est ce principe qu'énonce la loi de Boyle / Mariotte : « A température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression régnant au-dessus de ce gaz. » Pression x Volume = Constante

Ce principe s'applique également à notre consommation d'air en plongée. Prenons un bloc de 12 Litres gonflé à 200 bar. Ce bloc contient donc l'équivalent de 2400 Litres d'air ramené à la surface, c'est-à-dire à une Pression Absolue de 1bar. Prenons un plongeur qui consomme 20 Litres d'air par minute lorsqu'il respire. Il lui faudra donc 120 minutes à la surface pour consommer tout l'air contenu dans le bloc.

Si l'on applique la loi de Boyle-Mariotte ($P \times V = \text{Constante}$) :

$$12L \times 200b = 2400L \times 1b \ggggggg 2400L / 20L/\text{min} = 120\text{min}$$

Si ce même plongeur descend à une profondeur de 10 mètres et donc à une pression de 2 bars, selon la loi de Boyle-Mariotte, on a donc :

$$12L \times 200b = 1200L \times 2b \ggggggg 1200L / 20L/min = 60min$$

Donc avec une pression qui double, l'autonomie en air du plongeur est divisée par deux.

On pourrait faire le même calcul pour une plongée à 20 mètres soit à une pression de 3 bar et constater que l'autonomie en air est passée à 40 minutes.

Donc plus la plongée est profonde, plus l'autonomie en air est limitée.

Cette relation entre les gaz et la pression à laquelle ils sont soumis permet également de comprendre le mécanisme des accidents barotraumatiques et leur prévention, le phénomène de compression de la combinaison et la problématique de la gestion du gilet stabilisateur.

Les accidents

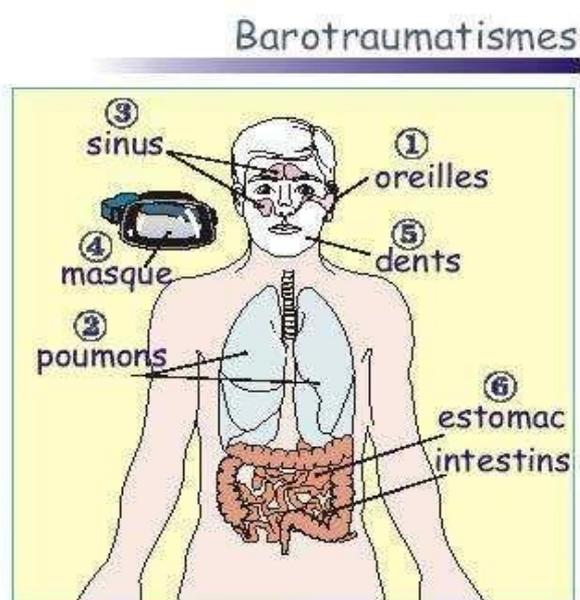
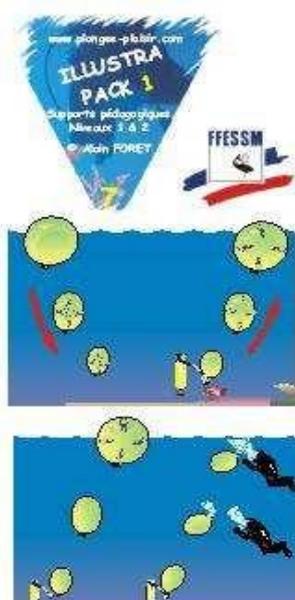
Les barotraumatismes

Les accidents barotraumatiques sont la conséquence directe de la loi de Boyle / Mariotte, ils sont dus à la pression ou à la variation de pression.

Quand le plongeur descend, la pression augmente avec la profondeur et le volume d'air (ou de gaz) contenu dans les cavités du corps humain diminue selon la loi de Boyle / Mariotte.

Inversement lors de la remontée, l'air respiré à la pression ambiante pendant la plongée, grâce au détendeur, et qui se trouve dans ces cavités, augmente de volume quand la profondeur et la pression diminuent.

Les plus grandes variations de pression se situant dans les dix premiers mètres, et il en est de même pour les variations de volume, les risques de barotraumatismes sont donc plus importants entre dix mètres et la surface.



Le placage du masque

Pendant la descente, la pression augmente et l'air emprisonné entre le masque et le visage se met à une pression identique à la pression ambiante. La jupe du masque se déforme, elle accompagne cette variation de volume jusqu'à sa limite d'élasticité. Ensuite, il y a un effet d'aspiration des yeux dans le masque. Cet accident est l'équivalent d'un effet ventouse.

Les symptômes :

Dans l'eau : douleurs à l'œil, hémorragie nasale, vision trouble

A la sortie : hématome au niveau de l'œil, œil rouge, vision trouble, saignement de nez

La conduite à tenir : souffler dans son masque par le nez pour équilibrer la pression entre l'air contenu dans le masque et la pression de l'eau et si besoin remonter

Le barotraumatisme des sinus

Les sinus sont des cavités de la face. Principalement les sinus frontaux situés au-dessus des sourcils et les sinus maxillaires situés de chaque côté du nez sous les pommettes. Ces cavités sont tapissées d'une muqueuse sécrétant un fluide à forte teneur en eau qui s'écoule dans les fosses nasales par un canal très étroit qui se bouche facilement. Cette eau sert à humidifier l'air que l'on respire.

- Si le canal est bloqué durant la descente, cela provoque des douleurs au niveau des sinus, pouvant se traduire par une hémorragie.
- Si le canal est bloqué durant la remontée, le volume de l'air emprisonné augmente, provoquant des douleurs au niveau des sinus.

Les symptômes : douleurs plus ou moins intenses, saignements de nez

La conduite à tenir :

- Si la douleur survient à la descente : remonter ;
- Si elle survient à la remontée (et oui, c'est possible), redescendre de quelques mètres (jusqu'à disparition de la douleur) et remonter lentement en modifiant la position de la tête ; de toute façon, il faut remonter... Attention, tenir compte de l'augmentation du temps de plongée dans le calcul des paliers et faire attention à sa consommation d'air.

Prévention : ne pas plonger en cas de rhume, sinusite, etc. ; ne jamais forcer à la descente devant l'apparition de la douleur.

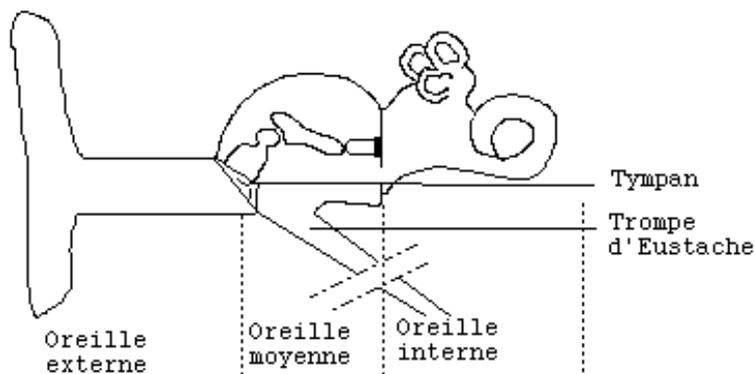
Le barotraumatisme des oreilles

Anatomie succincte :

L'oreille externe comprend : le pavillon, le conduit auditif externe, le tympan qui sépare l'oreille moyenne de l'oreille externe

L'oreille moyenne est composée de la caisse du tympan, cavité contenant les osselets et communiquant avec l'arrière des fosses nasales par la trompe d'Eustache.

L'oreille interne, enfin, contient les organes de l'audition et de l'équilibre.



Il existe deux types de traumatisme :

1) déséquilibre de pression entre l'oreille moyenne et l'oreille externe dû à l'augmentation de la pression ambiante lors de la descente.

