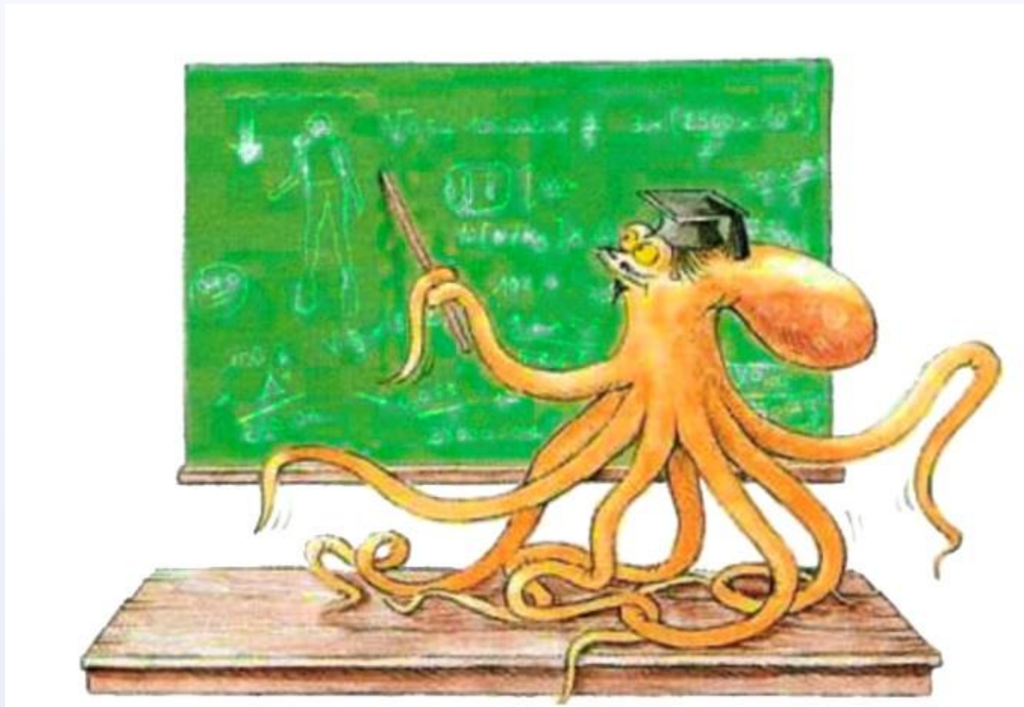
Physique N4 - 2021

Codep 92



Thierry Cadé, mf2 - 2155

Physique N4 - 2021
Codep 92

- Pression
- Boyle-Mariotte
- Charles Gay-Lussac
- Archimède

Pour commencer, mettons 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

$$Pression = \frac{Force}{Surface}$$

<u>Unité utilisée en plongée</u> : le **bar**
1 bar correspond environ à la pression atmosphérique au niveau de la mer

Pression atmosphérique

- Définie officiellement à 1013 mb ou 1013 Hpa au niveau de la mer
- Correspond au poids de l'air au dessus de la surface
- Poids de l'air : 1,29 g / litre d'air (on utilisera 1,3 g pour les exercices)
- 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 : 800 mb

Rappel d'unités :

- **Poids** : Force verticale dirigée vers le bas due à la pesanteur s'exprime officiellement en newton (N)
- **Masse** : Quantité de matière qui s'exprime en kilogramme (kg)
- **P = M x g** $g = 9,81\ m/s^2$
- g étant pratiquement constant (à la surface de la terre), on s'autorise dans le domaine de la plongée à assimiler les forces à des masses et à les exprimer en kg

- 1 mètre = 10 dm = 100 cm
- $1 m^3 = 1000\ dm^3$ $1\ dm^3 = ?\ cm^3$
- $1\ dm^3 = 1000\ cm^3$
- **$1\ dm^3$ d'eau douce = 1 litre = 1 kg = 1 colonne d'eau de 10 mètres sur $1\ cm^2$ (qui exerce une pression de 1 bar)**

- l'unité idéale pour nous sera le dm^3 à cause de son rapport avec le litre (pour les calculs avec des volumes d'air).

Pression hydrostatique

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

Notion de densité :

- La **masse volumique** est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume.
  Ex : Plomb : 11.3 kg/litre (ou 11.3 kg/dm^3)
- La densité d'un matériau est, pour les solides et les liquides, le rapport de la masse volumique de ce matériau à celle de l'eau. La densité est un nombre sans unité.
  On confondra ces 2 notions pour ce qui nous intéresse puisque les valeurs sont les mêmes.

- Eau douce : densité = 1
- Eau de mer : densité ≈ 1,03
  (Plus elle est salée plus la densité est importante – pour tous les exercices on utilisera la valeur de 1,03 sauf formulation contraire)
- Plomb : densité = 11,3
- Fer : densité = 7,2

Pression hydrostatique – Eau de mer

- Densité eau de mer : 1,03
- $Pression\ relative = \frac{Profondeur\ (m) \times\ densité}{10}$
- Ex : Profondeur : 39 m - eau salée d=1,03
- $Pression\ relative = \frac{39\ \times 1{,}03}{10}$ = 4,017b
- <u>Applications</u> :
    - calibrage des ordinateurs
    - Lestage
    - Calculs de levage

