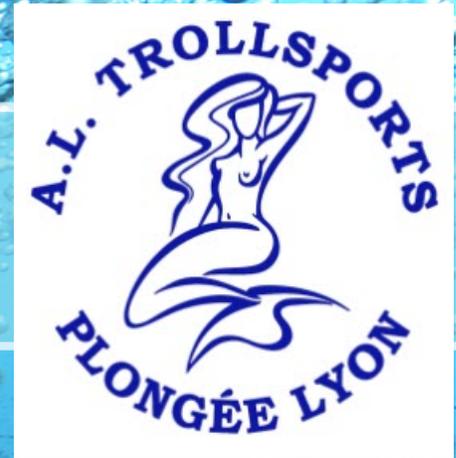


# NIVEAU 2 - THEORIE



## LOIS PHYSIQUES : PRESSIONS/ VOLUMES / FLOTTABILITE

25/11/2024



**Laetitia FUENTES**  
FFESSM E3 #25823  
Moniteur Nitrox #9737  
CMAS Instructor\*\*  
Advanced Nitrox Instructor



**Yves GRANGER**  
FFESSM  
MF2 n° 2071  
Moniteur Nitrox n° 6471  
EH1 n° 174 - Antear n° 4806  
CMAS INSTRUCTOR \* \* \*  
Advanced Nitrox Instructor

# Objectif de ce cours

En tant que plongeurs Niveau 2 (encadré jusqu'à 40m / autonome jusqu'à 20m) vous devrez :

- *Planifier votre plongée par rapport à votre consommation en air*
- *Comprendre l'influence des volumes sur la flottabilité*
- *Savoir adapter votre lestage pour évoluer en immersion en sécurité, comprendre les risques liés au sous-lestage ou au sur-lestage*
- *Comprendre l'influence de la variation de la flottabilité sur la vitesse de remontée*
- *Réguler votre vitesse de remontée de manière autonome*

Ce cours vous apporte les éléments théoriques de compréhension pour la mise en œuvre pratique de ces éléments

# Agenda

## 1 Introduction

## 2 Pressions et Volumes en plongée

## 3 La Flottabilité et le Lestage

## 4 En résumé

- Optique et Acoustique
- Rapport entre pression et volume
- Incidence sur la consommation en Air
- Calcul d'Autonomie en Air pour une plongée
- Facteurs favorisant une consommation plus importante
- Pourquoi je flotte / pourquoi je coule
- Agir sur la flottabilité
- Le lestage – faire un bon test de lestage
- Facteurs de risques et conséquences d'un mauvais lestage

# Introduction : optique et acoustique

## Lumière et couleurs ?

La lumière est absorbée dans l'eau : plus je plonge profond et plus le spectre lumineux se réduit. La visibilité dépend de la quantité de lumière qui franchit la surface, de la profondeur, de la transparence de l'eau

## L'influence du masque ?

Le masque déforme la vision : tout apparaît plus près (distance  $\times 3/4$ ) et plus gros (taille environ  $\times 4/3$ )

## Et comment j'entends ?

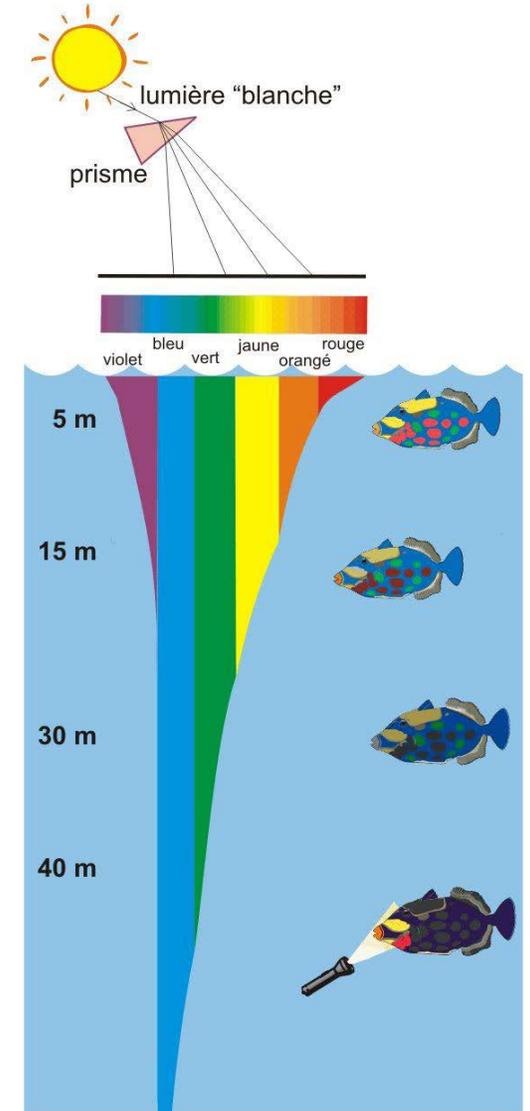
Dans l'air, nous entendons les sons et sommes capables de déterminer la direction d'où ils nous viennent. En plongée, nous entendons nettement les sons, y compris ceux qui viennent de très loin. Par contre, nous sommes incapable de déterminer d'où ils nous arrivent.

