



Pression

Flottabilité

Autonomie en air

Gonflage



Objectif :

Se rappeler les notions physiques simples qui interviennent en plongée :

- le milieu subaquatique et son impact sur le plongeur,
- l'équilibre et l'évolution dans l'eau,
- l'autonomie en air, prévoir...

TOUT CE QUI EST INDISPENSABLE AU PLONGEUR AUTONOME N2

Les facteurs élémentaires abordés :

- 1) les pressions,
- 2) les variations de volume,
- 3) la consommation d'air,
- 4) la flottabilité,
- 5) Gonflage, équilibrage



1) Les pressions

A la surface de l'eau, s'exerce une force d'une valeur arrondie à 1 bar : la **Pression atmosphérique**

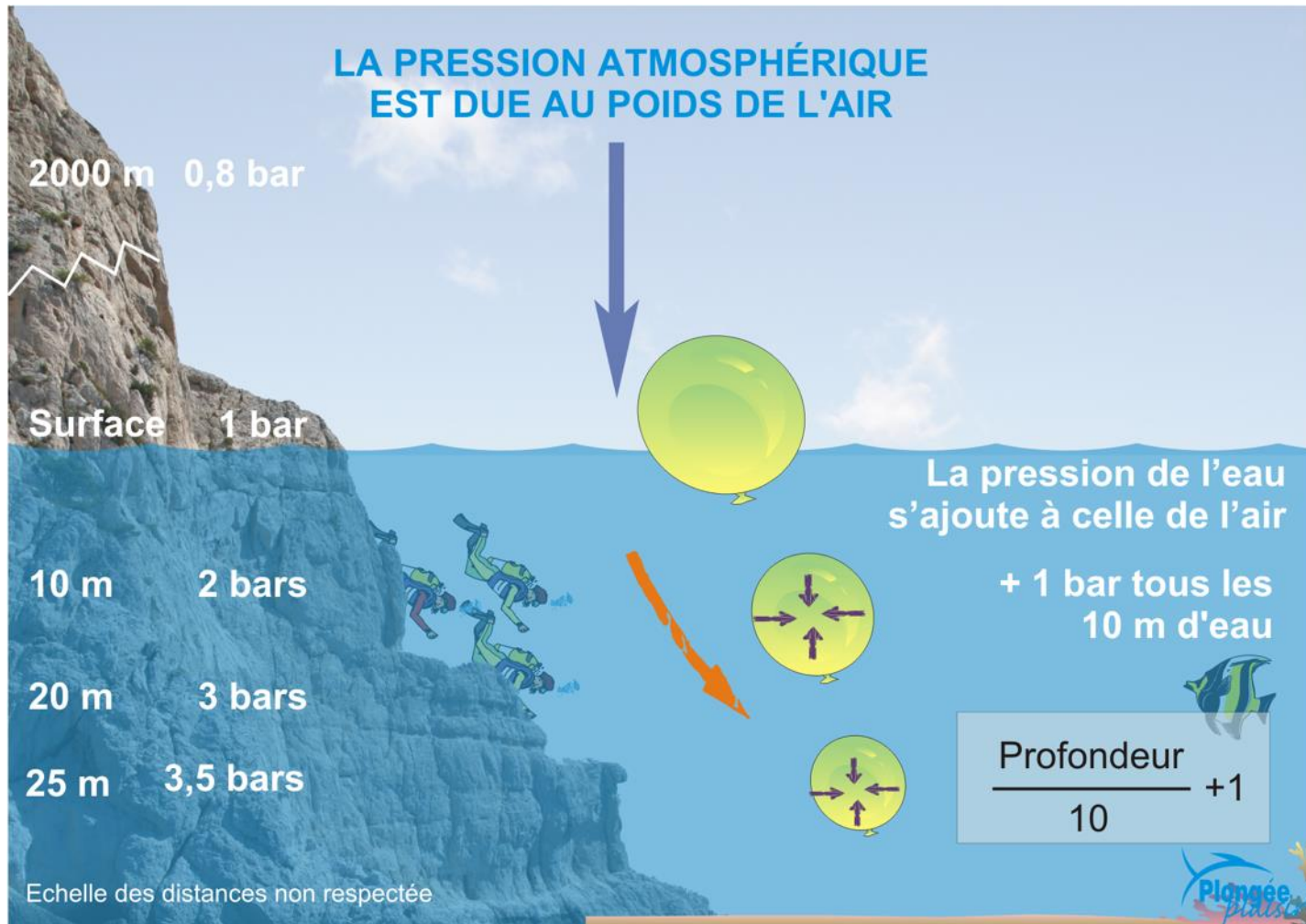
(elle correspond au poids de l'air qui est au dessus de notre tête, et diminue donc lorsque l'on monte en altitude).