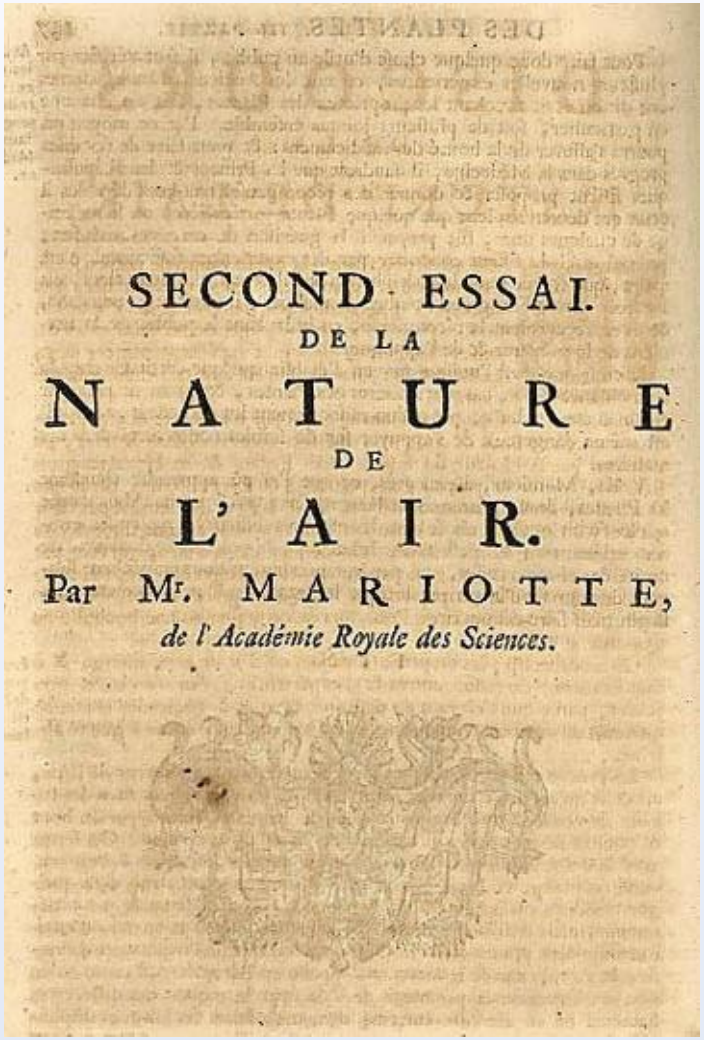
Pression absolue

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

<u>Exemples</u> :

- 18 m fosse niveau de la mer – eau douce
- P. absolue = 1 + 1,8 = 2,8 bars
- 18 m lac de montagne 2000 m – eau douce ☺
- P. absolue = 0,8 + 1,8 = 2,6 bars
- 18 m niveau de la mer – eau salée(1,03)
- P. absolue = 1 + (18x1,03/10) = 2,854 bars

Le brave abbé Edme Mariotte !!!



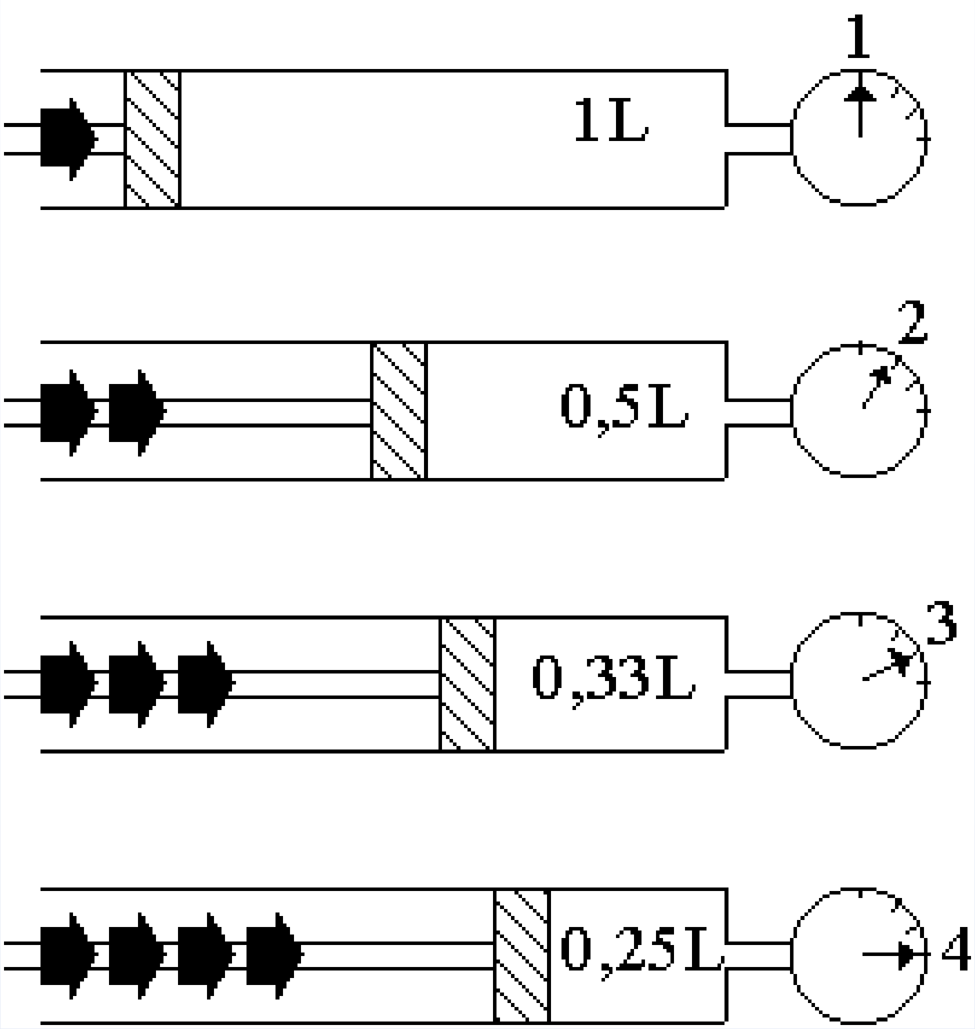
Physicien et botaniste français (1620-1684) qui, en 1676, met en évidence la relation liant le volume et la pression d'un gaz à température constante. A noter qu'indépendamment de ses travaux, le physicien anglais Robert Boyle avait déjà énoncé les mêmes constatations en 1660, d'où le fait qu'il soit associé à cette loi également.

