

Physique appliquée à la plongée

Un plongeur subit au cours de ses évolutions d'importantes variations de pression.

Ces variations ont des conséquences :

- sur son organisme (barotraumatismes, ADD, accidents toxiques, ...)

- sur sa flottabilité

- sur son autonomie .

On peut ajouter qu'au cours de sa plongée:

- sa vision sera modifiée : quantité de lumière disponible, couleurs et tailles des objets, champ de vision

- son audition sera aussi modifiée : propagation des sons différente dans l'eau

Ajoutons enfin qu'il se refroidira plus vite (du fait de la conductivité thermique de l'eau (environ 23 fois celle de l'air))

Être autonome nécessite une bonne connaissance des lois qui régissent la plongée

Compétence n° 7: CONNAISSANCES THEORIQUES



Connaissances, savoir-faire et savoir-être	Commentaires et limites	Critères de réalisation
Causes, symptômes, prévention et conduite à tenir pour l'ensemble des accidents pouvant survenir dans le cadre de l'autonomie ou de l'espace lointain. Physiologie de base.	Le Niveau 2 n'a pas à connaître les mécanismes fins ni les traitements qui suivront. Une information sur les actes de secourisme peut lui permettre d'aider ou du moins de ne pas gêner l'intervention.	Evaluation par oral ou par écrit
Réglementation concernant la protection du milieu, le matériel, les prérogatives et les responsabilités du Niveau 2.	On restera dans ce qui concerne le Niveau 2.	Evaluation par oral ou par écrit.
Utilisation des tables fédérales actualisées pour les conditions correspondantes à la pratique: plongées simples, consécutives, successives, procédures de remontées anormales, rapides, lentes. Ordinateurs de plongée.	Les problèmes doivent rester simples et réalistes. Une information sur la plongée Nitrox peut être donnée (sans réalisation de problèmes). La plongée en altitude est exclue (sauf information dans le cas de clubs pratiquant dans cette configuration). Il s'agit de préciser les conditions d'emploi et les limites d'utilisation.	Evaluation par écrit. Exactitude du raisonnement et du résultat. La rapidité est un critère secondaire.
Notions physiques simples permettant de comprendre les effets du milieu, les principes de fonctionnement du matériel, l'autonomie en air, la flottabilité.	Rester à des problèmes de physique correspondant à une pratique de niveau 2	Evaluation par écrit.
Matériel. Critères de choix dans l'équipement personnel.	Pas de mémorisation des schémas. Le niveau II doit pouvoir commenter des schémas de principe simples.	Evaluation par oral ou par écrit; analyse et déduction à partir de cas simples.

Compétence 8 : CONNAISSANCES EN APPUI DES COMPETENCES

Savoirs	Critères de réalisation	Techniques/Commentaires/Limites
Rôles, montage, vérifications, entretien courant, règles d'hygiène et réglementation éventuelle de l'équipement individuel du plongeur.	S'équipe et monte son matériel sans erreur. Règle correctement le matériel, teste son fonctionnement (détendeurs, gilet). Identifie les dysfonctionnements et le matériel hors d'état et le signale. Sait décontaminer un détendeur.	L'approche doit rester pragmatique et orientée « utilisateur ».
Réglementation relative à l'activité.	Cite les différents éléments mentionnés dans la colonne suivante sans erreur et de manière exhaustive.	Prérogatives liées à la certification N2. Documents nécessaires à la pratique de la plongée. Rôle et intérêt du carnet et passeport de plongée. Le cadre fédéral.
Notions physiques simples permettant de comprendre les effets du milieu, les principes de fonctionnement du matériel, de calculer une autonomie en air ou une flottabilité.	Utilise ces notions lors de la mise en œuvre des connaissances ci-dessus.	Rester à des notions de physique utiles et correspondant à la réalité de la pratique.
Causes, symptômes, prévention et conduite à tenir pour l'ensemble incidents, accidents et risques pouvant survenir dans le cadre de l'autonomie.	Utilise ces connaissances en pratique de façon pertinente. Cite ces différents éléments sans erreur et de manière exhaustive.	Le plongeur N2 n'a pas à connaître les mécanismes fins ni les traitements qui suivront. Une information sur les actes de secourisme peut lui permettre d'aider ou du moins de ne pas gêner l'intervention.

Compétence 8 : CONNAISSANCES EN APPUI DES COMPETENCES (suite)

Savoirs	Critères de réalisation	Techniques/Commentaires/Limites
<p>Outils et procédures de décompression, autonomie et planification d'une plongée.</p>	<p>Sait utiliser une table de plongée pour les conditions correspondant à la pratique : plongées simples, consécutives, successives, procédures de remontées anormales (lente, rapide, paliers interrompus).</p> <p>Cite les principales caractéristiques des différents outils (tables, ordinateur), les principes d'utilisation et de mise en œuvre en pratique.</p> <p>Calcule une consommation suivant la profondeur, calcule une quantité d'air disponible et l'autonomie résultante.</p> <p>Détermine des paramètres de plongée préservant des marges en gaz respirable.</p>	<p>Les problèmes de plongée doivent être réalistes.</p> <p>L'exactitude du raisonnement et du résultat sont importants, la rapidité est un critère secondaire.</p> <p>Une information sur la plongée Nitrox et la plongée en altitude peut être donnée (sans réalisation de problèmes).</p>

Nota : les critères de réalisation de la compétence 8 sont rappelés pour mémoire. Ils sont à vérifier lors de la mise en œuvre des compétences pour lesquelles ces connaissances sont mobilisées.

