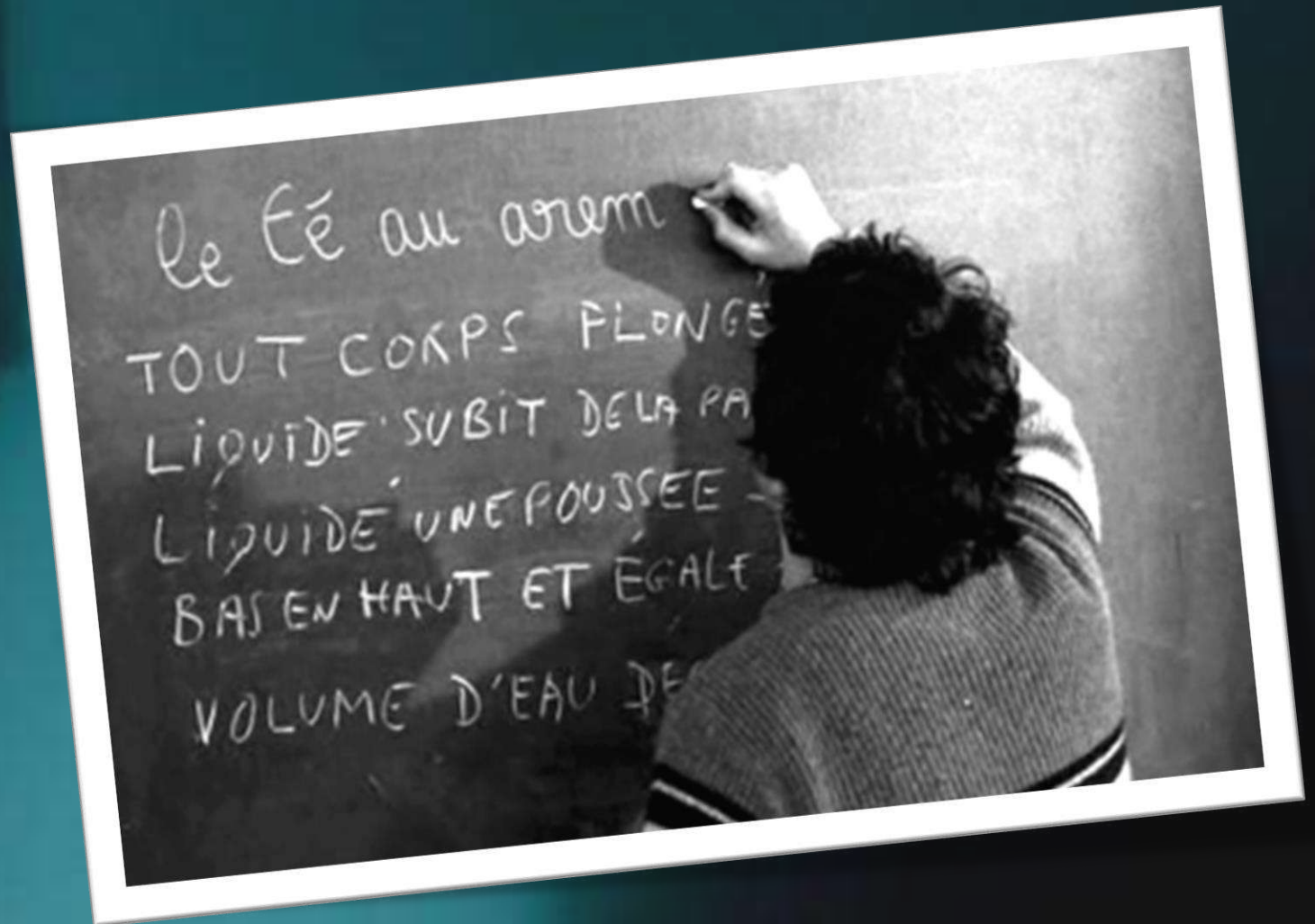


# FORMATION APNEE ACEL

## LES LOIS PHYSIQUES



# I. NOTIONS DE PHYSIQUE ET FORMATION ACEL

## ➤ Pourquoi parler de physique ?

### Compétence n° 5 : CONNAISSANCES THÉORIQUES

Connaissances, savoir-faire et savoir-être	Commentaires et limites	Critères de réalisation
- Avoir des notions simples en matière d'anatomie, de physiologie et de physique permettant de comprendre les effets du milieu et les accidents.	- Rester à des problèmes correspondant à une pratique de l'Apnéiste Confirmé en Eau Libre.	- Évaluation orale ou par écrit au choix du jury
- Connaître les causes, symptômes, prévention et conduite à tenir pour les accidents pouvant survenir dans le cadre des prérogatives (barotraumatismes, syncope, PCM, OAP).	- L'Apnéiste Confirmé en Eau Libre n'a pas à connaître les mécanismes fins ni les traitements qui suivront.	
- Connaître les réglementations concernant la pratique de l'apnée, les prérogatives et les responsabilités de l'Apnéiste Eau Libre Confirmé.	- On restera dans ce qui concerne les prérogatives de l'Apnéiste Confirmé en Eau Libre.	
- Savoir organiser la sécurité en apnée.	- En poids constant et poids variable.	
- Avoir des connaissances en matière : - D'environnement. - De biologie.	- Connaître les principes des « Ecogestes » et savoir comment les mettre en œuvre (mise à l'eau, choix de la zone, comportement, utilisation du matériel, connaissance des autres usagers du milieu...) - Connaissances très succinctes sur les espèces les plus communes, compréhension du vivant.	- Démontrer sous forme de discussion la compréhension des principes de prévention en matière d'environnement.

