



AUTONOMIE (Niveau 2 & 3)

INTRODUCTION

Le niveau 2, entrée dans l'autonomie, et le niveau 3, autonomie complète, confèrent à leur titulaire des prérogatives (droits associés à un niveau ou une qualification) importantes dans le cadre de l'exercice de la plongée sous-marine.

Tout plongeur autonome devra en particulier savoir gérer et parfois organiser sa plongée, en toute sécurité.

Il devra être en mesure de répondre aux questions suivantes :

- Ai-je besoin d'un guide de palanquée ? d'un directeur de plongée ? Quels sont leur rôle et autorité ?
- Quelles sont mes prérogatives ? mes aptitudes ?
- Mes brevets/aptitudes sont-ils valables quand je plonge au sein d'une autre fédération que la FFESSM ?
- Quelles sont les conditions de la pratique de l'autonomie : quel matériel dois-je avoir pour plonger autonome ?
- Quels effets le milieu aquatique a-t-il sur l'audition ? la vision ?
- En cas d'incident sous l'eau, comment puis-je porter assistance à mon binôme ? et communiquer du palier avec la surface ?
- Comment calculer ma consommation et donc mon autonomie en air ? Comment calculer mon lestage et gérer ma flottabilité ?

C'est le [Code du Sport](#) (arrêté du 5 janvier 2012 modifié 6 avril 2012) qui régit la plongée subaquatique loisir (à l'air et aux mélanges).

I. PREROGATIVES N2 ET N3

I.1. NOTION D'APTITUDE, BREVETS/NIVEAUX

Une « aptitude » peut se définir comme une « compétence reconnue ». La justification des aptitudes du plongeur se fait par la présentation d'un brevet ou d'une qualification et, le cas échéant, d'un carnet de plongée permettant d'évaluer son expérience

- A quand remonte la dernière plongée ?
- Combien de plongées ce plongeur a-t-il à son actif ?
- A-t-il déjà plongé dans des conditions similaires à celles rencontrées dans la plongée prévue (profondeur, visibilité, courant...)?

En l'absence de cette justification, le *directeur de plongée*¹ peut décider de procéder à une ou plusieurs plongées d'évaluation. Ce type de plongée est d'ailleurs systématiquement réalisé partout dans le monde lors de l'accueil de plongeurs (ex. croisières ou séjours plongée).

¹ Directeur de plongée ou DP : définition plus loin dans le document

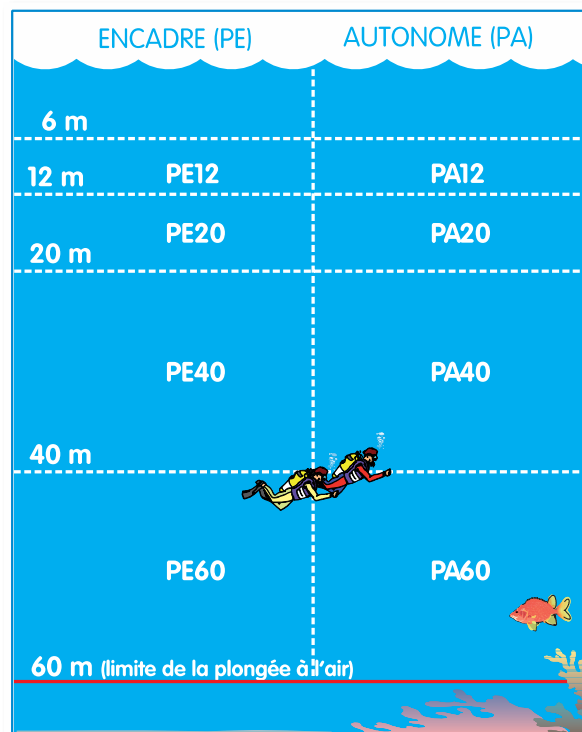


I.2. ESPACES D'ÉVOLUTION

Cinq espaces d'évolution pour la plongée à l'air : 0-6 m, 0-12 m, 0-20 m, 0-40 m, 0-60 m.

La tolérance de +5 m admise autrefois, sur autorisation du Directeur de Plongée, pour les espaces 0-20m et 0-40m a maintenant disparu.

Le schéma ci-contre indique les *aptitudes* requises pour plonger encadré ou autonome dans les différents espaces d'évolution : (PE signifie *Plongeur Encadré*, PA signifie *Plongeur Autonome*, le nombre qui suit indique la profondeur maximum en mètres)



Le directeur de plongée (DP)

Le code du sport précise que 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 :

- le DP est responsable techniquement de l'organisation,
- le DP est responsable des dispositions à prendre pour assurer la sécurité des plongeurs,
- le DP est responsable du déclenchement des secours,
- le DP s'assure de l'application des règles et procédures en vigueur,
- le DP fixe les caractéristiques de la plongée, pour chaque palanquée,
- le DP établit une **fiche de sécurité** (anciennement feuille de palanquée) 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. Cette fiche est conservée une année par tout moyen par l'établissement

La palanquée

Plusieurs plongeurs qui effectuent ensemble une plongée présentant les mêmes caractéristiques *de durée, de profondeur et de trajet* constituent une **palanquée**.

Le guide de palanquée (GP)

Le **guide de palanquée** est responsable des plongées encadrées. Il dirige la palanquée en immersion. Il est responsable du déroulement de la plongée et s'assure que les caractéristiques de celle-ci sont adaptées aux circonstances et aux aptitudes des participants. Le GP est titulaire d'une qualification de *Guide de Palanquée* ou de *Plongeur Niveau 4*.