Mécanisme et causes :

Le volume d'air contenu dans la caisse du tympan se comprime et le tympan se déforme jusqu'à sa limite d'élasticité, puis se fissure, ou pire se rompt.

Fréquents chez les plongeurs, ils peuvent être dus à des manœuvres de Valsalva trop puissantes ou à des équilibrations insuffisantes, répétées. Lorsque la sphère ORL est encombrée en cas de rhume ou de sinusite, la manœuvre de Valsalva, qui consiste à forcer l'ouverture de la trompe d'Eustache pour équilibrer la pression de l'oreille moyenne avec la pression ambiante, devient inefficace.

Symptômes :

Dans l'eau, douleurs plus ou moins intenses, bourdonnements d'oreille à la sortie : hypoacousie ou surdité unilatérale (une seule oreille), hémorragie extériorisée.

Conduite à tenir :

Remonter

Prévention :

Ne pas plonger enrhumé ; ne jamais forcer une oreille qui ne veut pas passer ; équilibrer les oreilles avant que ne survienne la g ne, doucement et régulièrement ; descendre la tête en haut ; pas de manœuvre de Valsalva à la remontée ; inspirer de l'eau par le nez et se moucher.

2) différence de pression entre les oreilles moyennes gauche et droite

Symptômes :

Perturbation de la sensation d'équilibre, nausées (  la descente ou à la remontée).

Conduite à tenir :

Attendre que  a passe, remonter

Peuvent se voir aussi des accidents dus à une obstruction du conduit auditif externe. Ils surviennent à la descente ; les conséquences sont identiques à ce qui vient d'être vu. Il peut s'agir de boules Qui s,

de coton, d'un bouchon de cérumen ou de la cagoule d'une combinaison étanche ou de la cagoule trop ajustée d'un vêtement humide, plaquée sur le pavillon de l'oreille.

Le barotraumatisme dentaire

Les caries mal plombées ou mal soignées peuvent laisser une petite cavité en communication avec l'intérieur de la bouche. L'air contenu dans la dent aura du mal à suivre les variations de la pression ambiante à la remontée.

Les symptômes : dans l'eau, douleurs plus ou moins intenses, proches du barotraumatisme du sinus.

La conduite à tenir :

- Si la douleur survient à la descente : remonter ;
- Si la douleur survient à la remontée (et oui, c'est possible), redescendre de quelques mètres (jusqu'à disparition de la douleur) et remonter lentement en modifiant la position de la tête ; de toute façon, il faut remonter...

Prévention : aller chez le dentiste avant le début de la saison de plongée, ne pas forcer à la descente.

Le barotraumatisme de l'estomac et de l'intestin

L'air dégluti pendant la plongée se retrouve dans l'estomac et se détend lors de la remontée entraînant des douleurs. De même, les gaz provenant de la fermentation intestinale lors de la digestion se détendent pendant la remontée et provoquent des douleurs abdominales.

Les symptômes : dans l'eau, douleurs abdominales plus ou moins intenses.

La conduite à tenir : remonter, les douleurs persistent après la plongée quelques heures puis disparaissent spontanément.

Ce type de barotraumatisme est peu fréquent en plongée sportive car les plongeurs restent peu longtemps dans l'eau et donc ne subissent pas une digestion complète durant le temps de plongée. A l'inverse, cela peut concerner les plongeurs professionnels qui font de longs séjours dans l'eau. Ce type de barotraumatisme est également appelé « colique du scaphandrier ».

La surpression pulmonaire : le plus grave des barotraumatismes

Lorsque le plongeur remonte vers la surface, l'air contenu dans les poumons se dilate. Si pour une raison quelconque le volume de gaz ne peut s'échapper vers la bouche ou le nez, l'air va continuer à se dilater jusqu'à atteindre la limite d'élasticité des poumons et provoquer une déchirure des poumons ainsi que le passage de l'air dans la circulation sanguine sous forme de bulles.

Ces bulles sont entraînées dans le courant sanguin et suivent la circulation jusqu'au cœur. Elles sont ensuite transportées par les artères vers le cerveau. En fonction de leur taille et de celle des vaisseaux sanguins, elles finissent par se bloquer, provoquant l'interruption de l'irrigation sanguine en aval.

Les conséquences sont des lésions possibles au niveau des poumons, au niveau cérébral.

Les symptômes :

Douleur dans la poitrine (distension), douleur vive et brève si déchirure.

Toux, crachat de sang, difficultés à ventiler, arrêt ventilatoire.

Air sous la peau au niveau du cou et épaules (emphysème sous-cutané).

Perte de sensibilité, perte de motricité droite ou gauche. Arrêt cardiaque, mort.

La conduite à tenir : il faut administrer de l'oxygène pur, donner à boire, alerter les secours et organiser le transport d'urgence, médicalisé, vers le centre hyperbare le plus proche - surtout ne pas réimmerger le plongeur.

Prévention : **ne jamais bloquer sa respiration en plongée, expirer à la remontée**, laisser libre le passage de l'air.

TABLEAU RÉCAPITULATIF SUR LES BAROTRAUMATISMES

BAROTRAUMATISME	Symptômes	Traitement	Prévention
Placage de masque	Gêne, douleur	Collyre Pas de plongée 1 à 2 jours	Souffler par le nez
Sinus	Douleur Sang dans le masque	Rincer le nez à l'eau de mer Stopper remontée/descente	Pas de plongée avec un rhume ou forte sinusite Rincer le nez
Estomac, Intestins	Douleur Surpression de l'estomac	Stopper remontée/descente Évacuer l'excédent de gaz	Éviter les aliments générateurs de gaz intestinaux
Dents	Douleur Dent éclatée	Stopper remontée/descente	Inspection chaque année des dents
Oreille	Douleur Vertige et/ou nausée	Stopper remontée/descente, rincez le nez à l'eau de mer Pas de gouttes auriculaires en cas de déchirure du tympan Consulter un ORL	Rincer le nez Manœuvre d'équilibrage (Valsalva, Frenzel ou BTV)
Surpression pulmonaire	Douleur (distension) Douleur vive et brève (déchirure) Toux, crachat de sang Air sous la peau Difficulté ventilatoire Arrêt ventilatoire Perte sensibilité motricité droite ou gauche Arrêt cardiaque Mort	O ₂ Hôpital d'urgence Pas de réimmersion	Contrôler sa vitesse de remontée : maîtrise du gilet et du poumonballast Laisser le passage de l'air Expirer de façon continue à la remontée Pas d'apnée en bouteille

L'essoufflement

Cause :

Sous l'effet de la profondeur/pression, les efforts respiratoires sont plus importants, ce qui provoque :

- d'une part, la fatigue des muscles respiratoires
- d'autre part, une ventilation (et principalement une expiration) moins efficace, ce qui entraîne une augmentation du taux de gaz carbonique dans les alvéoles pulmonaires (puisque moins facilement éliminé) et donc une augmentation du taux de gaz carbonique sanguin. L'essoufflement survient du fait d'une mauvaise respiration ou d'un effort trop important ; le froid, les émotions, un détendeur mal réglé qui diminue encore plus la ventilation, le manque d'entraînement sont des facteurs favorisants ; il peut aussi survenir si l'air de la bouteille est pollué.

Conséquences et symptômes :

La respiration devient haletante ; l'essoufflement provoque une mauvaise ventilation et principalement une mauvaise expiration qui est responsable d'une diminution du rejet de gaz carbonique donc d'une augmentation du taux de gaz carbonique dans le sang ; ce qui entraîne un essoufflement. Ainsi se forme un cercle vicieux dont il est impossible, en plongée, de sortir sans remonter près de la surface.