- Avoir des notions simples en matière d'anatomie, de physiologie et de physique permettant de comprendre les effets du milieu et les accidents.

## ➤ Le milieu aquatique

Lois physiques spécifiques :

- Densité de l'eau
- Pressions
- H<sub>2</sub>O : Propriétés particulières

## ➤ L'être humain

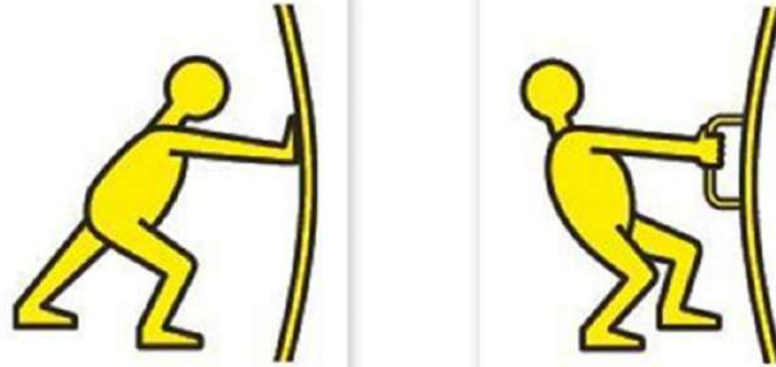
- L'homme (et la femme aussi !) ne sont pas des êtres aquatiques
- Adaptation nécessaire au milieu
- Les lois physiques ont des impacts sur le corps humain
- Importance de la compréhension des lois physiques pour ne pas se laisser surprendre

**Compréhension = anticipation = sécurité**

## II. RAPPELS : QUELQUES NOTIONS GÉNÉRALES

### ➤ La force :

**La Force :**



→ Une force est un phénomène qui peut faire bouger ou déformer un objet.

Dans l'eau, nous subissons 2 forces :

- La force gravitationnelle
- La poussée d'Archimède

## ➤ La masse :

Représente la quantité de matière qui compose un objet

Elle est exprimée en Kg ...

Elle est fonction de :

- La taille



- La matière



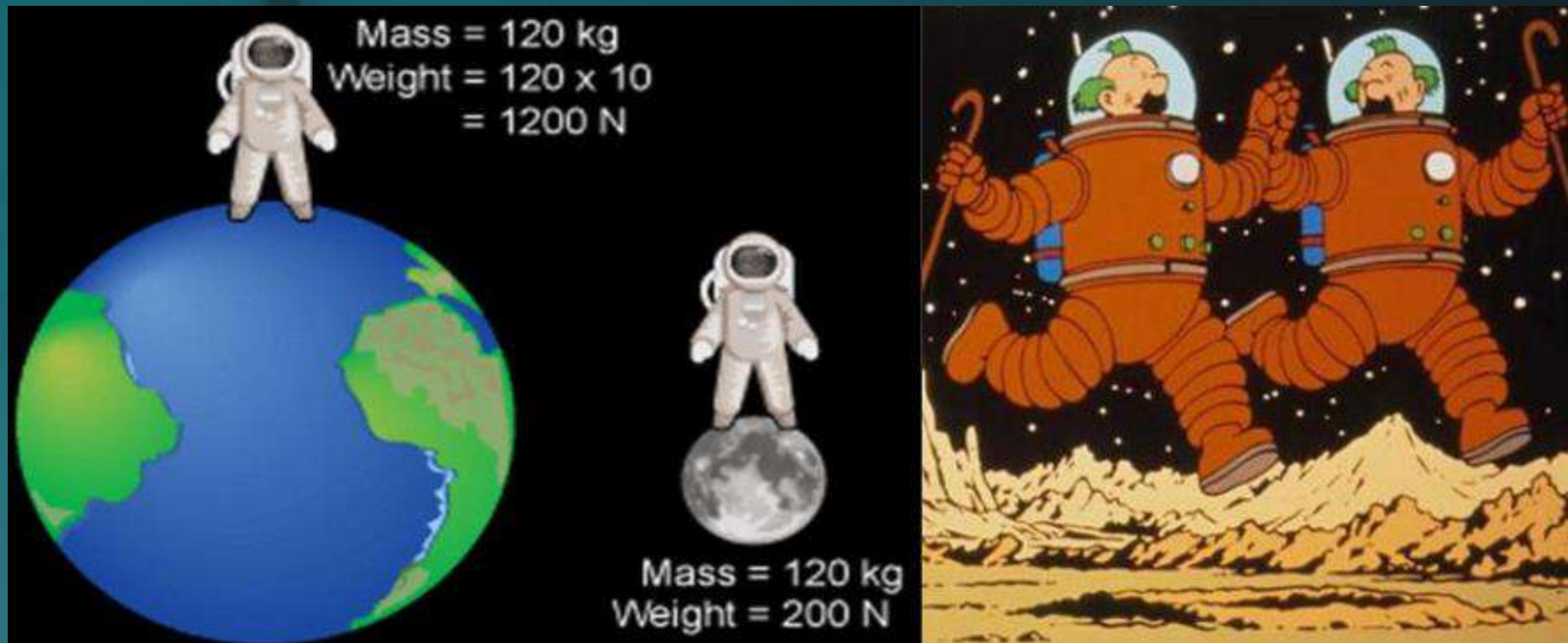


## ➤ Le poids :

C'est la force exercée par la gravité sur un objet

Elle s'exprime en Newtons

(Elle est utilisée à tort pour parler de la masse)



Remarque : en apnée, on assimilera des forces à des masses

## ➤ La densité (notion simplifiée)

C'est le rapport de la masse sur le volume :

(= masse volumique)

Exprimée en kg/m<sup>3</sup>

densité

masse

$$\rho = \frac{m}{v}$$

volume



On verse dans une carafe de 1 litre :

Polystyrène



Eau



Cailloux



→ Qu'est ce qui est le plus lourd ?