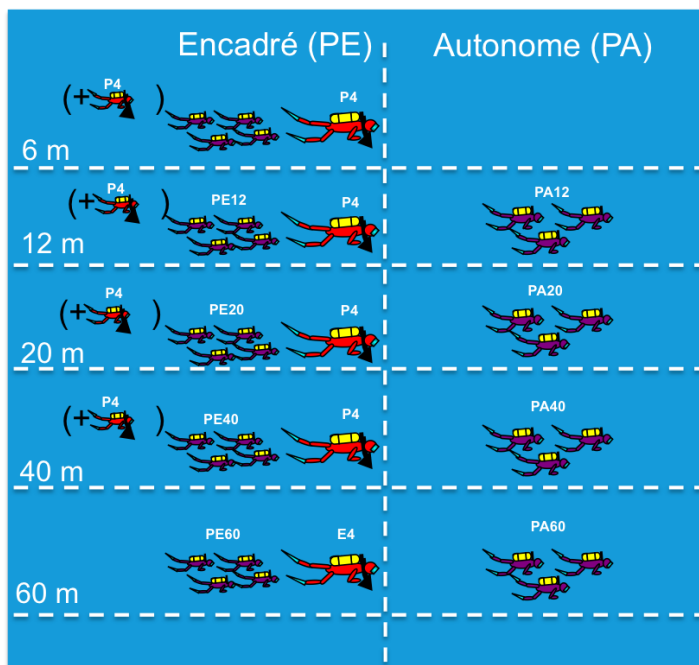
L'effectif maximum d'une **palanquée autonome** est de **trois plongeurs**, devant être tous **majeurs**. Les prérogatives du plongeur ayant les aptitudes les plus faibles définissent les prérogatives de la palanquée (une palanquée de N2 et N3 = mêmes prérogatives qu'une palanquée de N2).

Dans l'espace 0-40m, l'effectif maximum d'une **palanquée encadrée par un GP** est de **quatre**



AUTONOMIE – N2 / N3

plongeurs + le GP, avec possibilité d'ajouter dans la palanquée un plongeur supplémentaire, plongeur Niveau 4 (P4).





I.3. CORRESPONDANCE BREVETS/APTITUDES

Les fédérations en France délivrent des brevets (ou niveaux) permettant de justifier d'aptitudes selon la correspondance indiquée dans le tableau ci-après :

BREVETS DÉLIVRÉS PAR LA FFESSM, la FSGT, l'UCPA, l'ANMP et le SNMP	APTITUDES À PLONGER encadré par un guide de palanquée	APTITUDES À PLONGER en autonomie (sans guide de palanquée)
Plongeur niveau 1 — P1 (*)	PE-20	-
Plongeur niveau 1 — P1 (*) incluant l'autonomie	PE-20	PA-12
Plongeur niveau 2 — P2 (*)	PE-40	PA-20
Plongeur niveau 3 — P3 (*)	PE-60	PA-60
<i>(*) Tous ces brevets doivent justifier que leurs titulaires ont démontré un niveau technique au moins équivalent à celui des brevets de même niveau de la fédération délégataire, la FFESSM, et qu'ils ont été délivrés dans des conditions similaires.</i>		

Attention : Les N3 peuvent plonger entre eux, en coresponsabilité, en l'absence de DP, mais l'autonomie est dans ce cas limitée à 40 m.

Pour les N2, la présence du DP est obligatoire.

Dans tous les cas, pour obtenir une aptitude PA de plongeur autonome, il faut être majeur.

II. CONDITIONS D'AUTONOMIE

II.1. DOCUMENTS POUR LE PLONGEUR

Pour plonger, tout plongeur doit disposer obligatoirement :

- d'un **certificat médical**

S'il en dispose, le plongeur devra si possible se munir :

- de sa **licence** FFESSM (ou autre fédération),
- de ses **cartes de niveaux**,
- de son **passport de plongée**
- de son **carnet de plongée**.

Certificat médical :

- certificat d'absence de contre-indication à la pratique des activités subaquatiques.
- valable 1 an. Le médecin peut décider de raccourcir la validité. Le président de club peut décider de raccourcir ce délai (par ex pour présenter un niveau) s'il prévient ses adhérents,
- Le certificat doit être *renouvelé en cas de changement de contexte médical* (intervention chirurgicale, nouvelle pathologie, prise de médicaments, ...),
- délivré par tout médecin pour la simple pratique de la plongée, ou le passage des niveaux, à l'air ou au nitrox
- obligatoire pour tout le monde à la 1^{ère} licence, mais ensuite pas nécessaire pour les membres qui ne pratiquent pas la plongée,



AUTONOMIE – N2 / N3

- il est fortement conseillé d'utiliser le *formulaire FFESSM*

La **licence FFESSM** permet entre autres :

- de participer aux activités de la fédération (formation, passage de niveaux, activité...),
- de bénéficier du contrat d'assurance collectif (cf section Responsabilité).

Elle est valable du 15/09 de l'année n au 31/12 de l'année n+1

Cartes de niveaux / passeport et carnet de plongée :

- des *cartes* sont envoyées à leur titulaire pour leur permettre de justifier d'un niveau (1, 2, 3..), d'une aptitude (ex PA40, ...), d'un brevet (ex : RIFAP Réaction et Intervention Face aux Accidents de Plongée, ...)
- présenter le *passeport de plongée* (où sont mentionnés les brevets obtenus) et/ou le *carnet de plongée* (pour attester de son expérience) permet également au Directeur de Plongée d'estimer votre expérience.

II.2. MATERIEL POUR LE PLONGEUR

Dans tous les cas, l'équipement du plongeur avec scaphandre doit disposer d'un moyen de contrôler la pression (**manomètre** ou ordinateur à gestion d'air),

En outre, en milieu naturel :

- un **Système Gonflable de Sécurité** (SGS, ou gilet) au moyen de gaz comprimé lui permettant de regagner la surface et de s'y maintenir,

En milieu naturel, encadré au-delà de 20m ou en autonomie, chaque plongeur doit disposer :

- d'un équipement de plongée permettant d'alimenter en gaz respirable un équipier sans partage d'embout. Disposer d'un **octopus** (deuxième détendeur connecté au même premier étage que le détendeur principal) permet de remplir cette obligation
- des équipements permettant de contrôler les caractéristiques personnelles de sa plongée et de sa remontée. Un *profondimètre + tables + Chronomètre*, ou bien un **ordinateur de plongée**, permettent de remplir cette obligation.