La pression

Origine

Considérons un objet plongé dans un fluide. En permanence et de façon aléatoire les particules du fluide viennent heurter la paroi de l'objet. La fréquence de ces chocs et leur intensité détermine la pression exercée sur l'objet. L'intensité des chocs sur l'objet de la part des particules dépend de l'environnement de ces particules qui subissent donc l'influence indirecte de l'ensemble des particules situées au dessus d'elles.

Formule de définition

Si l'on considère une surface S de l'objet en question et que le liquide exerce (du fait des chocs de particules incessants) sur cette surface S une force de valeur F (perpendiculaire à la surface) alors la pression P est définie comme la force par unité de surface :

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

Unités : F est en N, S en m^2 et P en Pa (Pascal)

Unité pratique : le bar

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \text{ (100 000 Pa)}$$

Autre unité : le millimètre de mercure

$$101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$$

Pression atmosphérique ou pression de surface

Au niveau de la mer elle vaut 760 mm Hg soit 101325 Pa c'est-à-dire environ 1 bar

On retiendra :

$$P_{\text{surface}} = 1 \text{ bar}$$

Cette pression varie avec les conditions météo et l'altitude (diminution de 0,1 bar / 1000 m)

Pression hydrostatique ou pression relative

Elle est proportionnelle à la profondeur d'immersion et dépend de sa salinité :

On retiendra :

$$P_{\text{hydrostatique}} = \frac{\text{Profondeur(m)}}{10}$$

Elle varie donc d'un bar tous les 10 m

Pression absolue à une profondeur donnée

C'est la somme de la pression de surface et de la pression hydrostatique à la profondeur considérée

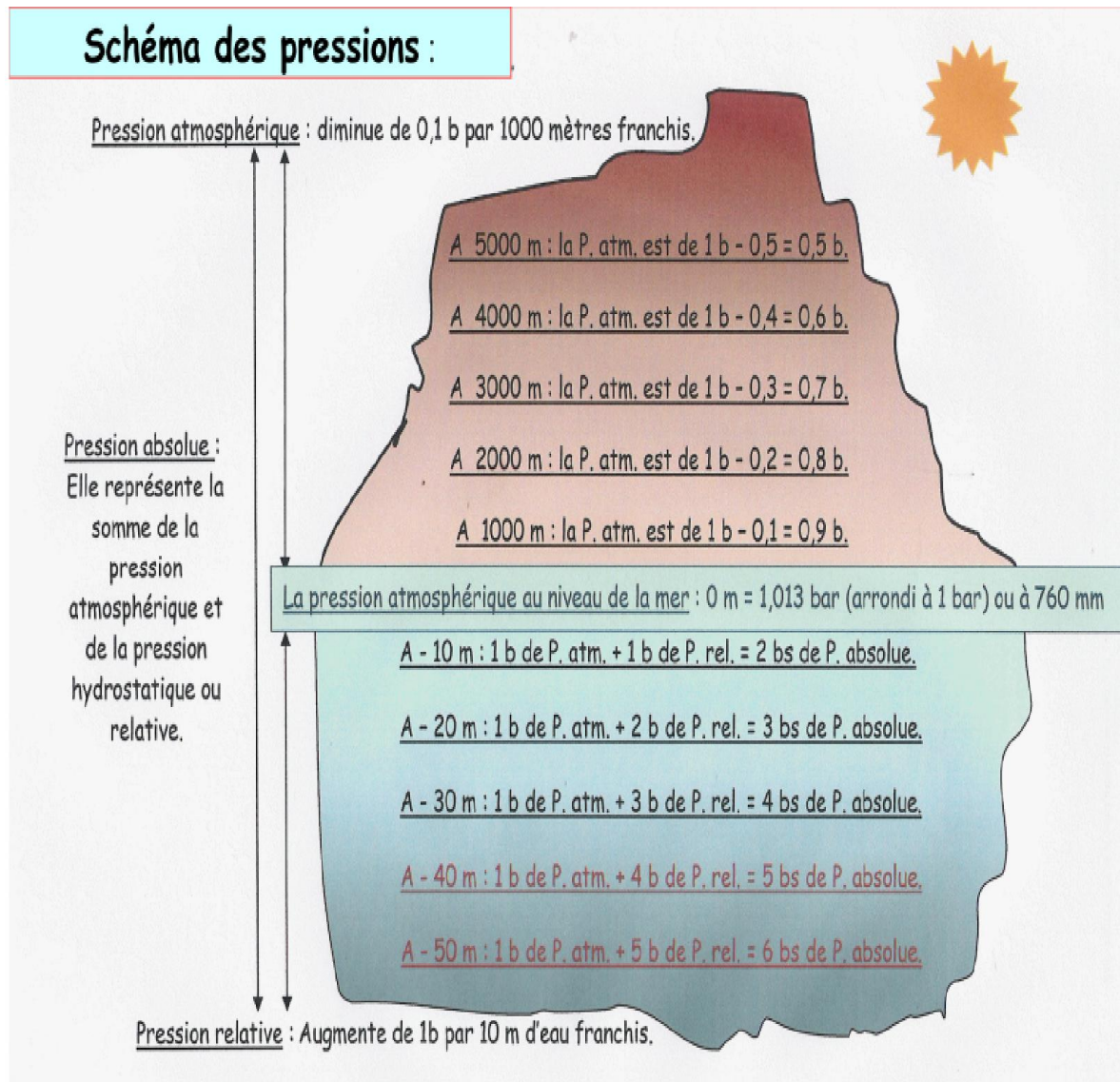
$$P_{\text{absolue}} = P_{\text{surface}} + P_{\text{hydrostatique}}$$

$$P_{\text{absolue}} = 1 + \frac{\text{Profondeur(m)}}{10}$$

Plus le plongeur descend plus la pression augmente et plus la plongée devient technique