Cela est dû au fait que l'onde sonore ne se déplace pas à la même vitesse dans tous les milieux

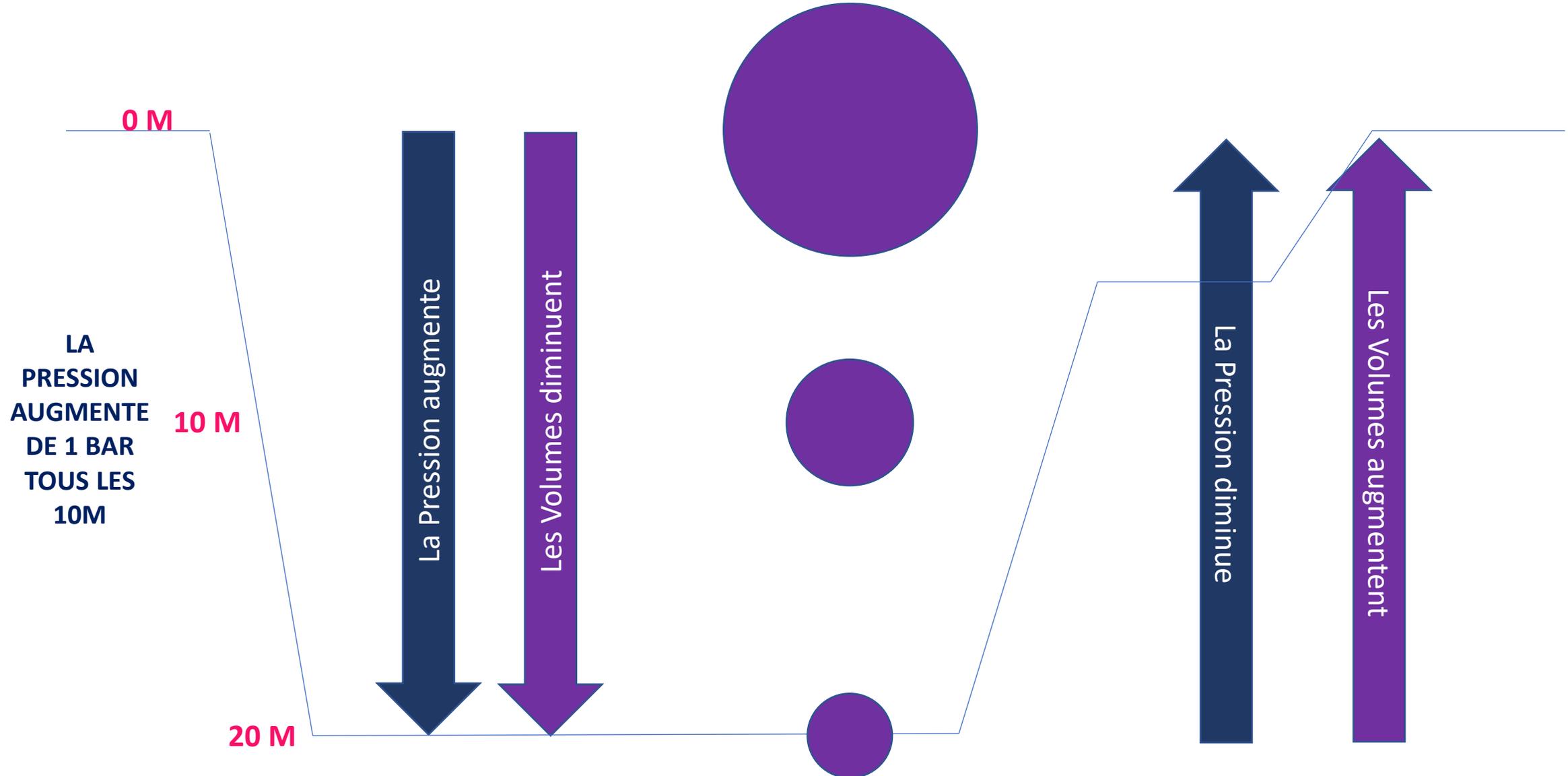
Dans l'air, la vitesse du son est de 300 m/s.