Sous la surface, une colonne d'eau de 10 m de hauteur sur une surface de 1 cm², exerce une pression de 1 bar : on a ainsi, sous l'eau, une **Pression hydrostatique** ou **pression relative** d'1 bar par tranche de 10 m.

La somme de ces pressions est la **Pression absolue** :

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{hydro}$$

1) Les pressions



1) Les pressions

Questions pour un plongeur N₂ :

Quelle est la pression absolue sur un fond de 35 m de profondeur ?

4,5 bar

Quelle est la pression absolue sur un fond de 52 m de profondeur ?

6,2 bar

Quelle est la pression absolue au palier de 3 m ?

1,3 bar

1) Les pressions

Cette pression qui augmente avec la profondeur, comprime le néoprène de la combinaison, et la cage thoracique :

Le simple fait de **ventiler demande un effort plus important en profondeur**, c'est pourquoi il est nécessaire d'apprendre à adapter son comportement en plongée au niveau de profondeur atteint.



2) Les variations de volume

Les gaz sont compressibles, l'eau ne l'est pas.

Ainsi en plongée:

- les gaz se compriment à la descente (la pression augmentant) et se dilatent à la remontée (la pression diminuant).

La loi de **Boyle Mariotte** décrit les effets de la pression sur les gaz et peut s'écrire de la façon suivante :

$$\mathbf{P \times V = constante}$$

(P est la pression exprimée en bar)

(V est le volume exprimé en litres)

Ou encore:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 = P_3 \times V_3 = P_n \times V_n$$

2) Les variations de volume

Application: si on remplit, en surface, un ballon de 30 l d'air (= un gaz), et qu'on l'immerge à une profondeur de 50 m, où la pression absolue est de 6 bars, le volume du ballon est réduit à 5 l .

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

$$1 \times 30 = 30$$

$$2 \times 15 = 30$$

$$3 \times 10 = 30$$

$$4 \times 7,5 = 30$$

$$5 \times 6 = 30$$

$$6 \times 5 = 30$$

<i>Profondeur</i>	<i>Volume</i>	<i>Pression</i>
- 0	30 l	1 bar
- 10 m	15 l	2 bar
- 20 m	10 l	3 bar
- 30 m	7,5 l	4 bar
- 40 m	6 l	5 bar
- 50 m	5 l	6 bar

2) Les variations de volume

Les conséquences de la loi de **Boyle Mariotte** en plongée sont nombreuses :

- **effets sur l'équipement** : compression de la combinaison, utilisation du gilet stabilisateur (en complément du poumon ballast).
- **effets sur notre organisme** : sur la circulation sanguine et notre ventilation
- **risques d'accidents barotraumatiques** :
 - La pression interne des cavités de notre corps doit être équilibrée avec la pression ambiante (ex : oreilles)
 - Nos poumons peuvent se comporter comme le ballon rempli d'air, **si on ne les vide pas suffisamment ou si l'air ne peut s'en échapper**. L'élasticité de nos tissus ayant ses limites, il est impératif de compenser l'augmentation de volume **à la remontée** et de **ne jamais bloquer sa respiration** (risque de surpression pulmonaire).
 - *Les barotraumatismes et leur prévention seront traités dans un cours spécifique.*
- **effets sur la consommation d'air** : le détendeur délivre l'air à la pression ambiante; ainsi un même volume d'air inspiré en surface, représente une quantité d'air augmentant avec la profondeur. **Favoriser une ventilation lente et des efforts adaptés pour prévenir l'essoufflement.**