- Le plomb est  $\approx$  11 fois plus dense que l'eau
- L'eau est  $\approx$  770 fois plus dense que l'air
- Le corps humain à une densité  $\approx$  à celle de l'eau

## ➤ La pression

C'est la force exercée sur une surface donnée

Exprimée Pascal (1 Pa = 1 N/M<sup>2</sup>)

La pression augmente si :

→ la force augmente

→ la surface diminue

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



Remarque : en apnée, on utilisera le Bar :  $10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ Kg/cm}^2$



### III. LA PRESSION EN APNÉE

#### ➤ Quelles pressions ?

Dans l'eau, nous subissons 2 pressions :

- La pression atmosphérique : poids de l'air  
1 Bar à la surface de la mer ( $1 \text{ kg/ cm}^2$ )
- La pression hydrostatique : poids de l'eau

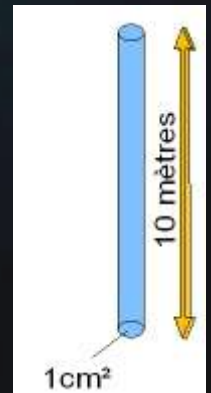
Colonne de 10 m d'eau sur  $1 \text{ cm}^2 = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ L} = 1 \text{ kg}$

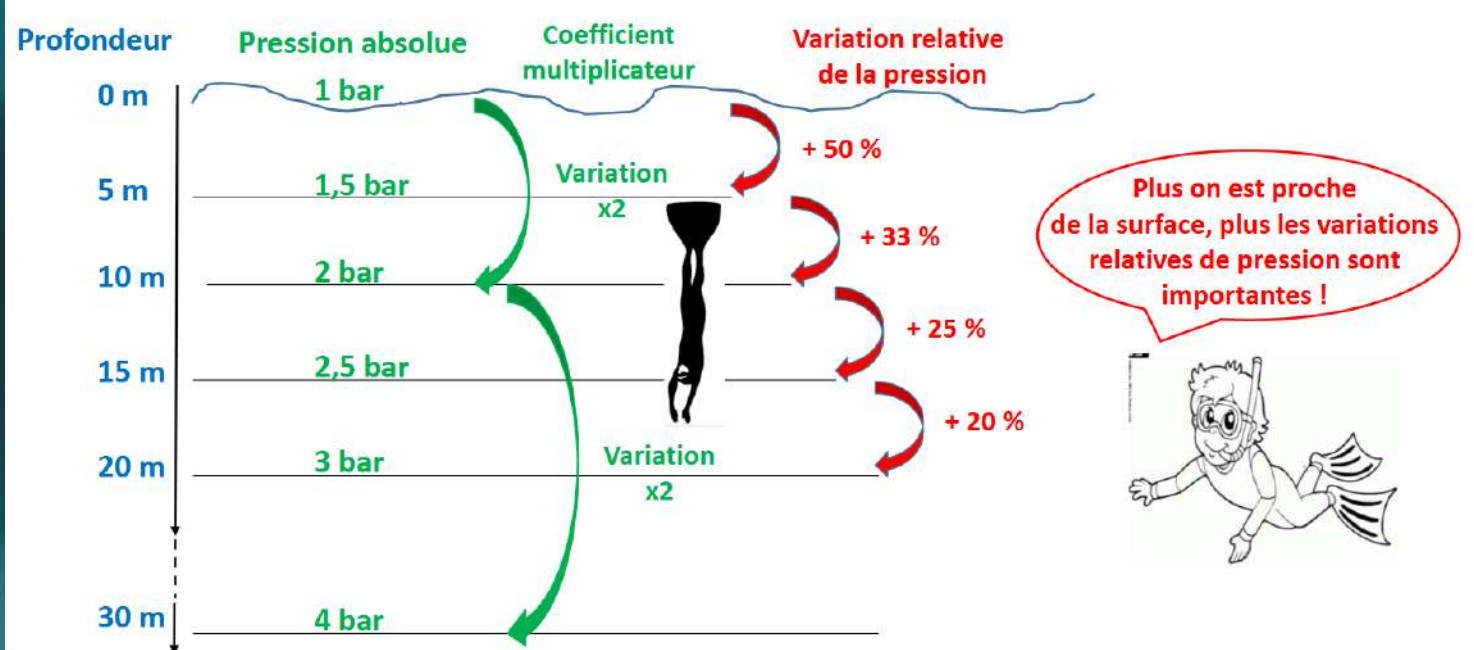
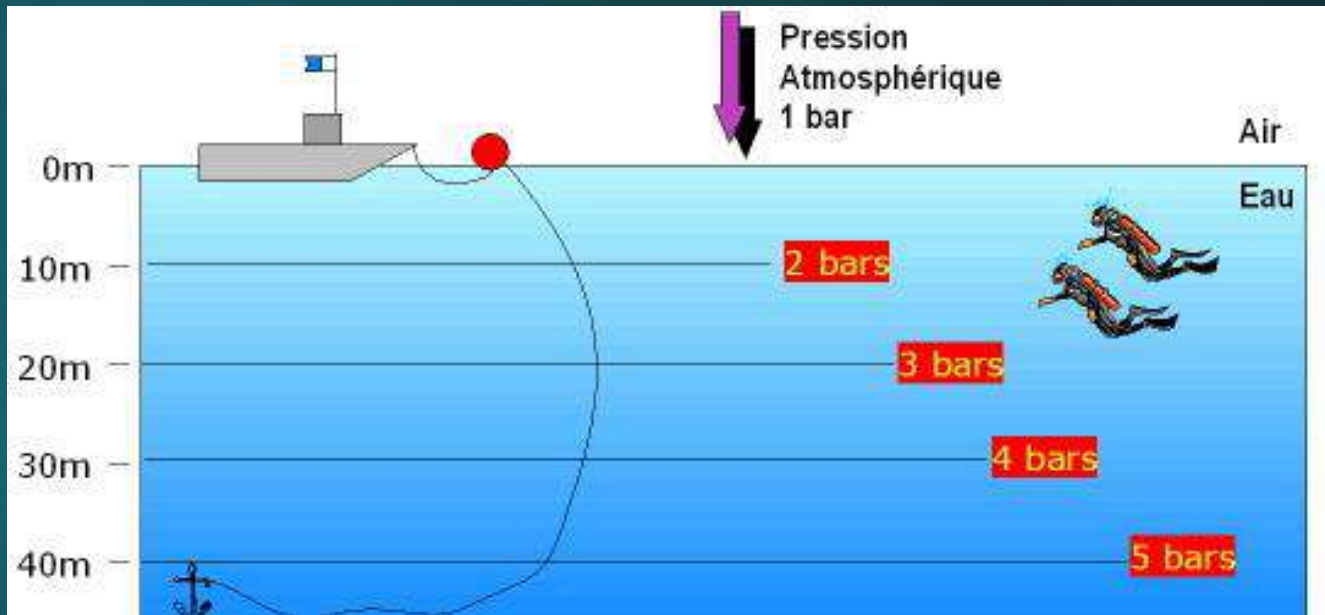
La  $P_{\text{Hydrostatique}}$  est de  $1 \text{ kg/ cm}^2$  (1 Bar) pour 10m d'eau