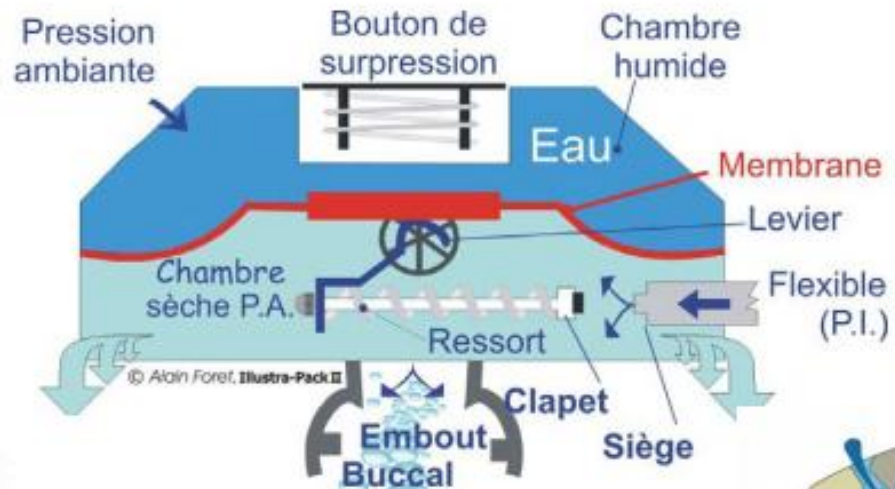
On peut dire que les plongées dans la zone 0 - 30 mètres font partie de la plongée loisir et que les plongées dépassant 30 mètres font partie des plongées sportives: elles restent réservées aux plongeurs expérimentés et qualifiés.

Remarquez que la pression est multipliée ou divisée par 2 entre 0 et 10 m : il importe d'être très vigilant dans cette zone



Quelques conséquences :

- Si on lâche le détendeur le bouton de purge vers le fond de la mer, la pression exercée dessus fait qu'il fuse.
- Un plongeur qui s'immerge en faisant le phoque, voit l'air de son gilet comprimé vers le haut. Il est donc obligé de purger cet air soit par la purge haute soit par son inflateur (pas par la purge basse !).
- Conception des détendeurs



Loi de Mariotte

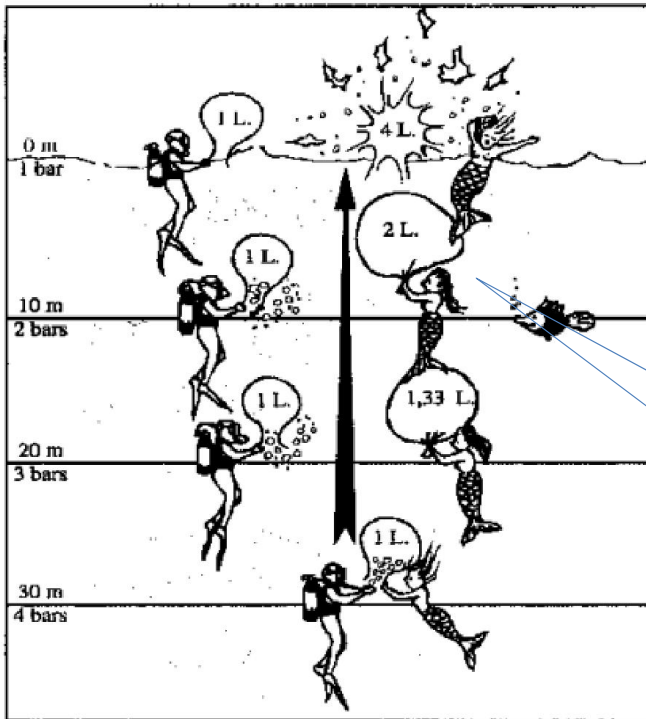
Pour une masse de gaz donnée (c'est-à-dire pour un « récipient fermé »), à température constante, le produit de la pression absolue par le volume est constant.

$$PV = \text{Constante}$$

Avec : P la pression du gaz , V son volume

On peut aussi écrire pour deux états différents (1) et (2) de la masse de gaz :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$



Application à la plongée

vous devez connaître cette loi notamment pour la prévention des accidents dus aux variations de pression (barotraumatismes) et des accidents de décompression (ADD), mais aussi pour l'utilisation des gilets gonflables ou pour le calcul du volume d'air disponible dans une bouteille.

Notez que le volume double entre 10 m et la surface !

Exemples d'applications :

1- Quelle est la quantité d'air, à la pression atmosphérique, contenue dans une bouteille de 12 L, gonflée à 200 bar ?

2- Quelle est l'autonomie qu'autorise une bouteille de 12 L, gonflée à 200 bar (dont on gardera 50 bar de réserve) lorsque l'on évolue à 10 m, à 20 m et à 30 m ? On considérera qu'un plongeur consomme 20 litres d'air par minute.

Réponses :

1- Soit V_2 le volume correspondant à cette quantité d'air à la pression atmosphérique, on applique :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ soit } 200 \times 12 = 1 \times V_2 \text{ donc } V_2 = 2400 \text{ L} = 2,4 \text{ m}^3 .$$

2- à 10 m le plongeur consomme par minute 20 L d'air à 2 bars, ce qui correspond à 40 L à 1 bar.

($P_1 V_1 = P_2 V_2 = 2 \times 20 = 1 \times 40$). La bouteille contenant l'équivalent de 1800 L à 1 bar (seulement 150 bar disponibles hors réserve), il peut y rester théoriquement (sans compter la descente ni la remontée)

$$1800/40 = 45 \text{ min.}$$

De même, à 20 m il pourra rester $1800/60 = 30$ min, et à 30m : $1800/80 = 22$ min et 30 s

On peut noter :

qu'en surface (pression = 1 bar), lors d'un effort modéré, la consommation d'air d'un plongeur est d'environ 15 à 20 litres par minute.