En général le plongeur panique, et remonte, il risque alors une surpression pulmonaire, un Accident de Décompression. Le plongeur (qui se croit en manque d'air) peut aller jusqu'à arracher son embout (pour respirer) et se noyer.

Conduite à tenir :

Se calmer, remonter sans attendre et sans fournir d'efforts, ne pas hésiter à se faire assister.

Arrivé en surface : faire inhaler de l'oxygène pur à pression atmosphérique et allonger le plongeur dans un endroit bien aéré

Prévention :

- Avoir une respiration calme et non forcée en plongée, en insistant sur l'expiration,
- Avoir un détendeur en bon état de fonctionnement,
- Avoir une protection suffisante contre le froid et remonter quand celui-ci survient,
- Vérifier la bonne ouverture de la bouteille avant de plonger,
- Éviter les efforts inconsidérés en plongée (ne pas lutter contre le courant par exemple),
- être en bonne forme physique,
- Dès que les 1ers symptômes se produisent, cesser tout effort et prévenir l'encadrant qui agira en conséquence (amorcera une remontée).

Le Froid

La température des parties profondes (ou température centrale) de l'organisme doit rester constante sous peine d'entraîner de graves perturbations des fonctions biologiques de l'organisme. Les limites de variations de la température centrale sont étroites (4° C).

Cette température centrale résulte de l'équilibre entre la quantité de chaleur produite et reçue par l'organisme et la quantité perdue. Pour que cet équilibre existe, il faudrait plonger dans de l'eau à plus de 33° C, le risque de refroidissement est donc toujours présent en plongée.

Conséquences et symptômes :

Elles peuvent aller de la simple gêne à l'accident grave.

Hypothermie légère :

chair de poule, crampes, frissons, diminution de l'habileté motrice, diminution de l'efficacité intellectuelle.

Ces signes doivent alerter pour éviter l'Hypothermie grave :

Engourdissement avec diminution progressive du frisson, puis rigidité intense, altération de la conscience puis perte de connaissance, arythmie cardiaque, arrêt ventilatoire, décès

Conduite à tenir :

Dans l'eau :

Remonter et sortir

A l'arrivée en surface :

Retirer la combinaison (sur un bateau non abrité, la laisser et recouvrir la victime d'un coupe-vent ou couverture)

Sécher et réchauffer à l'aide de couvertures, progressivement, sans friction

Boissons chaudes et sucrées (non alcoolisées), voire alimentation sucrée

Prévention :

- Porter une combinaison adaptée (chaussons et cagoule)
- Ne pas rester trop longtemps dans l'eau
- Alimentation tenant compte de l'exposition au froid
- Se méfier de la fatigue.

La narcose

L'air que nous respirons est constitué d'un mélange de gaz. Il est composé de 79 % d'azote, 20,9 % d'oxygène, 0,03 % de gaz carbonique, 0,07 % d'autres gaz.

Pour simplifier, on dira que l'air est composé de 80 % d'azote et 20 % d'oxygène.

Ces gaz, à partir d'une certaine pression, deviennent toxiques pour l'organisme. La pression toxique est différente pour chaque gaz.

Ce mélange gazeux (l'air) que nous respirons subit donc les effets de la pression absolue. Les gaz constituant ce mélange subissent donc également les effets de la pression au prorata du pourcentage qu'ils représentent dans le mélange. On parlera de pressions partielles.

Donc par exemple, à une profondeur de 30 mètres, nous respirons de l'air à une pression absolue de 4 bar, et donc la Pression partielle d'oxygène est de $20\% \times 4b = 0,8b$ et la pression partielle d'azote est de $80\% \times 4b = 3,2b$. On a donc la somme des pressions partielles égale à la pression absolue totale ($0,8b + 3,2b = 4b$).

La narcose est due à l'augmentation de la pression partielle (Pp) d'azote et à ses effets sur notre système nerveux.

Des troubles peuvent apparaître à partir de 30 mètres chez certains plongeurs et elle est constante à partir de 50 mètres même chez le plongeur expérimenté ; tous les plongeurs utilisant de l'air comprimé sont plus ou moins narcosés passé cette profondeur.

Symptômes :

Les symptômes apparaissent à des profondeurs variables selon les individus, selon le contexte ; et pour un même individu, selon sa forme physique, son accoutumance à la profondeur.

Les symptômes sont proches de ceux de l'ivresse alcoolique (d'où le surnom de la narcose : ivresse des profondeurs), avec comportement incohérent, euphorie, angoisse, etc. Une perte de connaissance est possible si la descente se poursuit malgré l'apparition des premiers signes.

Quelques exemples de troubles :

- euphorie
- sensation de déséquilibre
- accentuation du dialogue intérieur
- diminution de l'attention
- diminution de la mémoire
- diminution de la coordination
- troubles de la vision • perte de conscience

Facteurs favorisants :

- Profondeur importante (au-delà de 40 mètres)
- L'angoisse
- La fatigue
- Le manque d'entraînement
- Une descente rapide
- Un effort excessif
- Le froid et l'essoufflement
- L'obscurité, la visibilité réduite
- Prise de médicaments avant la plongée

Conduite à tenir :

Il suffit souvent de remonter de quelques mètres (au-dessus de la zone des 30 m) pour que tout rentre dans l'ordre. Cependant, il est conseillé soit d'interrompre au plus tôt la plongée si la perturbation était importante (incapacité à se gérer seul par exemple), soit, si le site et les conditions le permettent, de continuer la plongée mais beaucoup moins profond afin d'éviter de devoir faire des paliers par exemple.

Prévention :

Il n'y a pas de prévention à proprement parler, sauf à connaître ses limites, à y être attentif

- Dès qu'on ressent les 1ers signes, prévenir le moniteur
- Il faut plonger en bonne condition physique et psychique
- S'entraîner de manière régulière à la profondeur
- Ne pas descendre profond si vous n'avez pas plongé depuis longtemps
- Descendre à vitesse régulière et éviter de se redresser rapidement

Les Accidents de Décompression (ADD)

La dissolution des gaz dans les liquides

Sous l'effet de la pression, les gaz se dissolvent dans les liquides. Cette dissolution dépend de la pression du gaz exercé au-dessus du liquide.

Lorsqu'on ouvre une bouteille d'eau gazeuse, on peut entendre un sifflement ; celui-ci correspond à la chute de la pression régnant dans la bouteille. Il se produit un dégagement gazeux sous forme de bulles dans la bouteille. Le gaz était sous pression dans le liquide et l'ouverture de la bouteille a fait baisser la pression de manière brutale. C'est ce qui a provoqué ce dégazage important avec formation de bulles dans le liquide. On peut aussi faire apparaître les bulles dans le liquide en agitant la bouteille.

De la même façon, lorsque l'on « fabrique » de l'eau gazeuse avec un appareil du type « Sodastream », on injecte du gaz sous pression dans l'eau plate de la bouteille. Plus on maintient la pression, plus l'eau va être gazeuse.

Ce phénomène de dissolution des gaz dans les liquides est exprimé par la loi de Henry :

« A température constante, la quantité de gaz dissout dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par ce gaz sur le liquide. »

EN PLONGÉE, cette loi permet d'expliquer les accidents de décompression.

Les phénomènes sont tout à fait similaires à ce qui se passe dans la bouteille. A la différence de l'oxygène, l'azote de l'air n'est pas utilisé par notre organisme (on dit que c'est un gaz inerte) ; sous pression (donc en profondeur), il se dissout progressivement dans les différentes parties de notre organisme (qui est composé à 70% d'eau). Lorsque la pression diminue (donc à la remontée), il va dégazer petit à petit pour être évacué par les poumons.

Si on remonte trop vite, il se crée des bulles dans la circulation sanguine qui risquent de bloquer le courant sanguin entraînant un accident de décompression.

