

Deuxième plongée : la flottabilité

Situation

Jérémy se présente le lendemain au même club pour sa deuxième plongée.

Communication

Dimanche, 9h00

Jérémy retrouve Pascal au club.

- Bonjour Jérémy, je t'ai trouvé un autre binôme pour aujourd'hui, je te le présenterai tout à l'heure. Mais avant ça je voudrais savoir comment s'est passé ta plongée hier.
- C'était super, avec plein de belles choses à voir. Mais, quand même, je me suis senti un peu lourd tout au long de la plongée...
- Tu étais lesté comment ?
- J'avais pris une ceinture de 4 kilos.
- Ah oui, effectivement, c'est un peu beaucoup pour toi...



A quoi sert le lestage ?

Notion de flottabilité

Un plongeur en immersion subit deux forces antagonistes :

- Son poids le tire vers le bas
- La poussée d'Archimède le pousse vers le haut.

La flottabilité désigne la capacité d'un corps à se maintenir à la surface d'un liquide.

Lorsqu'un plongeur n'a aucune difficulté à flotter et qu'il a du mal à couler, sa flottabilité est dite positive.

S'il a tendance à couler, sa flottabilité est dite négative.

Quand il oscille dans une position d'équilibre, qu'il n'a pas de mal à se maintenir à la surface mais n'a pas de mal non plus à descendre, sa flottabilité est neutre.

La poussée d'Archimède indique que "tout corps plongé dans un liquide reçoit une poussée verticale du bas vers le haut et égale au poids du volume de liquide déplacé". Cette poussée appliquée à un plongeur est donc proportionnelle au volume du plongeur et non pas à son poids. Deux plongeurs de même poids mais de volumes différents n'auront donc pas la même flottabilité.

Le lestage sert à replacer le plongeur en flottabilité neutre, et non pas à le faire couler.





Comment calculer sa flottabilité ?

Poids apparent, poids réel et poussée d'Archimède

On appelle poids apparent la différence entre le poids réel du plongeur (avant immersion) et la poussée d'Archimède qu'il subit. Poids apparent et flottabilité sont directement liés.

Pour un poids apparent nul, la flottabilité est neutre.

Si le poids apparent est positif, le plongeur coule, la flottabilité est négative.

Si la flottabilité est positive, c'est que le poids apparent est négatif et donc que la poussée d'Archimède est plus forte que le poids réel du plongeur.

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

Ex : Jérémy en maillot de bain pèse 70 kilos et a un volume de 70 litres. Quelle est sa flottabilité ?

Poids apparent = poussée => neutre.

Igor, son binôme très enrobé, pèse 85 kg pour un volume de 88 litres. Quelle est sa flottabilité ?

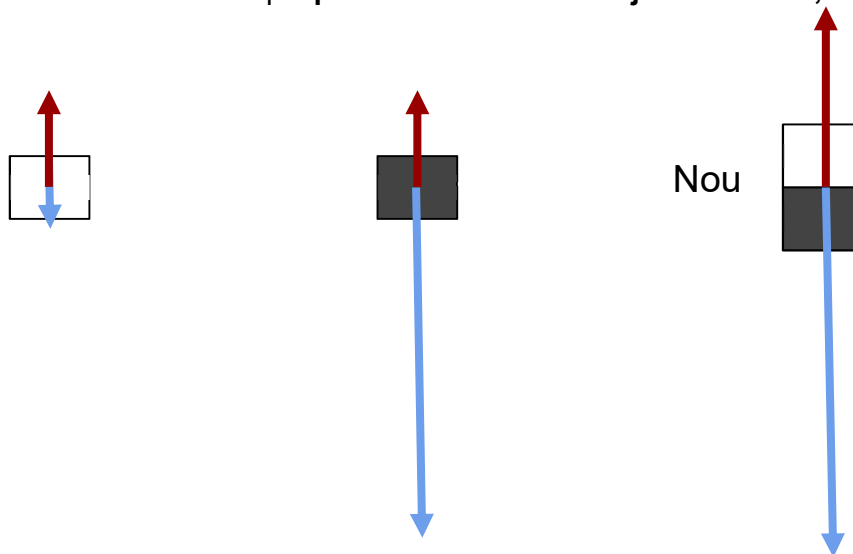
Poids apparent = 85 - 88 = -3 => poids réel > poussée => flottabilité positive.



Pourquoi utilise-t-on du plomb pour se lester ?