Boyle-Mariotte

PV = ???

C'est qui Constance ? ☺ ☺ ☺

Boyle-Mariotte



P1 x V1 = ?   1

P2 x V2 = ?   1

P3 x V3 = ?   1

P4 x V4 = ?   1

Boyle-Mariotte

$$P1 \times V1 = P2 \times V2 = P3 \times V3 = \dots.$$

« A température constante, le volume d'une masse gazeuse est inversement proportionnel à la pression absolue auquel elle est soumise. »

Boyle-Mariotte

Applications à la plongée :

- Barotraumatismes,
- Accidents de décompression,
- Calcul d'autonomie d'un plongeur,
- Bouteilles tampon,
- Compresseur,
- Utilisation du gilet (augmentation du volume à la remontée),
- Levages.

Boyle-Mariotte

Exemple :

- *Un plongeur effectue une plongée en lac (densité : 1) de 25' sur un fond de 42 mètres. Les tables lui imposent des paliers de 3 minutes à 6 m et de 22 minutes à 3 m. Ce plongeur a une consommation d'air de 15 litres/minute en surface. Pour le but de l'exercice, on négligera les temps de remontée.*

Cette plongée est-elle réalisable avec un bloc de 15 litres gonflé à 200 bars, sachant qu'il veut sortir de l'eau avec une réserve de 50 bars. Quelle est la pression qui restera dans le bloc ?

Boyle-Mariotte

Plongée 42 m (25’) :

- Pression absolue 42 m : ((4,2 x 1) + 1) = 5,2 b
- Conso / min (litres détendus) : 5,2 x 15 = 78 l
- Pour 25’ → 78 x 25 -> 1950 litres

Palier 6 m (3’) :

- 1,6 x 15 x 3 → 72 litres

Palier 3 m (22’) :

- 1,3 x 15 x 22 → 429 litres

Total conso : 1950 + 72 + 429 = 2451 litres détendus

Disponible : 15 x 200 = 3000 litres d’air détendus

Reste dans le bloc en fin de plongée : 3000 – 2451 = 549 l soit 549 / 15 = 36,6 bars

Boyle-Mariotte

<u>Exemples de gonflage</u> :

On dispose de 4 tampons de 50 litres gonflés à 250 bars

On doit gonfler 4 blocs de 15 litres qui sont encore à 30 bars de pression et 2 blocs de 12 litres à 40 bars.

Faire le calcul en utilisant tous les tampons à la fois, puis les tampons un par un en 4 opérations

Boyle-Mariotte

Formule de calcul :

$$Pression\ d'\text{é}quilibrage = \frac{Nombre\ de\ litres\ total\ tampons + bouteilles}{Volume\ total\ \text{à}\ vide\ tampons + bouteilles}$$

$$\frac{(4 \times 50 \times 250) + (4 \times 15 \times 30) + (2 \times 12 \times 40)}{(4 \times 50) + (4 \times 15) + (2 \times 12)}$$

$$\frac{50000 + 1800 + 960}{200 + 60 + 24} = \frac{52760}{284} = 185{,}77\ b$$

Boyle-Mariotte

Même calcul tampon par tampon :

1er tampon : $\frac{(50\times250)+(4\times15\times30)+(2\times12\times40)}{50+(4\times15)+(2\times12)} = 113{,}88\ b$

2ème tampon : $\frac{(50\times250)+(4\times15\times113{,}88)+(2\times12\times113{,}88)}{50+(4\times15)+(2\times12)} = 164{,}67\ b$

3ème tampon : $\frac{(50\times250)+(4\times15\times164{,}67)+(2\times12\times164{,}67)}{50+(4\times15)+(2\times12)} = 196{,}50\ b$

4ème tampon : $\frac{(50\times250)+(4\times15\times196{,}50)+(2\times12\times196{,}50)}{50+(4\times15)+(2\times12)} = 216{,}46\ b$

