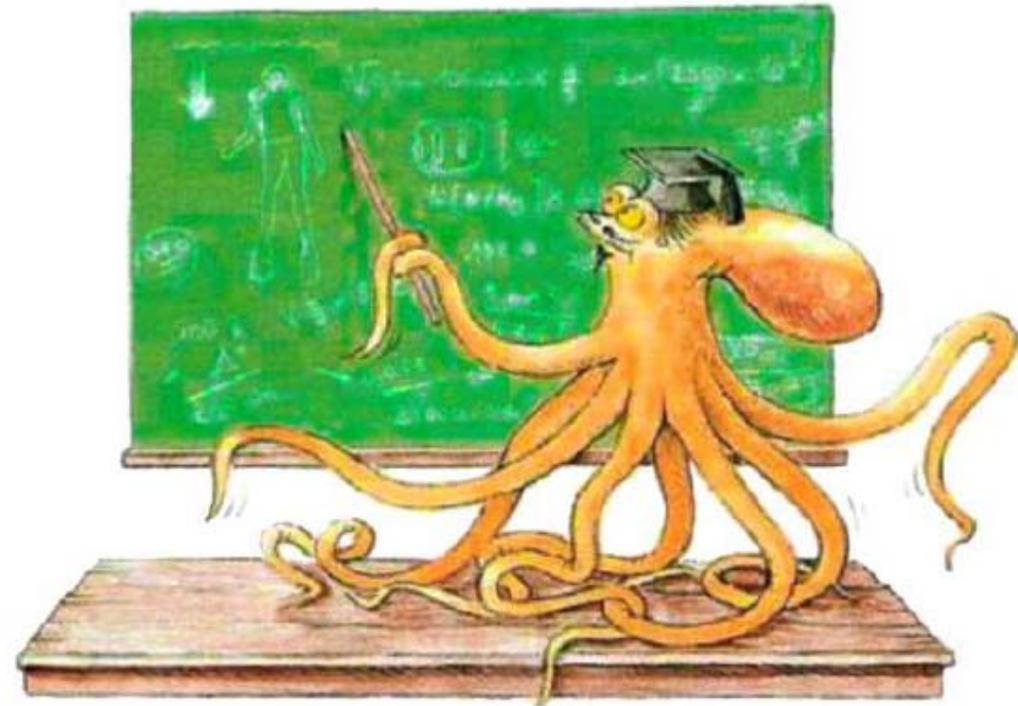


PHYSIQUE

Les Pressions

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède



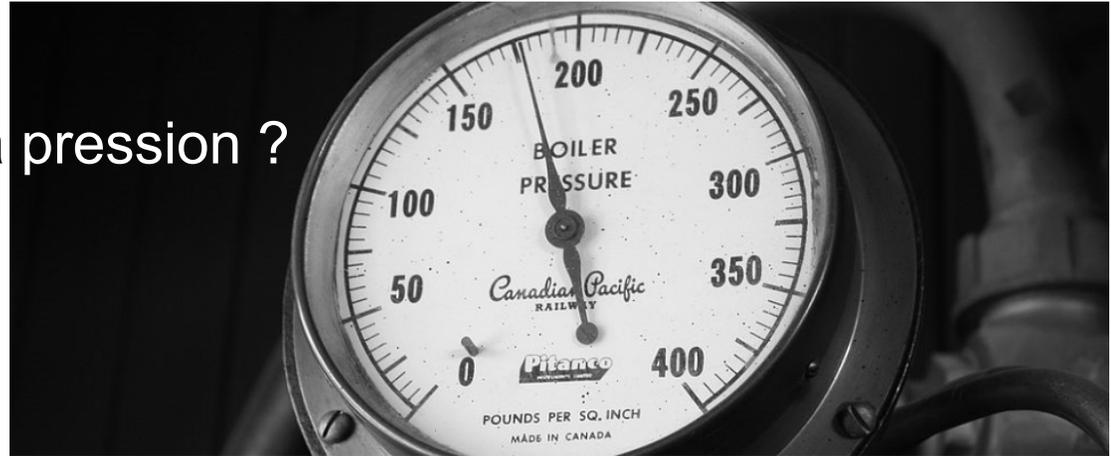
Les Pressions

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

Pour commencermettons la pression !

- C'est quoi la pression ?



- Trouvons des exemples dans la vie courante :
 - Pression dans un Ballon
 - Pression de l'aiguille qui permet de piquer
 - Pression du dé qui pousse l'aiguille
 - Pression des raquettes sur la neige
 - Pression de l'air dans les pneus ...



Les Pressions

- *Définition*
- *Unités*
- *P. Atmo*
- *P. hydro*
- *P. absolue*
- *Exercices*

Loi de Mariotte

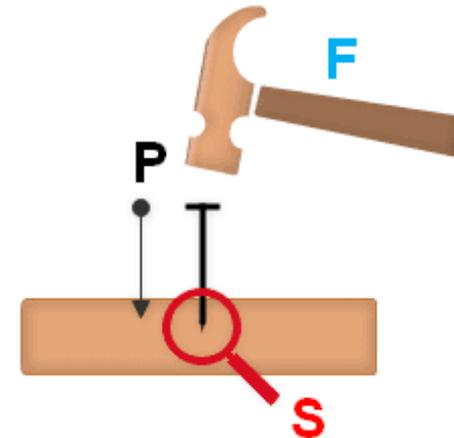
Loi d'Archimède

- Définition générale :

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

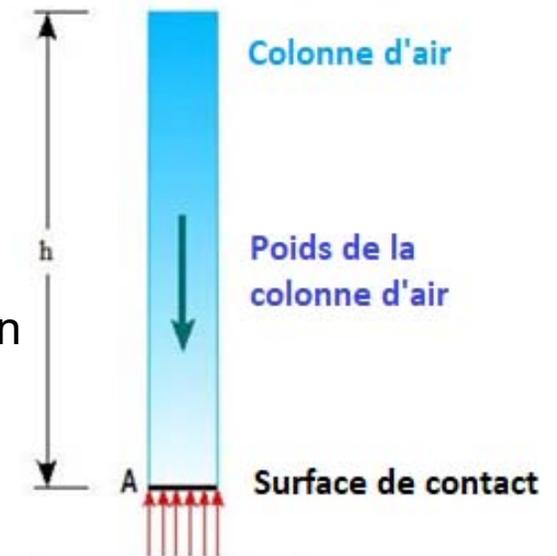
P (Pa) F (N) S (m²)

P = Pression
F = Force
S = Surface



- Application à la plongée :

- Unité utilisée en plongée : le bar
- 1 bar correspond environ à la pression atmosphérique au niveau de la mer



Réaction de l'eau située
sous la colonne d'air

Les Pressions

- *Définition*
- *Unités*
- *P. Atmo*
- *P. hydro*
- *P. absolue*
- *Exercices*

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- **Le Pascal :**
 - L'unité légale est le Pascal (Pa) : c'est une force de **1 Newton(N)** qui s'applique sur une surface de **1 mètre x 1 mètre (m²)**
 - En plongée, nous utiliserons une surface plus petite : cm²

$$1 \text{ bar} \approx \frac{1 \text{ Kgf}}{1 \text{ cm}^2} \approx 100\,000 \text{ Pa} \approx 1 \text{ atm}$$

- **Poids :**
 - Force verticale dirigée vers le bas due à la pesanteur s'exprime officiellement en newton (N)
- 1 mètre = 10 dm = 100 cm
- 1m³ = 1000 dm³ ... 1 dm³ = ? cm³
- → 1 dm³ = 1000 cm³
- → 1 dm³ d'eau douce = 1 litre
 - = 1 kg
 - = 1 colonne d'eau de **10 mètres** sur **1 cm²**
 - = qui exerce une pression de **1 bar**
- L'unité idéale pour nous sera le **dm³** à cause de son rapport avec le litre (pour les calculs avec des volumes d'air).