2) Les variations de volume

Les bouteilles de plongée contenant notre réserve d'air sous haute pression ne varient pas de volume. Ce n'est qu'une fois sorti du détenteur que le gaz libéré, est à nouveau sensible à la loi de Boyle Mariotte : on peut observer les bulles qui remontent en grossissant vers la surface.

Questions pour un plongeur N₂ :

- pour un bloc de 12 l court gonflé à 200 bar, quel est le volume d'air disponible ?
- 2400 l
- et si c'est un 12 l long ?
- 2400 l
- y a-t-il plus d'air dans un 15 l gonflé à 160 bar ?

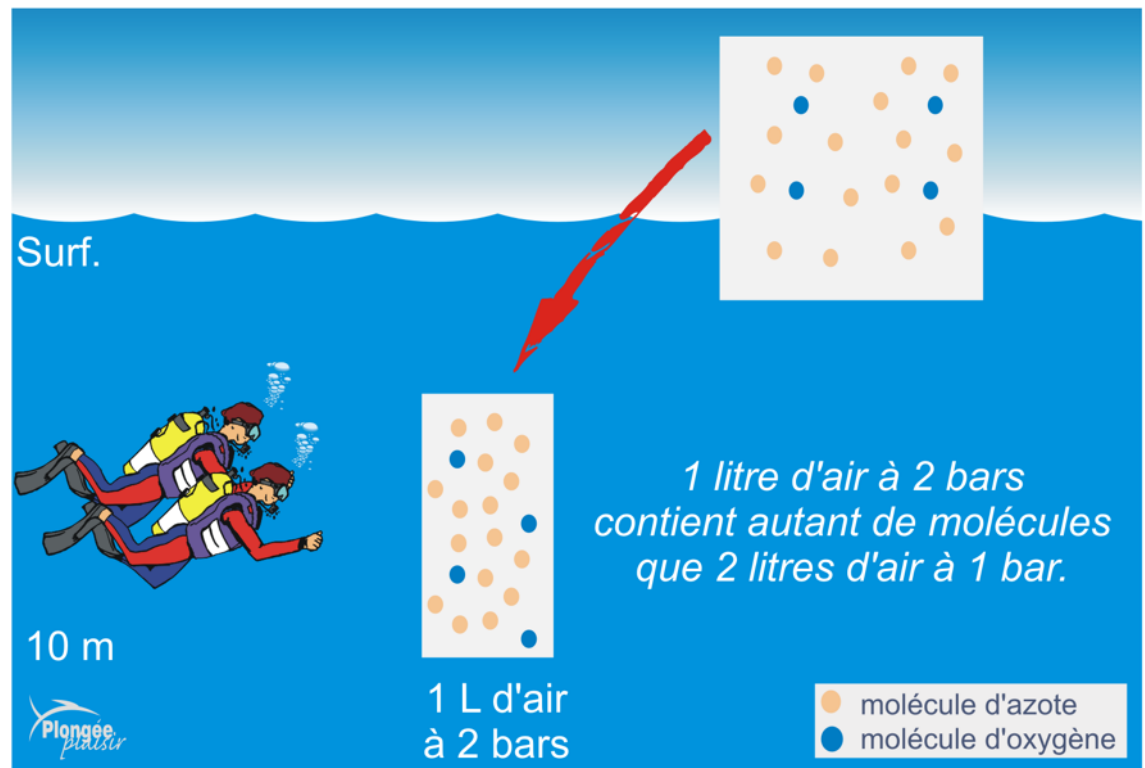
Non, c'est idem, mais le 15 l est fait pour être gonflé à 200 bar !!