Cette méthode est donc plus efficace

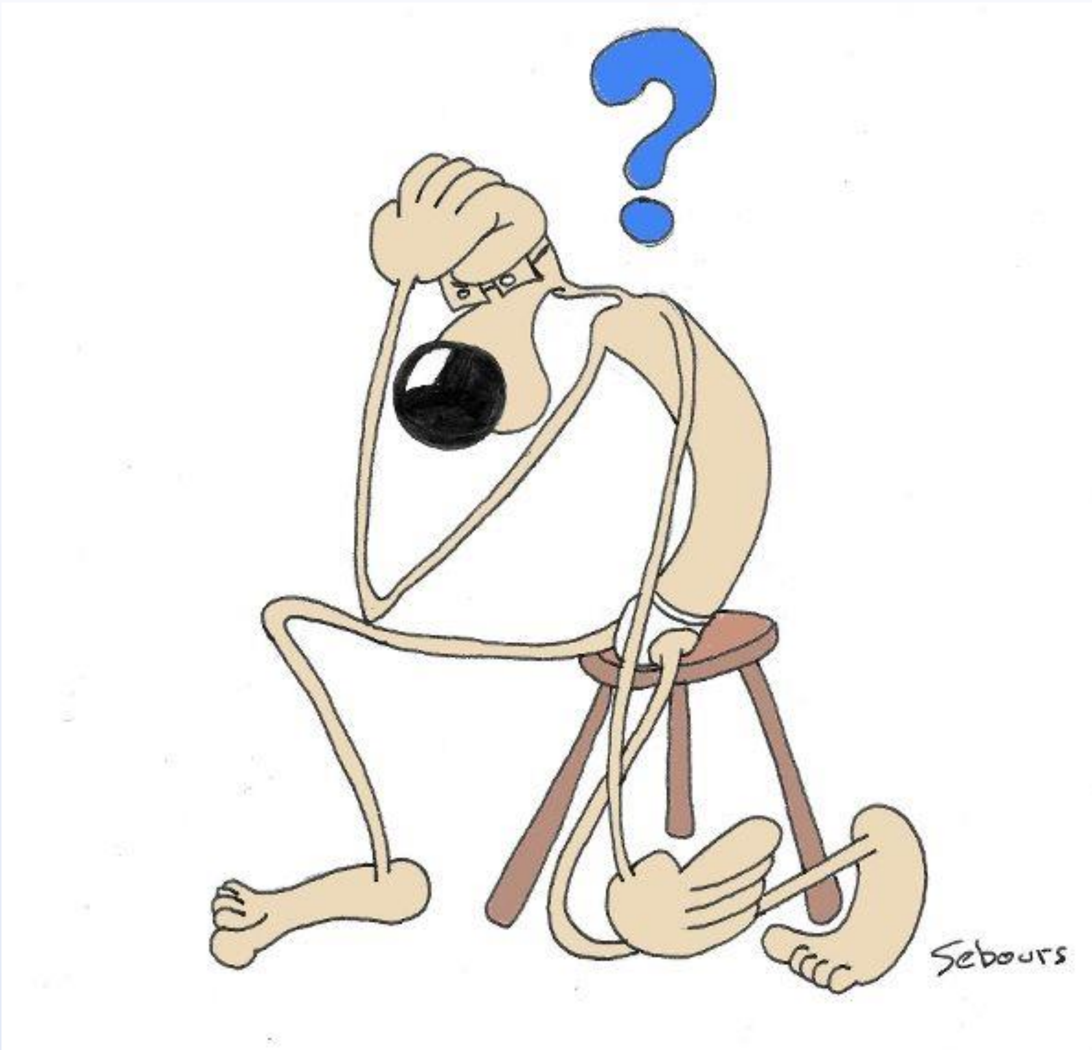
En cas de gonflage multiple, toujours utiliser les tampons les moins gonflés en premier

Boyle-Mariotte

Exercice :

On dispose de 3 tampons indépendants de 50 litres qui sont gonflés à 210 bars. On cherche à gonfler au mieux 1 bloc de 15 litres avec 20 bars de volume restant. Même question si le bloc est limité à 205 bars et quelle sera la pression résiduelle dans le dernier tampon utilisé ?

Boyle-Mariotte



- *3 tampons indépendants de 50 litres gonflés à 210 bars. Gonfler au mieux 1 bloc de 15 litres avec 20 bars de volume restant.*
- *Même question si le bloc est limité à 205 bars et quelle sera la pression résiduelle dans le dernier tampon ?*

$166{,}15\ b$

$15) = 199{,}88\ b$

$38) = 207{,}66\ b$

Boyle-Mariotte

Si limitation du bloc de 15 litres à 205 b :

Ajout souhaité pour monter la pression du bloc de 15 l de 199,88 à 205 b : (205-199,88 b) 5,12 b soit 5,12 x 15 = 76,8 l d'air détendu qui seront pris dans le 3ème tampon

Volume d'air restant dans le 3ème tampon :

(50 x210) – 76,8 = 10500 – 76,8 = 10423,2 litres

Pression résiduelle du 3ème tampon :

10423,2 / 50 = 208,46 bars

Jacques Charles
Louis-Joseph Gay-Lussac

«A volume constant la pression d'un gaz (parfait) est proportionnelle à sa température absolue» ljGL

$$\frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2}$$

T exprimé en kelvin, Degré kelvin = Degré centigrade + 273

$$\frac{P1}{T1 + 273} = \frac{P2}{T2 + 273}$$

La loi de Charles a en effet été énoncée pour la première fois par Louis Joseph Gay-Lussac en 1802, mais avait été découverte par Jacques Charles dès 1787. On réservera le nom de loi de Charles à la relation entre volume et température à pression constante et le nom de loi de Gay-Lussac à la relation entre pression et température à volume constant.

Charles – Gay-Lussac

$$\boxed{\frac{P1}{T1+273}=\frac{P2}{T2+273}}$$

<u>Exemple</u> :

Quelle sera la pression d'un bloc qui vient d'être gonflé à 230 bars et qui a une température actuelle de 50° lorsque ce bloc sera refroidi à 15°

$$\frac{230}{50+273}=\frac{P\,???}{15+273} \qquad \frac{230\times\ (15+273)}{50+273}=P\,???$$

Pression du bloc refroidi = 205,07 bars

Charles – Gay-Lussac

Exercice 1 :

Un bloc gonflé à 210 bars est stocké dans un local plongée dont la température est de 10°.

Vous le laissez toute la matinée dans le coffre de votre voiture au soleil et la température à l’intérieur du véhicule s’élève à 55°. Quelle sera la pression du bloc quand vous le sortirez de la voiture ?

Charles – Gay-Lussac

Bloc gonflé à 210 bars est stocké à 10° c. Vous le laissez toute la matinée dans le coffre de votre voiture au soleil et la température à l'intérieur du véhicule s'élève à 55°. Quelle sera la pression du bloc quand vous le sortirez de la voiture ?