Elle augmente de 1 Bar tous les 10 m

- En plongée nous subissons la somme des 2 pressions :

$$P_{\text{Absolue}} = P_{\text{Atmosphérique}} + P_{\text{Hydrostatique}}$$





## IV. LA LOI DE MARIOTTE

Mariotte (Edme pour les intimes) est un physicien botaniste français du 17<sup>ème</sup> siècle.

Son nom est- souvent associé à celui de Robert Boyle, physicien irlandais de la même époque ayant travaillé sur la compressibilité des gaz



### ➤ Que dit la loi de Mariotte ?

*« A température constante, une diminution du volume d'un gaz entraîne une augmentation de sa pression. Inversement, la diminution de la pression du gaz se traduit par une augmentation de son volume »*



Injection d'air à volume  $\sim$  constant  $\rightarrow$  P augmente

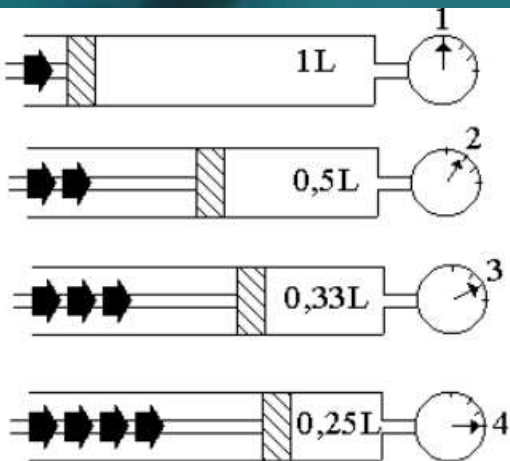


Injection d'air à volume variable  $\rightarrow$  P n'augmente pas

## ➤ Résumé de la loi de Mariotte:

A température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoit

$$PV = C^{ste} \quad \text{ou} \quad P_1V_1 = P_2V_2 = \dots = P_nV_n$$



A la pression de 1 bar le volume est de 1 litre :  $1 \times 1 = 1$

A la pression de 2 bar le volume est de 0,5 litre :  $2 \times 0,5 = 1$

A la pression de 3 bar le volume est de 0,333 litre :  $3 \times 0,333 = 1$

A la pression de 4 bar le volume est de 0,25 litre :  $4 \times 0,25 = 1$

## ➤ La loi de Mariotte, pour nous les apnéistes ?

Lors d'une descente en apnée verticale :

La pression augmente → les volumes de gaz emprisonnés diminuent

C'est le cas pour :

- L'air des cavités du corps : poumons, sinus, oreille moyenne ...
- L'air du masque
- L'air contenu dans le néoprène de la combinaison

Conséquences :