PHYSIQUE

Les Pressions

- *Définition*
- *Unités*
- *P. Atmo*
- *P. hydro*
- *P. absolue*
- *Exercices*

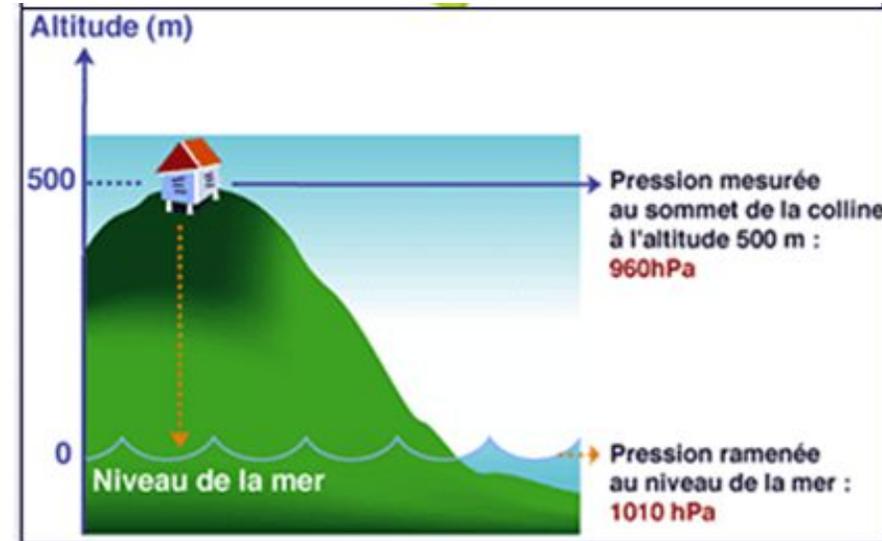
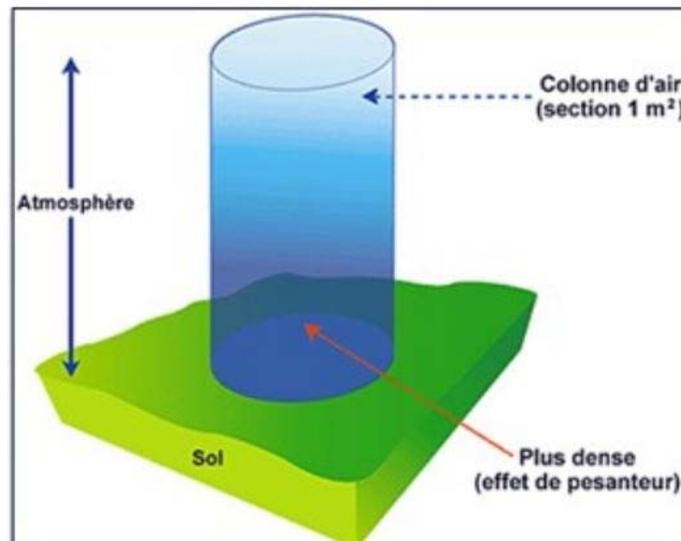
Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- **La pression atmosphérique** correspond au poids de l'air au dessus de la surface jusqu'à l'atmosphère (11 à 13km)
- Elle est mesurée en hecto-Pascal (hPa)
- Définie à 1013 mb ou 1013 hPa au niveau de la mer = 1bar
- Poids de l'air : 1,29 g / litre d'air à 0°C et à 1 atm (on utilisera 1,3 g)



- Variation de la pression avec l'altitude :
 - 0,1 bar par tranche de 1000 m
 - Exemple : pression atmosphérique à la surface d'un lac de montagne à 2000 m d'altitude $\rightarrow 1 \text{ bar} - (2 \times 0,1) = 0,8 \text{ bars}$



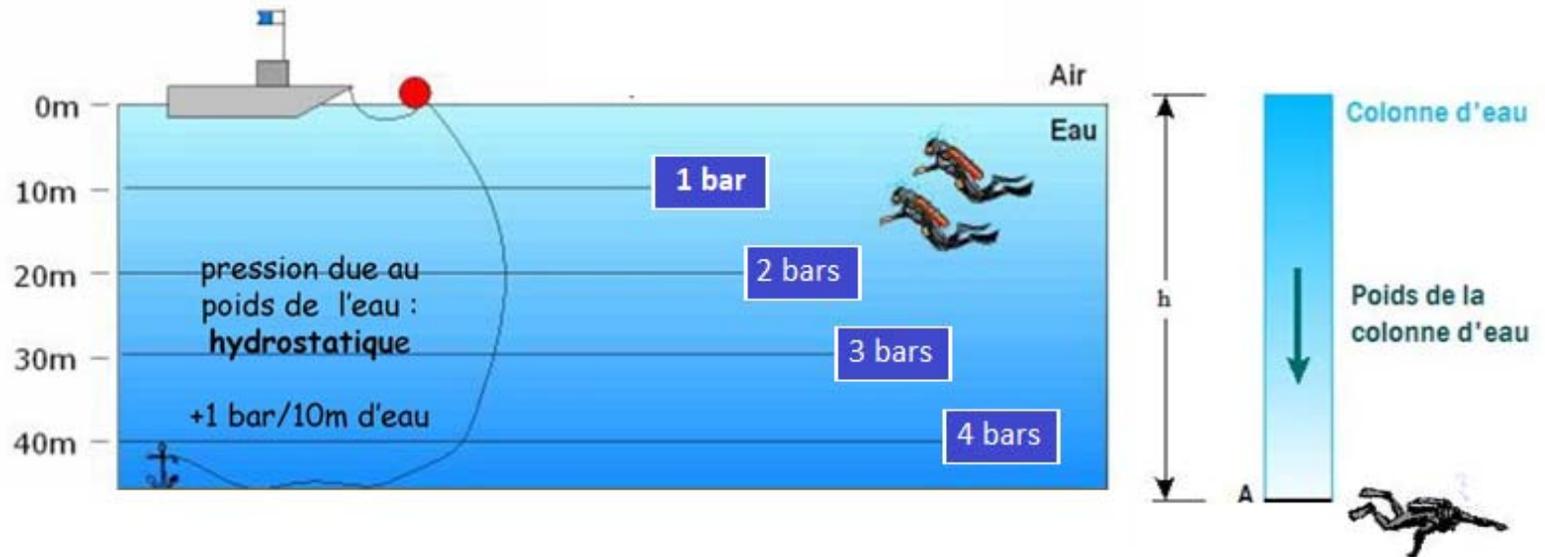
Les Pressions

- *Définition*
- *Unités*
- *P. Atmo*
- *P. hydro*
- *P. absolue*
- *Exercices*

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- **Pression Hydrostatique**, également appelée : **pression relative**
- **Comment la calculer :**
- Volume d'une colonne d'eau douce ayant 1 cm² de base
- Exemples :
 - • 10 m → 1000 cm → 1x1x1000 → 1000 cm³ → 1 dm³ → 1 kg → 1 bar
 - • 25 m → 2,5 dm³ → 2,5 bars



PHYSIQUE

Les Pressions

- **Définition**
- **Unités**
- **P. Atmo**
- **P. hydro**
- **P. absolue**
- **Exercices**

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- **P. absolue = P. atmosphérique + P. hydrostatique**

- Exemples :

- → Fosse prof=18 m (*niveau de la mer / eau douce*)

- P. absolue = 1 + 1,8 = 2,8 bars

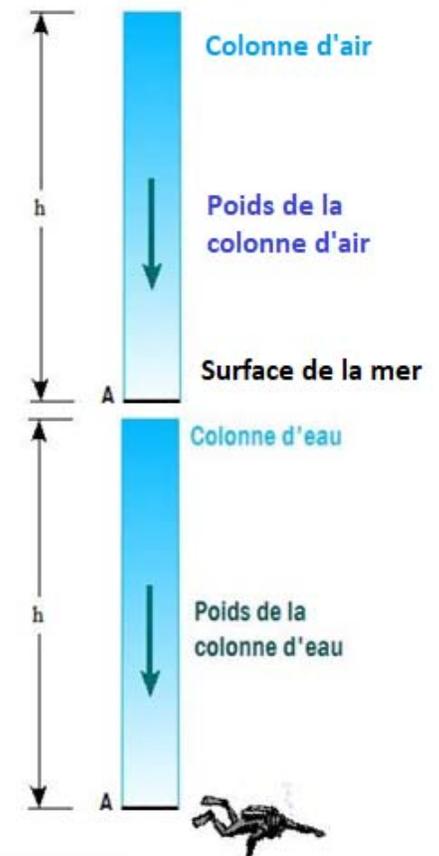
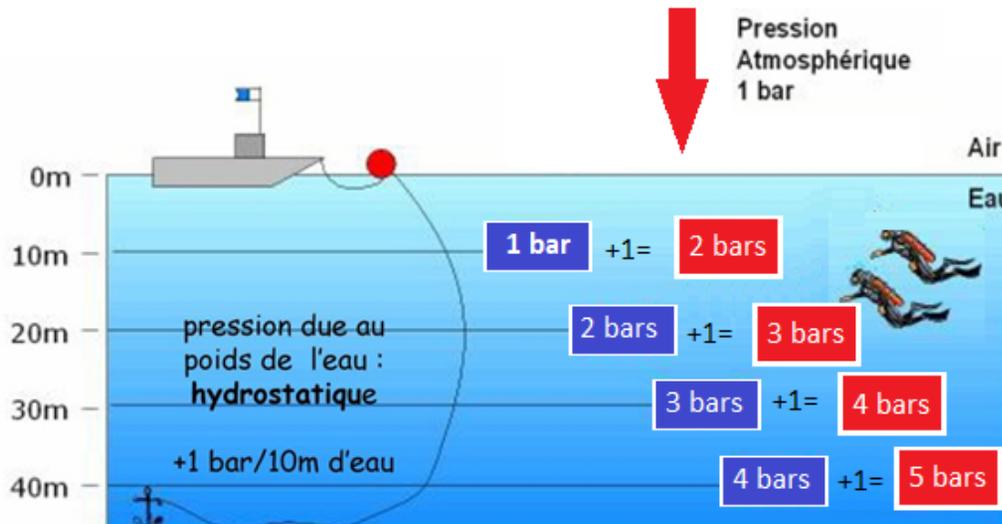
- → Plongée mer prof=18 m (*niveau de la mer / eau salée (d=1,03)*)