Il est donc impératif de respecter les paliers donnés par les tables, et de respecter la vitesse de remontée qui fait elle aussi partie de la procédure de décompression (voir chapitre sur les procédures de désaturation).

L'azote ne se dissout pas de la même manière dans toutes les parties du corps. Sa dissolution dépend notamment :

- de la pression ambiante, donc de la profondeur de la plongée
- du temps de contact entre le gaz sous pression et le corps, donc de la durée de la plongée
- de la surface de contact entre le gaz et le corps, donc de l'irrigation des tissus (ou parties du corps).

La nature du dégazage dépend de différents facteurs, comme nous l'avons vu :

- la rapidité de diminution de la pression régnant au-dessus du liquide, donc de la vitesse de remontée ;

- la différence de pression entre celle de départ et celle d'arrivée, donc de la profondeur atteinte;
- l'état d'agitation du corps (rythme cardiaque), donc de la quantité d'effort fournie au cours de la plongée.

Cause et mécanisme des ADD :

Au cours de la plongée, l'air que respire le plongeur va être mis en contact avec le sang au niveau des poumons, puis il est transporté par le sang dans l'organisme par l'intermédiaire du système circulatoire. L'oxygène va être « consommé » par l'organisme donnant du gaz carbonique qui va être éliminé par la respiration. L'azote ne sert que de diluant.

Sous pression, l'azote se dissout progressivement dans les différentes parties de l'organisme.

Plus le plongeur va descendre, plus la pression de l'air respiré va être grande et plus les différentes parties de l'organisme (sang, muscles, viscères, os...) vont absorber une grande quantité d'azote. L'azote se dissout d'autant plus que la plongée est longue et qu'elle donne lieu à des efforts importants.

A la remontée, l'azote reprend sa forme gazeuse ; il passe par la circulation sanguine sous forme de micro bulles circulantes qui vont être évacuées par les poumons qui agissent comme un filtre.

Si le plongeur remonte suffisamment lentement, l'azote aura le temps d'être éliminé par la respiration.

Par contre, si la remontée est trop rapide, il se produit un dégazage trop important qui va entraîner la formation de grosses bulles dans les tissus. Ce dégazage peut encore être augmenté si la décompression s'accompagne d'efforts physiques.

Ces bulles bloquent la circulation du sang.

La taille des bulles augmente pendant la remontée sous l'influence de la loi de Boyle / Mariotte, ce qui a tendance à aggraver la situation.

Conséquences, symptômes et différents types d'ADD

Les bulles peuvent se coincer dans n'importe quel vaisseau sanguin et les symptômes qui permettent de détecter un ADD dépendront du ou des vaisseaux concernés et donc du ou des tissus concernés.

Les conséquences d'un ADD peuvent être très graves puisqu'elles peuvent aller du simple « accident mineur » à l'accident grave.

Les symptômes peuvent apparaître très rapidement (souvent dès l'arrivée en surface) ou avec retard, jusqu'à 12 heures après la sortie de l'eau. Dans la majorité des cas, ils interviennent dans les quelques heures qui suivent.

1) Les accidents cutanés

Le plongeur a des démangeaisons, picotements (puces) ou des gonflements douloureux en plaque sous la peau (moutons).

Ils sont dus au dégazage de l'azote dans les tissus de la peau. Ils peuvent annoncer des accidents majeurs.

2) Les accidents ostéo-articulaires (bends)

Une vive douleur s'intensifiant apparaît à une articulation, en général, celle la plus sollicitée lors de la plongée; le plus souvent l'épaule, le genou ou le coude.

La mobilisation intensifie la douleur et en général le plongeur recherche des positions qui le soulagent.

3) Troubles de l'oreille

- vertiges, nausées, vomissement.

- surdité ou audition difficile, bourdonnements d'oreille aigus.

Ils sont dus à un dégazage au niveau de l'oreille interne.

4) Troubles neurologiques

Les symptômes varient selon s'il s'agit d'un dégazage au niveau du cerveau ou au niveau de la moelle épinière.

- fatigue extrême, pâleur, angoisse, refroidissement, maux de tête.
- troubles sensitifs, de la vision, de l'audition, de la parole (mutisme) et du comportement (isolement du plongeur).
- crise convulsive, inconscience, coma.
- douleur violente localisée au bas du dos.
- fourmillement dans les jambes.
- impossibilité d'uriner.
- paralysie, en général des membres inférieurs, de la moitié ou de tout le corps.
- arrêt ventilatoire puis cardiaque.
- décès.

5) Troubles respiratoires et cardiaques

- difficultés à respirer, douleur aiguë localisée au niveau de la poitrine (oppression) => œdème aigu.
- infarctus du myocarde (arrêt cardiaque).

Conduite à tenir :

En tant que plongeur encadré, prévenir le GP et/ou le DP.

Toute apparition de symptômes doit être prise au sérieux. Si un plongeur pense ressentir un des symptômes décrits ou si vous notez une attitude bizarre (personne silencieuse, à l'écart des autres, avec une attitude différente de son attitude habituelle), il faut rapidement :

- déséquiper et allonger la victime, les jambes surélevées.
- inhalation d'oxygène pur (15 l/minute)
- alerter les secours
- effectuer les gestes de réanimation en fonction de son état.
- Si la victime est consciente, la faire boire de l'eau douce (1 litre en 1 heure).
- Noter sur un papier (ou à même la peau) les paramètres de plongée et l'heure d'apparition des symptômes.

- Récupérer son ordinateur de plongée qu'il faudra donner aux secours.
- Faire évacuer la victime, le plus rapidement possible vers un centre hospitalier équipé d'un caisson hyperbare.
- Surveiller les coéquipiers de sa palanquée.

Attention : on ne réimmerge jamais une victime présumée d'ADD. Une fois la procédure d'intervention lancée, on ne l'interrompt pas.

Prévention :

- Respecter la vitesse de remontée
- Respecter les procédures de décompression (les paliers) et un intervalle de 30 secondes entre chaque palier
- Ventiler correctement
- Ne pas faire d'apnée après la plongée
- Ne pas faire d'efforts importants au cours et après la plongée.
- Faire attention au froid, à l'essoufflement, à la fatigue et arrêter la plongée au plus tôt. Ne pas plonger si on ne se sent pas « en forme »
- Ne pas effectuer de « profil inversé » . C'est-à-dire commencer la plongée par la zone la moins profonde et finir par la zone la plus profonde. Au contraire, on commence toujours la plongée par la zone la plus profonde.
- Ne pas faire de manœuvre de Valsalva à la remontée
- Ne pas effectuer plus de deux plongées par jour et respecter des intervalles de surface entre les plongées suffisamment longs
- Vérifier son lestage (être trop lourd représente un effort)
- Ne pas effectuer de séjour en altitude, ni de voyage en avion, quelques heures après une plongée

Les procédures de désaturation

Les tables

Afin d'éviter les ADD, il est important de gérer sa remontée et donc la désaturation en azote. Avant l'arrivée des ordinateurs de plongée, les plongeurs utilisaient des tables de plongée. Le but de ce chapitre n'est pas de détailler l'utilisation précise des tables mais plutôt de permettre de comprendre les principes des procédures de désaturation.

Un peu d'histoire :

Dans la deuxième partie du 19^{ème} siècle avec les premiers scaphandriers « pieds lourds » et les premiers travaux sous pression (tunnels, piliers de pont ...), les premiers accidents ont été constatés. Les scientifiques s'y intéressent et commencent à modéliser les premiers principes de la saturation et de la désaturation en azote.