3) La consommation d'air

La ventilation de l'homme en surface (pression = 1 bar) lors d'un effort modéré est d'environ 15 à 20 l d'air/min .

A -10 m, toujours selon la loi de Boyle Mariotte, l'air est deux fois plus dense. Lorsqu'un plongeur respire 1 l d'air à cette profondeur, cela correspond à 2 l d'air en surface.



3) La consommation d'air

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

- par 2 à -10 m : autonomie d'1 h
- par 3 à -20 m : autonomie de 40 min
- par 4 à -30 m : autonomie de 30 min
- par 5 à -40 m : autonomie de 24 min.

Un homme essoufflé peut consommer 100 l / min, soit 5 fois plus qu'en temps normal :

A combien est réduite son autonomie à -40 m ?

Moins de 5 minutes ...et il faut remonter !!



3) La consommation d'air

Que ferez-vous, en tant que plongeur N₂ pour éviter la panne d'air ?

-
-
-
-
-
-
-
-
-

3) La consommation d'air

Application :

Calculons l'autonomie à -30 m , d'un plongeur respirant en surface 20 l d'air/ min et disposant d'un bloc de 12 l gonflé à 200 bar .

Il existe 2 méthodes :

- 1) calculer sa consommation en litres équivalent surface à la profondeur donnée
- 2) calculer le volume d'air disponible à la profondeur donnée.

3) La consommation d'air

Méthode 1 : calculer sa consommation en litres équivalent surface à la profondeur donnée.

Une consommation de 20 l d'air / min à -30 m ($P_{abs} = 4 \text{ bar}$), correspond à :
 $20 \text{ l} \times 4 = 80 \text{ l}$ d'air en équivalent surface.

Il suffit alors de diviser le volume d'air **disponible** en surface soit:

$$(12 \times 200) / 80 = 2400 / 80 = 30 \text{ min} .$$

Le plongeur a une autonomie de 30 min .

Méthode 2 : calculer le volume d'air disponible à la profondeur donnée.

Les 2400 l d'air disponibles en surface dans le bloc correspondent à :
 $2400 \text{ l} / 4 = 600 \text{ l}$ d'air à 4 bar (P_{abs} de -30 m).

Le plongeur consommant 20 l d'air / min, on obtient une autonomie de :
 $600 / 20 = 30 \text{ min}$.

3) La consommation d'air

POUR VOTRE SECURITE:

Ces calculs d'autonomie sont **théoriques** et il sera nécessaire de prendre en compte dans la pratique :

- les instructions données par le directeur de plongée du site,
- le temps de plongée défini en fonction de la profondeur du site,
- le temps nécessaire pour effectuer la remontée et les éventuels paliers,
- l'annonce de la mi- pression (ou 100 bar dans la bouteille) par le premier des équipier, ce qui amorce automatiquement le retour et la remontée de l'ensemble de la palanquée,
- tout incident ou signe qui met fin à la plongée, même s'il reste plus de 100 bars dans chacune des bouteilles de la palanquée.

De même, il vous sera demandé de remonter à bord du bateau avec 50 bars dans la bouteille.

3) La consommation d'air

Cas pratique:

Quel bloc gonflé à 200 bars prendre pour une plongée de 12 min sur le Donator, sur un fond de 48 m ? 12 l ou 15 l ?

(conso surface 20 l / min , en gardant 100 bars pour la remontée, les paliers et la réserve retour bateau)

- 1) Conso d'air à 48 m = $20 \text{ l / min} \times 5,8 \text{ bars} = 116 \text{ l / min}$
- 2) Pour 12 min , le plongeur a besoin de : $12 \times 116 \text{ l} = 1392 \text{ l}$
- 3) Air disponible au fond = 100 bars $\Rightarrow 1392 \text{ l} : 100 = 13,92 \text{ l}$
- 4) Le bloc de 12 l serait donc insuffisant, il faut choisir un 15 l
(qui sera dans la pratique, gonflé d'avantage pour sécuriser la plongée!)