- P. absolue = 1 + (18x1,03/10) = 2,854 bars

- → Lac montage prof=18 m (*alt : 2000 m / eau douce*)

- P absolue = 0,8 + 1,8 = 2,6 bars

Détaillé au N4



Les Pressions

- *Définition*
- *Unités*
- *P. Atmo*
- *P. hydro*
- *Densité*
- *P. absolue*
- *Exercices*

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

■ Exercice 1



- Un plongeur punaise un poster scubapro à son mur. Il exerce une force de 1kg sur la punaise dont la tête fait 1cm². La pointe de la punaise fait 0.1mm².
 - a. Quelle est la pression exercée par le doigt sur la tête de la punaise ?
 - b. Quelle est la pression exercée par la pointe sur le mur ?

■ Réponse :

- a. $P_{\text{doigt}} = F / S = 1 / 1 = 1 \text{ kg} / \text{cm}^2 = 1 \text{ b}$

- b. $P_{\text{mur}} = F / S = 1 / (0.1 * 0.01) = 1000 \text{ kg} / \text{cm}^2 = 1000 \text{ b}$

pour passer les
mm² en cm²

Les Pressions

- *Définition*
- *Unités*
- *P. Atmo*
- *P. hydro*
- *Densité*
- *P. absolue*
- *Exercices*

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- **Exercice 2**
- Un plongeur s'immerge à une profondeur de 40 m en mer.
 - a. Quelle est la pression hydrostatique à cette profondeur?
 - b. Quelle est la pression absolue à cette profondeur?
- Il prend sa voiture et s'immerge à une profondeur de 38 m dans un lac situé à 2000 m d'altitude ($P_{\text{atm}} = 0.8\text{b}$)
 - c. Quelle est la pression absolue à cette profondeur ?

■ Réponses

- a. $P_{\text{Hydro}} = \text{Profondeur} / 10 * \text{densité} = (40/10) * 1,03 = 4,12 \text{ b}$
- b. $P_{\text{Abs}} = P_{\text{Atm}} + P_{\text{Hydro}} = 1 + 4,12 = 5,12 \text{ b}$
- c. $P_{\text{Abs}} = P_{\text{Atm}} + P_{\text{Hydro}} = 0.8 + 3,8 = 4.6 \text{ b}$

INTRODUCTION aux lois physiques

- En plongeant, nous mettons en jeu des lois physiques
- Elles interviennent dans les phénomènes physiologiques spécifiques à la plongée
- Elles permettent de comprendre les accidents, donc de mieux les prévenir
- Aujourd'hui nous abordons les thèmes de la physique qui interviennent dans :

Mariotte

Archimède

Charles / G.Lussac

Dalton

Henri

→ Les accidents Barotraumatismes

→ Les calculs de levage, flottabilité, consommation, gonflage, etc

→ Les accidents toxiques

→ Les accidents de décomp.

Aujourd'hui.

Détaillé au N4

Autre cours

Les Pressions

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

LOI DE BOYLE MARIOTTE

Compressibilité des gaz



Robert Boyle (1627 -1691)
Physicien et chimiste Irlandais



Edme Mariotte (1 -1684)
Abbé physicien et botaniste Français

Les Pressions

Loi de Mariotte

- *Histoire*
- *Définition*
- *Application*
- *Exercices*
- *Rôle du N3*

Loi d'Archimède

- La **loi de Boyle-Mariotte** ou loi de Mariotte,
 - → du nom du physicien et chimiste irlandais **Robert Boyle**
 - → et de l'abbé physicien et botaniste français **Edme Mariotte**,est l'une des lois de la thermodynamique constituant la loi des gaz parfaits.
- Elle relie la pression et le volume d'un gaz parfait à température constante.
- La loi a été découverte à quelques années d'intervalle Robert Boyle (en 1662) et par le Français Edme Mariotte (en 1676).
- Mais c'est **Guillaume Amontons** qui précisa en 1702 que cette loi n'est valable qu'à T° constante et est plus précise aux basses pressions ($P < 10$ bars).

Les Pressions

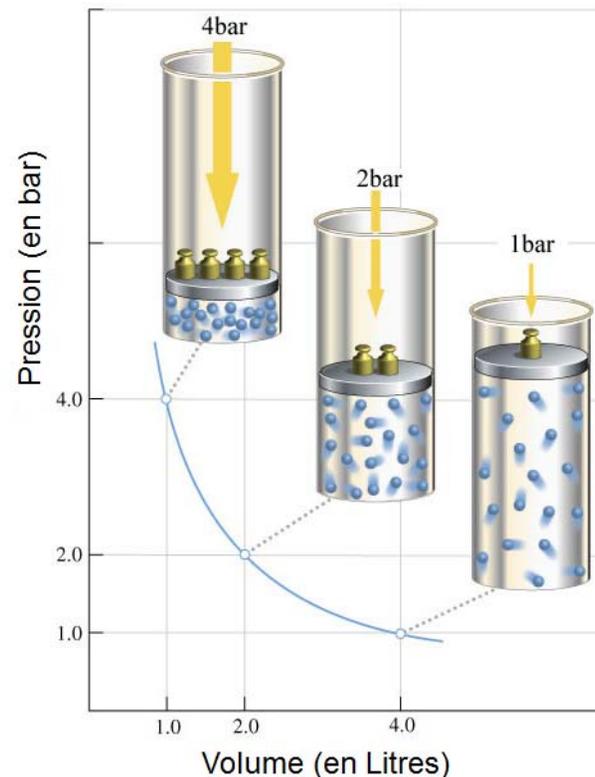
Loi de Mariotte

- *Histoire*
- *Définition*
- *Application*
- *Exercices*
- *Rôle du N3*

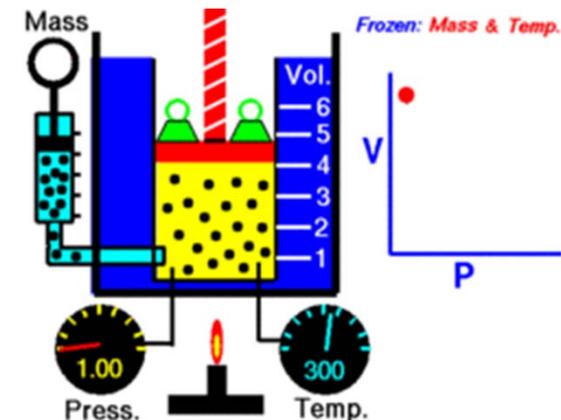
Loi d'Archimède

- **Justification :**
- Les corps solides et les liquides sont pratiquement incompressibles.
- En revanche, les gaz sont aisément compressibles (ex : pompe à vélo)
- → La pression exercée par l'eau va donc comprimer les gaz (ici l'air)

- **Définition :**
- A T° constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression exercée.