En 1907 apparaissent les premières tables de la Royal Navy avec notamment la notion de palier

En 1948 apparaissent les premières tables de la Marine Nationale

Depuis, plusieurs améliorations et refontes de ces tables et des modèles mathématiques sur lesquels elles sont basées ont eu lieu pour aboutir aux tables de la Marine Nationale en 1990 (MN 90)

En parallèle et après 1990, ces modèles mathématiques ont été affinés et intégrés dans des calculateurs pour donner naissance à toute une gamme d'ordinateurs de plongée.

Fonctionnement des tables :

En fonction de la durée et de la profondeur de la plongée, les tables vont déterminer des temps et des profondeurs d'arrêts à respecter (les paliers) durant la remontée pour que la désaturation se passe bien.

Quelques définitions :

Les tables sont prévues pour des plongées à l'air avec un maximum de deux plongées par 24 heures.

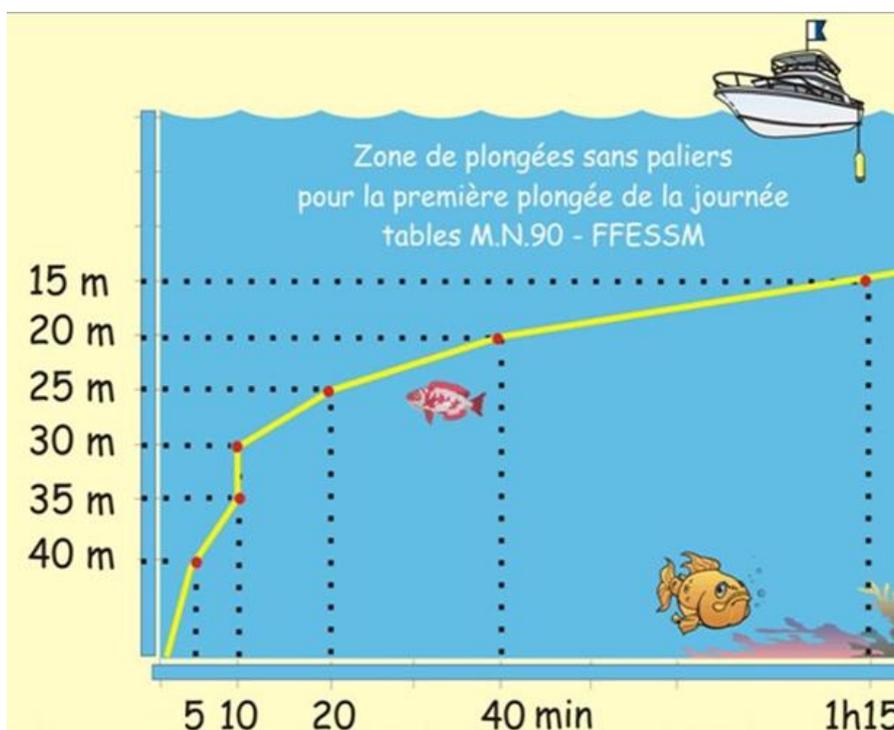
La durée de la plongée se compte en minutes entières (toute fraction de minute commencée est considérée comme une minute entière écoulée) depuis l'instant où le plongeur quitte la surface en direction du fond jusqu'à l'instant où il quitte le fond pour remonter vers la surface.

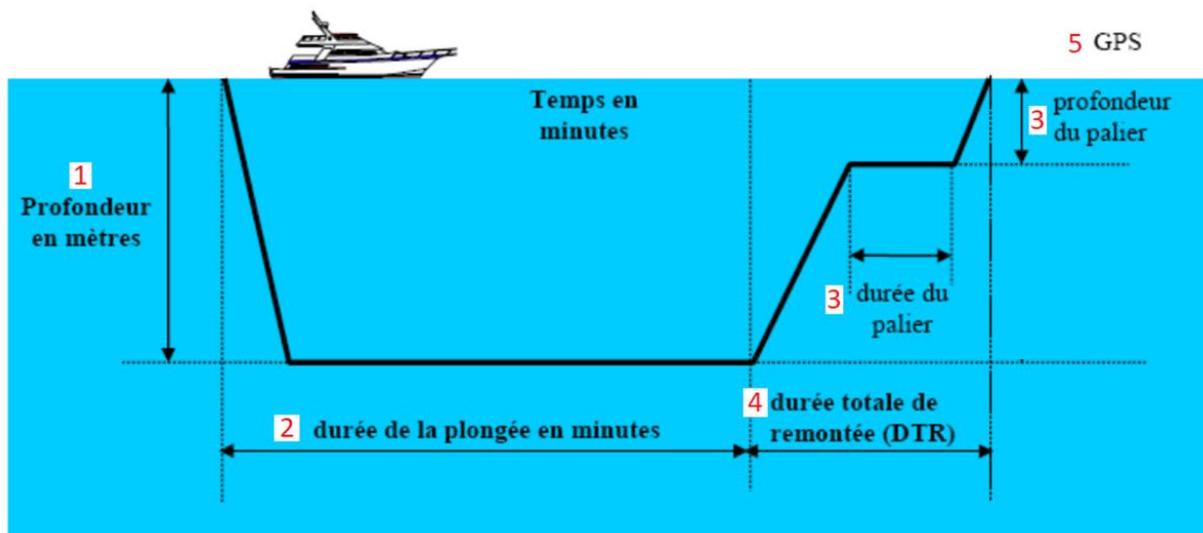
La profondeur de la plongée est la profondeur maximale atteinte au cours de la plongée.

La vitesse de remontée à respecter dans les tables est de 15 à 17 mètres par minute (A noter que les ordinateurs prévoient des vitesses de remontée plutôt de l'ordre de 10 à 12 mètres par minute) jusqu'au premier palier puis de 6 mètres par minute entre chaque palier et entre le palier de 3 mètres et la surface.

La courbe de sécurité :

Elle désigne les durées de plongée à ne pas dépasser à des profondeurs données de façon à ne pas avoir à effectuer de palier :





Prof.	Durée	3m	DTR	GPS	Prof.	Durée	3m	DTR	GPS	Prof.	Durée	3m	DTR	GPS	Prof.	Durée	6m	3m	DTR	GPS
6m	15 min		1	A	12m	1h20		1	H	18m	35 min		2	F	25m	5 min			2	B
	30 min		1	B		1h25		1	I		40 min		2	G		10 min			2	C
	45 min		1	C		1h30		1	I		45 min		2	H		15 min			2	D
	1h15		1	D		1h35		1	J		50 min		2	H		20 min			2	E
	1h45		1	E		1h40		1	J		55 min	1	3	I		25 min	1		3	F
	2h15		1	F		1h45		1	J		60 min	5	7	J		30 min	2		4	H
	3h00		1	G		1h50		1	K		1h05	8	10	J		35 min	5	7		I
	4h00		1	H		1h55		1	K		1h10	11	13	K		40 min	10	12		J
	5h15		1	I		2h00		1	K		1h15	14	16	K		45 min	16	18		J
	6h00		1	J		2h10		1	L		1h20	17	19	L		50 min	21	23		K
						2h15		1	L		1h25	21	23	L		55 min	27	29		L

La première colonne présente la profondeur maximale atteinte. Elle se lit en mètres.

La deuxième colonne présente des durées, exprimées en minutes, parfois en heures.

Les colonnes suivantes indiquent la durée en minutes des paliers à effectuer à diverses profondeurs, colonnes de 15, 12, 9, 6 et 3 mètres.

La colonne suivante indique les durées totales de remontée, arrondies à la minute entière. Il s'agit de la durée des paliers additionnée de la durée de la remontée.

La dernière colonne donne le Groupe de Plongée Successive (GPS), caractérisé par une lettre, auquel appartient la plongée effectuée et qui permet de calculer les plongées successives (plongées qui ont lieu dans la même journée).