3) La consommation d'air

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 difficiles (faible visibilité, houle, piquêre, frayeur, etc.)
- le courant : il faut toujours partir à contre-courant, pour revenir sans effort avec le courant
- le froid
- l'équipement : un lestage mal adapté, une combinaison ou un gilet stabilisateur trop serrés...
- la condition physique : une bonne hygiène de vie, un entraînement régulier en piscine ou en milieu naturel
- un comportement « nerveux »: palmage inefficace ou rapide, mouvements de bras ou agitation permanente
- le facteur physiologique : chaque individu a une consommation naturelle qui lui est propre (différence entre homme et femme).

4) La flottabilité

Le plongeur autonome se doit de contrôler, à tout instant de la plongée, sa flottabilité, pour pouvoir respecter :

- la profondeur « plancher »

(prérogatives définies par le Code du Sport et consignes du DP ou la planification établie)

- le profil de la plongée en palanquée

- le maintien d'un palier

- La faune et la flore

ET ... ne pas engager une situation à risque, pour soi comme pour ses équipiers !

4) La flottabilité

Cela suppose de bien :

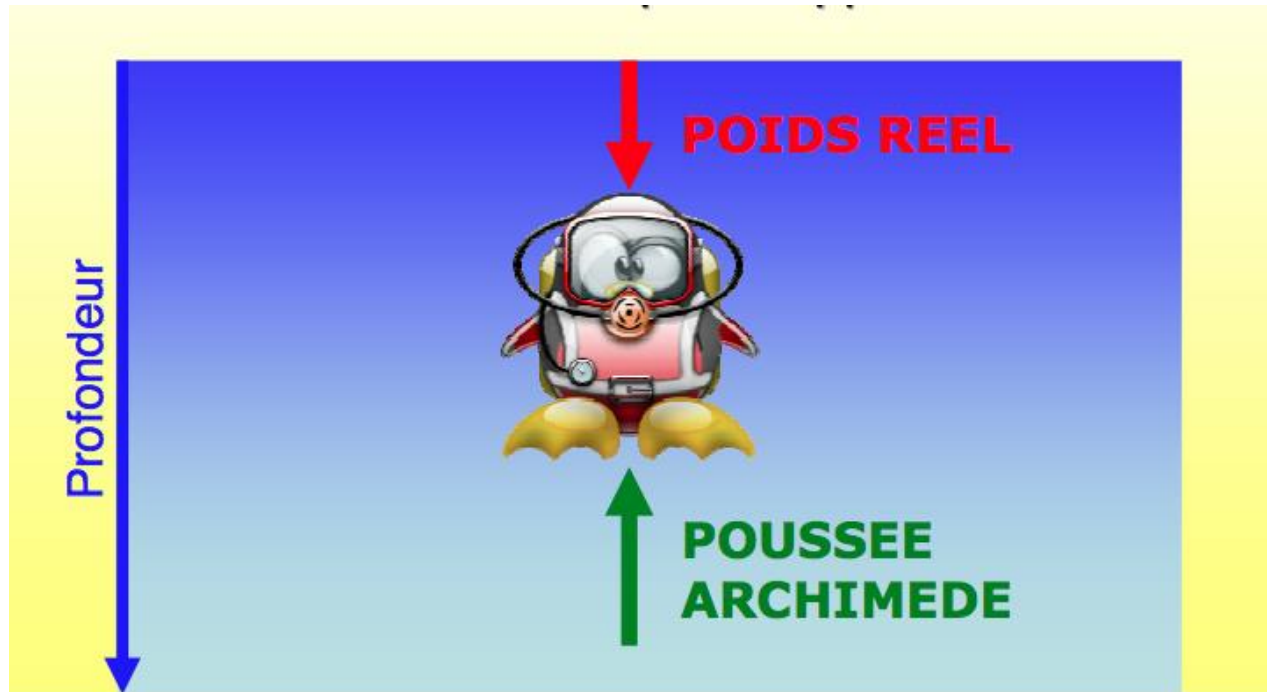
- maîtriser son immersion et sa descente
- maîtriser son équilibre en évolution
- maîtriser sa remontée



4) La flottabilité

Lorsqu'un plongeur s'immerge, cela met en jeu 2 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**.