$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2 = \text{Cste à même } T^\circ$$



PHYSIQUE

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2 = \text{Cste à même } T^\circ$$

Les Pressions Loi de Mariotte

- *Histoire*
 - *Définition*
 - *Application*
 - *Exercices*
 - *Rôle du N3*
- ## Loi d'Archimède

$$P * V = 0,25 * 4 = 1$$

$$P * V = 0,5 * 2 = 1$$

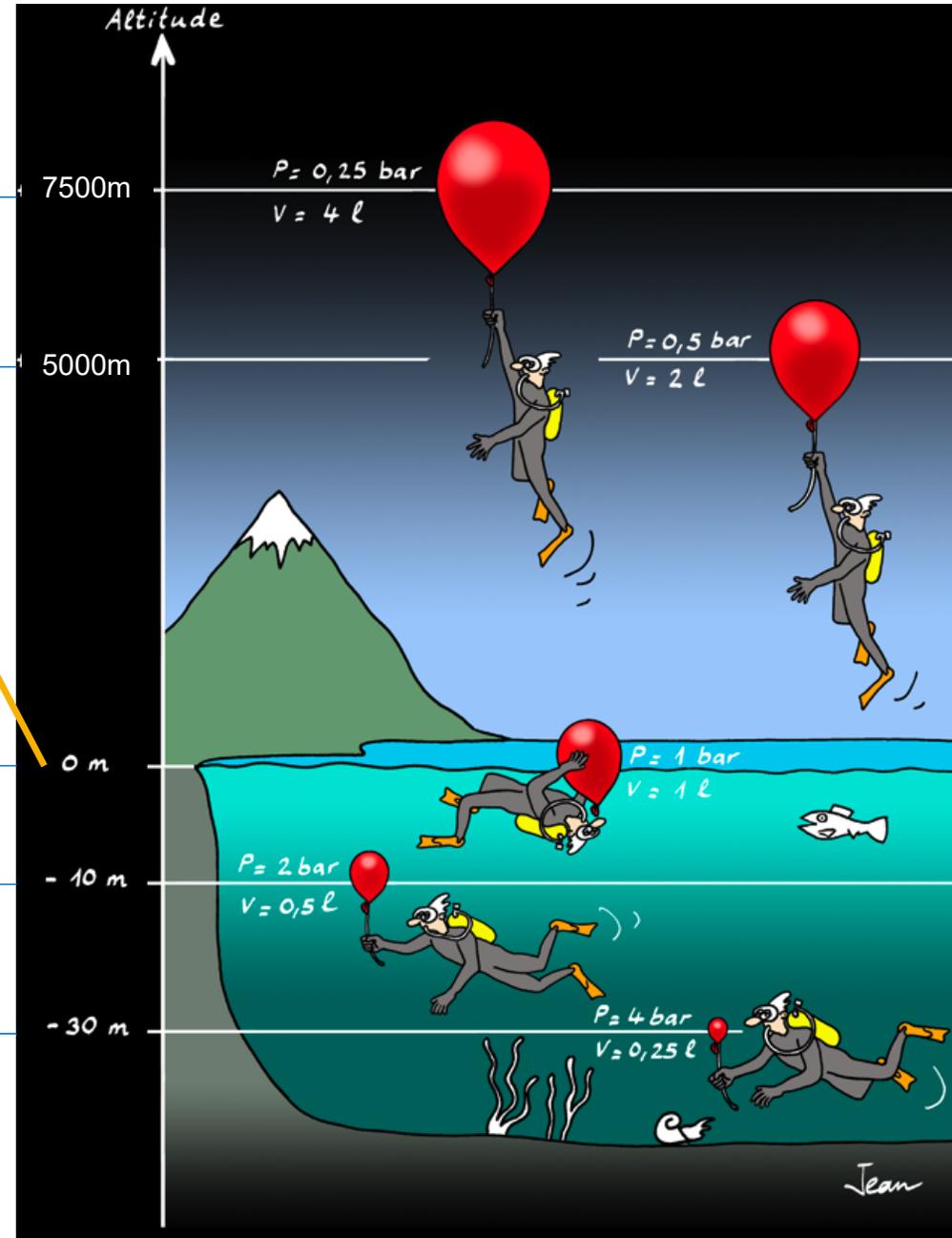
-0,1 b / 1000m

+1 b / 10m

$$P * V = 1 * 1 = 1$$

$$P * V = 2 * 0,5 = 1$$

$$P * V = 4 * 0,25 = 1$$



PHYSIQUE

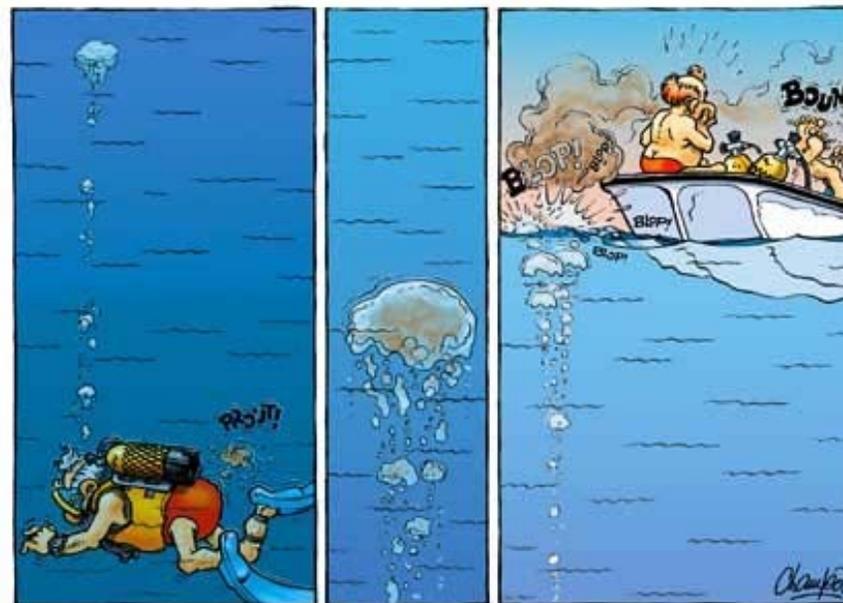
- Exo 1 : Un ballon plastique est gonflé à 10 mètres de 6 litres d'air.
Quel sera son volume à 30 mètres et en surface ?

Les Pressions

Loi de Mariotte

- *Histoire*
- *Définition*
- *Application*
- *Exercices*
- *Rôle du N3*

Loi d'Archimède



A 30m

$$P1 * V1 = P2 * V2$$

A 10M : $P1 = 2 \text{ bar}$ et $V1 = 6 \text{ l}$

A 30M : $P2 = 4 \text{ bar}$ et $V2 = ?$

On sait que $P1 \times V1 = P2 \times V2$

$$\text{Donc } V2 = \frac{P1 \times V1}{P2} = \frac{12}{4} \Rightarrow V2 = 3 \text{ l}$$

En surface

$$P1 * V1 = P3 * V3$$

A la surface : $P3 = 1 \text{ bar}$ et $V3 = ?$

On sait que $P1 \times V1 = P3 \times V3$

$$\text{Donc } V3 = \frac{P1 \times V1}{P3} = \frac{12}{1} \Rightarrow V3 = 12 \text{ l}$$

Les Pressions

Loi de Mariotte

- *Histoire*
- *Définition*
- *Application*
- *Exercices*
- *Rôle du N3*

Loi d'Archimède

■ Calcul d'autonomie d'un plongeur :



- Une bouteille d'O₂ de 5l , gonflée à 100 b
- Un plongeur accidenté qui consomme 5 L / mn

→ Quelle autonomie respiratoire bénéficie le plongeur ?

Pression bouteille X Volume bouteille

Ex: 100 bars Ex: 5 litres

Débit Ex: 5 l/mn

$\frac{100 \times 5}{5} = 100 \text{ mn ou } 100-60 = 1 \text{ h } 40$

PHYSIQUE

Les Pressions

Loi de Mariotte

- *Histoire*
- *Définition*
- *Application*
- *Exercices*
- *Rôle du N3*

Loi d'Archimède

- Exo 2: Un plongeur a une bouteille de capacité 12 litres gonflée à 200 bars.
Quel temps peut-il rester à 20 mètres avant d'arriver à 40 bar sachant qu'il consomme 20 litres/minutes ?

Air dispo : $P \times V = ?$
 $(200-40) \times 12 = 1920 \text{ l d'air disponibles}$

Consommation : 20 l/mn à 1 bar
À 20m → 3 bar → conso = 60 l/mn

Autonomie à 20m : Air dispo / consommation
 $1920 / 60 = 32 \text{ mn}$

Réponse = 32 mn



PHYSIQUE

Les Pressions

Loi de Mariotte

- *Histoire*
- *Définition*
- *Application*
- *Exercices*
- *Rôle du N3*

Loi d'Archimède

Exo3 : Un plongeur essoufflé consomme 80 l/mn . Il se trouve à 50m
Son manomètre lui indique 180 bars dans son bloc de 15 l.
→ Quelle est son autonomie max s'il reste à sa profondeur ?
 4 mn 28s
 5 mn 37s
 6 mn 45s

Air dispo : $P \times V = ?$
 $180 \times 15 = 2700$ l d'air disponibles

Consommation : 80 l/mn à 1 bar
À 50m → 6 bars → consommation = $6 \times 80 = 480$ l/mn

Autonomie à 50m : Air dispo / consommation
 $2700 / 480 = 5,625$ mn (en base décimale)

Conversion en Heure : 5,625 mn (en base décimale) → ? (en Heure)
 $5,625 = 5 + 0,625$

→ $\frac{0,625}{100} \times 60 = 0,375$ mn

Réponse = 5mn 37s

EXAMEN

EXAMEN

Les Pressions

Loi de Mariotte

- *Histoire*
- *Définition*
- *Application*
- *Exercices*
- *Rôle du N3*

Loi d'Archimède

- **Application directe à la plongée :**
- Les barotraumatismes
- Les ADD
- Calcul d'autonomie d'un plongeur
- Utilisation du compresseur / Gonflage des blocs
- Utilisation du Gilet de sécurité (SGS)
- Calculs de levage (*combiné avec la loi d'Archimède*)