Cas de deux plongées dans la même journée :

Le paramètre qui va être important est l'intervalle de surface, c'est-à-dire le temps écoulé entre la sortie de la 1^{ère} plongée et l'immersion pour la 2^{ème} plongée. En effet, pendant ce laps de temps, la désaturation en azote de l'organisme va progresser (elle aura commencé pendant la phase de remontée).

Si l'intervalle de surface est inférieur à 15 minutes, on considère que les deux plongées ne constituent qu'une seule et même plongée. On parle alors de plongées consécutives.

Si l'intervalle de surface est supérieur ou égal à 15 minutes et inférieur à 12 heures, on parle de plongées successives et le GPS va permettre d'établir combien d'azote reste dissout dans l'organisme et permettra de prendre en compte cette quantité d'azote résiduel pour le calcul des paliers de la deuxième plongée. Cette prise en compte se fera en ajoutant une majoration de temps à la durée de la deuxième plongée. Cette majoration va dépendre du GPS de la première plongée, de l'intervalle de surface et de la profondeur de la deuxième plongée. La durée réelle de la deuxième plongée augmentée de cette majoration donnera donc une durée théorique qui sera celle à utiliser dans les tables pour déterminer les paliers à effectuer à l'issue de cette deuxième plongée.

Cas particuliers :

Remontée lente :

La vitesse de remontée est inférieure à 15-17 m/min. Cette durée de remontée est à intégrer au temps de plongée car on considère que la désaturation ne peut pas commencer dans de bonnes conditions.

Remontée rapide :

La vitesse de remontée est supérieure à 15-17 m/min. Redescendre en moins de 3 minutes à mi-profondeur de la plongée, pour réaliser un palier de 5 minutes. Puis remonter, avec au minimum, un palier obligatoire de 2 minutes à 3 mètres.

Palier interrompu :

Redescendre en moins de 3 minutes et refaire entièrement le palier interrompu, puis continuer la remontée.

NOUVEAU (2024) :

Préconisations fédérales en cas de remontées anormales, en plongée avec un ordinateur

Nécessité d'actualiser nos procédures en remplaçant celles de la « vénérable » table MN90, en cas de remontées anormales vu l'utilisation presque exclusive des ordinateurs en plongée, dont les algorithmes n'incluent pas toujours de procédure en phase avec la physiologie sur ces cas non conformes.

- **En cas de vitesse de remontée trop rapide :** Cas d'une remontée dépassant une vitesse de 15m/mn entre 30m et la surface, sur une distance de 10 mètres minimum.

Redescendre en moins de 3mn au moins à mi-profondeur et y rester 5 minutes. Puis faire au moins un palier de 1 minute à 6 mètres et 5 minutes à 3 mètres (en plus de ce qui est prévu par votre moyen de désaturation). Si la ré-immersion est impossible, mise sous O2 et évacuation.

- **En cas de multi-yoyos :** En cas de remontées multiples, les remontées doivent dans la mesure du possible ne pas dépasser le seuil de 6 mètres.
- **En cas d'interruption de palier obligatoire :**
*Ré-immersion réalisable : redescendre en moins de 3 minutes, poursuivre le palier en ajoutant 3 minutes à 3 mètres.

*Ré-immersion non réalisable en cas de signe d'un possible accident ou plus de 3 minutes de paliers non réalisés : déclenchement des secours.

*Ré-immersion non réalisable sans signe d'accident, si erreur maximale de 3 minutes de palier non fait : période d'observation de 3 heures et interdiction de nouvelle plongée pendant 24 heures. Au moindre signe pouvant évoquer un accident, déclenchement des secours.

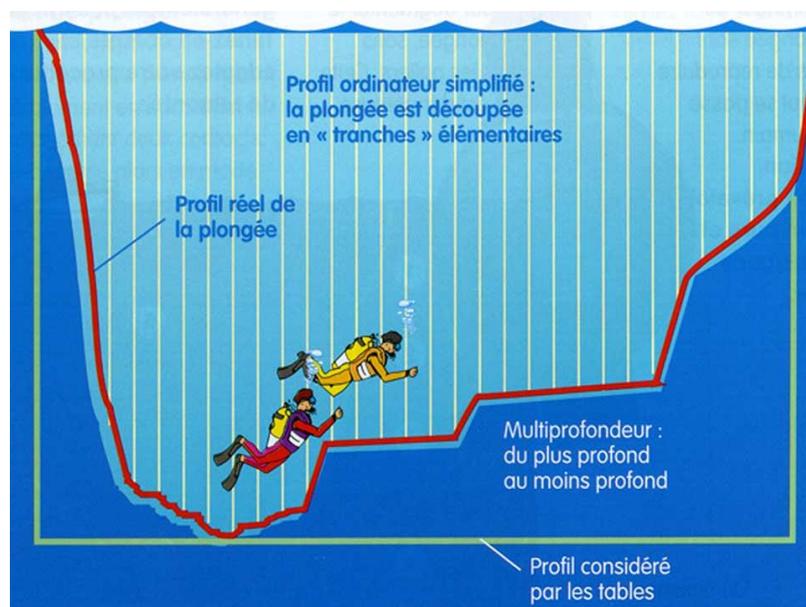
Les ordinateurs

Les « ordinateurs de plongée » sont des calculateurs qui apportent aux plongeurs une aide précieuse. Ils permettent de gérer la décompression, parfois l'autonomie en air, d'enregistrer les paramètres des plongées.

L'ordinateur a été créé pour simplifier la vie du plongeur, afin qu'il planifie au mieux sa plongée, mais ils ne permettent pas de faire n'importe quoi, sous peine d'aboutir à des accidents de décompression par ignorance de leurs limites et de leur mode d'utilisation.

Les tables traditionnelles utilisent la profondeur maximale atteinte et la durée totale, depuis le canard jusqu'au début de la remontée.

L'ordinateur utilise la pression mesurée régulièrement (toutes les 2 ou 3 secondes maximum) pour intégrer l'état de saturation du plongeur. Il va donc prendre en compte le profil réel de la plongée.



Beaucoup d'informations s'affichent sur l'écran d'un ordinateur (cela varie selon les ordinateurs) :

Profondeur actuelle

Profondeur maximale atteinte

Durée de la plongée

Vitesse de remontée (ou de descente)

Temps sans déco = Temps restant avant d'avoir des paliers obligatoires

OU

Informations nécessaires à la décompression (Temps et profondeur du 1er palier / Durée totale de remontée et profondeur du 1er palier)

Autres informations en fonction des ordinateurs, ou en fonction de ce que l'utilisateur souhaite afficher

Mélange de gaz utilisé

Eau douce / eau salée

Date et heure

Température de l'eau



Important :

L'ordinateur que vous utilisez conserve en mémoire les paramètres des plongées de la journée et continue de calculer la désaturation en azote après le retour en surface. Il est donc impératif de conserver le même ordinateur pour toutes les plongées de la journée. De la même façon, il ne faut pas prêter un ordinateur ayant déjà été utilisé à un autre plongeur.

Il arrive quasiment systématiquement que chaque plongeur de la palanquée ait un ordinateur différent. Les ordinateurs ne sont pas tous paramétrés de la même façon et ne vont pas forcément calculer les paliers de la même façon. Il est donc nécessaire de se coordonner avant la plongée entre membre de la palanquée et de régler son code de communication afin de communiquer clairement pendant la plongée sur les paliers à effectuer. On effectuera les paliers les plus importants même si notre propre ordinateur n'indique plus de palier à effectuer.

Le fait de ne pas respecter les paliers obligatoires indiqués, au-delà du risque de déclencher un accident de décompression, va dans la majorité des cas déclencher une mise en erreur de l'ordinateur pendant au moins 24 heures et donc le rendre inopérant pour la plongée.