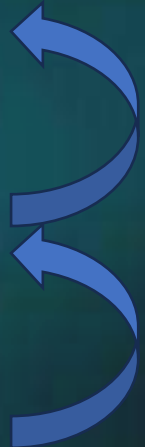
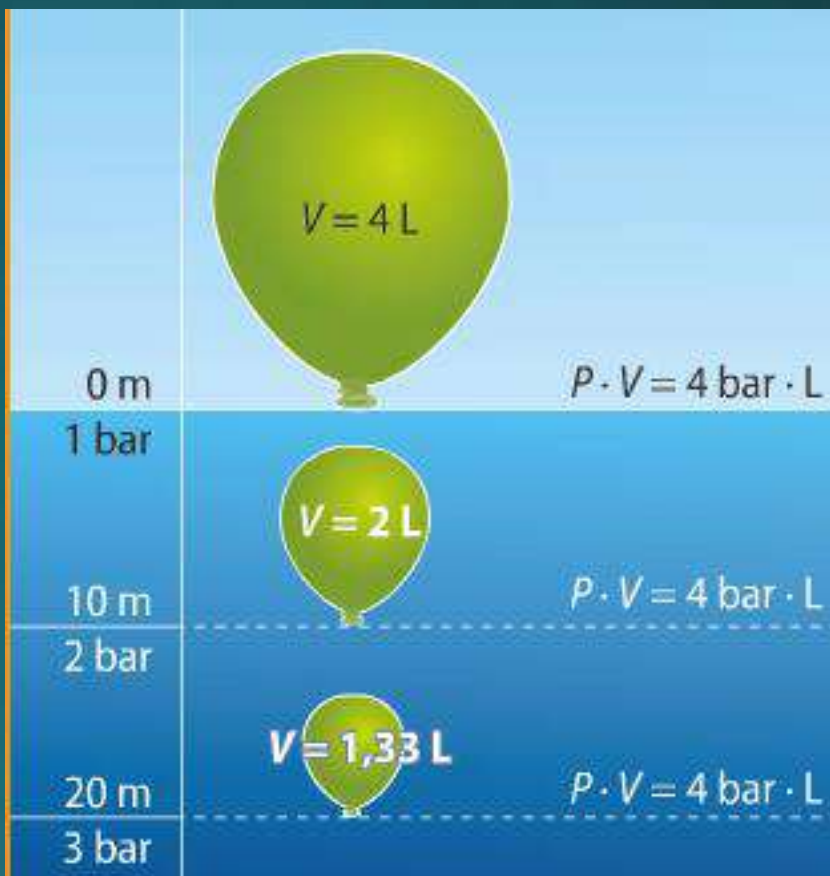


Barotraumatismes



Flottabilité





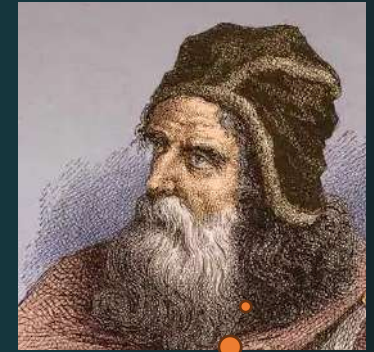
Volume x 2

Volume x 1,5

Plus on est proche de la surface, plus les variations de volumes sont importantes



# V. LA POUSSÉE D'ARCHIMEDE



Archimède est un scientifique grec né en 287 Av J-C

## ➤ Archimède : le théorème

« Tout corps plongé dans un liquide reçoit de la part de ce liquide une poussée verticale dirigée de bas en haut égale au poids du volume de liquide déplacé »

ήύρηκα!

A la Graule, si un objet vous échappe et tombe du ponton, il va suivre une trajectoire verticale due à sa masse et à la force d'attraction ...

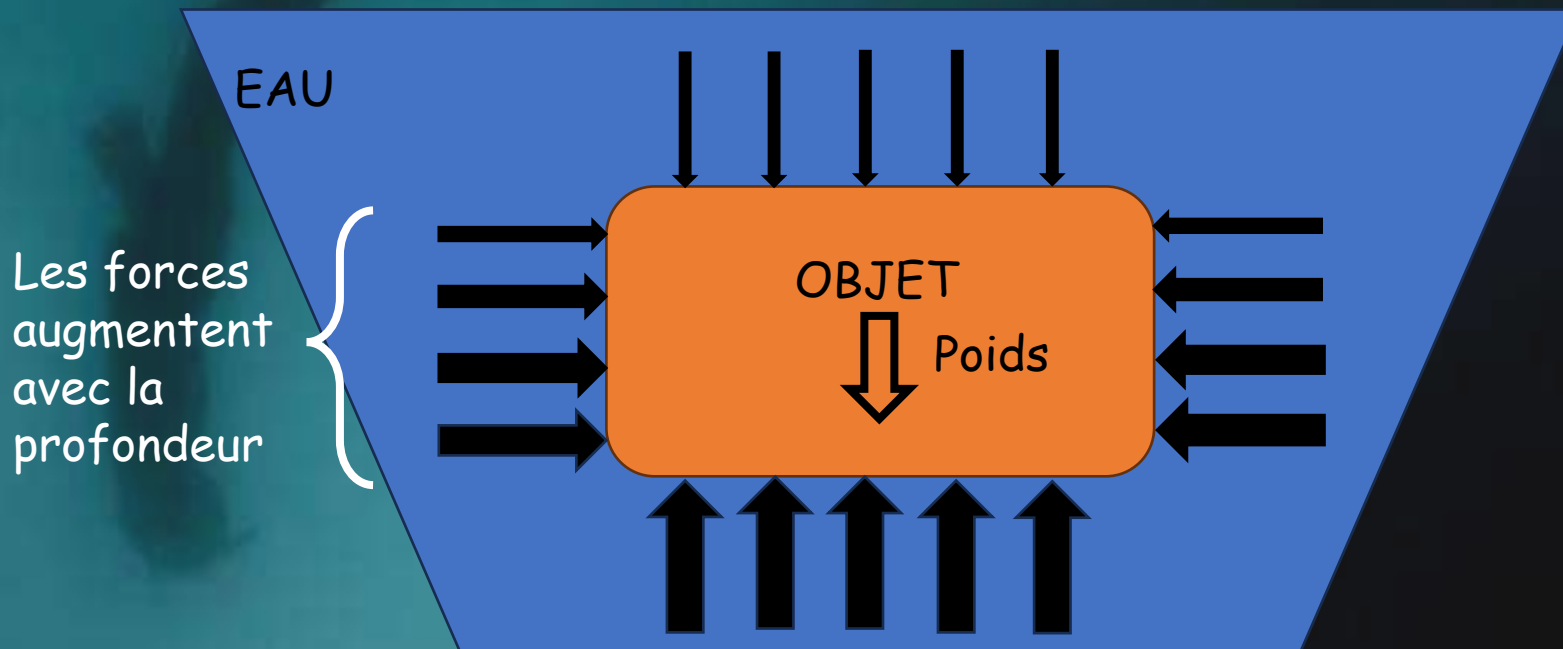
Arrivé dans l'eau ... ça dépend ... de l'objet et de la poussée d'Archimède !