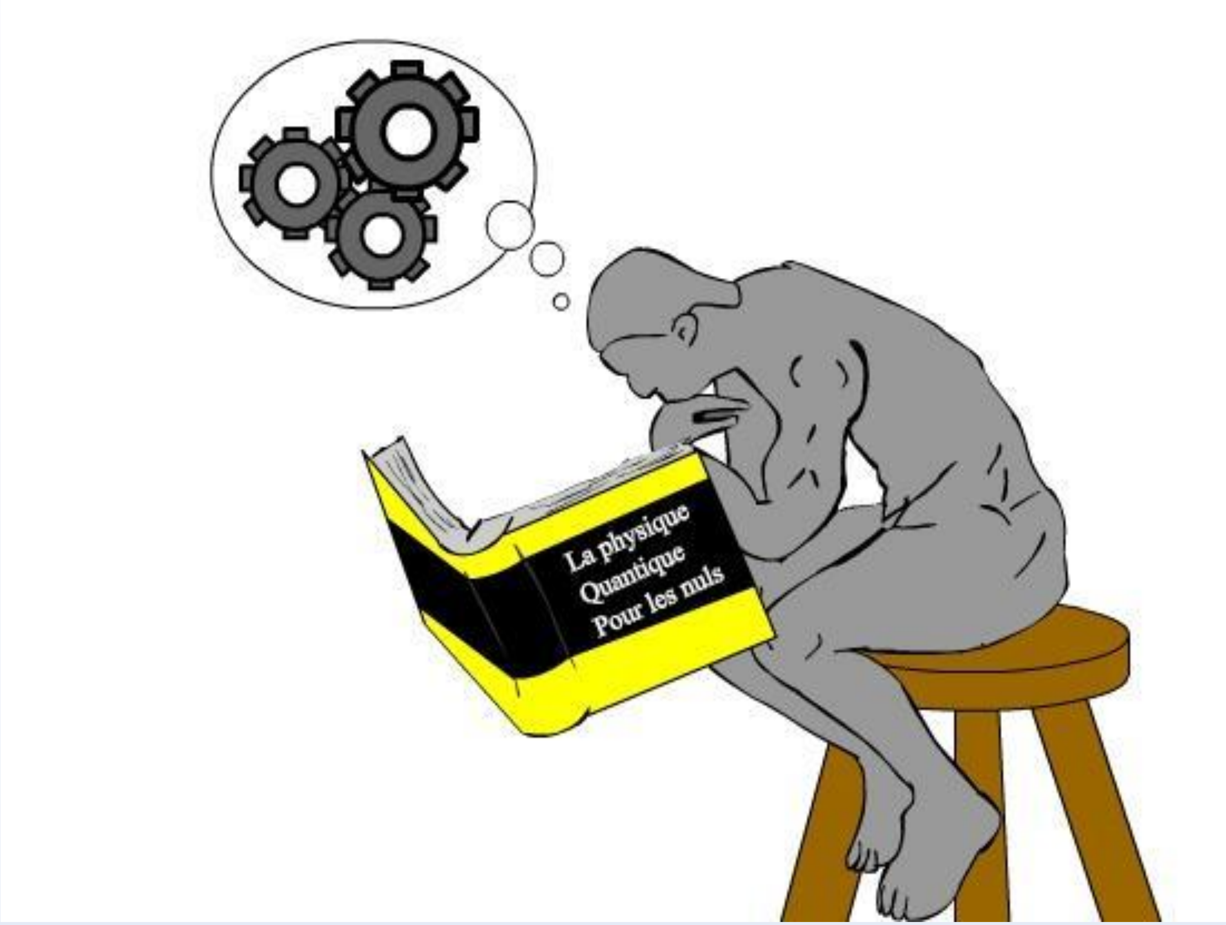
Attention aux blocs laissés dans une voiture au soleil !!!

Charles – Gay-Lussac

Exercice 2 :

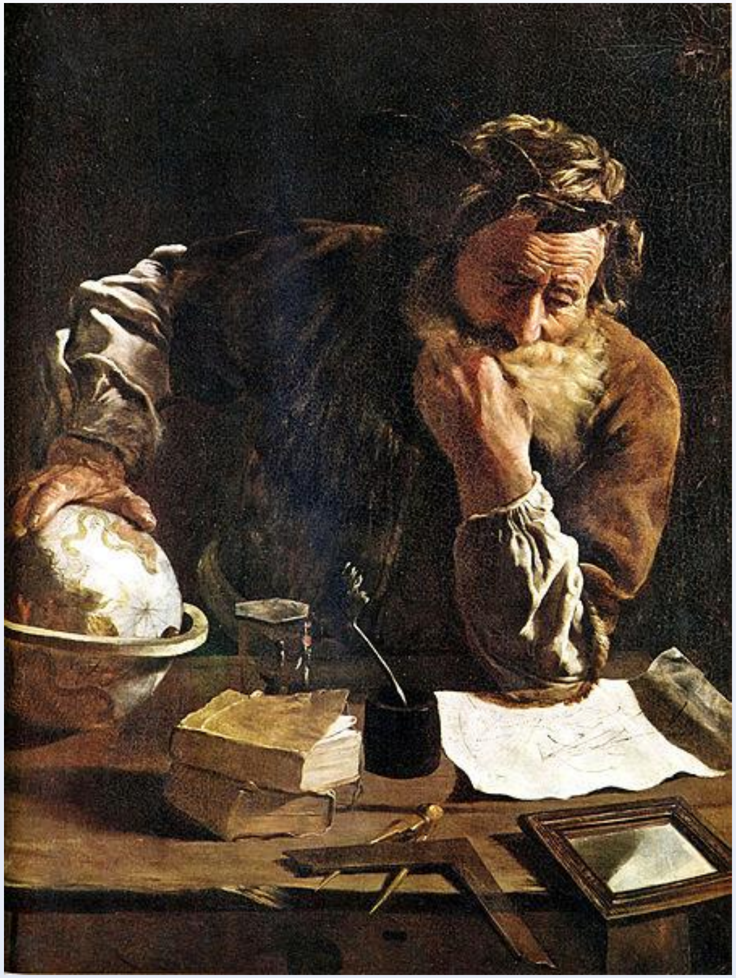
A combien faut il gonfler un bloc pour obtenir une fois refroidi à 15° un pression de 200 bars. On estimera la température en fin de gonflage à 50° Celsius ?