Dans l'eau, la vitesse du son est de 1500 m/s.

Soit 5 fois plus vite environ



# Pression et Volumes – Ce que vous savez déjà



# La Pression : de quoi parle-t-on ?

Unité ? La pression s'exprime en **bar**. Elle matérialise la force appliquée sur une surface.

## Pression atmosphérique ?

C'est le poids de l'air

Elle est d'environ 1 bar au niveau de la mer

## Pression Hydrostatique ?

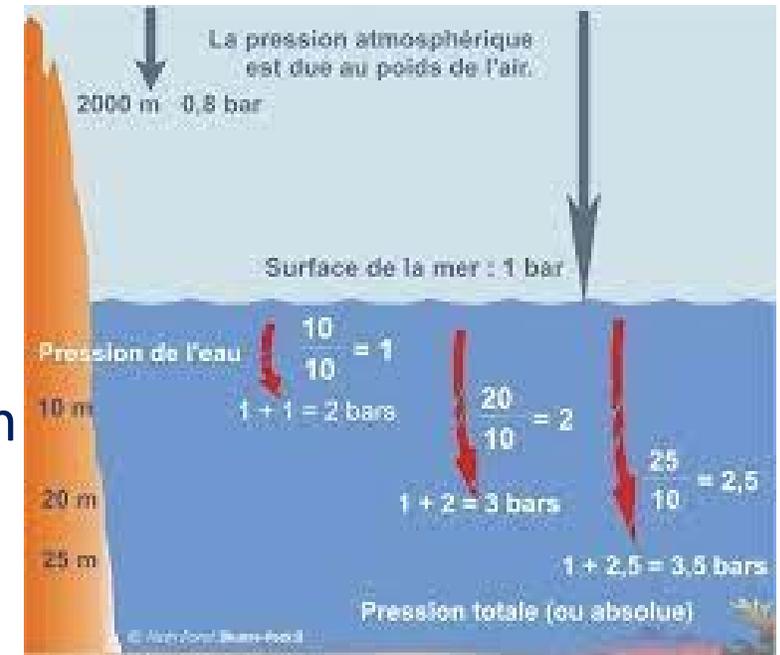
C'est le poids de l'eau. En immersion, elle augmente de 1 bar tous les 10m de profondeur