4) La flottabilité

Poussée d'Archimède : tout corps plongé dans un fluide subit de la part de celui-ci une poussée verticale, exercée du bas vers le haut, égale au poids du volume du fluide déplacé.

Poussée d'Archimède (en kg) = Volume (en l) x Densité de l'eau (en kg/l)

(densité de l'eau douce = 1 kg/l)

(densité de l'océan atlantique = 1,02 kg/l)

(densité de la mer rouge = 1,04 kg/l)

On comprend que la flottabilité dépend de la salinité de l'eau.

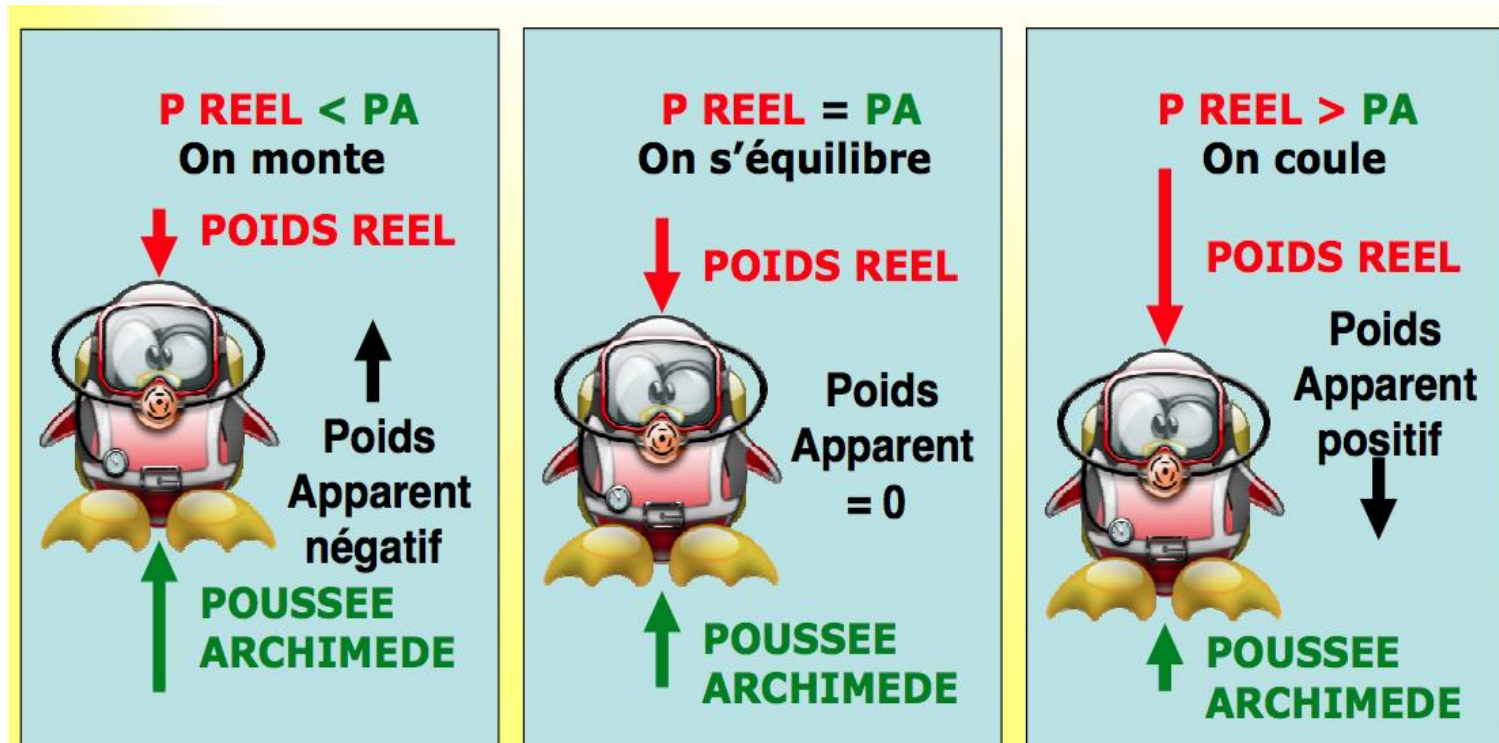
Donc le lestage est à ajuster en fonction du volume du plongeur équipé et de l'eau douce ou salée .