A 10 mètres de profondeur, l'air est deux fois plus dense. Donc lorsqu'un plongeur respire 1 litre d'air à cette profondeur, cela correspond à 2 litres d'air en surface.

Un plongeur ayant une autonomie d'air de 2 heures en surface verra cette autonomie être divisée :

- par 2 à 10 mètres → 1 heure,
- par 3 à 20 mètres → 40 minutes,
- par 4 à 30 mètres → 30 minutes,
- par 5 à 40 m → 24 minutes.

Un plongeur essoufflé consomme 80 à 100 L par minute c'est-à-dire 4 à 5 fois plus → Faites le calcul...

On peut aussi réfléchir à la situation suivante :

Un plongeur est à l'entraînement en piscine de 2 m de profondeur avec son bloc. Au fond il remplit ses poumons de 7 L d'air. Il bloque sa respiration et remonte en surface. Quel sera le volume de ses poumons en surface ? Quelle est la conséquence possible ? Qu'en serait-il si la profondeur de la piscine avait été de 5 m ?

Remarques :

D'autres paramètres influent sur la consommation d'air du plongeur, et donc sur son autonomie :

- Le niveau de stress, généré par exemple par des conditions de plongée difficiles (faible visibilité, courant, luminosité).
- Le froid.
- L'équipement : un lestage mal adapté, une combinaison ou un gilet stabilisateur trop serré.
- Le courant : il faut toujours partir à contre-courant, pour revenir dans le courant.
- L'entraînement physique : une bonne hygiène de vie, un entraînement régulier en mer ou en piscine.
- Un comportement "nerveux" : palmage inefficace ou rapide, mouvements de bras...
- Le facteur physiologique : chaque individu a une consommation "de base" qui lui est propre (différence entre homme et femme).

Il convient de calculer son autonomie en tenant compte de la marge de sécurité.

Tout plongeur doit amorcer sa remontée en ayant conservé 50 bars dans sa bouteille : c'est ce qu'on appelle communément la réserve.

Il convient donc de retirer de la pression initiale de la bouteille les 50 bars de la réserve.

Le volume d'air disponible en surface pour un bloc de 12 litres gonflé à 200 bars est alors de :

$$(200-50) \times 12 = 1800 \text{ litres d'air.}$$

La poussée d'Archimède

sous-titre : la flottabilité

Pourquoi le plongeur N2 doit-il s'intéresser à la poussée d'Archimède?

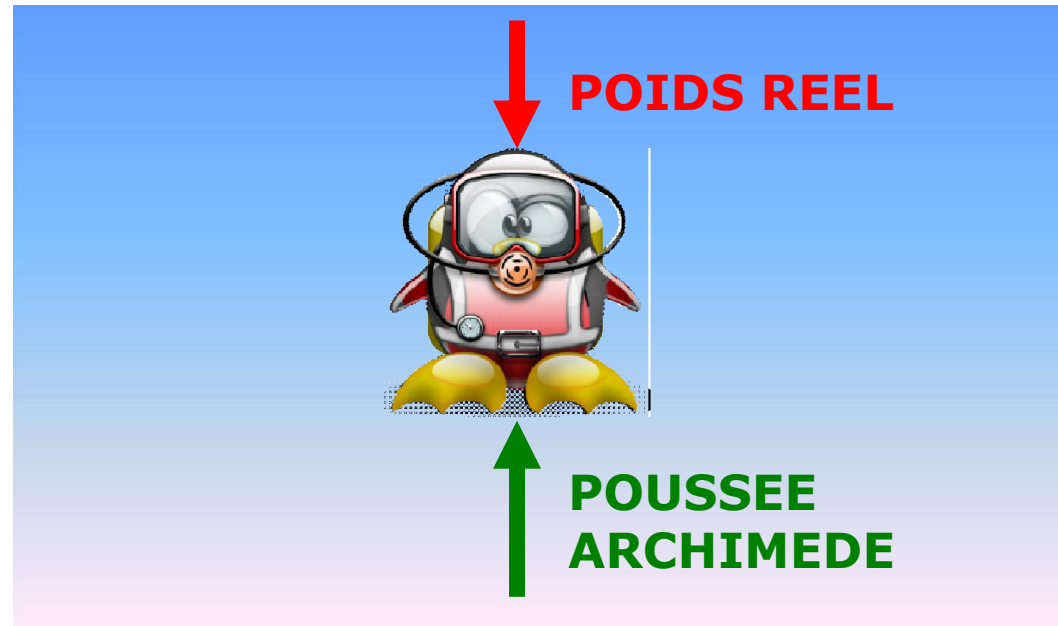
- *La pratique de l'autonomie impose de contrôler à tout instant dans la plongée sa flottabilité.*
- *Cela suppose de bien choisir et bien utiliser son équipement pour :*
 - *maîtriser son immersion*
 - *maîtriser sa stabilité*
 - *maîtriser sa remontée*

Lorsqu'un plongeur s'immerge, il est soumis à deux forces qui s'opposent :

- **le poids réel**, qui a tendance à le faire couler,
- la poussée de l'eau, aussi appelée **la poussée d'Archimède**.