Masse volumique et densité

Un objet de grand volume mais de petit poids flotte plus qu'un objet de faible volume mais de fort poids. Représentons un cube de plomb et le même cube de polystyrène : le second va flotter, mais pas le premier. Le rapport entre le poids d'un objet et son volume est appelé la masse volumique. Le rapport entre la masse volumique d'un corps et la masse volumique de l'eau est appelé densité. Ce que nous pouvons retenir de ceci est que **plus la densité d'un objet est élevée, moins il flotte.**



Mais que se passe-t-il si on colle un cube de plomb à un cube de polystyrène, les deux cubes ayant le même volume ? Le nouvel objet va-t-il couler ou flotter ? La densité du nouvel objet est la moyenne des densités de départ (parce qu'ils ont même volume). Le plomb a une densité de 11,35, contre 0,018 pour le polystyrène. La densité de notre nouvel objet est donc d'environ 5,6, soit une densité encore largement supérieure à celle de l'eau. L'objet va donc couler.

On utilise donc du plomb pour se lester car cela permet d'augmenter le poids réel en n'augmentant quasiment pas le volume et donc de compenser une poussée d'Archimède trop importante.



Quels facteurs influencent la flottabilité d'un plongeur ?

Equipement et flottabilité

Un plongeur équipé est constitué de plusieurs objets de densités différentes, ce qui rend le calcul de sa flottabilité complexe. Certains objets vont augmenter sa flottabilité :

- Combinaison,
- Gilet stabilisateur

D'autres objets vont faire diminuer sa flottabilité :

- Bouteille,
- Lampe

Par ailleurs, tous les plongeurs n'ont pas la même flottabilité de base. Les tissus du corps humain n'ont pas tous la même densité (la graisse est moins dense que l'eau par exemple). Chaque individu a ses propres proportions des différents tissus qui compose son corps.

Enfin, pour le moment nous avons comparé des densités avec celle de l'eau douce, corps de référence des lois physiques. Si le liquide dans lequel le plongeur s'immerge est plus dense, la poussée d'Archimède qu'il exerce est plus importante et à poids égal notre flottabilité est plus importante. Or l'**eau salée est plus dense** que l'eau douce, c'est pourquoi nous flottons plus en mer qu'en lac ou carrière.



Quels sont les risques d'un mauvais lestage ?

Sur-lestage / Sous-lestage

Une des techniques les plus longues à maîtriser en plongée est son équilibre dans l'eau. Si un plongeur oublie sa ceinture de plomb ou s'il n'est **pas assez lesté**, il aura du mal à s'immerger. Il devra palmer pour arriver à descendre au-delà de 10 mètres, au risque de **s'essouffler**. Une fois passé les 10 premiers mètres, la pression lui viendra en aide en diminuant sa flottabilité, mais tout le long de la plongée, il aura tendance à **nager tête en bas**, dans une position peu confortable pour observer la faune et la flore.

Les choses vont encore se compliquer à la remontée, parce qu'il aura consommé une bonne partie de l'air de sa bouteille et se sera ainsi allégé de 2 à 3,5 kg selon la taille de la bouteille. Il aura énormément de mal à effectuer son palier de sécurité à 3 mètres, et sans l'aide de sa palanquée ou d'un bout solidement arrimé au fond, il risque de **remonter rapidement**, au risque d'un accident de décompression ou d'une surpression pulmonaire

Il est tentant de se dire qu'à défaut d'un lestage correct, il est préférable de se sur-lester. Dans l'absolu, ce raisonnement n'est pas faux. Il arrive qu'un guide de palanquée emporte deux kilos supplémentaires pour pouvoir aider les personnes qu'il encadre en cas de sous-lestage.

Mais un sur-lestage a également ses inconvénients. Le plongeur sur-lesté descend plus vite, il risque de perdre sa palanquée à la descente et de **s'écraser au fond**, dégradant ainsi l'environnement. Au cours de la plongée, il devra gonfler plus son gilet et **consommara plus d'air**. Il aura tendance à nager **tête en l'air** et risque de racler le sol avec ses palmes, endommageant ainsi l'environnement. Sa position courbée du fait de la ceinture peut lui provoquer des **douleurs lombaires**. Il risque aussi d'avoir à palmer plus pour compenser son poids, ce qui peut conduire à un **essoufflement**.



Comment tester son lestage ?