En milieu naturel, **chaque palanquée** dispose d'un **parachute de palier**. (Disposition introduite dans l'arrêté du 5 janvier 2012).



III. COMMUNICATION

III.1. AUDITION

Le son se propage dans l'eau 5 fois plus vite que dans l'air, et beaucoup plus loin.

En conséquence, il est impossible sous l'eau de deviner la distance et la direction d'origine d'un son.

En plongée, plusieurs moyens de communiquer par le son :

- Couteau sur bouteille
- Avertisseurs sonores à billes d'acier
- Pétard de rappel !
- Le moteur du bateau
- Les coups sur l'échelle métallique
-

III.2. VISION

Dans l'eau, la visibilité est bien plus réduite que dans l'air. Elle dépend du lieu et des conditions. 30 m c'est très bien, mais en manche, parfois 5 m et moins.

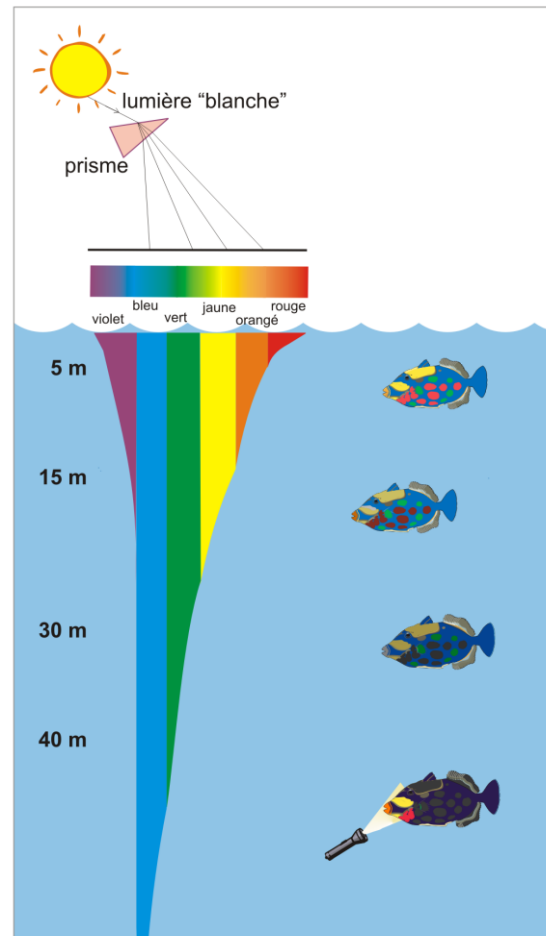
La lumière du soleil est progressivement absorbée par l'eau. D'où utilisation des phares de plongée.

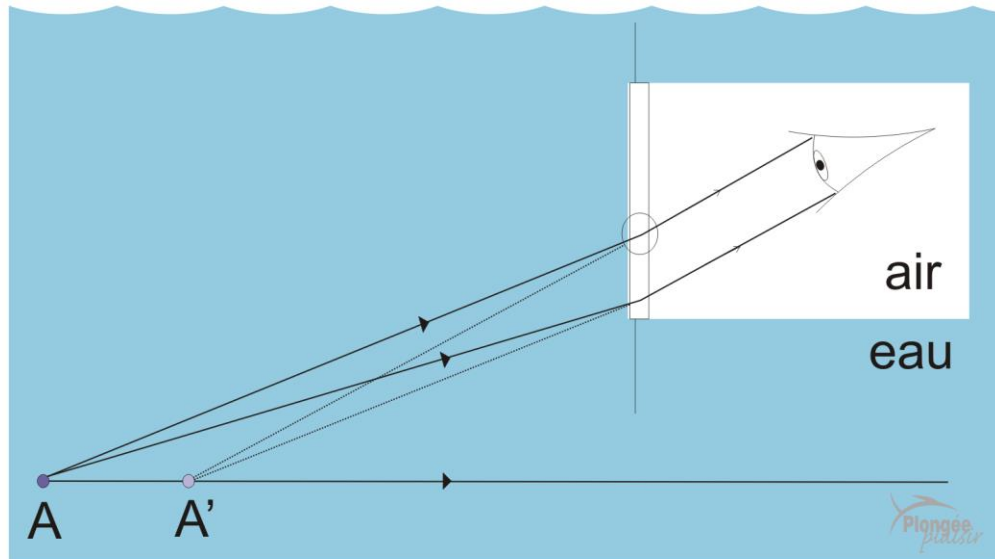
La perception des tailles et distances des objets est également affectée :

- Taille objets :
- Grossissement $1/3$ plus gros ($1+1/3=4/3$)
- Rapprochement $1/4$ moins loin ($1-1/4=3/4$) (ex. : photographie)
- Champ visuel rétréci par jupe masque

Comment communiquer :

- Ardoise
- Signes : seront appris en pratique





Perception des tailles et distances sous l'eau : l'objet observé semble plus proche (3/4) et plus grand (4/3)

III.3. COMMUNICATION AVEC LA SURFACE

- Parachute
- bruit sur surface métallique ou bruit du moteur etc...
- Signaux sur le bout :

	DE LA SURFACE	DU FOND
UN COUP	Est-ce que ça va ?	Tout va bien = OK
DEUX COUPS	Reste où tu es	Je suis stationnaire
TROIS COUPS	Descends	Je descends
QUATRE COUPS	Remonte	Je remonte
COUPS REPETES	Urgence, je te remonte en surface	Urgence, je remonte en surface

IV. ASSISTANCE

Le sujet sera largement développé dans l'eau, mais quelques principes.

Quand :

- Sur un signe
- Sur observation d'un comportement inadapté

Comment :

- Prise ferme
- Evaluation des paramètres
- Remontée en utilisant au maximum le gilet
 - o Respect de la vitesse de remontée et des paliers...

Eviter le sur-accident !

- Sur le plongeur en difficulté
 - o Ne pas lui arracher son masque
 - o Ne pas lui arracher son détendeur



- Etc....
- Sur les membres de la palanquée dont vous-même
 - Problème difficile et un choix parfois...