... et votre rôle d'autonomes :

- Différences de pressions importantes à proximité de la surface

Profondeur	P	V	Variation			
0	1	15	↑ 50%	↑ 33%	↑ 25%	↑ 20%
5	1,5	10				
10	2	7,5				
15	2,5	6				
20	3	5				

- Sécuriser → Prévoir, soyez attentif aux comportements
- Prévenir → anticiper, avertir de la déco / météo en surface
- Echanger → montée en compétence de chaque plongeur

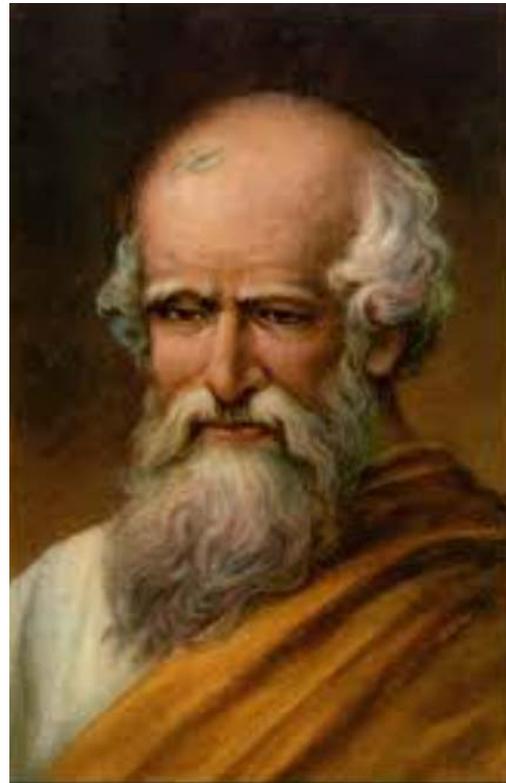
Les Pressions

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

LOI D'ARCHIMEDE

Flottabilité des corps



Archimède de Syracuse (-287 ; -212)
Physicien, mathématicien Grec

Les Pressions

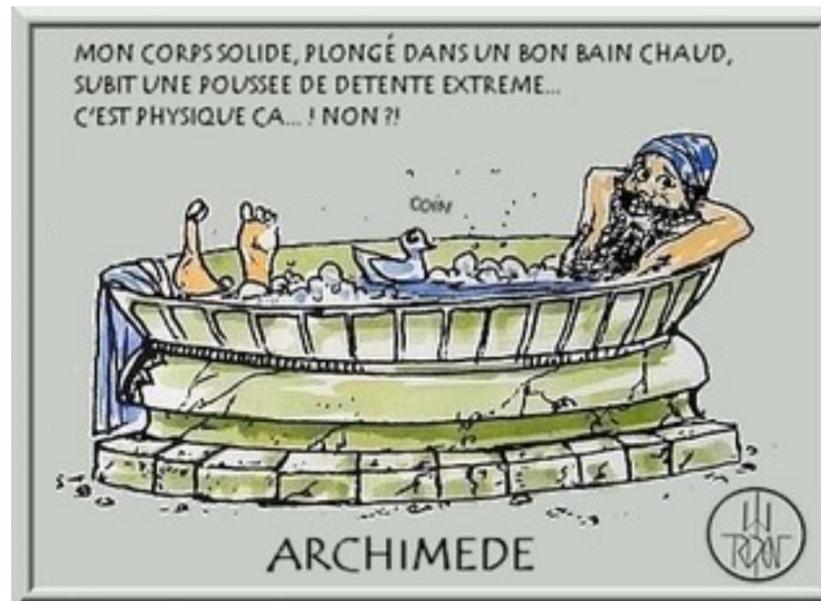
Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- *Histoire*
- *Justification*
- *Définition*
- *Flottabilité*
- *Rôle du N3*
- *Exercices*

Certains mots sont associés aux grands personnages ...

Pour Archimède, ce sera le mot **Eurêka** ! (en grec ancien $\eta\upsilon\rho\eta\kappa\alpha$ / $h\acute{e}ur\acute{e}ka$ signifiant « J'ai trouvé ! ») prononcé en courant nu à travers les rues de la ville. Archimède venait de trouver la solution à un problème posé par Hiéron II, tyran de Syracuse. En effet, Hiéron avait fourni à un orfèvre une certaine quantité d'or à façonner en une couronne. Afin d'être sûr que l'orfèvre ne l'avait pas dupé en substituant de l'argent (métal moins cher) à une partie de l'or, Hiéron demanda à Archimède de déterminer si cette couronne était effectivement constituée d'or pur, et sinon, d'identifier sa composition exacte. C'est dans sa baignoire, alors qu'il cherchait depuis longtemps, qu'Archimède trouva la solution et sortit de chez lui en prononçant la célèbre phrase. Il lui suffisait de mesurer le volume de la couronne par immersion dans l'eau puis de la peser afin de comparer sa masse volumique à celle de l'or massif.



Les Pressions

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- *Histoire*
- *Justification*
- *Définition*
- *Flottabilité*
- *Rôle du N3*
- *Exercices*

- **Justification :**
- Certains objets flottent , d'autres coulent.
- En plongée, c'est un éternel dilemme :
 - on est trop lourd en début de plongée car la bouteille est pleine
 - On est trop lourd pendant la plongée car le néoprène de la combi est écrasé par la pression
 - On veut être équilibré en fin de plongée pour les paliers
- Pourquoi un plongeur en combinaison doit-il mettre des plombs pour s'immerger ?
- Pourquoi le bloc paraît-il plus léger dans l'eau ?
- **Quelques rappels :**
- → Pression abs = Pression relative + pression Atmosphérique
- → $P * V = Cste$
- → 1 litre d'eau a un volume de 1 dm^3 et pèse 1 kg



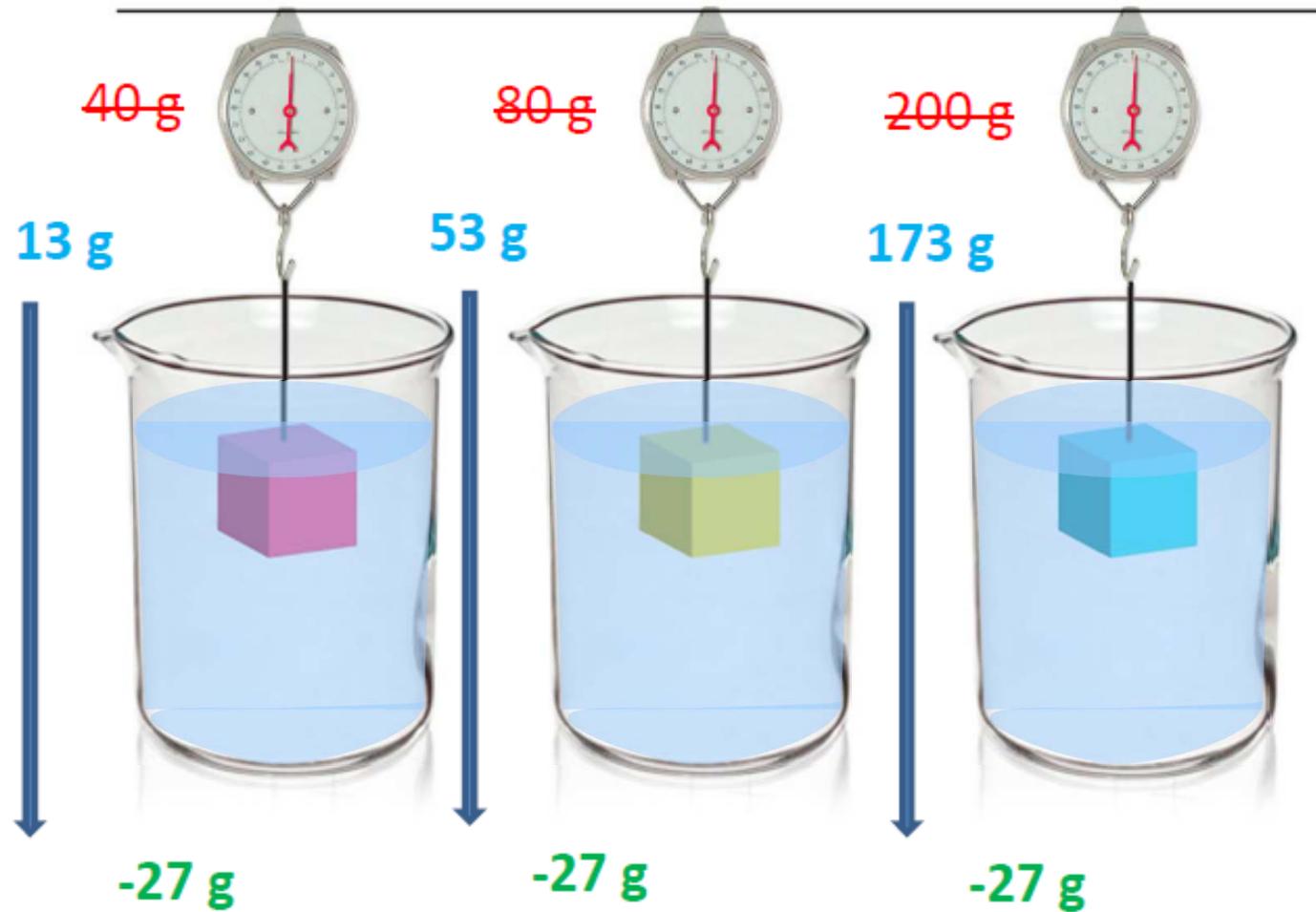
Les Pressions

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- *Histoire*
- *Justification*
- *Définition*
- *Flottabilité*
- *Rôle du N3*
- *Exercices*

- « *Tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale dirigée de bas en haut, égale au poids du volume de fluide déplacé par le corps.* ».