## Pression Absolue ?

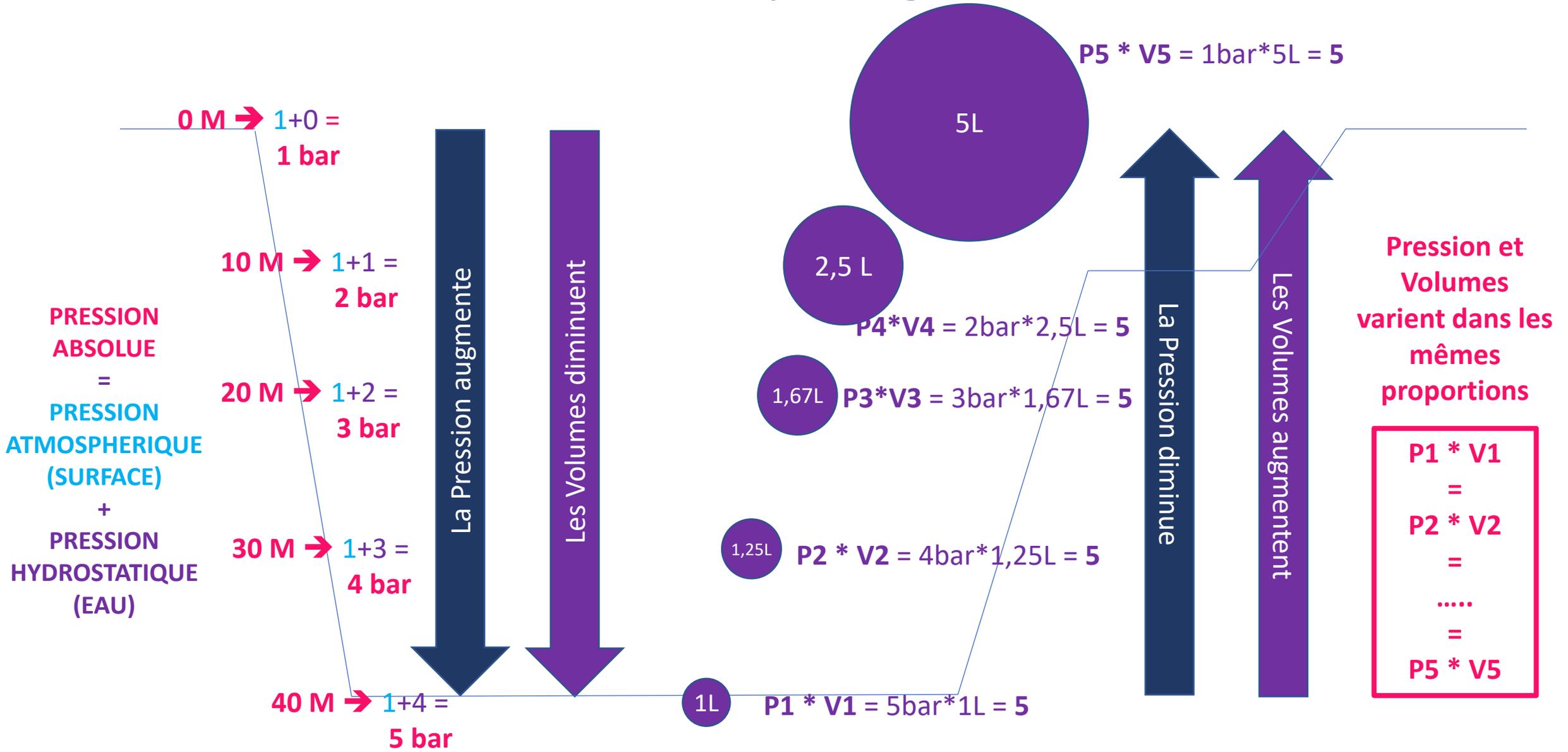
Il s'agit de la pression totale subie par le plongeur en immersion

Elle est la somme de

**Pression atmosphérique + Pression hydrostatique**



# Pressions et Volumes en plongée



# Application pratique 1 = le volume dans mon bloc

Combien de litres d'air contient mon bloc ?

Mon bloc de 12L ( $V_1$ ) est gonflé à 200 bars ( $P_1$ ).

*Quel est son volume Total ( $V_2$ ) à la surface, c'est à dire à la pression atmosphérique de 1bar ( $P_2$ ) ?*