V. CONSOMMATION ET AUTONOMIE

V.1. LA PRESSION

Définition physique

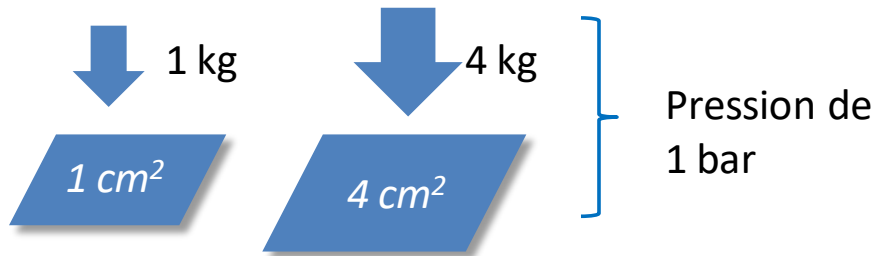
Une pression est l'action perpendiculaire d'une force sur une surface.

Formule :

$p = F / S$	p : pression (en bar) F : force (en kg) (en fait en kgN) S : surface (en cm ²)
-------------	--

Unité : en plongée, on utilise le **bar pour les pressions**.

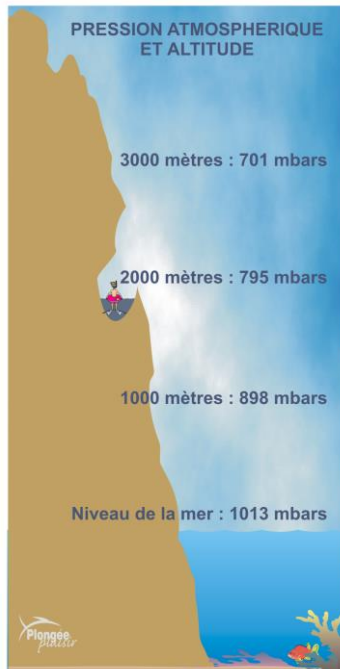
1 bar correspond à la pression exercée par le poids d'une masse d'**1 kg** sur une surface de **1 cm²**.



La pression d'un fluide, c'est-à-dire un gaz ou un liquide, est la pression exercée par ce fluide sur tout corps en contact avec ce fluide (ex : la pression exercée par l'eau sur un plongeur).



La pression Atmosphérique



C'est la pression exercée par l'atmosphère, c'est-à-dire la pression engendrée par le poids de la colonne d'air au-dessus du point de mesure.

Au bord de la mer, la pression atmosphérique vaut en environ 1 bar (*valeur prise pour tous les calculs*).

(Au niveau de la mer, la pression moyenne est de 1013 mbar, unité utilisé en météorologie, soit 1,013 bar)

En altitude, il y a moins de hauteur d'atmosphère au-dessus de nous, la pression atmosphérique est donc moindre : elle diminue environ de 0,1 bar tous les 1000 m environ.

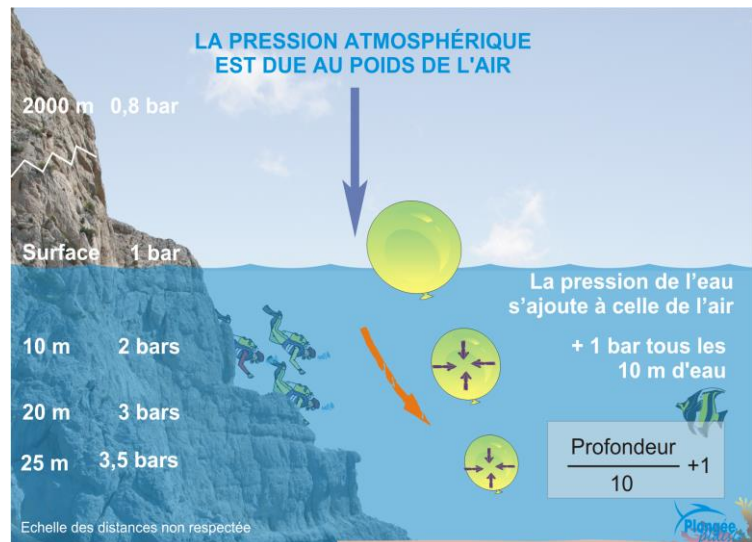
Cf schéma ci-contre.

La pression Hydrostatique et la pression totale

C'est la pression exercée en immersion par le poids de la colonne d'eau au-dessus de nous. Elle va donc dépendre de la hauteur de cette colonne d'eau, c'est-à-dire de la profondeur.

A retenir : La pression hydrostatique augmente de 1 bar tous les 10 m.

La *pression totale* correspond à la pression exercée par l'eau en immersion sur le plongeur (et tout autre corps immergé : matériel, etc.). Elle est différente de la *pression hydrostatique*, car il faut aussi compter la pression exercée à la surface de l'eau par l'atmosphère.



La pression totale est donc la somme de la *pression atmosphérique* et de la *pression hydrostatique*.

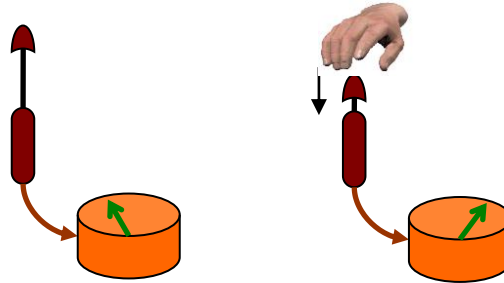
$$p_{\text{totale}} = p_{\text{atmo}} + p_{\text{hydro}}$$



V.2. CONSOMMATION D'AIR

Loi de Mariotte (ou loi de Boyle-Mariotte)

Contrairement à l'eau, les gaz sont compressibles. Cela signifie que lorsque leur pression augmente, leur volume diminue (et réciproquement !).



Une mise en évidence simple consiste à prendre une pompe à vélo, en boucher la sortie avec le pouce, et comprimer la pompe.