Charles – Gay-Lussac



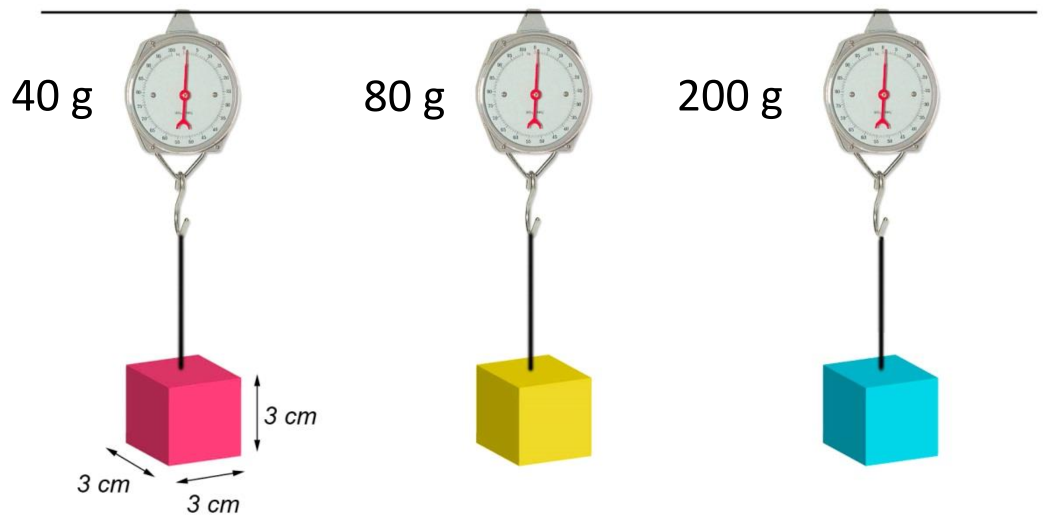
A combien faut il gonfler un bloc pour obtenir une fois refroidi à 15° un pression de 200 bars. On estimera la température en fin de gonflage à 50° Celsius ?

Archimède

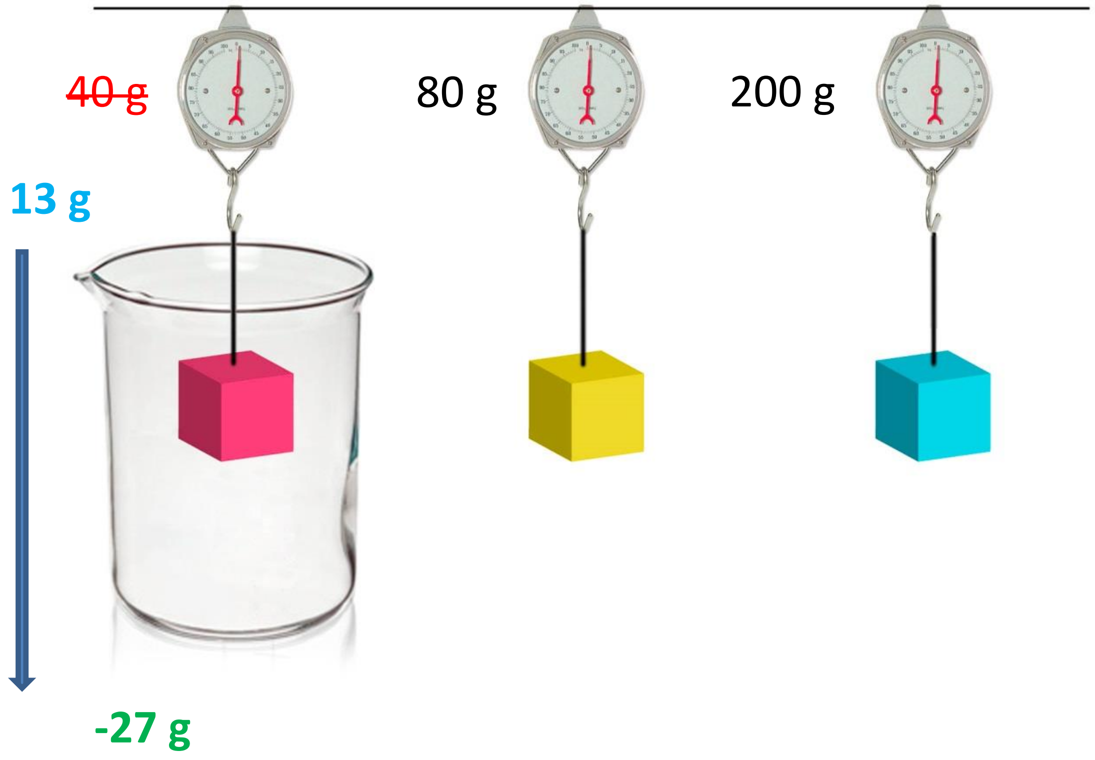


Heureka !!!