4) La flottabilité

Correctement équilibré, le plongeur est en flottabilité nulle.

Lorsque la poussée d'Archimède est plus forte, on monte, on est en flottabilité positive.

Lorsque le poids réel est plus fort, on descend, on est en flottabilité négative



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

4) La flottabilité

- > Un nageur flotte en surface
- > l'équipement fait varier le volume et le poids du plongeur : le lestage sert à retrouver l'équilibre (flottabilité nulle)



4) La flottabilité

Application au plongeur:

Un nageur pèse 80 kg, on considère son volume de 80 l, il reçoit dans un lac en eau douce, une poussée d'Archimède de : $80 \text{ l} \times 1 \text{ kg/l} = 80 \text{ kg}$

on sait que : POIDS APPARENT = POIDS REEL - POUSSÉE D'ARCHIMEDE

on applique : $P_{app} = 80 \text{ kg (poids réel du plongeur)} - 80 \text{ kg (poussée d'Archimède sur ce plongeur)} = 0$, donc il flotte !

- Ensuite, le nageur enfile une combinaison humide de 7 mm, d'un volume de 6 l et d'un poids de 1 kg, (il augmente donc un peu son poids et un peu plus son volume). Son nouveau poids apparent est :

$P_{app} = (\text{poids réel du plongeur} + \text{sa combi}) - (\text{poussée d'Archimède sur le plongeur en combi})$

Donc : $P_{app} = (80 \text{ kg} + 1 \text{ kg}) - (80 \text{ l} + 6 \text{ l}) \times 1 \text{ kg/l} = 81 \text{ kg} - 86 \text{ kg} = - 5 \text{ kg}$,

il lui manque 5 kg pour être à 0, en flottabilité nulle, c'est à dire en équilibre dans l'eau.

Il lui faut donc rajouter 5 kg de plomb pour nager avec cette combinaison.

- Enfin, il s'équipe d'un bloc acier de 12 l gonflé à 200 bar (comme ceux du club) d'un poids apparent (donc dans l'eau) de 5 kg .

Lorsque le bloc est à 50 bar, son poids apparent n'est plus que de 3 kg. Quel est le bon lestage ?

Pour être correctement équilibré au palier de 3 m, c'est à dire en fin de plongée, quand le bloc est proche de 50 bar, le plongeur doit être en équilibre, avec une flottabilité neutre.

A ce moment le poids apparent du bloc est de 3 kg ; c'est le bloc qui remplace le lest pour ces 3 kg! On peut donc retirer 3 kg de plomb à la ceinture qui en avait 5 précédemment.

Le bon lestage, en lac, est donc de 2 kg.

Pour que la plongée

soit toujours un plaisir

- Maintenez vous en bonne condition physique
- Soyez intransigeant sur la sécurité
- Respectez scrupuleusement les consignes des Directeurs de Plongée
- Ne plongez pas si vous ne le sentez pas
- Ayez en permanence à l'esprit, la cohésion de la palanquée
- Evoluez progressivement vers la plongée profonde
- Pas d'effort après la plongée



Merci à tous

Et le gonflage ????