En faisant cela, on comprime le piston, ce qui va diminuer le volume d'air, et on constate que l'air « appuie » de plus en plus fort sur le pouce : c'est la pression de l'air qui augmente

La **loi de Mariotte** va nous donner la relation suivante entre volume et pression, pour une même quantité de gaz, et à température constante :

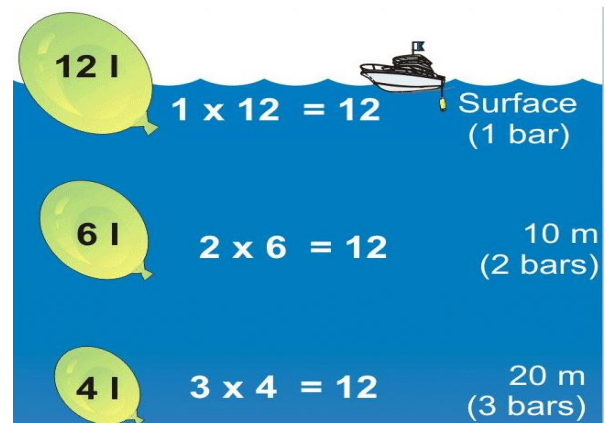
$$p \times V = \text{constante}$$

p : pression du gaz (en bar)

V : volume du gaz (en L)

C'est-à-dire que le produit du volume et de la pression d'une même quantité de gaz à une profondeur donnée aura la même valeur que le produit des volume et pression de ce même gaz à une autre profondeur : $p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$.

Si ce gaz est contenu dans une enveloppe qui se déforme avec la pression : un ballon, une stab, un poumon, etc. (mais pas une bouteille de plongée !), alors le gaz (à l'intérieur) et l'eau (à l'extérieur) vont exercer chacun une pression qui vont contribuer à déformer l'enveloppe de telle sorte que les deux pressions s'équilibrent. La pression du gaz sera alors la même que la pression de l'eau, c'est à dire la pression totale : 1 bar + 1 bar tous les 10 m de profondeur.



Une même quantité d'air, quand on la remonte, va se dilater, c'est pourquoi **il ne faut jamais retenir sa respiration en plongée** : l'air bloqué dans les poumons à 20 m (par exemple) va prendre 3 fois plus de



AUTONOMIE – N2 / N3

place en surface, ce à quoi les poumons ne résisteront pas. C'est la surpression pulmonaire, que vous verrez dans le chapitre sur la prévention des accidents.

En conséquence : **Ne jamais retenir sa respiration en plongée**
Ne jamais donner d'air à un apnéiste au fond

Exercice :

On remplit un ballon avec 2L d'air en surface, et on l'emmène en plongée.

Quel volume aura notre ballon à 15 m ? Et à 40 m ?

*Réponses : en surface, $p = 1 \text{ bar}$, $V = 2L$, donc $p \times V = 2$;
à 15 m, $p = 2,5 \text{ bar}$ donc $V = 0,8 L$ ($p \times V = 2$) ;
de même à 40 m, $p = 5 \text{ bar}$ donc $V = 0,4 L$*

A noter : c'est près de la surface, dans la zone des 10 m, qu'auront lieu les plus grandes variations de pression et donc de volume.

A 10m, $p = 2 \text{ bar}$: elle a doublé par rapport à la surface, et les volumes d'air ont été divisés par 2.

A 20m, $p = 3 \text{ bar}$: par rapport à 10m, la pression n'a augmenté que de moitié.

A 30m, $p = 4 \text{ bar}$: par rapport à 20m, la pression n'a augmenté que d'un tiers ... et il a fallu 20 m pour doubler la pression (entre 10 et 30), alors qu'il n'a fallu que 10 m entre la surface et 10m pour la doubler initialement.

Conclusion : faire particulièrement attention aux variations de volume dans la zone des 10m.

Consommation & autonomie

Nous avons écrit plus haut que $p \times V = \text{constante}$.

Or lorsque l'on plonge, on ne descend pas en apnée : on va inspirer l'air en étant au fond, en remplissant nos poumons avec le même volume qu'en surface. Sauf que ce volume sera à la pression ambiante au fond, d'autant plus élevée que la profondeur est importante.

Donc la consommation d'air va augmenter en fonction de la profondeur.

La bouteille de plongée, par contre, est indéformable : son volume ne varie jamais en fonction de la profondeur, et l'air qui y est stocké ne subit pas la pression extérieure.

Pour évaluer une quantité d'air, il suffit d'utiliser la loi de Mariotte pour l'exprimer en « Litre équivalent surface » (notons-le L_{es}), c'est-à-dire à exprimer une quantité d'air par le volume que cet air occuperait à la surface, à une pression d'1 bar.

Ex : A 20 m, un plongeur a ses poumons rempli par 4 L d'air. La pression valant 3 bars, on a $p_{20m} \times V_{20m} = 3 \times 4 = 12$. A la surface, cette même quantité aurait le même produit : $p_{surf} \times V_{surf} = 12$, or la pression à la surface étant la pression atmosphérique (1 bar), on $V_{surf} = 12 L$.

Notre plongeur a donc dans ses poumons un volume de 12 « Litres équivalent surface ».

Calcul d'autonomie :

L'autonomie d'un plongeur dépend directement de la quantité d'air qu'il a à disposition dans sa bouteille, et de sa consommation. Calculer son autonomie revient à anticiper la consommation au fur et à mesure de la plongée, et donc à la planifier : combien de temps allons-nous passer à quelle profondeur, compte tenu



AUTONOMIE – N2 / N3

de l'air que nous avons dans nos bouteilles ?

Environ 30 % des accidents sont dus à une panne d'air. Même en enlevant les causes matérielles, le pourcentage d'accidents dus à une mauvaise gestion de l'air est élevé, c'est donc une chose à laquelle il convient de porter une attention particulière.

Pour cela, il faut estimer sa consommation, et calculer la quantité d'air que l'on va respirer, en fonction du temps, et de la profondeur.

La consommation moyenne d'un plongeur est d'environ 15 L / min. Cela dépend de beaucoup de paramètres, c'est pourquoi il est difficile a priori de connaître cette donnée.