Mise en évidence

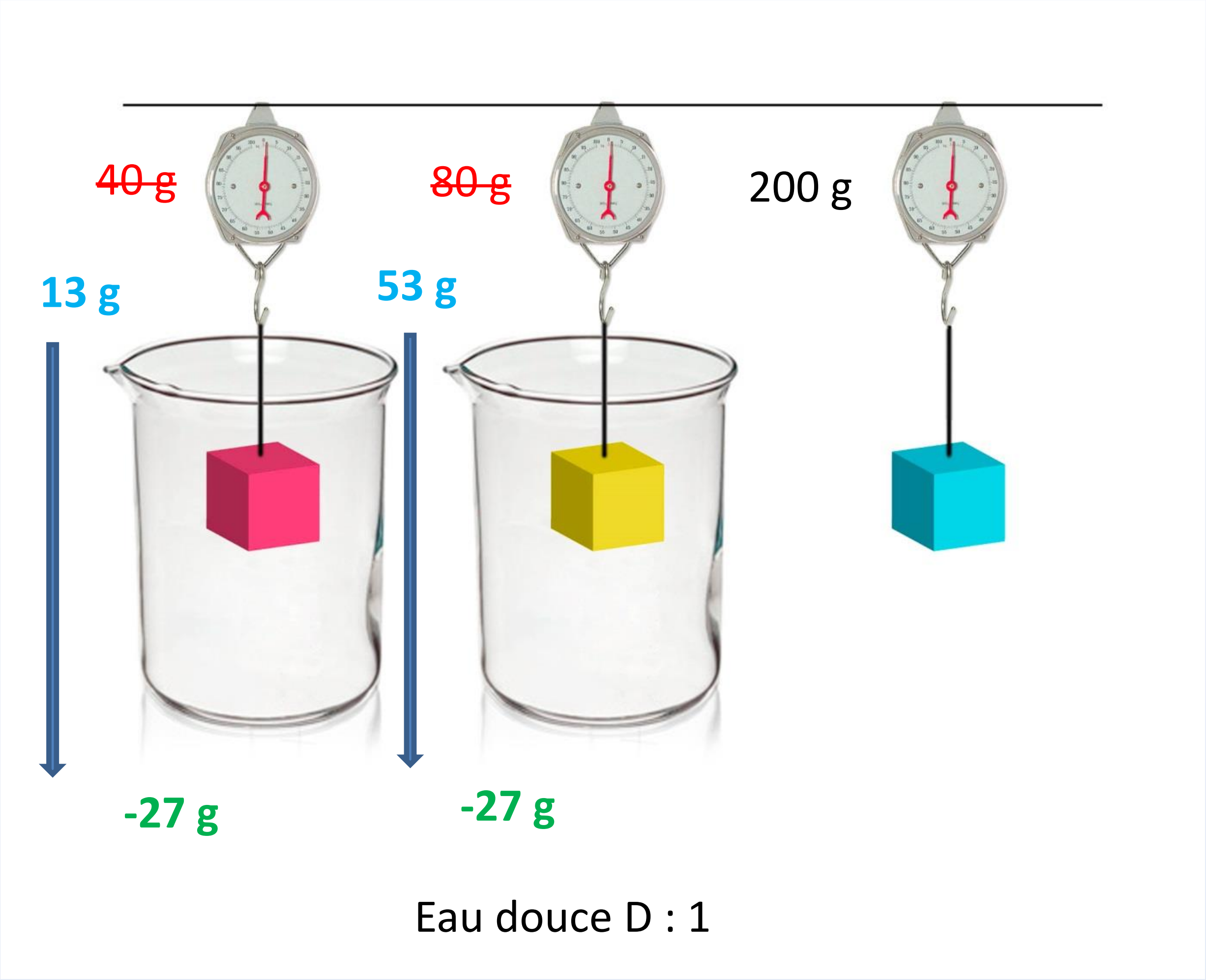


Mise en évidence

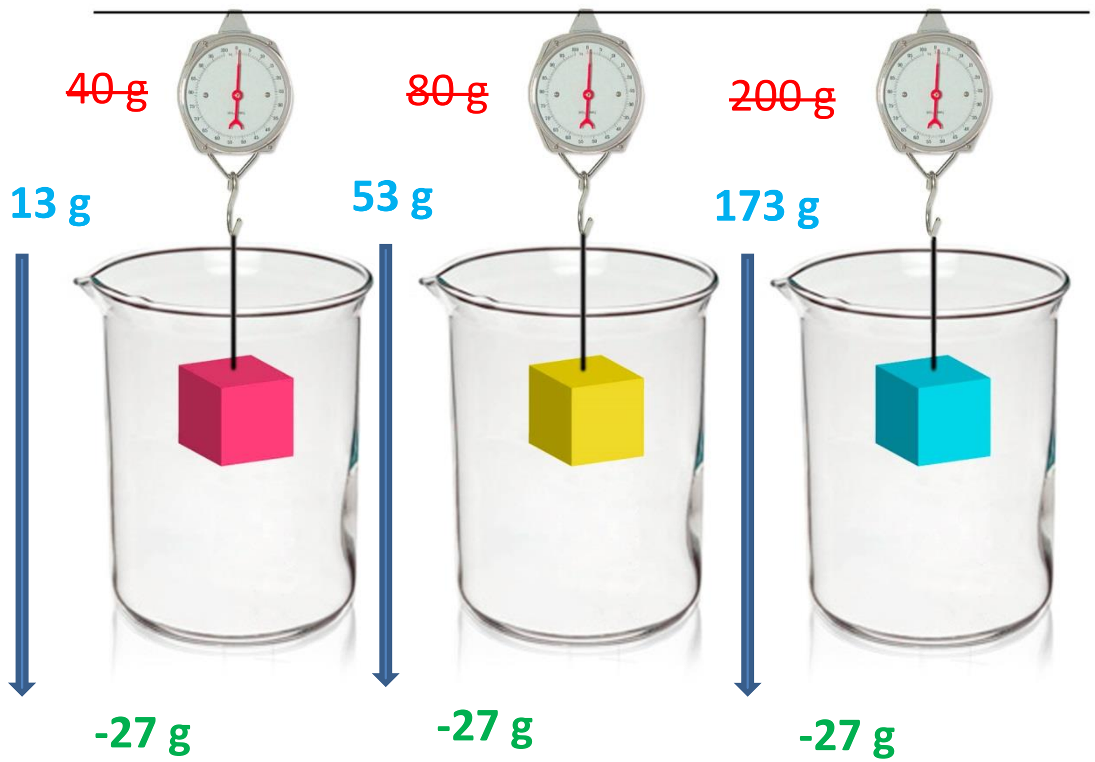


Eau douce D : 1

