



JUILLET 2017

De la physique des gaz à la fabrication des bouteilles de plongée sous-marine 2^{ème} partie : Flottabilité, Archimède et la sécurité en plongée.

L'été est arrivée, il est donc tout naturel de poursuivre avec cette 27^{ème} newsletter notre exploration de la plongée sous-marine. **Métallo Corner** vous propose de compléter la précédente newsletter sur la physique des gaz, en abordant les questions associées à la flottabilité et aux lois régissant les gaz parfaits afin de nous permettre de comprendre les règles essentielles de sécurité en plongée sous-marine. Comme on dit : un peu de physique ne fait jamais de mal !

LA FLOTTABILITE.

Nous savons tous grâce à Newton et Archimède qu'un corps immergé dans un liquide subit l'action de 2 forces opposées :

- son propre poids, appelé poids réel, qui est une force (G) dirigée de haut en bas,
- la poussée d'Archimède, qui est une force ascendante (F_A), dirigée de bas en haut.

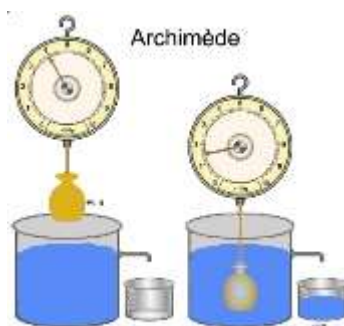


Figure 4 : Théorème de la poussée d'Archimède.

Le théorème d'Archimède (Cf. figure 4) nous explique que « tout corps plongé dans un liquide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale (F_A), dirigée du bas vers le haut, égale au poids du volume du liquide déplacé ».

$F_A = \mu_{liq} \cdot V_i \cdot g$ avec μ_{liq} : la viscosité du liquide / V_i : le volume immergé / g : la gravité

Par conséquent, tout corps plongé dans un liquide a un poids apparent plus faible que son poids réel G, c'est-à-dire la force exercée par notre planète sur ce corps. Pour prendre en compte ce phénomène, le plongeur, qui souhaite descendre ou monter à sa guise, va pouvoir faire varier son poids apparent :

- en se lestant à l'aide d'une ceinture de plomb (augmentation de la masse globale du plongeur sans variation important de son volume),



JUILLET 2017

- en gonflant d'air plus ou moins son gilet stabilisateur (augmentation du volume d'eau déplacé sans variation de la masse globale du plongeur)
- en gonflant ses poumons (« poumon ballast »), il diminuera son poids apparent.

I.4. Les gaz parfaits et les lois qui les régissent.

Le comportement du gaz parfait correspond à un « comportement limite modèle » lorsque la pression du gaz tend vers zéro. Les gaz parfaits vérifient simultanément : loi de Boyle-Mariotte ($PV = Cst$), loi de Gay-Lussac ($V / T = Cte$ à pression constante), la loi de Charles ($P / T = Cte$ à volume constant), la loi d'Avogadro-Ampère, la loi de Dalton ($P_{totale} = \Sigma P_{partielle}$).

En plongée sous-marine, l'air est utilisé à des pressions qui varient entre 1 et 350 bars. Dans ces conditions, l'air n'est plus un gaz parfait, mais un « gaz réel ». La loi des gaz parfaits ne s'applique donc pas. On l'enseigne cependant car elle permet de donner aux plongeurs en apprentissage une bonne idée de l'amplitude des phénomènes liés à la compression et la décompression des gaz.

Intéressons-nous aux lois de Dalton et d'Henry pour expliquer, un point très important en plongée sous-marine : les accidents biochimiques et ceux liés à une mauvaise décompression.

La loi de Dalton qui régit les mélanges gazeux, nous apprend, qu'à iso température, la pression d'un mélange est égale à la somme des pressions qu'aurait chacun des gaz s'il occupait seul le volume total. Par conséquent, la pression totale d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions partielles des gaz du mélange.

Exemple :

- En surface, pour de l'air à 1 bar, on retrouve en se cantonnant au principaux gaz avec 0,2 bar d'oxygène et 0,8 bar d'azote.
- A 40m, la pression évolue, on passe de 1 à 5 bar et on aura donc 1 bar d'O₂ et 4 bar de N₂.

On remarque que lorsque la pression absolue augmente, la pression partielle de chacun des gaz constituant l'air augmente également, ce qui peut induire des accidents biochimiques comme la narcose, les essoufflements ou l'hyperoxie (Cf. Tableau 1).

Tableau 1 : Accidents biochimiques.

Gaz impliqué	Nom	Pression partielle seuil	Profondeur seuil	Effet sur l'organisme
Oxygène	Hyperoxie	P _{O2} > 1.6 bars	70 mètres	Altération fonctionnelle des cellules nerveuses voir une altération morphologique au niveau des alvéoles



JUILLET 2017

				pulmonaires si l'exposition est très longue
Azote	Narcose	$P_{N_2} > 3.2$ bars	30 mètres	Ivresse des profondeurs
CO2	Essoufflement	$P_{CO_2} > 0.02$ bar	suivant effort	Consommation d'air plus importante

Valeurs données à titre indicatif, fonction de l'individu.

NB : il en est de même lorsque la pression de ces gaz diminue, exemple avec l'O₂ risque d'hypoxie.

La loi d'Henry permet de comprendre la dissolution des gaz dans un liquide : elle définit le comportement d'un gaz lorsqu'on le met en contact avec un liquide en fonction de la pression exercée par ce gaz.

$$s = p / H$$

avec s = solubilité du gaz dans le liquide, p = pression partielle de ce gaz, H = constante de Henry qui dépend de la nature du gaz et du liquide considérés et de la température

On s'aperçoit que la solubilité d'un gaz dans un liquide augmente avec la pression. Rappelons que 55-75% du corps humain est composé d'eau (selon l'âge), par conséquent, lors d'une plongée, les liquides du corps humain (le sang, ceux des muscles, ...) vont se charger en gaz et entre autre en N₂ (un gaz neutre pour le corps humain contrairement à O₂ que le corps consomme). Lors de la remontée, la pression va baisser et le volume des gaz absorbés par le corps va augmenter. Si on lui laisse le temps, le diazote va se désorber des liquides du corps humain. En revanche, si la montée est trop rapide, le volume de gaz augmente (loi de Boyle-Mariotte) et la limite de solubilité de N₂ dans le sang ou dans les muscles diminue. Le diazote n'aura pas le temps de s'évacuer, on observera la formation, à l'intérieur du corps, d'une concentration de diazote en sursaturation dans les tissus et le sang. On assistera à la création des bulles de gaz. C'est le principe de la bouteille de soda secouée que l'on ouvre brutalement.

On parle d'accidents de décompression ou d'accidents de désaturation qui pourront être d'ordre cutané, ostéo-arthro-articulaire, neurologiques (médullaires ou cérébraux), labyrinthiques (ou chocléo-vestibulaire). Tout comme à la montagne, il est déconseillé de « prendre à la légère » une exploration sous-marine.

Dans la prochaine partie, nous aborderons une partie plus métallurgique concernant les différents procédés de fabrication des bouteilles de plongée sous-marine, principalement celles en acier. En attendant, bonne périodes estivales !