Rappel :  $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$

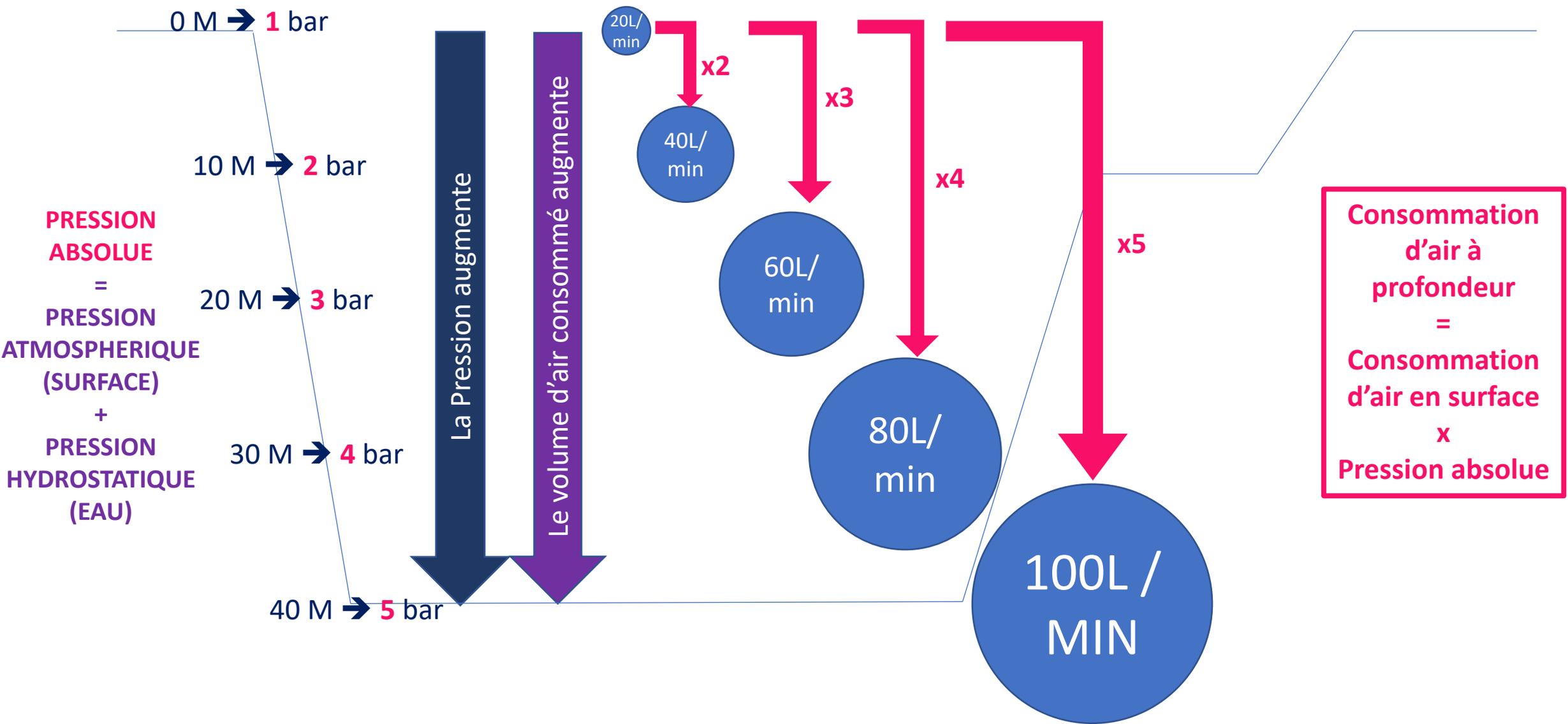
$200 \text{ bar} * 12\text{L} = 1 \text{ bar} * V_2 \rightarrow V_2 = 12 * 200 = 2\,400 \text{ L}$

Et mon bloc de 15L à 210 bar ?

$V_2 = 210 \text{ bar} * 15\text{L} = 3\,150 \text{ L}$



# Application pratique 2 = Evolution de la consommation en Air



# Application pratique 3 : Calculs d'Autonomie en air

Un plongeur équipé d'un bloc de 12L gonflé à 200 bars va plonger à 20M de profondeur. Il doit remonter à la surface avec min. 50 bar dans son bloc. S'il consomme 18 L/min en surface quelle est son autonomie (en minutes) pour cette plongée ?

## METHODE 1

### *Utiliser la consommation équivalente*

#### ETAPE 1 : calcul de la quantité d'air disponible

Une fois la réserve de 50 bars retirée (il ne peut pas la consommer), le plongeur dispose avec son bloc, en surface à la pression atmosphérique de 1 bar de  $(200 - 50) \text{ bar} * 12\text{L} = \underline{1\ 800\ \text{L d'air}}$

#### ETAPE 2 : calcul de la consommation à la profondeur

A 20M la pression absolue est de 3 bar.