Le théorème d'Archimède se rapporte au **poids apparent** des objets dans l'eau

## ➤ La poussée d'Archimède : explications

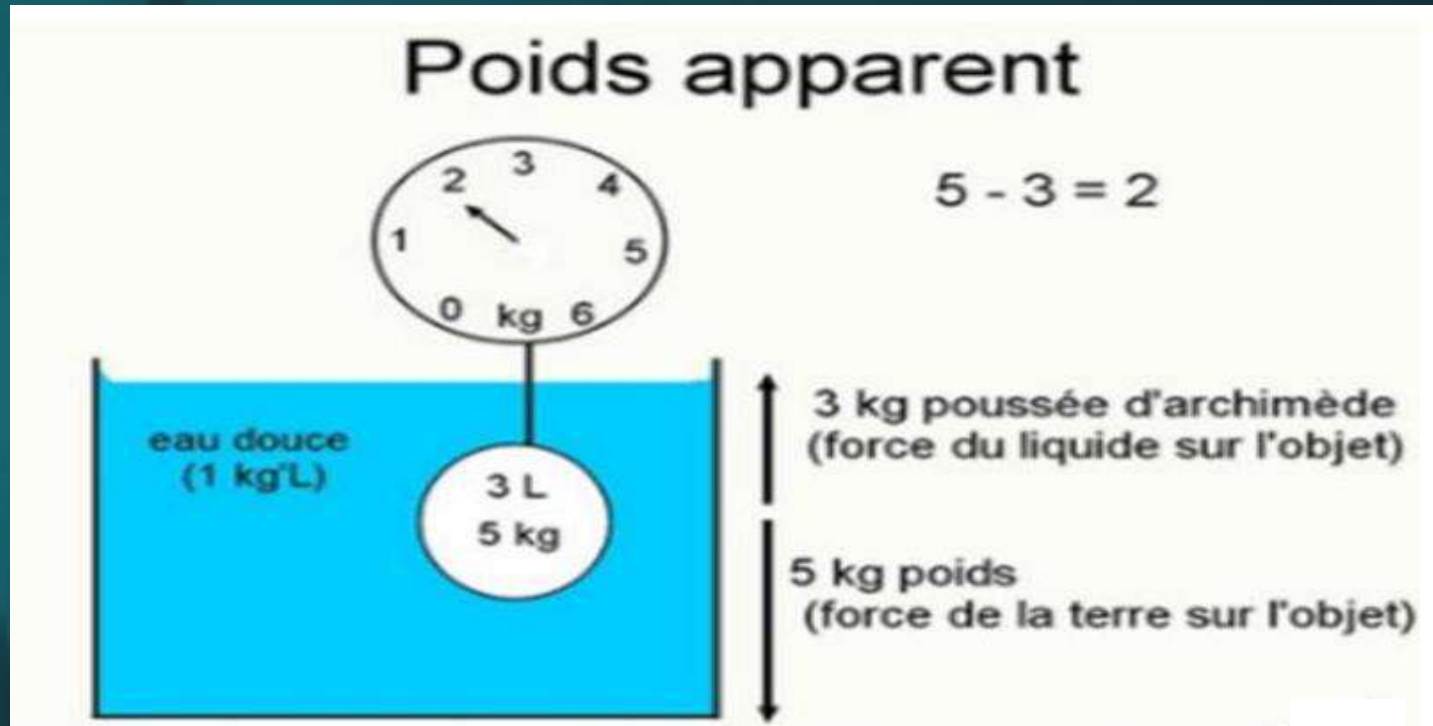
- Un objet plongé dans l'eau subit des forces :
  - la force gravitationnelle
  - des forces de pression sur toutes ses parois
- Les forces de pression augmentent avec la profondeur
- Certaines forces s'annulent (ex : forces horizontales)







## ➤ Archimède - poids apparent - flottabilité

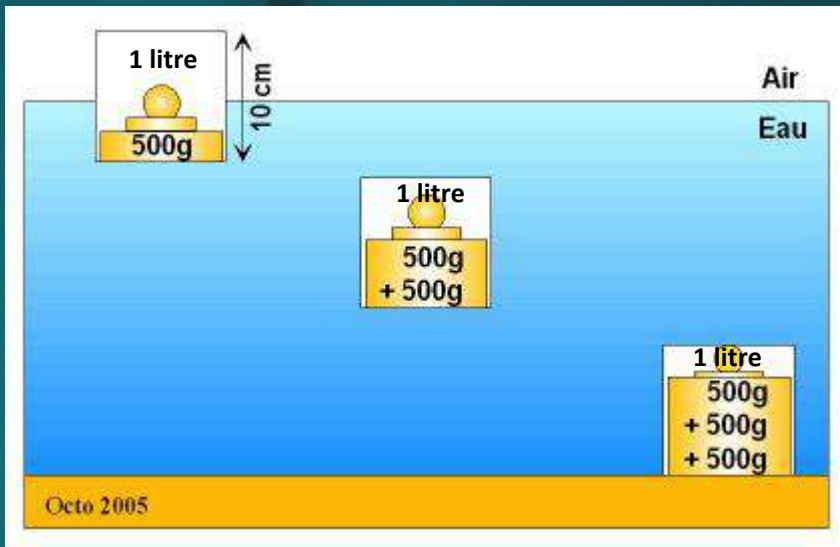


Poids apparent = Poids réel - Poussée d'Archimède

La poussée d'Archimède augmente quand le volume augmente



## ➤ Archimède - poids apparent - flottabilité



- $P_{app} = 500 - 1000 = - 500$   
→ Flottabilité positive
- $P_{app} = 1000 - 1000 = 0$   
→ Flottabilité neutre
- $P_{app} = 1500 - 1000 = + 500$   
→ Flottabilité négative