Il en résulte qu'il se sent plus léger

Note : Ces deux forces ne dépendent pas de la profondeur d'immersion



Énoncé :

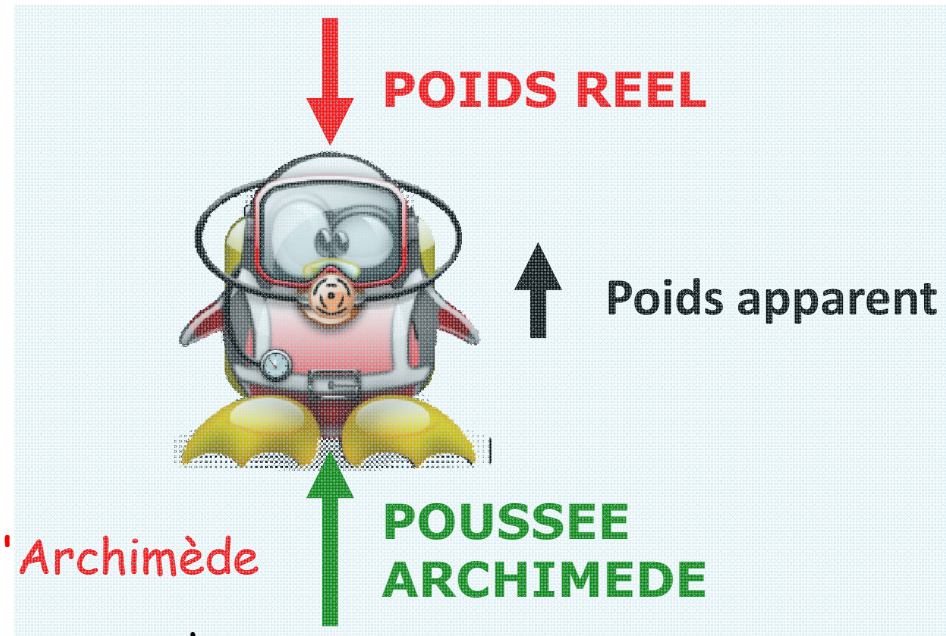
Tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale, dirigée de bas en haut et égale au poids du volume de fluide déplacé : la Poussée d'Archimède.

$$PA(\text{en N}) = 9800 \cdot \text{densité du fluide} \cdot \text{Volume déplacé}(\text{en m}^3)$$

On retiendra la formule :

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

La flottabilité est l'opposée du poids apparent



Considérons notre plongeur, différents facteurs pourront faire varier son poids apparent :

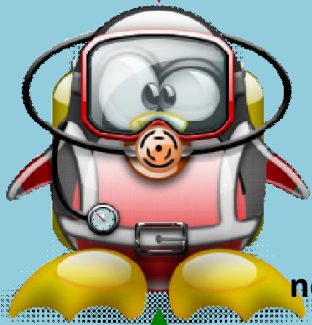
- Le lestage
- Le gilet stabilisateur
- Le poumon ballast
- Le poids de la bouteille (noter que le poids réel de la bouteille diminue au cours de la plongée par consommation d'air),
- La combinaison (noter que le volume de la combinaison diminue avec la profondeur).
- La densité de l'eau. L'eau de mer est plus « lourde » que l'eau douce, la poussée d'Archimède y est donc plus importante.
 - Ainsi 1 litre d'eau douce pèse 1 kg : densité égale à 1
 - Eau de l'océan Atlantique : densité environ égale à 1,024
 - Eau de la Mer Rouge : densité environ égale à 1,044
 - Eau de la Mer Morte : densité environ égale à 1,275

Par l'entraînement, le plongeur parviendra à maîtriser son équilibre tout au long de sa plongée

En plongée 3 situations se présenteront :

P REEL < PA
On monte

↓ **POIDS REEL**

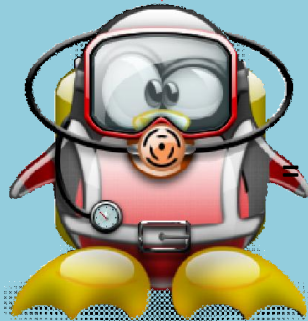


↑
Poids Apparent négatif : flottabilité positive

↑ **POUSSEE ARCHIMEDE**

P REEL = PA
On s'équilibre

↓ **POIDS REEL**

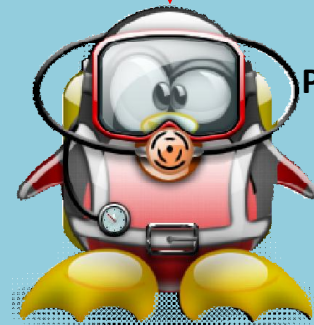


Poids Apparent = 0 : flottabilité nulle

↑ **POUSSEE ARCHIMEDE**

P REEL > PA
On coule

↓ **POIDS REEL**



Poids Apparent Positif : flottabilité négative

↑ **POUSSEE ARCHIMEDE**

La loi de Dalton

L'air que nous respirons est composé en moyenne de :

79% d'azote (N_2)

20,97 % d'oxygène (O_2)

0,02% de gaz carbonique (CO_2)

0,01 de gaz rares (néon, xénon, argon, krypton, ...)

Les effets sur l'organisme des différents gaz qui composent l'air dépendent de la pression à laquelle ils sont respirés.

On introduit la notion de pression partielle qu'il est important de savoir calculer pour chacun des composants de l'air, et notamment pour l'azote et l'oxygène.

On retient :
79% de N_2
21% de O_2

Dans un mélange de gaz, on définit la pression partielle d'un composant du mélange comme la pression qu'aurait ce gaz s'il occupait seul tout le volume. On l'obtient en multipliant la pression totale du mélange par la proportion (ou pourcentage volumique, ou concentration) du constituant en question.

$$\text{Pression Partielle} = P_{\text{absolue}} \times \text{Pourcentage Gaz}$$

pour l'air à pression ambiante de 1bar :

la pression partielle d'azote, notée $Pp N_2$ est de $1 \times 79\% = 1 \times 0,79 = 0,79$ bar.