Calcul ou test de lestage

Un corps humain a généralement une flottabilité neutre. Une fois équipé, le plongeur a souvent une flottabilité positive à cause de sa combinaison. Il doit donc compenser la faible densité du néoprène par l'ajout de plomb. Il est possible de faire une estimation du poids de plomb à ajouter **en fonction du volume de la bouteille, de l'épaisseur de la combinaison, de la salinité de l'eau...**

Mais d'autres facteurs difficilement mesurables entre en jeu, comme **l'expérience du plongeur**. Le poumon ballast est la première technique que le plongeur met en oeuvre pour gérer sa profondeur. Le gilet n'est utilisé que si cette première technique n'est pas suffisante. Avec l'expérience le plongeur maîtrise de mieux en mieux sa respiration ce qui peut lui permettre de moins se lester.

Il est simple de **tester son lestage avant de s'immerger**. Gillet dégonflé, sur une expiration, un plongeur à l'équilibre est immergé jusqu'à la moitié de son masque. Si tout le visage est hors de l'eau, il faut augmenter le lestage. Si le plongeur doit palmer pour se maintenir en surface, c'est qu'il est trop lesté et il doit donc enlever un plomb.

Il faut également garder à l'esprit que l'eau pénètre lentement dans une combinaison sèche et que lors de la première plongée, le plongeur s'immerge souvent avec une flottabilité positive. S'il s'équilibre dans ces conditions, il devra peut-être diminuer son lestage pour la plongée de l'après-midi.

Globalement un plongeur se leste toujours de la même manière dans la même eau (salée ou douce), à équipement constant. Il fera des tests de flottabilité à ses débuts ou quand il changera de combinaison. Il note dans son carnet de plongée le lestage utilisé dans chaque condition de plongée qu'il rencontre. Avec l'expérience, il aura tendance à diminuer son lestage pour une plongée plus confortable.

Ex : La combinaison de Jérémy à un volume estimé de 7 litres, pour un poids de 3 kg. Quel lestage permet de compenser la flottabilité positive de sa combinaison ?

*Poussée d'Archimède = 7 kg
Poids réel = 3 kg
Poids apparent = 3 - 7 = -4 kg.*

Le lestage nécessaire devra donc être de 4 kg.

Il s'équipe d'une bouteille acier (15 kg) de 12 litres à 200 bars. Comment doit-il corriger son lestage ?

*Poussée d'Archimède = 12 kg
Poids réel = 15 kg
Poids apparent = 3 kg*

Jérémy doit donc enlever 3 kg.

Nous n'avons pas pris en compte le poids de l'air (2.5 kg) dans le calcul du poids apparent de la bouteille, parce que cet air va être consommé en grande partie durant la plongée. Si nous le prenions en compte, il faudrait ici retirer encore 2,5 kg, et Jérémy serait sous-lesté en fin de plongée. Il ne pourrait pas tenir son palier de sécurité à 3 mètres.

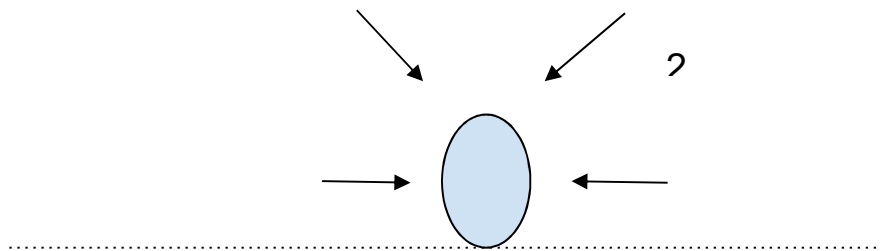
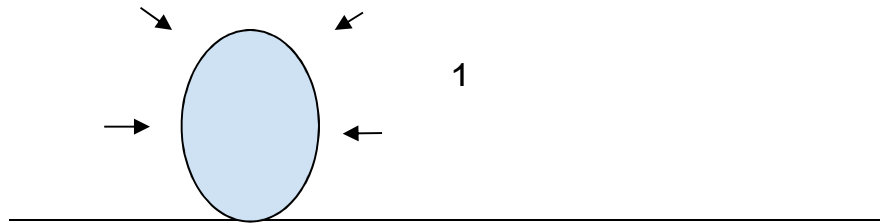


Pourquoi dois-je ajouter de l'air dans le gilet à la descente ?