Eau douce $D : 1$

- *Histoire*
- *Justification*
- *Définition*
- *Flottabilité*
- *Rôle du N3*
- *Exercices*

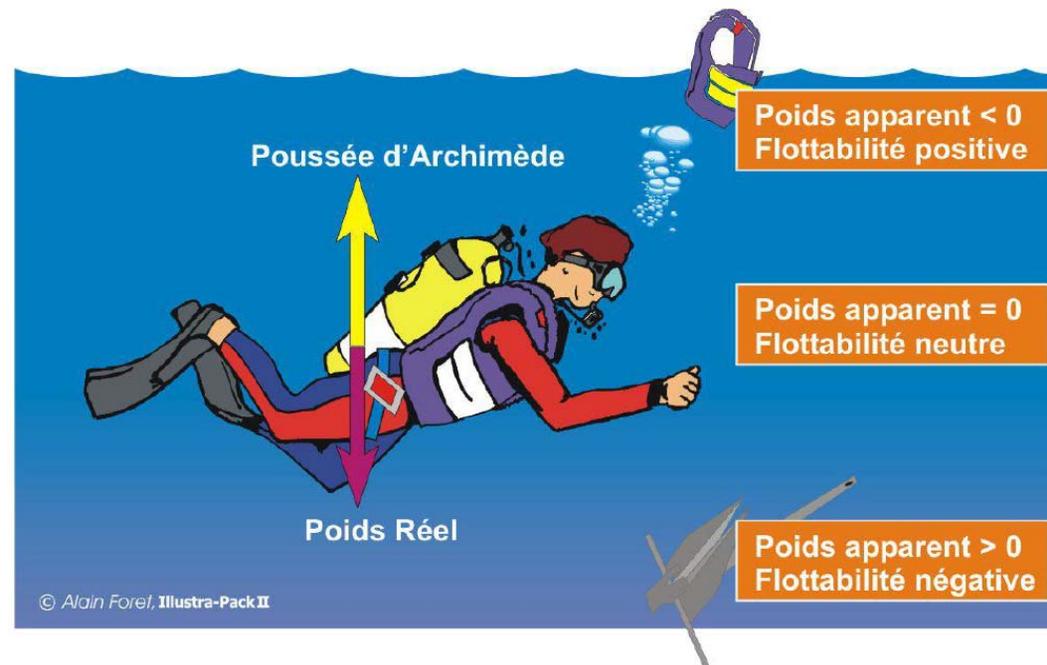
■ **Poids apparent et Poids réel :**

■ Poids APPARENT = Poids RÉEL - Poussée ARCHIMÈDE

■ Lorsqu'un corps remonte, il a une **FLOTTABILITÉ POSITIVE**, le poids réel est inférieur à la poussée Archimède. $P_r < P_a$

■ Lorsqu'un corps flotte entre deux eaux, il a une **FLOTTABILITÉ NULLE**, le poids réel égal la poussée Archimède $P_r = P_a$

■ Lorsqu'un corps coule, il a une **FLOTTABILITÉ NÉGATIVE**, le poids réel est supérieur à la poussée Archimède $P_r > P_a$



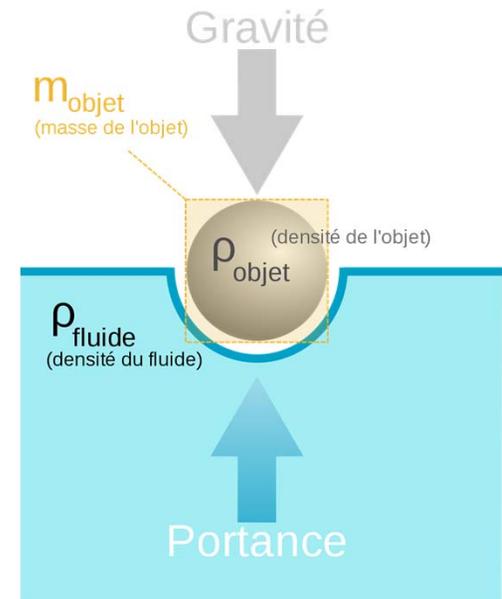
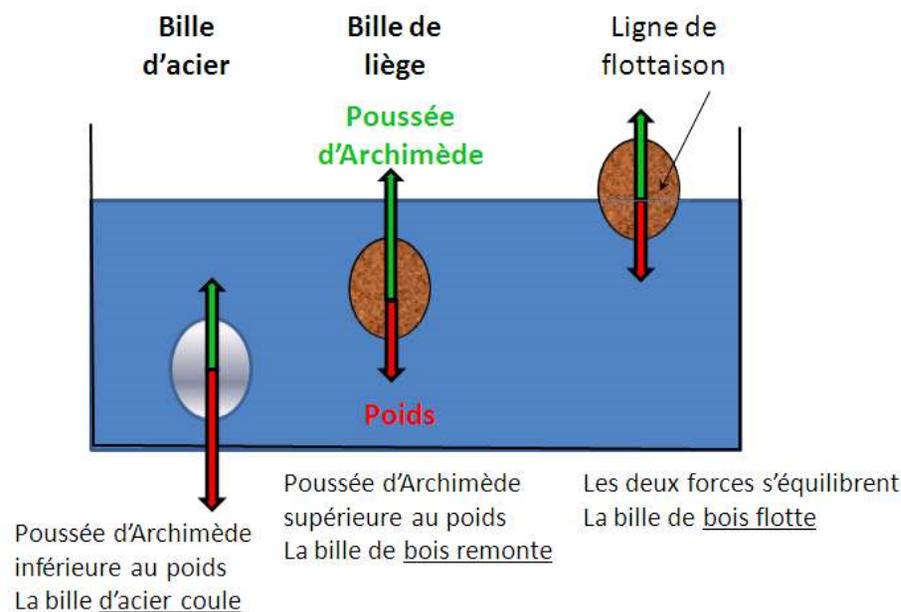
Les Pressions

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- *Histoire*
- *Justification*
- *Définition*
- *Flottabilité*
- *Rôle du N3*
- *Exercices*

- Tout dépend de 2 facteurs : Le **POIDS** et le **VOLUME**
- → Du volume, dépendra la poussée Archimède
- → Du poids réel, dépendra le poids apparent
- **Exemple :**
- Un plongeur a un volume de 60 litres dans de l'eau douce.
- Il reçoit une poussée d'Archimède de 60 kg qui diminue d'autant dans l'eau son poids réel.
- Il pèse tout équipé 70 kg.
- Quel sera son poids apparent ?
- $P_{app} = P_{réel} - P_{arch} \Rightarrow P_{app} = 70 - 60 = 10 \text{ kg}$

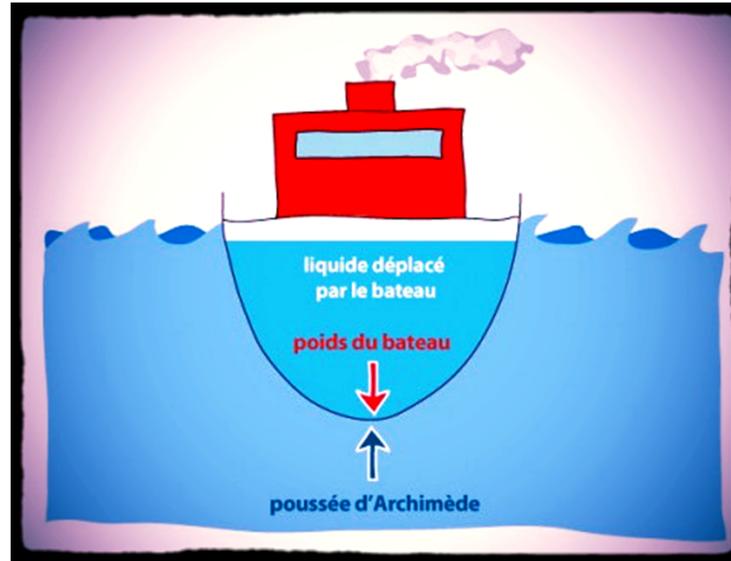


PHYSIQUE

Les Pressions
Loi de Mariotte
Loi d'Archimède

- *Histoire*
- *Justification*
- *Définition*
- *Flottabilité*
- *Rôle du N3*
- *Exercices*

■ Quelques exemples ...