La pression partielle d'oxygène est $Pp O_2 = 1 \times 21\% = 1 \times 0,21 = 0,21$ bar.

La loi de Dalton s'énonce ainsi :

A température constante, la pression totale d'un mélange gazeux est la somme des pressions partielles des constituants du mélange.

$$P_{\text{absolue}} = Pp_{\text{constituant1}} + Pp_{\text{constituant2}} + Pp_{\text{constituant3}} + \dots$$

Pour l'air à pression ambiante de 1 bar : $P_{\text{air}} = Pp N_2 + Pp O_2 = 0,79 + 0,21 = 1$ bar

Applications numériques :

Exercice 1 : Lors d'une plongée, on a une pression partielle d'oxygène de 1,6 bars. Quelle est la profondeur de la plongée ?

Solution : Soit p la pression absolue du gaz, en appliquant la loi de Dalton, on a :

$$P_{pO_2} = p \times 20 \% = 1,6 \text{ bar}$$

$$p = 1,6 \text{ bar} / 20 \% = 1,6 \text{ bar} / 20 \times 100 = 8 \text{ bar}$$

$$p = 8 \text{ bar} \rightarrow \text{prof} = 70 \text{ m}$$

Exercice 2 : à 40 mètres de profondeur, on a une pression partielle d'oxygène de 1,7 bar. Quelle est le pourcentage d'oxygène dans ce mélange ?

Solution : Soit n le pourcentage d'oxygène dans ce mélange, on a : $P_{pO_2} = 5 \text{ bar} \times n = 1,7 \text{ bar}$ d'où $n = 1,7 / 5 = 0,34 = 34 \%$

A la surface, ce mélange donne les pressions partielles suivantes :

$$P_{pO_2} = 0,34 \text{ bar} ; P_{pN_2} = 0,66 \text{ bar}$$

On est dans le cas d'un mélange de Nitrox 34/66

Exercice 3 : A 40 mètres de profondeur, quelle est la pression partielle de l'azote dans l'air ?

Solution : $P_{pN_2} = 5 \text{ bar} \times 79 \% = 3,95 \text{ bar}$

APPLICATION A LA PLONGEE :

- le calcul des pressions partielles et des profondeurs limites en fonction de la toxicité des gaz constituants de l'air.
- la confection des mélanges respiratoires (Nitrox, Trimix, Heliox, ...)
- l'oxygénothérapie hyperbare (caisson de recompression) et normobare
- l'élaboration des tables de plongées (par l'intermédiaire de la loi de Henry)

toxicité des gaz : accidents biochimiques

La notion de pression partielle est importante pour définir les seuils de toxicité des gaz. Par exemple, l'oxygène représente un danger pour les plongeurs à partir d'une pression partielle de 1,6 bar (effet Paul Bert).

Quand on plonge à l'air, cette valeur critique est atteinte à la profondeur de 70 m.

Les plongeurs au nitrox respirent un mélange enrichi en oxygène, la P_{pO_2} limite de 1,6 bar sera atteinte encore plus tôt. Les nageurs de combat qui respirent de l'oxygène pur dans leur scaphandre à circuit fermé ne pourront dépasser sans danger la profondeur de 6 m !

La loi de Henry

-Les liquides dissolvent les gaz (boissons gazeuses, limonade, ...).

- Le corps est composé de 75% environ de liquide

Il en résulte qu'un plongeur dissoudra une partie des gaz qu'il respire.

A température donnée, la quantité de gaz dissoute à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle du gaz au-dessus de ce liquide.

Pour un plongeur la température est à quasi constante et égale à 37°C

On précise "à l'équilibre" ou "à saturation" car si la pression partielle du gaz au-dessus du liquide change rapidement, la quantité de gaz dissoute va changer plus lentement. La proportionnalité dictée par la loi de Henry ne sera valable que lorsque la quantité de gaz dissoute sera stabilisée. Par convention on définit pour quantifier le gaz dissous la notion de tension, notée T et exprimée en bar :

La tension d'un gaz dissous dans un liquide est égale à la pression partielle du gaz au-dessus du liquide, à l'équilibre.

- on dit qu'on est à saturation si $T_{\text{gaz}} = P_{\text{pgaz}}$: le gaz ne tend ni à sortir de la solution ni à s'y dissoudre en plus grande quantité ;
- on dit qu'on est en sur-saturation si $T_{\text{gaz}} > P_{\text{pgaz}}$: le gaz tend à sortir de sa solution ;
- on dit qu'on est en sous-saturation si $T_{\text{gaz}} < P_{\text{pgaz}}$: le gaz tend à se dissoudre en plus grande quantité dans la solution.

En résumé, le gaz cherche toujours à rejoindre l'état de saturation où $T_{\text{gaz}} = P_{\text{pgaz}}$.

Dans l'air inspiré par le plongeur, l'oxygène est consommé. Seul l'azote et d'autres gaz non-consommés (He , H_2 , CO_2 , ...) seront concernés par la loi de Henry

Plongeur	Pp N_2	Etat de N_2	N_2
Descend	Augmente	Sous-saturation	Se dissout
Reste au fond	Reste fixe	Saturation	
Remonte	diminue	Sur-saturation	Micro bulles
Au repos à terre	Reste fixe	Saturation	
Remonte trop vite ou ne respecte pas les paliers	Diminue très vite	Au delà du seuil de sur-saturation critique	Dégazage incontrôlé : DANGER

Seuil de sur-saturation critique : variable selon l'individu et sa forme physique, il correspond pour une pression donnée à la formation de bulles d'une taille dangereuse.