A 20M il consomme donc :  $18\ \text{L/min} * 3 = \underline{54\ \text{L/min}}$

#### ETAPE 3 : calcul de l'autonomie

Son autonomie en AIR est donc de :

$1\ 800\ \text{L} / 54\ \text{L/min} = \underline{33\ \text{minutes environ}}$

## METHODE 2

### *Utiliser le volume équivalent disponible*

#### ETAPE 1 : calcul de la quantité d'air disponible

Une fois la réserve de 50 bars retirée (il ne peut pas la consommer), le plongeur dispose avec son bloc, en surface à la pression atmosphérique de 1 bar de  $(200 - 50) \text{ bar} * 12\text{L} = \underline{1\ 800\ \text{L d'air}}$

#### ETAPE 2 : calcul du volume disponible équivalent à profondeur

A 20M la pression absolue est de 3 bar. A 20M le volume d'air disponible (en équivalent surface) est de :  $1800\ \text{L} / 3 = \underline{600\ \text{L}}$

#### ETAPE 3 : calcul de l'autonomie

Son autonomie en AIR est donc de :

$600\ \text{L} / 18\ \text{L/min} = \underline{33\ \text{min. environ}}$



**La Consommation d'Air augmente avec la profondeur et l'Autonomie diminue ... Il est essentiel d'en tenir compte lorsqu'on prépare sa plongée !**

# Facteurs modifiant la consommation

## Je consomme moins quand ...

Je suis en forme

Je maîtrise la ventilation

Je limite /contrôle mes efforts

Je me stabilise mieux et je ne touche pas à mon gilet pendant mon évolution

*Mon lestage est optimal →  
chapitre suivant 😊*

## Je consomme plus quand ...

Je suis fatigué : mauvaise forme physique

Je suis stressé : mauvaise forme psychique

Je prends de l'âge

Je fais des efforts (lutte contre le courant par exemple)

Je lutte contre le froid

# Flottabilité et Lestage - Ce que vous savez déjà

## ÇA FAIT COULER

Le bloc  
Le matériel : détendeur,  
Le plomb

## ÇA FAIT FLOTTER

La combinaison  
L'air dans le gilet  
L'air dans les poumons

## Le lestage

Le plomb vient compenser la flottaison pour permettre l'immersion

A matériel équivalent je mets plus de plomb en mer qu'en eau douce

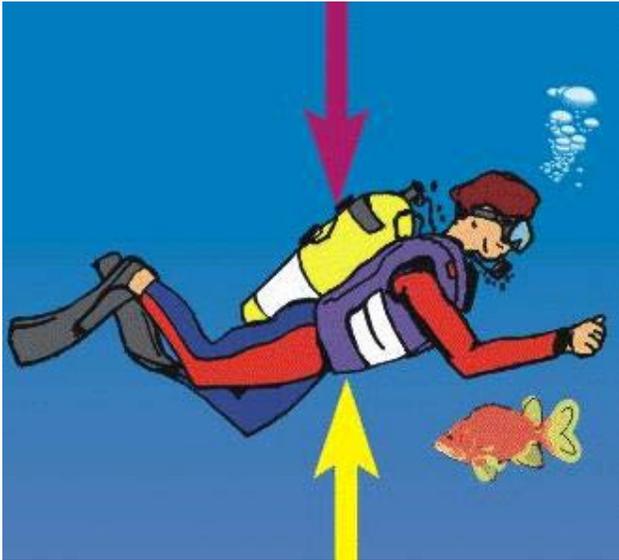
Il faut avoir suffisamment de plomb pour immerger mais pas trop : mon guide de palanquée m'aide à choisir et me fait faire un test de lestage

# Flottabilité : Pourquoi ça coule / pourquoi ça flotte

CE QUI ME FAIT COULER

**POIDS REEL EN KG = poids du plongeur tout équipé**

*Plongeur + Bloc + Matériel (Gilet, Détendeur, Combinaison, etc...)*



**POIDS APPARENT = POIDS REEL – POUSSEE d'ARCHIMEDE**

*Si Poids Apparent > 0 → Flottabilité négative → le plongeur coule*

*Si Poids Apparent = 0 → Flottabilité neutre → le plongeur est équilibré*

*Si Poids Apparent < 0 → Flottabilité positive → le plongeur flotte (remonte)*

CE QUI M'EMPECHE DE  
COULER

**POUSSEE D'ARCHIMEDE EN KG = Poids correspondant au volume d'eau déplacé par le plongeur tout équipé**

# Application pratique : Calcul de lestage

Un plongeur tout équipé présente les caractéristiques suivantes :

	Poids réel	Volume total
Plongeur	72 kg	70 L
Bloc de 12L	18 kg	14 L
Gilet	3 kg	6 L
Combinaison	4 kg	6 L
Matériel divers	4 kg	6 L