Les Pressions

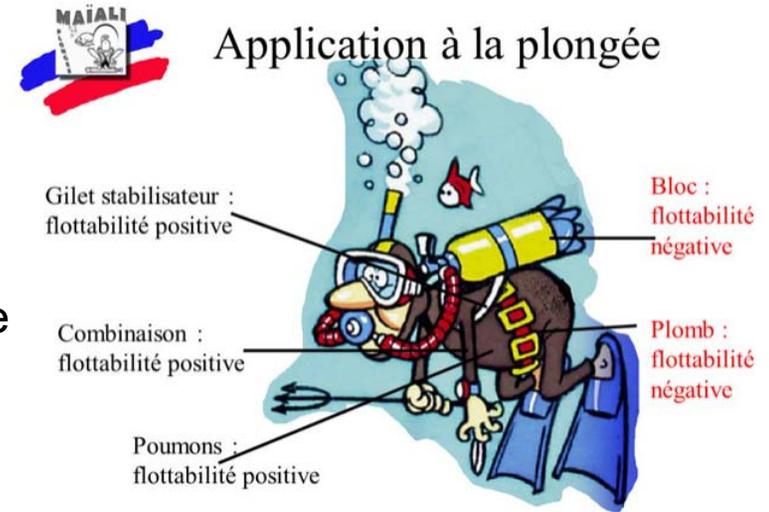
Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- *Histoire*
- *Justification*
- *Définition*
- *Flottabilité*
- *Rôle du N3*
- *Exercices*

■ Influencent la flottabilité

- Types de bouteilles : acier, alu, volume / poids
- Modèle de combinaison
- Gilet stabilisateur
- Lestage
- Densité de l'eau
- Ventilation : volume pulmonaire
- Poumon balaste



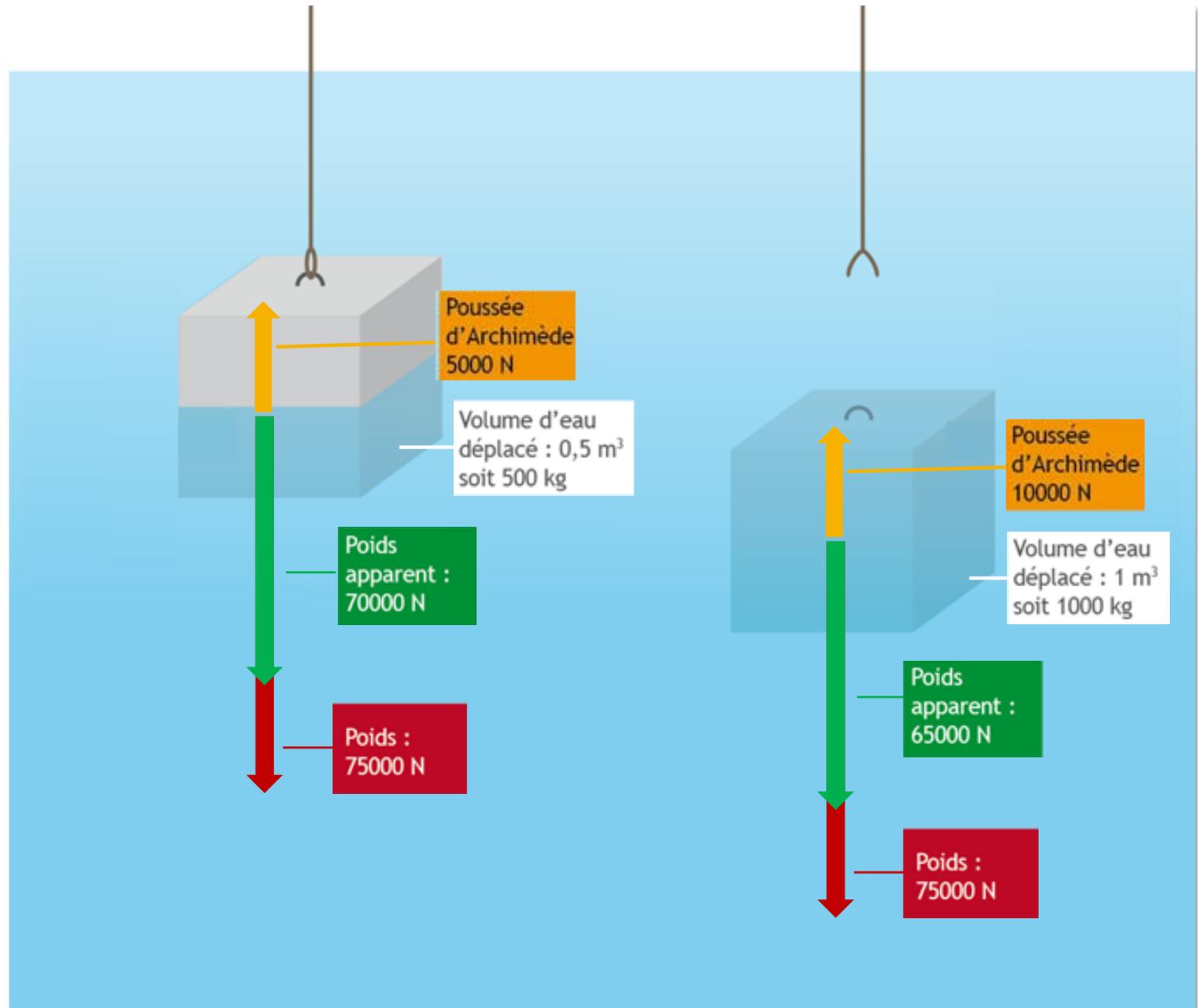
■ L'autonome N3 :

- Vérification du lestage → lestage adapté.
- Attention aux dangers du :
 - → Surlestage: risque accru d'**essoufflement**, fatigue, augmentation de la **consommation** en air, difficultés à maintenir **profondeur** plancher, risque de « **râcler** » les fonds sous-marins
 - → Sous lestage : impossibilité de **maintenir un palier**
- Toute modification de lestage doit être progressive !!!
- Utilisation judicieuse du Gilet pour préserver l'air et donc l'autonomie
- Favoriser le travail du poumon-ballast

Les Pressions Loi de Mariotte Loi d'Archimède

- *Histoire*
- *Justification*
- *Définition*
- *Flottabilité*
- *Rôle du N3*
- *Exercices*

→ Immersion d'un bloc corps-mort de 1m^3 , poids 75000N



Exercice 1 :

- Une amphore de volume 15 dm³, pèse 32 Kg, flotte-t-elle ?

Réponse :

- $P_{app} = P_{réel} - P_{poussée \text{ d'Archimède}}$
- $P_{app} = 32 - 15 = 17 \text{ Kg} \rightarrow$ Le poids apparent > 0 , l'amphore ne flotte pas



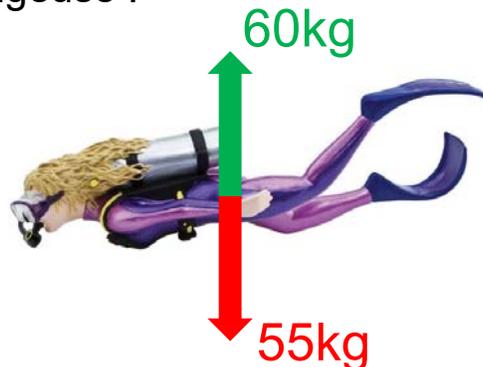
Exercice 2 :

- Quel est le poids de plomb qu'une plongeuse de 60 dm³ devra prendre pour être équilibrée sachant qu'elle pèse 55kg ?