Cela vient avec l'expérience, en observant les quantités consommées lors de ses plongées, en fonction du matériel, etc. (d'où l'importance du carnet de plongée).

Pour calculer l'autonomie, il y a deux méthodes : ramener tous les volumes considérés à la pression de surface (cf. point précédent) ou à la pression d'évolution du plongeur.

Exemple : Christian est un plongeur consommant 15 L / min, qui part avec un bloc de 12 L gonflé à 200 bar. En ne tenant pas compte de la descente, combien de temps pourra-t-il évoluer à 20 m avant d'arriver sur réserve ?

Méthode 1 : Volume équivalent en surface

Une bouteille de 12 L gonflée à 200 bar contient $12 \times 200 = 2400$ L équivalent surface.

La même, sur réserve (50 bar), ne contiendra plus que $12 \times 50 = 600$ L équivalent surface.

Christian pourra donc consommer $2400 - 600 = 1800$ Les avant d'arriver sur réserve.

A 20m, la pression vaut 3 bar.

Sa consommation vaut 15 L / min, or 15 L à cette profondeur correspondent à $15 \times 3 = 45$ L en surface, donc il consommera 45 Les équivalent surface par min.

Avec cette consommation, il consommera donc ses 1800 Les en $1800 / 45 = \mathbf{40 \text{ min}}$.

Méthode 2 : Pression ambiante

Une bouteille de 12 L gonflée à 200 bar contient une quantité d'air qui, détendue à 3 bar (pression régnant à 20m), aura un volume de $12 \times 200 / 3 = 800$ L.

Sur réserve, l'air de la bouteille est à une pression de 50 bar, soit $12 \times 50 / 3 = 200$ L.

Christian pourra donc respirer 600 L à 20 m avant d'arriver sur réserve.

Compte tenu de sa consommation, il pourra tenir $600 / 15 = \mathbf{40 \text{ min}}$

Facteurs influençant l'autonomie :

Comme on vient de le voir, l'autonomie va diminuer à l'inverse de l'augmentation de la pression, qui est directement liée à la profondeur. Plonger moins profond, c'est plonger plus longtemps !

Il y a aussi les facteurs physiologiques / environnementaux, qui augmentent la consommation, tels que :

- le froid
- le stress / l'anxiété
- le manque d'entraînement / la forme physique
- le métabolisme, qui dépend de chacun



- le tabac / l'alcool
- l'effort : tout effort implique le travail d'un muscle, qui aura besoin d'oxygène pour cela, et impactera donc directement la consommation
- la qualité et l'adaptation de l'équipement
- un mauvais lestage (conduisant à faire des efforts)

Enfin, le cas le plus dangereux : **l'essoufflement**. Au fond de l'eau, la pression décuple les effets négatifs de l'essoufflement. Cela sera vu plus en détail dans le chapitre de prévention des accidents, quoi qu'il en soit cela peut multiplier jusqu'à 10 fois la consommation et vider rapidement une bouteille !

VI. LESTAGE ET FLOTTABILITE

VI.1. LA POUSSEE D'ARCHIMEDE

Archimède était un « savant » de l'antiquité grecque, qui découvrit, entre autres, la notion de densité et étudia l'hydrostatique. On lui doit la mise en évidence de la *poussée d'Archimède* la force, découlant des jeux de pression, qui pousse un corps immergé vers la surface.

Quand on est en piscine ou mer, on se sent plus léger, on peut même faire la planche au lieu de tomber au fond : c'est grâce à la poussée d'Archimède.

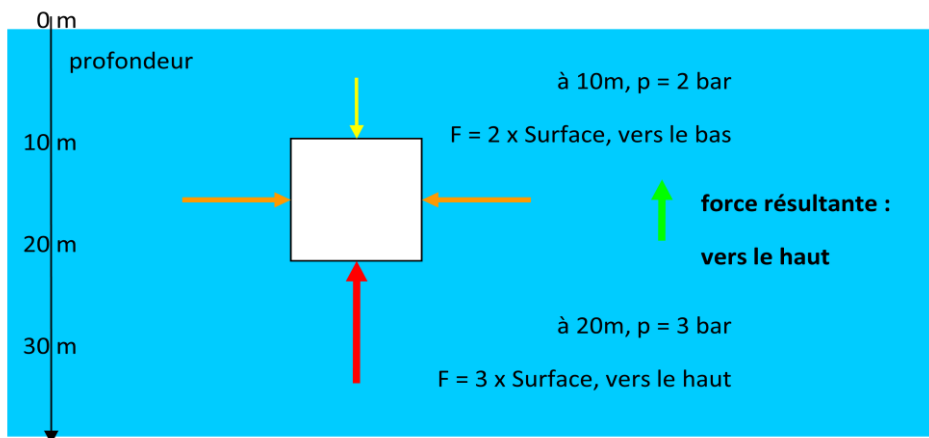
Enoncé :

Tout corps plongé dans un fluide reçoit une poussée verticale, dirigée du bas vers le haut, et égale au poids du volume de fluide déplacé.

Pourquoi ?

Rappelons-nous de la définition de la pression : une force appliquée par unité de surface. Réciproquement, un fluide exerçant une pression sur une surface exerce une force sur cette surface.

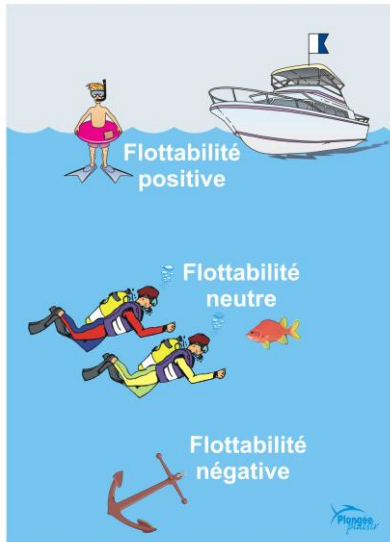
La pression augmentant avec la profondeur, la pression en bas d'un corps immergé sera plus élevée que la pression en haut de ce même corps, donc la force due à la pression exercée en bas du corps sera plus forte que celle exercée en haut. Donc au global, c'est la pression du bas « qui l'emporte », et fournit une poussée vers le haut.