## EN EAU DOUCE – densité de l'eau = 1 kg/L

### ETAPE 1 : calcul du poids réel

Somme des poids réels du plongeur et de son matériel

$$\text{Poids réel} = 72 + 18 + 3 + 4 + 4 = 101 \text{ kg}$$

### ETAPE 2 : calcul de la poussée d'Archimède

Volume total d'eau déplacée = 70 + 14 + 6 + 6 + 6 = 102 L

$$\text{Poussée} = \text{Volume} * \text{densité de l'eau} = 102 * 1 = 102 \text{ kg}$$

### ETAPE 3 : calcul du Poids Apparent

$$\text{Poids apparent} = \text{Poids réel} - \text{Poussée} = 101 - 102 = -1 \text{ kg}$$

### ETAPE 4 : conclusion sur le lestage nécessaire

Pour équilibrer et avoir un poids apparent nul il faut donc ajouter 1kg de plomb

## EN MER – densité de l'eau = 1,03 kg/L

### ETAPES 1 : calcul du poids réel → 101 kg

### ETAPE 2 : calcul de la poussée d'Archimède

$$\text{Poussée} = \text{Volume} * \text{densité de l'eau} = 102 * 1,03 = 105 \text{ kg}$$

### ETAPE 3 : calcul du Poids Apparent

$$\text{Poids apparent} = \text{Poids réel} - \text{Poussée} = 101 - 105 = -4 \text{ kg}$$

### ETAPE 4 : conclusion sur le lestage nécessaire

Pour équilibrer et avoir un poids apparent nul il faut donc ajouter 4kg de plomb



Pour un matériel équivalent le poids nécessaire en mer est plus important car la poussée d'Archimède est plus forte (liée à une densité plus importante de l'eau)

# Agir sur sa Flottabilité

- Agir sur son Poids Réel : on ajuste le lestage, le poids du bloc

- Agir sur son volume : on ajuste le volume de la combinaison, les volumes d'air contenus dans les poumons, dans le gilet

*La maîtrise du Poumon Ballast est essentielle pour le plongeur et la gestion de sa stabilisation.*

*Le volume d'air mobilisé dans les poumons peut atteindre 3L (inspiration forcée ou expiration forcée) et donc faire varier notre flottabilité !*

*Alors on expire fortement pour faciliter l'immersion ... et on ne touche pas à son gilet en phase de fond, le poumon étant largement suffisant à des variations de quelques mètres*



A gauche, poids 14,3kg  
À droite, poids 17,8 kg



à gauche - Taille XL Flottabilité 21,4 L  
à droite - Taille S Flottabilité 14,3 L

# Comment faire un test de lestage ?

Le test de lestage s'effectue toujours avec un binôme et toujours à proximité du support de plongée :

- détendeur en bouche
- masque sur le visage
- palmes à la verticale, sans palmer
- gilet entièrement purgé
- en tenant l'inflateur en main pour intervenir en cas de descente non contrôlée

Sur une expiration forcée → il faut avoir le niveau de l'eau à 1 bras au-dessus de la tête.

Si vous êtes trop haut (moins de 1 bras) alors ajoutez 1kg

Si vous continuez de descendre en dessous de 1m sans pouvoir stopper à l'aide de votre seul poumon ballast, alors enlevez 1kg

# Le lestage au Niveau 2

Le Sous-lestage ou le Sur-lestage représentent un **DANGER**

- Le Sous lestage entraine une non-tenue de palier, une remontée trop rapide en surface → accident
- Le Sur-lestage est un facteur de risque pour l'essoufflement (nécessite d'injecter plus d'air dans le gilet)

Le Plongeur Autonome doit savoir quand faire un test de lestage :

- Toute modification de l'équipement → changement de combinaison, de gilet, de bloc, ajout d'un phare lourd, combinaison qui n'a pas été immergée depuis longtemps, etc...
- Toute modification de l'environnement → eau douce/ eau de mer, mer chaude
- Toute modification de votre physiologie (perte ou prise de poids)
- Première plongée d'un WE

Je dois savoir faire un test de lestage pour moi-même, mais aussi aider mes coéquipiers

Prêter attention à un bon équilibre du lest sur soi

- attention à la répartition autour de la ceinture
- pas de plomb entre le dos et le bloc
- prévoir des plombs dans les poches, larguables, pour faciliter le test de lestage
- équilibrer le plomb entre les poches de la stab et la ceinture