Variation de flottabilité

La flottabilité du plongeur varie en fonction de sa profondeur. En effet, une autre force agit sur le plongeur en immersion, la pression de l'eau. Celle-ci fait varier son volume. L'expérience du ballon de baudruche illustre bien ce principe. Si en surface on gonfle un ballon avec un litre d'air et qu'on l'immerge à 10 mètres, la pression qu'il subit passe de 1 bar (pression atmosphérique) à deux bars (pression atmosphérique + pression de 10 mètres d'eau). L'air contenu dans le ballon est "comprimé" par la masse d'eau. Le volume du ballon diminue.



La quantité d'air dans le ballon n'a pas changé. Le produit de la pression subit par le ballon par son volume est constant (Loi de Boyle Mariotte). Si P_1 et V_1 désignent respectivement la pression et le volume du ballon en surface et P_2 et V_2 la pression et le volume à 10 m, alors :

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

En plongée, ce mécanisme s'observe sur la combinaison. Le néoprène est en effet une matière synthétique qui contient des bulles d'air, ce qui lui donne son pouvoir isolant. Ces bulles d'air sont comprimées par la pression de l'eau. La combinaison perd donc de sa flottabilité. Le poids apparent d'un plongeur est donc plus important en profondeur. L'air que le plongeur respire est à la pression ambiante grâce au mécanisme de son détendeur, et compense donc la pression de l'eau. Le gilet subit également cette pression et le plongeur doit ajouter de l'air dans le gilet pour ne pas s'écraser au fond et maintenir sa profondeur pendant la plongée.

Lors de la remontée, la pression de l'eau va diminuer. L'air contenu dans le gilet va "s'étendre" pour rester à la pression ambiante. Si le plongeur ne fait rien, le volume du gilet va augmenter, ce qui va renforcer la poussée d'Archimède et augmenter la flottabilité du plongeur et donc sa vitesse de remontée. Pour ne pas perdre le contrôle de sa remontée il doit retirer de l'air de son gilet en actionnant son direct system.

L'air que nous consommons a un poids. En début de plongée, la bouteille est donc plus lourde qu'en fin de plongée.

Un litre d'air à la pression d'un bar et à une température de 20°C pèse environ 1,2 grammes.

Le même volume d'air à la pression de 200 bars pèse $200 \times 1,2 = 240$ grammes.
Une bouteille de 12 litres d'air à 200 bars contient donc environ 2,9 kg d'air.
Une bouteille de 15 litres contient 3,6 kg d'air.
En fin de plongée, il doit normalement nous rester 50 bars dans la bouteille, soit en effectuant les mêmes calculs 720 grammes dans une bouteille de 12 litre, et 900 grammes dans une bouteille de 15 litres.

Le poids de la bouteille diminue donc de 2,2 à 2,7 kg au cour de la plongée.

- Ok Jérémey, je pense que tu as besoin de 2 kg de plomb, vu ta carrure, ton bloc et ta combi. Comme tu étais à 4 kg hier, je te propose de tester déjà avec 3 kilos ce matin et tu me diras à la fin de la plongée comment tu t'es senti, si tu as bien réussi à descendre (en vidant tes poumons), si tu n'étais pas trop lourd au fond et si tu as réussi à remonter tranquillement.
- Ça marche, j'enlève 1 kilo et je vois ! Je plonge avec qui aujourd'hui ?
- Tu plonges avec Igor, qui est aussi PA20 et qui vient régulièrement plonger ici.



En synthèse, quels sont les principaux paramètres d'un bon lestage ?

Un bon lestage

Le lestage va dépendre d'un certain nombre de facteurs :

- Le type de combinaison : elle fait plus ou moins flotter le plongeur selon le type et la quantité de néoprène dont elle est constituée. Une combinaison deux pièces a un volume plus important qu'une mono pièce. Une 7 mm a un volume plus important qu'une 5 mm.
- Le poids et le volume du plongeur (sa carrure).
- La salinité de l'eau : Le plongeur flotte plus dans l'eau de mer que dans l'eau douce. En moyenne il faut enlever 1 kg en eau douce par rapport à son lestage habituel en mer.
- L'expérience du plongeur : La maîtrise du poumon ballast, l'économie d'effort à la nage et le calme du plongeur lui permettent de moins se lester.

Votre binôme peut constater que votre position dans l'eau n'est pas élégante, vous raclez le fond ou au contraire, vous avez la tête en bas. Lors de discussion avec d'autres plongeurs, vous pouvez comparer votre lestage à celui des autres. Vous devez être également attentif à vos sensations dans l'eau (mal de dos, équilibre difficile à trouver).

Notez votre lestage dans votre carnet de plongée, avec le type de combinaison utilisée et le milieu (mer, carrière...).