On appelle **gradient** la différence entre la tension du gaz dans le sang et la pression partielle de ce même gaz dans le mélange respiré.

Notions de tissus et de période

La quantité d'azote dissous sera plus ou moins grande suivant la nature des parties du corps et leur vascularisation. En plongée, nous appellerons tissus (ou **compartiments**) les différentes parties du corps. Nous regrouperons ainsi ceux qui ont le même seuil de sursaturation critique et qui dissolvent l'azote à la même vitesse.

-On appellera **période d'un tissu**, le temps qu'il faut à un tissu pour dissoudre la moitié du gaz disponible (le **gradient**).

Ce sera cette valeur qui permettra de les classer en groupes (modèle)

Ainsi nous aurons les tissus courts : 7 mn (sang, muscles très irrigués), les tissus moyens : 30 min (muscles) et 60 min (graisses vascularisées, muscles blancs) et les tissus longs 120 min (moelle osseuse),... Le plus long est un tissu de l'oeil, avec une période de 800 min.

Un tissu 30 mn mettra 30 mn pour dissoudre la moitié du gradient, puis 30 mn pour dissoudre la moitié du reste,...

Les facteurs de dissolution

<i>FACTEUR DE DISSOLUTION</i>	<i>APPLICATION A LA PLONGEE</i>	<i>INCIDENCE SUR LA QUANTITE DISSOUTE</i>	<i>FACTEUR</i>
Nature du gaz	Plongée à l'hélium ou l'hydrogène	A tout moment	Constant
Nature du liquide	Différents tissus		
Température. Si T diminue, la quantité dissoute augmente	Considérée constante à 37°C Mais attention à l'eau froide (< à 12°C)		
Pression	Profondeur		
Temps	Durée de la plongée	Avant la saturation	Variable
Agitation. La quantité dissoute augmente avec l'agitation	Le travail en plongée nécessite des tables spéciales C.O.M.E.X.		
Surface de contact. Si S augmente, la quantité dissoute augmente	Tissus +/- vascularisés Surface alvéoles pulmonaires		

APPLICATIONS A LA PLONGEE
 * Fabrication des tables de plongées
 * Fabrication des décompressimètres et des ordinateurs
 * Compréhension et traitement des accidents de décompression (accidents biophysiques)

La suite de ce chapitre lors de l'étude des tables...

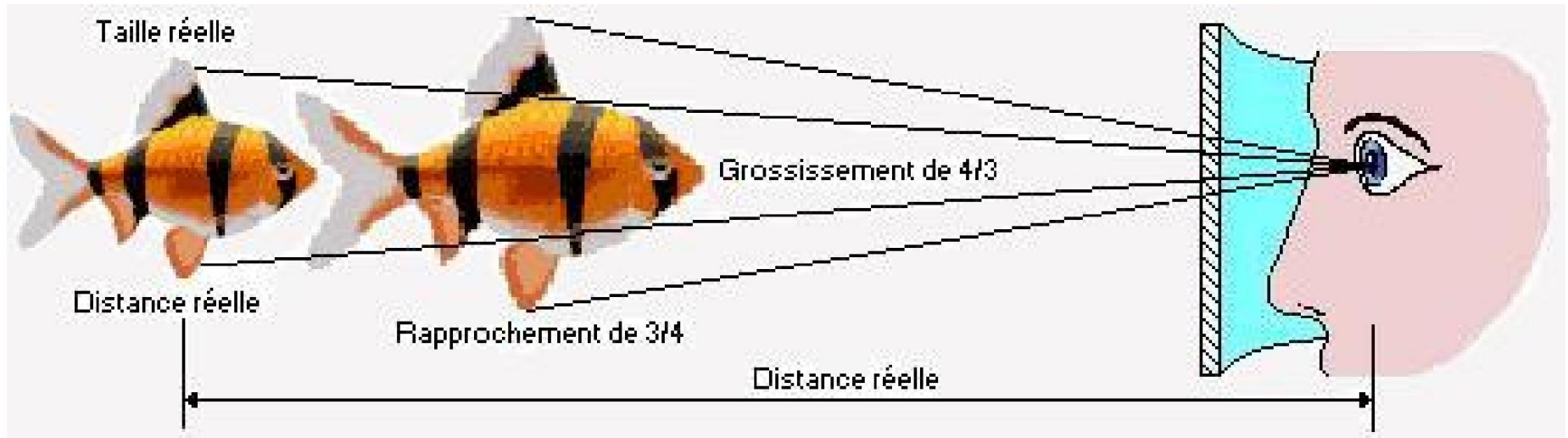
- Notons que le stress, l'adiposité, des efforts trop importants (palmage, travail), l'essoufflement, l'apnée, la fatigue, la mauvaise forme physique,... sont autant de facteurs augmentant la saturation ou pire, perturbant la désaturation.

La vision

Dans notre expérience de plongeur, on a remarqué plusieurs choses :

- On voit plus gros.
- Les objets sont rapprochés.
- Le champ de vision est rétréci.
- Les couleurs disparaissent, sauf si on éclaire avec une lampe.
- En eau trouble, la lampe est peu efficace.