# En résumé (1/2) ...

Pression absolue subie par le plongeur en immersion. 1 bar (pression atmosphérique) + 1 bar tous les 10m (pression hydrostatique)

## Rapport entre la pression et les volumes

- Lorsque la pression augmente, les volumes diminuent, et inversement
- De manière toujours identique :  **$P1 * V1 = P2 * V2$**

## Application : la consommation en Air

La consommation en volume d'air par minute augmente proportionnellement à la pression absolue :

**Conso d'air à profondeur = Conso d'air en surface x Pression absolue**

Cela me permet de calculer mon autonomie en air pour ma plongée

Plusieurs facteurs impactent ma consommation :

- Facteurs physiologiques : âge, état de forme
- Facteurs comportementaux : stabilisation, ventilation, efforts
- Facteurs environnementaux : Froid
- Un bon (ou un mauvais) lestage

# En résumé (2/2) ...

## Je flotte / je coule

Si Poids Apparent  $> 0$  → Flottabilité négative → le plongeur coule

Si Poids Apparent  $= 0$  → Flottabilité neutre → le plongeur est équilibré

Si Poids Apparent  $< 0$  → Flottabilité positive → le plongeur flotte (remonte)

## J'agis sur ma flottabilité

En agissant sur mon poids réel : lestage, bloc

En agissant sur mon volume : volume d'air dans le gilet, volume d'air dans les poumons – importance du Poumon Ballast à l'immersion, en déplacement à profondeur

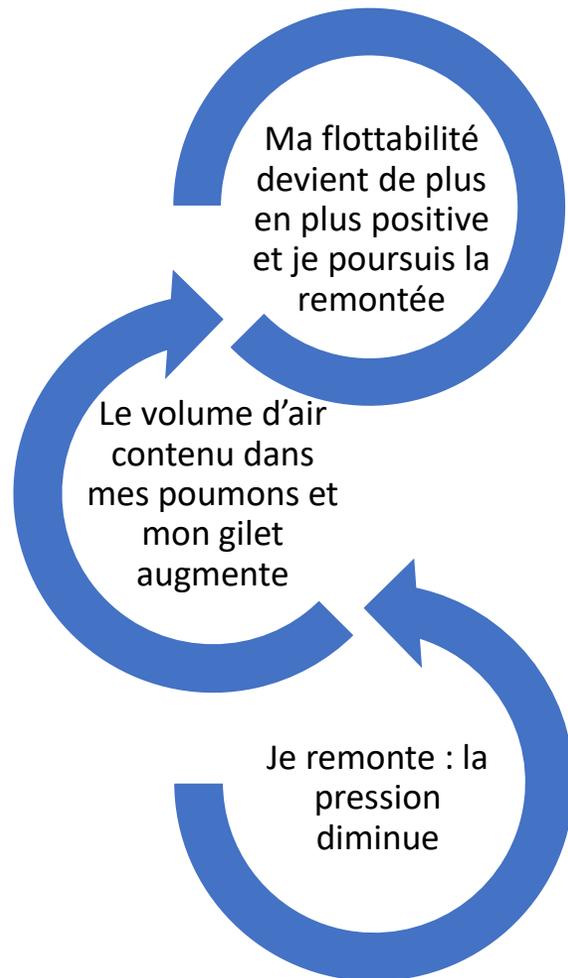
## Le test de lestage

**Danger du sur-lestage = essoufflement**

**Danger du sous-lestage = remontée rapide en surface → Accident**

Faire un test de lestage : en cas de modification de mon équipement (combinaison, bloc, etc...), en cas de modification de l'environnement (eau douce/ eau de mer), en cas de modification de votre physiologie (perte ou prise de poids), lors de la première plongée d'un WE

# Et la vitesse de remontée ?



## POUR FREINER MA REMONTEE

*Je recherche à retrouver un état d'équilibre, flottabilité neutre → Je dois donc diminuer mon volume pour retrouver un poids apparent égal à zéro*

*D'abord je diminue mon volume pulmonaire (expiration forcée)  
Ensuite je diminue mon volume d'air dans le gilet (purge)*

Merci !

Prochain COURS le 09/12

*Thème : les accidents  
barotraumatiques*