Ex de facteurs pouvant influençant la flottabilité :

- Prise d'air avant apnée (volume pulmonaire)
- Combinaison (nature, épaisseur, écrasement)
- Équipement de l'apnéiste (phare, appareil photo...)
- Corpulence de l'apnéiste (poids de l'eau déplacé)
- Lestage



## ➤ Zoom sur Archimède et la flottabilité

Volume d'air pulmonaire : ex d'un apnéiste de 70 kg, vol 72L (dont 6L poumons)

	Pression	Volume pulmonaire	P x V	Poids apparent	Flottabilité
En surface	1 Bar	6 Litres	$1 \times 6 = 6$	$70 - 72 = -2$	Flotte
À - 20 m	3 Bars	2 Litres	$3 \times 2 = 6$	$70 - 68 = +2$	Coule

Pour l'apnéiste : variation de poids apparent entre la surface et - 20m = + 4kgs

La densité de l'eau : eau douce ou eau salée

La densité de l'eau salée est plus importante (1,03) que celle de l'eau douce (1)

Conséquences :

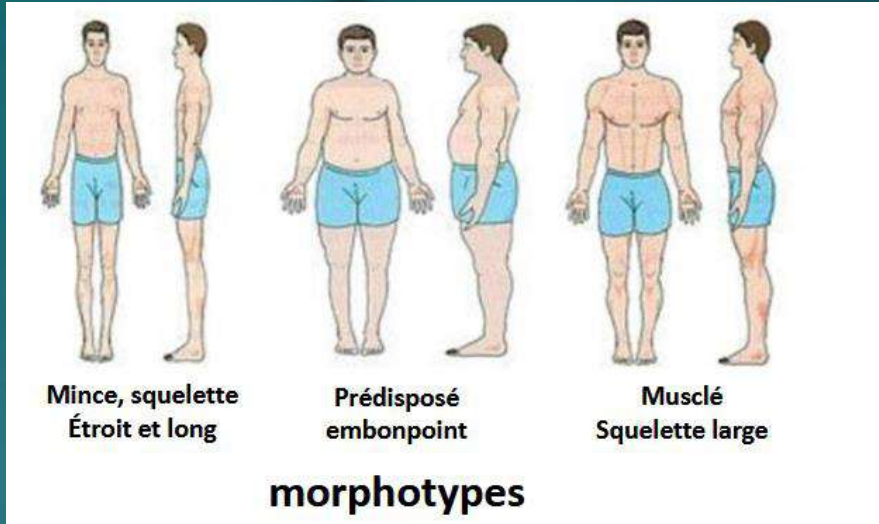
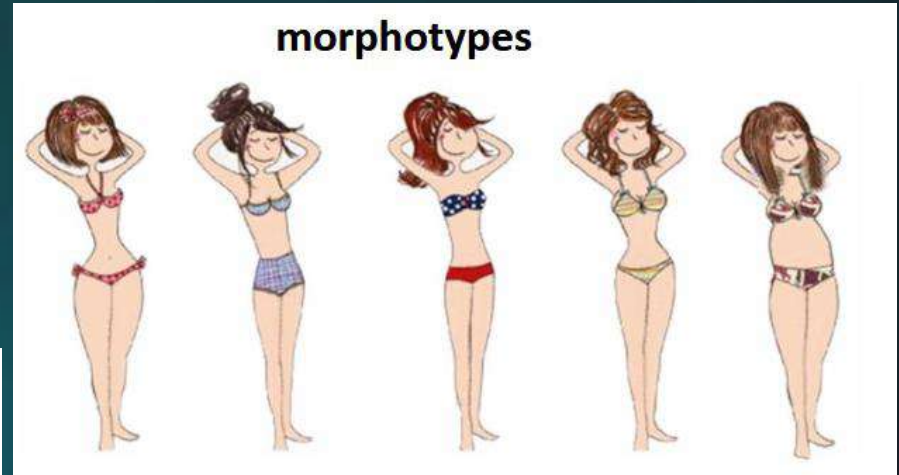
- diminution du poids apparent
- flottabilité augmentée
- Lestage à augmenter

# ➤ Zoom sur Archimède et la flottabilité

Volume corporel :

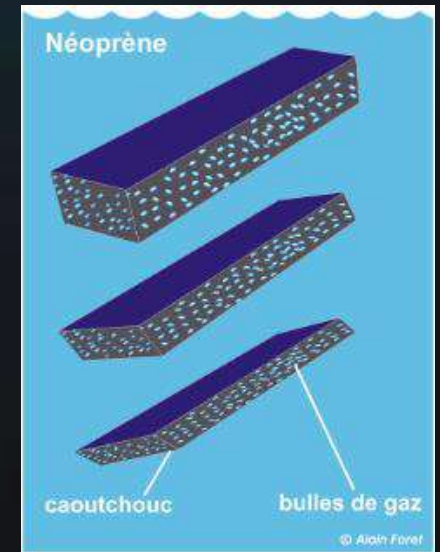
il dépend du sexe et du morphotype

Le lestage devra être adapté à chacun



La combinaison : variation sur une descente à - 20m

Exemple de variation du poids apparent :  
+ 2 kgs avec une combinaison 7 mm



## ➤ Synthèse sur la flottabilité et le lestage

La flottabilité dépend de :