Le modèle mathématique sur lequel se base les ordinateurs n'est pas conçu pour des utilisations hors limite (profils atypiques, nombre de plongées supérieur à 2 ou 3, efforts pendant la plongée ...)

Comment choisir son ordinateur :

Pour bien choisir son ordinateur, il convient de se poser un certain nombre de questions :

Future vie de plongeur ? Plongées uniquement à l'air, au nitrox... ?

Acuité visuelle actuelle ? Evolution prochaine ?

Budget ?

Couleur, pas couleur ?

Changement de pile ? Modèle rechargeable ?

Discret pour le garder en tant que montre ?

Sonde de mesure de pression d'air dans la bouteille ?

Paramétrage personnalisé ? Ordinateur simple, ou avec beaucoup de paramètres possibles ?

Regard du profil des plongées sur ordinateur, sur téléphone, ou pas ?

Le matériel



La station de gonflage

Le rôle du compresseur est d'aspirer de l'air à la pression atmosphérique pour le restituer dans les bouteilles de plongée à la pression de 200 b à 230 b habituellement. Cette compression se fait en plusieurs étapes successives dans les pistons du compresseur. Chaque piston comprimant un peu plus le volume d'air initial. Le compresseur est équipé de plusieurs filtres permettant de garantir une qualité optimale de l'air à sa sortie. L'air ainsi comprimé peut être injecté directement dans les blocs ou stocké dans de grandes bouteilles en général de 50 litres (les tampons) pour ensuite pouvoir être transvasé dans les blocs des plongeurs. L'utilisation des tampons permet un gonflage plus rapide des blocs.

L'utilisation de la station de gonflage est réglementée. En particulier, seules les personnes habilitées peuvent s'en servir et être présentes dans le local lorsque la station est en utilisation et que le compresseur tourne.

Les blocs

Le bloc contient le mélange gazeux respiré. Il peut être en acier ou en aluminium. Il se présente en mono-ou bi-cylindres. Il peut être de volumes différents 6L, 8L, 10L, 12L, 15L en fonction de l'utilisation ou de l'utilisateur.

Plusieurs inscriptions sont gravées sur la bouteille :

- Nom du constructeur
- Lieu, année, N° de fabrication
- Volume intérieur (c'est la capacité de la bouteille)
- Pression d'épreuve en bars
- Date de la dernière épreuve et poinçon du service des mines
- Désignation du gaz contenu
- Pression de service
- Poids à vide (en Kg).

Entretien et précaution :

- Éviter les chocs, les grandes différences de température
- Ne pas transporter les bouteilles sous pression
- Requalifier tous les 2 ans ou tous les 5 ans si elles sont contrôlées par un TIV (Technicien en Inspection Visuelle) tous les ans
- Ne pas les ouvrir en grand à l'air
- Ne pas les laisser ouvertes dans l'eau
- Purger la robinetterie avant de gonfler les blocs - Entretenir la peinture.

Les détendeurs

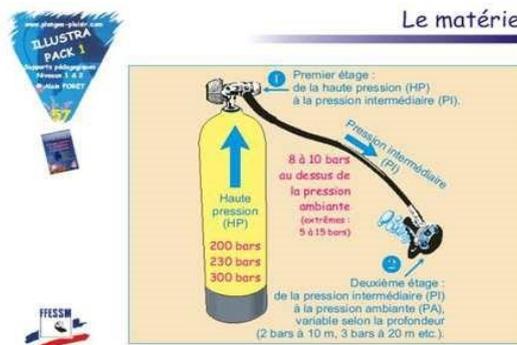
Le but du détendeur est de fournir l'air contenu dans la bouteille au plongeur, à la demande et à la pression ambiante (variable selon la profondeur).

Les détendeurs sont dits à 2 étages, car ils détendent l'air de la haute pression à la pression ambiante en deux étapes.

Chaque détendeur possède ses spécificités techniques, mais ils possèdent tous le même mode de fonctionnement.

Le détendeur est composé de 3 parties :

- Une partie fixée sur la robinetterie de la bouteille : **c'est le 1^{er} étage**. Il permet de détendre l'air contenu dans la bouteille (HP) jusqu'à une pression de 8 à 10 bars supérieure à la pression ambiante (celle que subit le plongeur). C'est la moyenne pression (MP) (ou pression intermédiaire - PI). Il existe deux types de fixation du 1^{er} étage sur la robinetterie : l'étrier ou la fixation DIN.
- Un **flexible souple** de faible section qui relie le 1^{er} étage au 2^{ème} étage.
- Une partie fixée à un embout buccal (**2^{ème} étage**) qui transforme la moyenne pression en pression ambiante (PA). Elle comporte aussi des soupapes d'expiration dites « moustaches » par lesquelles s'évacue l'air expiré et d'un bouton poussoir de mise en débit continu.



Principe de fonctionnement du 1^{er} étage :

Le premier étage est séparé en deux parties. Une partie est en rapport avec l'air haute pression de la bouteille, c'est la chambre sèche, l'autre est la chambre humide qui communique avec le milieu ambiant par des orifices.

Le premier étage comprend donc des pièces dédiées à l'étanchéité entre la chambre sèche et la chambre humide ainsi qu'entre la partie haute pression et la partie moyenne pression. Il comprend également des pièces mobiles qui se déplacent à l'inspiration et à l'expiration de façon à fournir de l'air à la demande et à la pression ambiante. La fourniture de l'air à la pression ambiante et le fait que l'air ne soit fourni qu'à la demande, et que le détendeur ne se mette pas en débit continu dès que la robinetterie de la bouteille est ouverte, est permis grâce à un équilibre fourni, d'une part par un système de ressorts tarés, et d'autre part par la captation de la pression ambiante par les orifices de la chambre humide.

Schéma de principe de fonctionnement du 1^{er} étage au repos (détendeur monté sur le bloc ouvert)

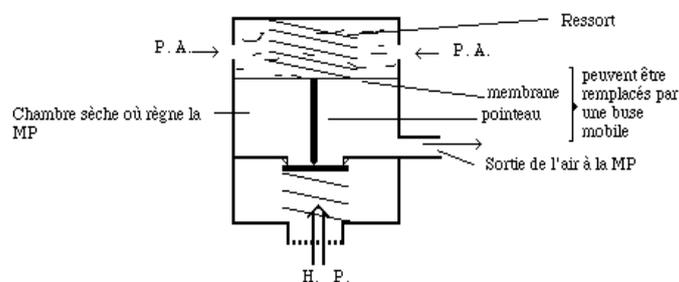


Schéma du principe de fonctionnement du premier étage

L'air haute pression plaque le clapet sur son siège, l'air contenu dans la chambre sèche est en équipression avec la pression ambiante (PA) additionnée de la force du ressort. On appelle cette pression la moyenne pression.

A l'inspiration :

La chambre sèche se vide, ce qui crée une dépression dans celle-ci, la membrane se déforme, entraînant dans son mouvement le pointeau qui repousse le clapet.

L'air haute pression emplit alors la chambre sèche jusqu'à égalisation des pressions de part et d'autre de la membrane.

La membrane retrouvant sa position de repos, le clapet repoussé sur son siège, l'air est détendu à la valeur de la MP.

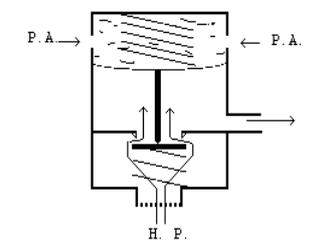


Schéma du principe de fonctionnement du premier étage A l'inspiration

L'ensemble membrane pointeau peut être remplacé par un piston.

Attention : l'orifice du 1^{er} étage qui vient se brancher sur la robinetterie du bloc ne doit pas être immergé ou en contact avec l'eau sinon la chambre sèche prendrait l'eau et serait détériorée.