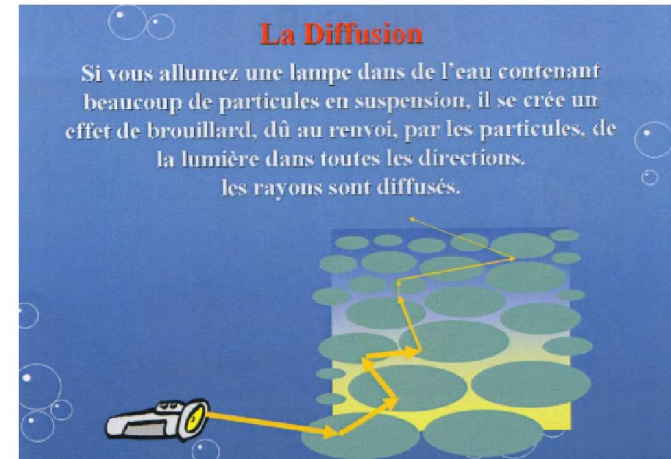
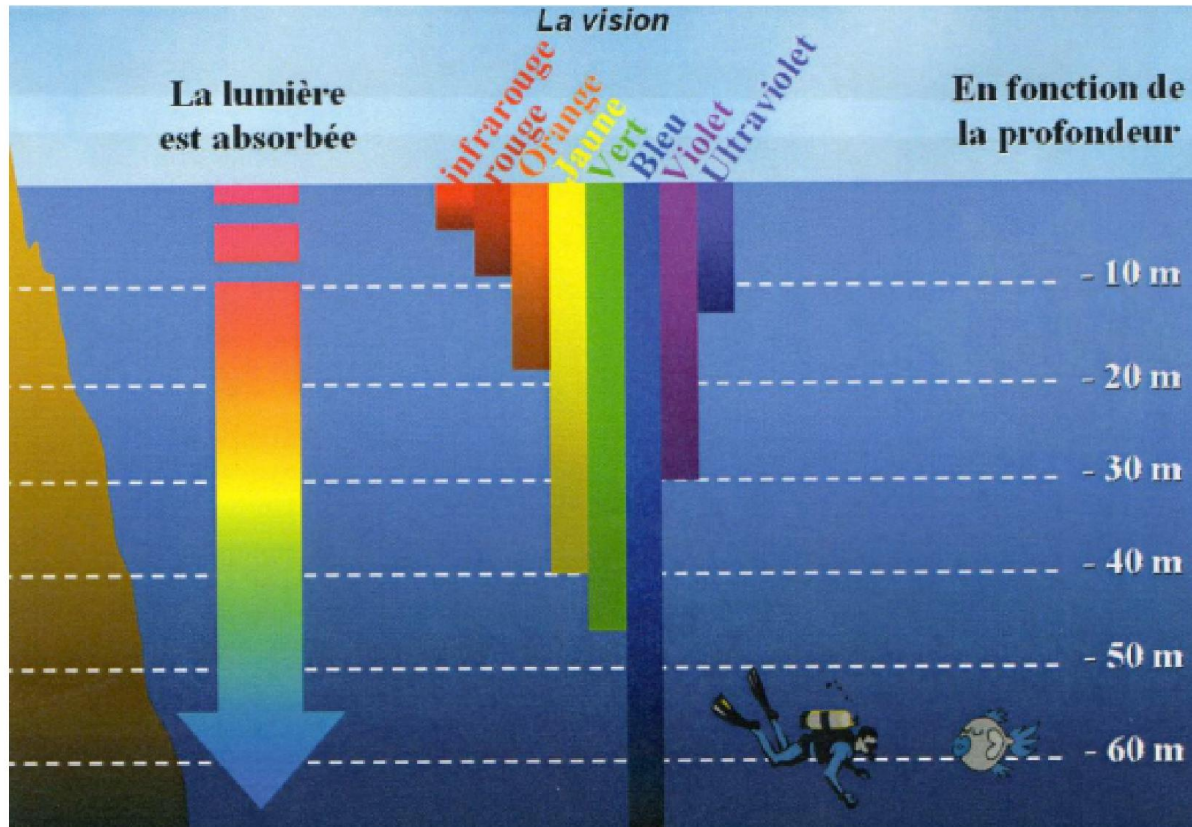
Ces modifications de la vision sont liées à la différence d'indice de **réfraction** entre l'air contenu dans le masque et l'eau, ainsi que par l'**absorption** sélective de la lumière et la **diffusion** due aux particules de l'eau



grossissement (d'un facteur $4/3$)

rapprochement (facteur $\frac{3}{4}$)

L'absorption est due à l'eau. L'intensité lumineuse diminue et les couleurs disparaissent au fur et à mesure que la profondeur augmente.



0 mètre	1 mètre	10 mètres	20 mètres	40 mètres
100 %	40 %	14 %	7 %	1,5 %

2mètres	5 mètres	10 et 15 m	25 et 65 m	> 65 m
Rouge modifié	Disparition du rouge	Disparition de l'orangé	Disparition du bleu, vert et violet	Disparition du monochrome vert

L'acoustique

Sous l'eau les bruits ne sont pas rares, vous entendrez des bruit de bateaux, des chocs sur la bouteille, la voix dans l'embout d'un plongeur, sa toux, des bruits dus aux animaux, etc...

Propagation

la vitesse du son est :

- dans l'air environ 340 m/s
- dans l'eau environ 1500 m/s (soit environ 5 fois plus grande)

Perception du son

Elle se fait par l'oreille mais aussi par la boîte crânienne. La vitesse élevée du son dans l'eau empêche de détecter la direction de sa provenance car le décalage entre les deux oreille (stéréophonie) est trop court.

La perception crânienne perturbe encore plus le mécanisme.

Conséquences et utilisation en plongée

Le son peut être un moyen de communication entre plongeurs : chocs sur la bouteille, sur l'échelle, pétards de rappel, voix dans l'embout ce qui va dans le sens de la sécurité.

Par contre l'impossibilité de repérage de la direction d'arrivée d'un bateau impose la prudence au moment de faire surface (tour d'horizon)