- Du milieu : plus grande en mer qu'en eau douce
- De l'équipement : Plus grande avec une combinaison  
Augmente avec l'épaisseur de la combinaison
- Du volume d'air dans les poumons
- De la profondeur : grande variation près de la surface

Le lestage :

- A adapter aux conditions
  - Aide à l'immersion : flottabilité positive en surface
  - Attention à ne pas se sur-lester : flottabilité négative au fond
- Être sous-lesté en surface

## VI. LA LOI DE DALTON

John Dalton est un chimiste et physicien britannique connu pour sa théorie atomique et ses recherches sur le daltonisme au début du 19<sup>ème</sup> siècle



### ➤ Dalton : la loi des pressions partielles

« La pression exercée par un mélange gazeux est égale à la somme des pressions de chacun des gaz constituant le mélange s'il était seul dans l'enceinte.

Chacune de ces pressions s'appelle pression partielle ».

$$P = PP_1 + PP_2 + \dots + PP_n$$

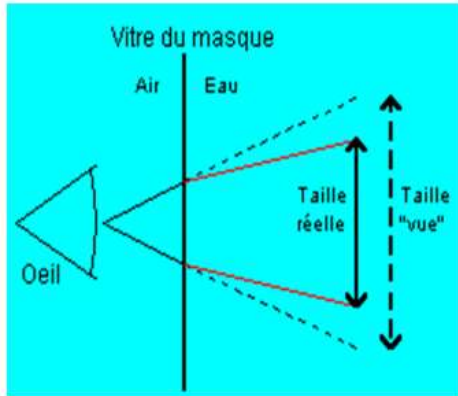
La pression partielle est égale au produit de la pression totale du mélange par le pourcentage du gaz dans le

mélange :  $PP = \% P$

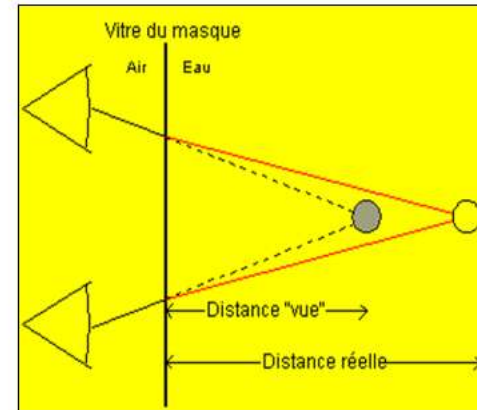


# VII. LA VISION SOUS L'EAU

Les objets paraissent plus gros : de 33%



Les objets paraissent plus rapproché : de 25%



## L'eau absorbe les couleurs de la lumière

1 m	Absorption de l'infra-rouge	
5 m	Absorption du rouge	
10 m	Absorption du orange	
20 m	Absorption du jaune	
30 m	Absorption du vert	
	Absorption du bleu	

## VIII. L'AUDITION SOUS L'EAU

### ➤ Vitesse de propagation des ondes sonores

Les ondes sonores se propagent plus vite dans l'eau que dans l'air :

Dans l'air : 330 m/s

Dans l'eau : 1500 m/s → 4,5 fois plus vite

Ceci est dû à la différence de densité du milieu

### ➤ Conséquences

Difficulté pour apprécier les distances (ex : bateau qui semble très proche )

Impossible de savoir d'où vient le son :

C'est la différence de perception du son par les 2 oreilles, analysée par le cerveau qui permet la localisation. Cette différence est trop faible dans l'eau à cause de la vitesse de transmission des sons.

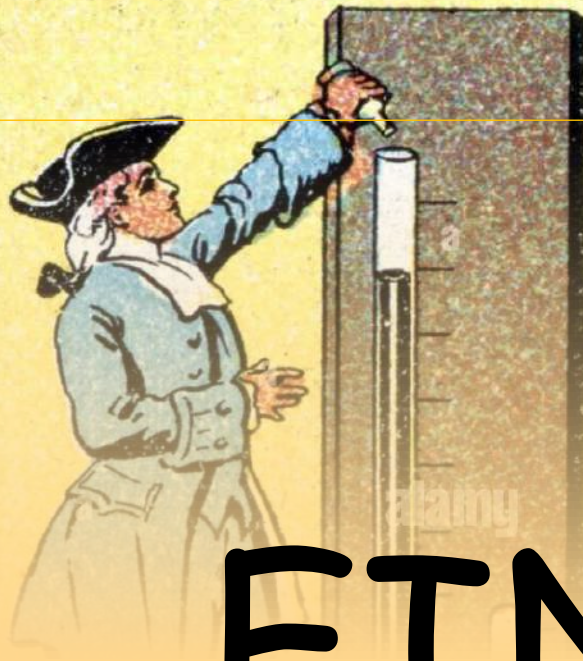
Il faut donc rester prudent en présence d'un bruit de moteur !

# BIBLIOGRAPHIE

- Notions de physique ACEL - 2017 - Frédéric IMBACH
- Formation Apnée ACEL - Physique - 2022 - Cédric VIOU
- Site octo75 : Formation/N2/Physique
- Définitions Wikipédia

# LA LOI DE MARIOTTE

$$VH = vh$$



FIN