Pour ce qui est de la valeur de cette poussée, elle est égale au poids de l'eau déplacée par le corps (quand le corps est complètement immergé, c'est le volume du corps), mais orientée vers haut.

Flottabilité



La flottabilité est liée directement au poids de l'objet et à la poussée d'Archimède engendrée par son volume :

- Si le poids du corps est inférieur au poids de son volume en eau, alors la poussée d'Archimède est supérieure au poids, et l'objet flotte. On parle de **flottabilité positive**.
- Si le poids du corps est égal au poids de son volume en eau, alors la poussée d'Archimède est égale au poids, et l'objet est en équilibre entre deux eaux. On parle de **flottabilité nulle ou neutre**.
- Si le poids du corps est supérieur au poids de son volume en eau, alors la poussée d'Archimède est inférieure au poids, et l'objet coule. On parle de **flottabilité négative**.

Poids apparent

Pour calculer si une flottabilité est positive, neutre ou négative, on peut calculer le poids que semble avoir le corps considéré un fois plongé dans le fluide. On parle de **poids apparent**.

Il s'agit du poids du corps, auquel on soustrait la poussée d'Archimède (c'est-à-dire, comme nous l'avons vu, le poids qu'aurait le même volume d'eau) :

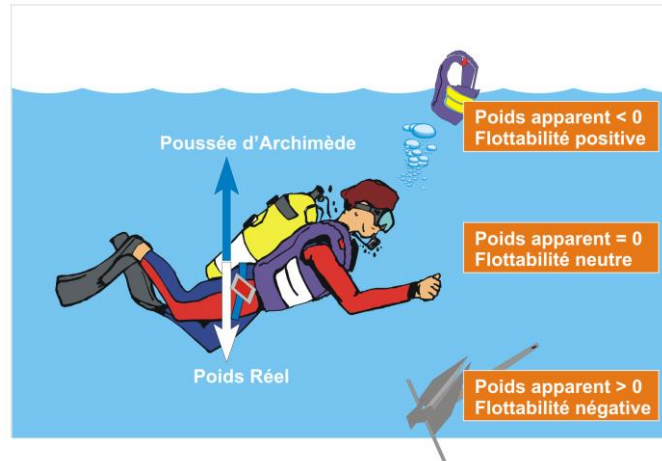
$$\text{Poids apparent (kg)} = \text{Poids réel (kg)} - \text{Poussée d'Archimède (kg)}$$

Pour les calculs, on estimera le poids de l'eau à 1 kg par L, dans l'eau douce ou (en négligeant la salinité de l'eau), on pourra donc calculer le poids apparent d'un corps immergé dans l'eau en faisant le calcul suivant :

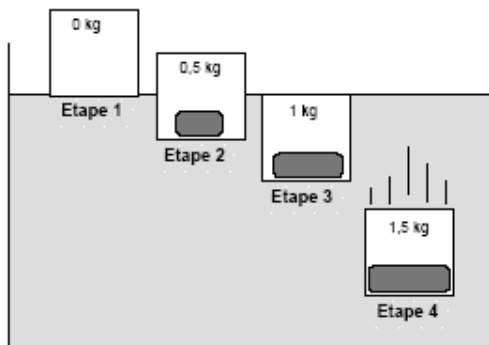
$$\text{Poids apparent (kg)} = \text{Poids du corps (kg)} - \text{Volume du corps (en litre)}$$



La flottabilité correspond ainsi simplement à l'opposé du signe du poids apparent.



Exemple :



Etape 1 : La boîte a un poids négligeable, pour un volume d'1L.
 $P_{\text{apparent}} = 0 - 1 = -1$ si immergée => flottabilité positive : la boîte remonte en surface

Etape 2 : La boîte a un lest de 0,5 kg, pour un volume d'1L.
 $P_{\text{apparent}} = 0,5 - 1 = -0,5$ si immergée : flottabilité positive : la boîte remonte

Etape 3 : La boîte a un lest d'1 kg, pour un volume d'1L.
 $P_{\text{apparent}} = 1 - 1 = 0$: flottabilité nulle : la boîte est en équilibre, même immergée.

Etape 4 : La boîte a un lest de 1,5 kg, pour un volume d'1L.
 $P_{\text{apparent}} = 1,5 - 1 = 0,5$: flottabilité négative : la boîte coule.

Exercices

1) Un plongeur tout équipé pèse 80 kg pour un volume de 82 L. Quel est son poids apparent tout immergé et sa flottabilité ?

*Réponse : $P_{\text{apparent}} = 80 - 82 \times 1 = -2$ kg
Sa flottabilité est positive, il tend à flotter*

2) Le même plongeur prend avec lui un phare de plongée de 3 kg pour un volume de 0,5 L, qu'il accroche à sa stab avec un câble. Quel est le nouveau poids apparent et la nouvelle flottabilité ?

*Réponse : $P_{\text{apparent}} = (80 + 3) - (82 + 0,5) \times 1 = 0,5$ kg
Sa flottabilité est négative, il tend à couler*



VI.2. LE LESTAGE

En plongée, il va falloir faire avec une flottabilité qui dépend de sa corpulence, mais aussi du matériel équipé. Si l'on est trop léger, la flottabilité sera positive, et il sera difficile voire impossible de rester au fond.

Pour pouvoir évoluer sous l'eau, il va donc falloir parfois se lester.

Le but n'est pas de couler comme une pierre et de compenser à la stab à la palme, car cela va engendrer effort, consommation, inconfort, ... voire à la clé essoufflement et panne d'air.

Un des syndromes d'un sur-lestage est la nage en « hippocampe » : la stab gonflée tend à faire flotter, et la ceinture à faire couler. Si la différence est trop importante, cela déséquilibre le plongeur, qui doit faire un effort pour se maintenir horizontal.

Le but du lestage est de rester neutre au palier. Il faut donc calculer son lestage de façon à ce que le poids apparent, à 3m de profondeur, avec une pression de 50 bar dans la bouteille, soit nul.