Principe de fonctionnement du 2^{ème} étage

Comme le 1^{er} étage il comprend deux parties : une chambre sèche et une chambre humide. La chambre humide permet la captation de la pression ambiante. Comme pour le 1^{er} étage un système de clapet et de ressort associé à la pression ambiante va permettre de détendre l'air de la moyenne pression vers la pression ambiante à chaque inspiration.

Attention : à la différence du premier étage, la chambre sèche peut se remplir d'eau si le deuxième étage est immergé. Il faudra donc le vider avant de prendre la première inspiration.

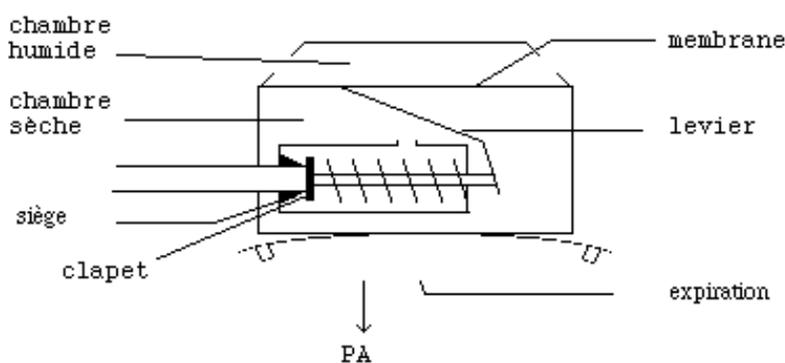
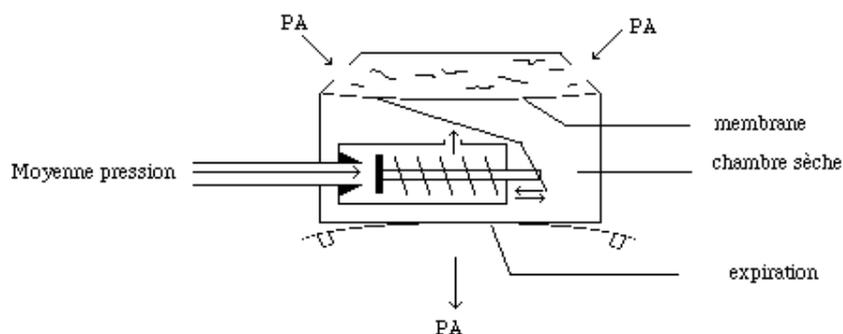


Schéma du deuxième étage

A l'inspiration, la dépression créée dans la chambre sèche déforme la membrane, ce qui abaisse le levier.



**Schéma du principe de fonctionnement
du deuxième étage**

Les différents types de détendeurs

Fixation sur le bloc DIN ou Etrier



Premier Etage à Membrane ou à Piston, simple ou compensé

PISTON SIMPLE

- **Avantages**
 - Mécanique « simple » & Robuste
 - Coût (entrée de gamme)
- **Défauts**
 - Mécanique intérieure au contact de l'eau
 - Sensible froid / Gel
 - (in)Confort en fin de bouteille
- **Physique**
 - Plus la HP diminue, plus la MP diminue aussi
 - En fin de bouteille, il faut faire un effort pour inspirer ⚠
- **Modèles du commerce**
 - Scubapro « Mk2 » - Mares « Rover 2S »
 - Aqualung « Calypso »

PISTON COMPENSÉ

- **Avantages**
 - Mécanique « simple » & Robuste
 - Entretien: moins coûteux qu'un membrane
 - Confort respiratoire
- **Défauts**
 - Mécanique intérieure au contact de l'eau
 - Sensible froid / Gel
 - Achat: Plus cher qu'un Piston Simple
 - Poids / Encombrement supérieur à un Piston Simple
- **Physique**
 - La MP reste stable quelle que soit la valeur de la HP
 - En fin de bouteille, pas d'effort supplémentaire pour inspirer
- **Modèles du commerce**
 - Scubapro « Mk21 », « Mk25 »

MEMBRANE SIMPLE

- **Avantages**
 - Compact
 - Mécanique intérieure isolée de l'eau
 - Confort
- **Défauts**
 - Mécanique plus complexe (qu'un piston)
- **Physique**
 - Plus la HP diminue, plus la MP augmente
 - La respiration est plus facile en fin de bouteille
- **Modèles du commerce**
 - *Aucun actuellement.*
 - En brocante: « Spirotechnique Mistral »

MEMBRANE COMPENSÉ

- **Avantages**
 - Compact
 - Mécanique intérieure isolée de l'eau
 - Confort respiratoire
 - Plus léger qu'un Piston
- **Défauts**
 - (sur)Coût (achat / entretien)
 - Mécanique plus complexe (qu'un piston)
- **Physique**
 - La MP reste stable quelle que soit la valeur de la HP
 - En fin de bouteille, pas d'effort supplémentaire pour inspirer
- **Modèles du commerce**
 - Scubapro « Mk11 », « Mk17 »
 - Aqualung « Titan », « Core », « Micron », « Legend »

Entretien :**L'utilisation du matériel demande un peu de soin :**

- éviter les chocs et l'écrasement
- ne pas le laisser exposé au soleil
- rincer à l'eau douce après chaque plongée
- ne pas faire pénétrer d'eau dans le premier étage (le rincer bouchon fermé)
- ne pas fermer avec le bouchon pour l'entreposer (pour évacuer l'humidité éventuelle) - surveiller l'aspect du filtre situé à l'entrée de l'air dans le premier étage et la soupesse à l'inspiration
- le faire réviser régulièrement (en fonction du nombre de plongées)

Pannes et incidents

<u>PANNES / INCIDENTS</u>	<u>ORIGINE POSSIBLE</u>	<u>SOLUTION</u>
Entrée d'eau lors de l'inspiration	C'est une panne au 2 ^{ème} étage : <ul style="list-style-type: none"> - Embout percé, déchiré, fendu - Membrane défectueuse - Boitier fêlé - Soupape d'expiration endommagée ou encrassée 	Réparer soi-même ou le confier à un réparateur : <ul style="list-style-type: none"> - Remplacer l'embout - Nettoyer la soupape - Changer le boitier, la membrane
Le détenteur devient dur	<ul style="list-style-type: none"> - Déréglage du levier - Dépôts d'impuretés sur les pièces en mouvement 	<ul style="list-style-type: none"> - Confier à un réparateur
Mise en débit continu	<ul style="list-style-type: none"> - C'est une panne au premier étage, une mauvaise étanchéité au niveau du siège/clapet : (augmentation de la pression intermédiaire et mise en débit continu du 2^{ème} étage - Clapet non étanche - Premier étage bloqué ouvert 	<ul style="list-style-type: none"> - Confier à un réparateur
L'air n'arrive plus	<ul style="list-style-type: none"> - Le premier étage est bloqué 	<ul style="list-style-type: none"> - Confier à un réparateur
De petites fuites (petites bulles) sortent de la chambre humide du premier étage	<ul style="list-style-type: none"> - C'est un incident au premier étage : les joints toriques sont défectueux 	<ul style="list-style-type: none"> - Faire remplacer les joints par un réparateur
Fuite au niveau de la fixation du détenteur sur la robinetterie	<ul style="list-style-type: none"> - Joint de la robinetterie absent, défectueux ou inadapté 	<ul style="list-style-type: none"> - Changer le joint
Fuite, voir explosion au niveau du flexible (la bouteille peut se vider en quelques secondes)	<ul style="list-style-type: none"> - Manque d'entretien et de vérification de l'état du flexible 	<ul style="list-style-type: none"> - Changer le flexible

Notes Personnelles :