Réponse :

- Plongeuse :



- Nb de plombs :

- Poids apparent = Poids réel - P.Archimède
- Poids apparent = 55kg - 60 kg
- Poids apparent = - 5 kg

→ Besoin de 5kg de plombs



Les Pressions

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

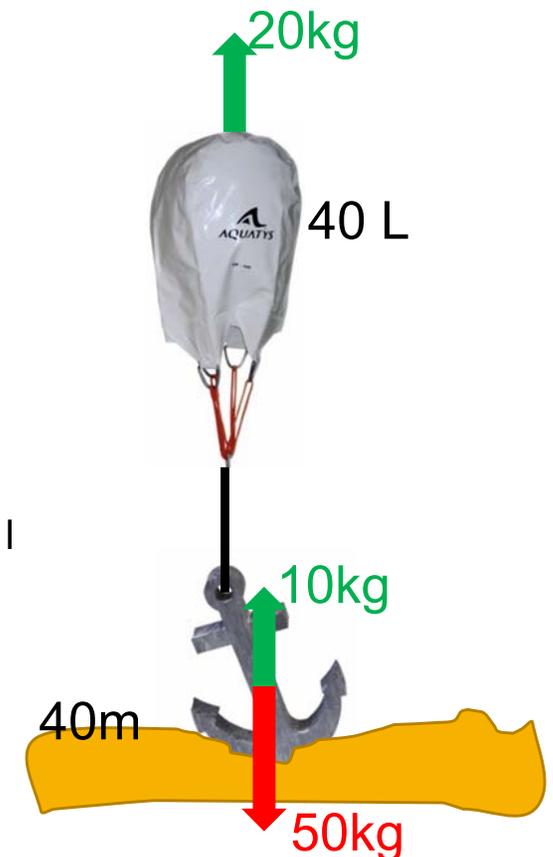
- *Histoire*
- *Justification*
- *Définition*
- *Flottabilité*
- *Rôle du N3*
- *Exercices*

Exercice 3 :

- Une ancre de 50 kg et dont le volume est de 10 litres, repose sur un fond de 40m d'eau douce.
- → Pour la remonter un plongeur y accroche un parachute de volume 40 litres dans lequel il introduit 20 litres d'air. Que se passe-t-il ?
- Puis, le pilote du bateau commence à remonter l'ancre à la force des bras.
- → A partir de quelle profondeur l'ancre va remonter seule ?

Réponses :

- $P_{app} = 50 - (10+20) = 20\text{kg}$
→ L'ancre reste sur le fond
- Pour que l'ancre monte il faut que :
 $P_{archi} > P_{réel}$, donc $P_{archi} > 50$
- Volume du parachute = 40 L
- Mariotte :
 $P_1 * V_1 = P_2 * V_2 \rightarrow 5 \text{ b} * 20 \text{ l} = P_2 * 40 \text{ l}$
 $P_2 = 100 / 40 = 2,5 \text{ bars}$
→ Profondeur = 15 mètres



Les Pressions

Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- *Histoire*
- *Justification*
- *Définition*
- *Flottabilité*
- *Rôle du N3*
- *Exercices*

■ Exercice 4 :

- Un plongeur d'un poids réel de **85Kg** et d'un volume de **70 dm³**, veut s'équilibrer à l'aide de sa bouée à **40 mètres**.

a) Quel est le volume d'air à introduire dans la bouée pour qu'il soit équilibré ?

b) Quelle doit être la pression de chargement minimale de la bouteille de la bouée dont la capacité est de 0,4 litre ?



■ Réponses :

- a) Pour que le plongeur soit en équilibré, il faut que son poids apparent soit nul.

$P_{app} = P_{réel} - P_{oussée \text{ d'Archimède}}$,

donc : $0 = 85 \text{ Kg} - (70 \text{ Kg} + \text{poussée sur la bouée})$

d'où : $\text{poussée sur la bouée} = (85 - 70) = 15 \text{ Kg}$

→ La bouée doit avoir un volume de 15 litres pour que le plongeur soit en équilibré.

- b) On sait que $P1 \times V1 = P2 \times V2$

donc $P1 \times 0,4 = 5 \times (15 + 0,4)$

$P1 = \frac{5 \times 15,4}{0,4} = 192,5 \text{ bars}$

0,4



→ La pression minimale de la bouteille doit être de 193 bars

Références

► Pressions :

<https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/physique-chimie/seconde/thermodynamique/pression.html>

<http://tpeflottabilitebateaux.e-monsite.com/pages/la-densite-des-eau.html>

► Boyle Mariotte :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Charles

https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Gay-Lussac

► Archimède :

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Archimède>

<https://www.maths-et-tiques.fr/index.php/histoire-des-maths/mathematiciens-celebres/archimede>

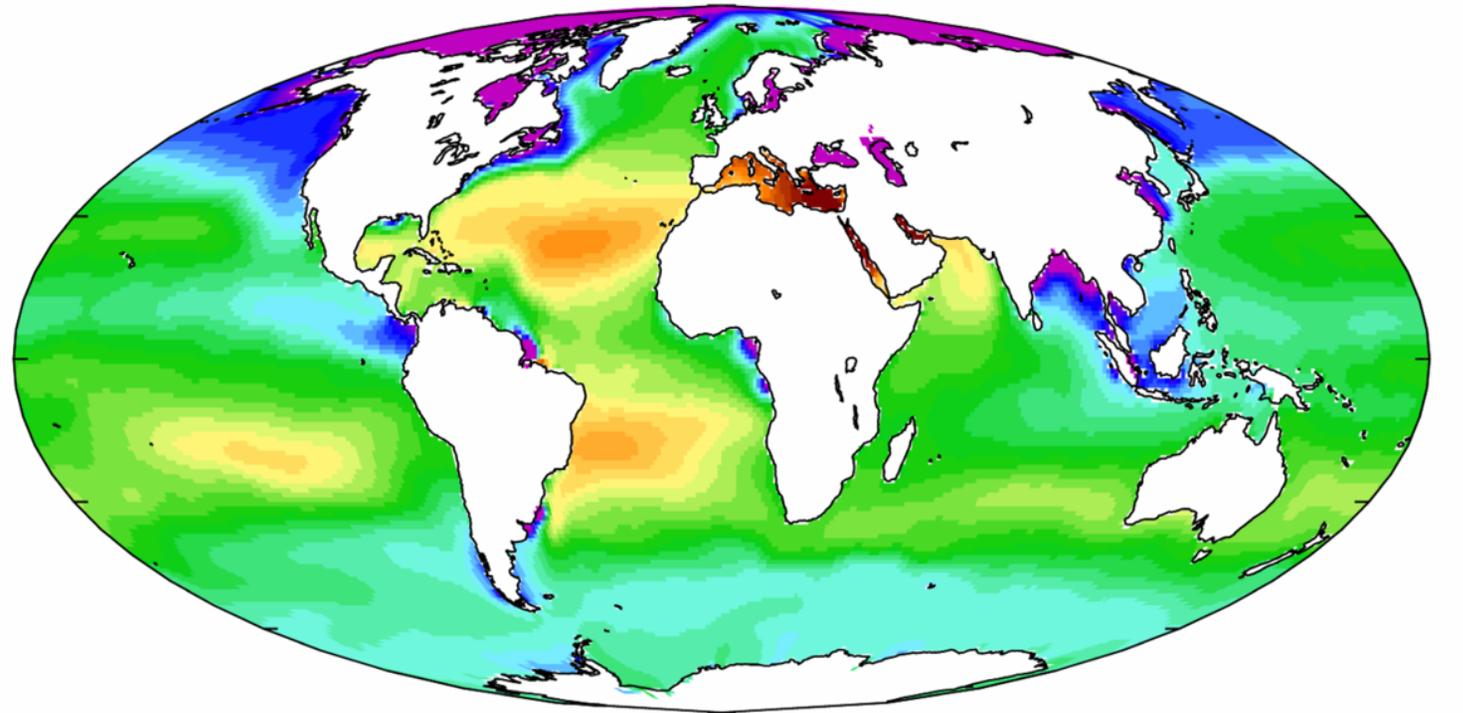
PHYSIQUE

Les Pressions

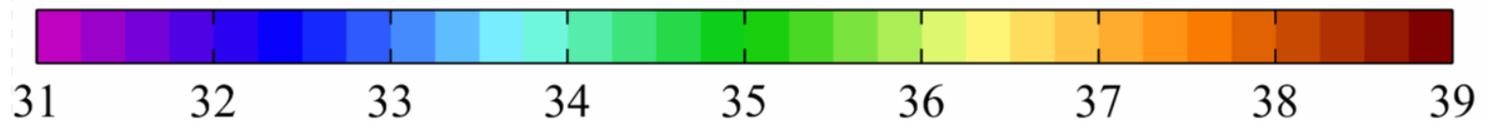
Loi de Mariotte

Loi d'Archimède

- *Histoire*
- *Justification*
- *Définition*
- *Flottabilité*
- *Rôle du N4*
- *Exercices*



Sea-surface salinity [PSU]



Salinité moyenne des océans², exprimée en PSU, c'est-à-dire en grammes de sel par kilogramme d'eau de mer.



MERCI