Facteurs intervenant sur la flottabilité

La **salinité de l'eau**, qui fait varier la poussée d'Archimède : on ne se leste pas pareil en mer morte qu'en lac. Il faudra ainsi se lester de 1 à 2 kg supplémentaires en mer.

La **combinaison** : plus c'est épais, plus il y a de volume, mais peu de poids. Une combinaison épaisse apporte donc une plus forte flottabilité. On se lestera donc plus avec une combinaison 2 pièces de 7 mm d'épaisseur, qu'avec une mono-pièce de 2,5 mm. Il faudra ainsi se lester environ de 2 kg supplémentaires avec un combinaison intégrale de 7 mm par rapport à un plongée en shorty.

Le **bloc** : pour résister à la pression de l'air, à volume contenu égal, la paroi d'un bloc doit être plus épaisse pour un bloc court qu'un bloc long : plus de métal, donc plus de poids.

De plus, différents matériaux sont utilisés : acier, aluminium, etc.

Renseignez-vous notamment avant de partir en voyage : en France, on rencontre surtout des blocs en acier, mais ailleurs (Egypte par exemple), les blocs en aluminium, beaucoup plus légers, sont répandus. Il peut y avoir 2 à 3 kg d'écart.

La **profondeur** : n'oubliez pas que les volumes compressibles seront comprimés avec la profondeur. Cela vaut pour les gaz (stab gonflée par exemple), mais aussi pour votre combinaison (le néoprène est plein de bulles d'air et se comprime avec la pression).

L'ajout / perte d'équipement : Vous avez trouvé un phare au fond ! C'est bien, mais pensez que votre lestage s'en trouvera modifié. Quant à ramasser une ceinture de lest, mieux vaut éviter, à moins de disposer d'un parachute de levage et de savoir s'en servir.

A l'inverse, si vous perdez une pièce d'équipement, vous serez plus léger (attention à ce que cela soit contrôlable, en particulier faites attention à ne pas perdre vos lests).

Cela vaut pour le parachute : une fois sorti et déployé, il faut compter 300 à 500g de moins, ce qui peut faire la différence si vous êtes un peu juste.



L'air : A 1 bar, ça pèse environ 1,2 g par litre. Mais quand on en comprime une bouteille de 12 à 15 L à



AUTONOMIE – N2 / N3

200 bar, le poids de l'air est moins négligeable.

Exemple :

- pour un bloc de 12 L gonflé à 180 bar, l'air contenu a une masse de $1,2 \times 12 \times 180 = 2592 \text{ g} = 2,592 \text{ kg}$; sur réserve (50 bar), il n'y a plus que $50 \times 12 = 600 \text{ Les}$, soit 720 g.
- pour un bloc de 15 L gonflé à 200 bar, l'air contenu a une masse de $1,2 \times 15 \times 200 = 3600 \text{ g} = 3,6 \text{ kg}$; sur réserve, il n'y a plus que $50 \times 15 = 750 \text{ Les}$, soit 900g.
- Entre le début de la plongée et l'arrivée sur réserve, il a donc une variation de 2 à 3 kg, qu'il faut prendre en compte : si l'on est juste assez lesté pour être neutre en début de plongée, on aura un problème pour tenir un palier à 3m en fin de plongée, avec 2 à 3 kg de moins !

Calcul du lestage

On peut procéder par étape. En effet, il suffit :

- De calculer d'abord son poids apparent juste en combinaison (en se lestant progressivement par exemple, ou en utilisant un abaque chez son revendeur de matériel de plongée). L'expérience aide, bien entendu, ne pas hésiter à demander l'avis d'un plongeur chevronné ;
- Puis d'ajouter le poids apparent de chaque pièce d'équipement : bloc, stab, phare, appareil photo, etc. Souvent, pour les accessoires, les poids et volumes sont marqués sur la notice ;
- En fonction du bloc, soustraire le poids de l'air que l'on va consommer jusqu'à réserve ;
- Une fois le poids apparent obtenu (qui devrait être le votre à 3m, stab vide, et bloc sur réserve), compléter avec du lest pour atteindre un poids apparent nul.

Si votre poids apparent est positif (donc flottabilité négative), on n'ajoute rien !

Un peu compliqué...

Pour vérifier si votre lestage n'est pas trop mal estimé, deux méthodes :

- Avant la plongée : une fois dans l'eau, tout équipé et prêt à descendre, videz doucement votre stab et vos poumons. Une fois vides, l'eau doit arriver en haut de votre masque.
 - o Si vous dépassez largement, vous êtes trop léger : ajoutez du lest sous peine de ne pas tenir le palier et de risquer de crever la surface ;
 - o Si vous coulez, vous êtes trop lesté
- En fin de plongée : au palier, videz complètement la stab, et expirez à moitié. Si vous êtes bien lesté, vous devriez tenir à peu près en équilibre. Si vous coulez, vous êtes trop lesté (et si vous vous battez pour ne pas crever la surface, vous ne l'êtes pas assez !)

Un fois ce lestage réglé, notez (par ex sur votre carnet de plongée) les différents lestages dont vous avez besoin en fonction des conditions (quelle combi ? quel type de bloc acier/alu 12/15l, long/court, ...). Lors du séjour suivant, estimez votre lestage en fonction de cet historique de lestage qui vous convient.



VII. EN CONCLUSION

Le niveau 2 est l'entrée dans l'autonomie. Il doit connaître et respecter des règles précises pour profiter en toute sécurité de l'autonomie qui lui est donnée jusqu'à 20m.

Le niveau 3 dispose de l'autonomie complète. L'accès aux grandes profondeurs (jusqu'à 60m), ainsi que la possibilité de plonger sans Directeur de plongée, accroissent significativement les risques de la plongée (gestion de l'air, essoufflement, accident de décompression, organisation des secours en l'absence de DP...), ce qui lui confère une responsabilité importante.

Les prérogatives d'autonomie devront donc être abordées en conscience de ces risques, de manière progressive après obtention des aptitudes ou des brevets.

Pour que la plongée demeure en toutes circonstances un plaisir.