Mise en évidence

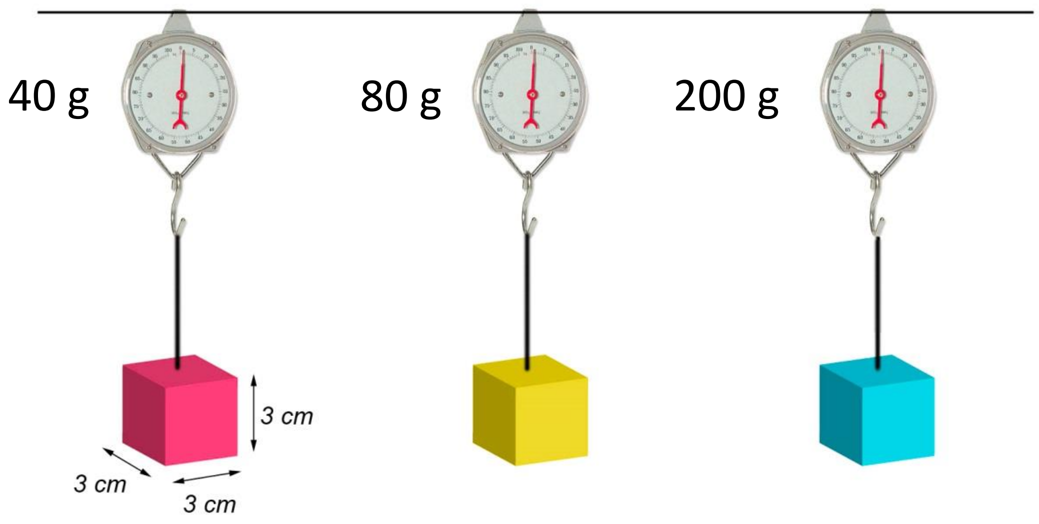


Mise en évidence

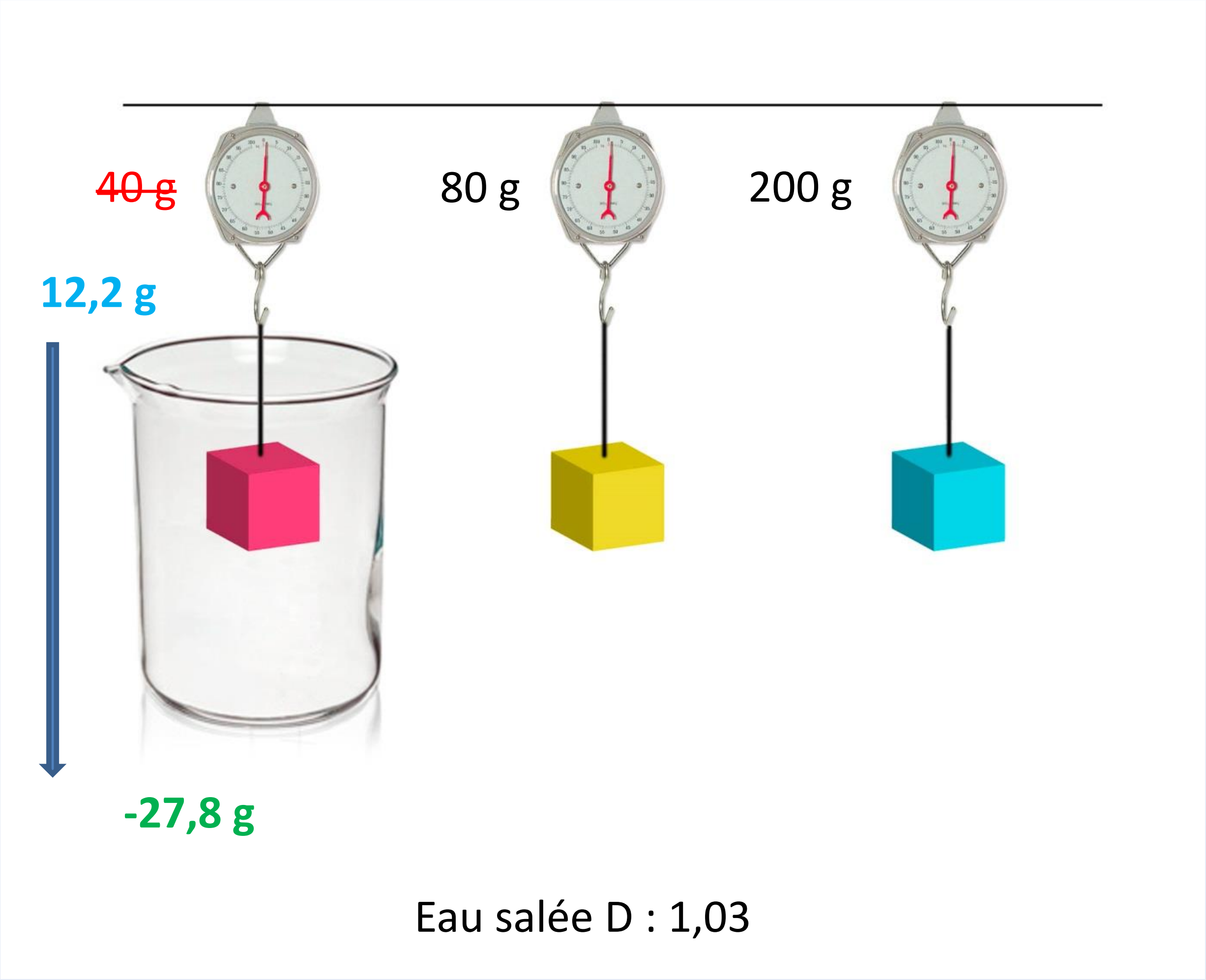


Eau douce D : 1

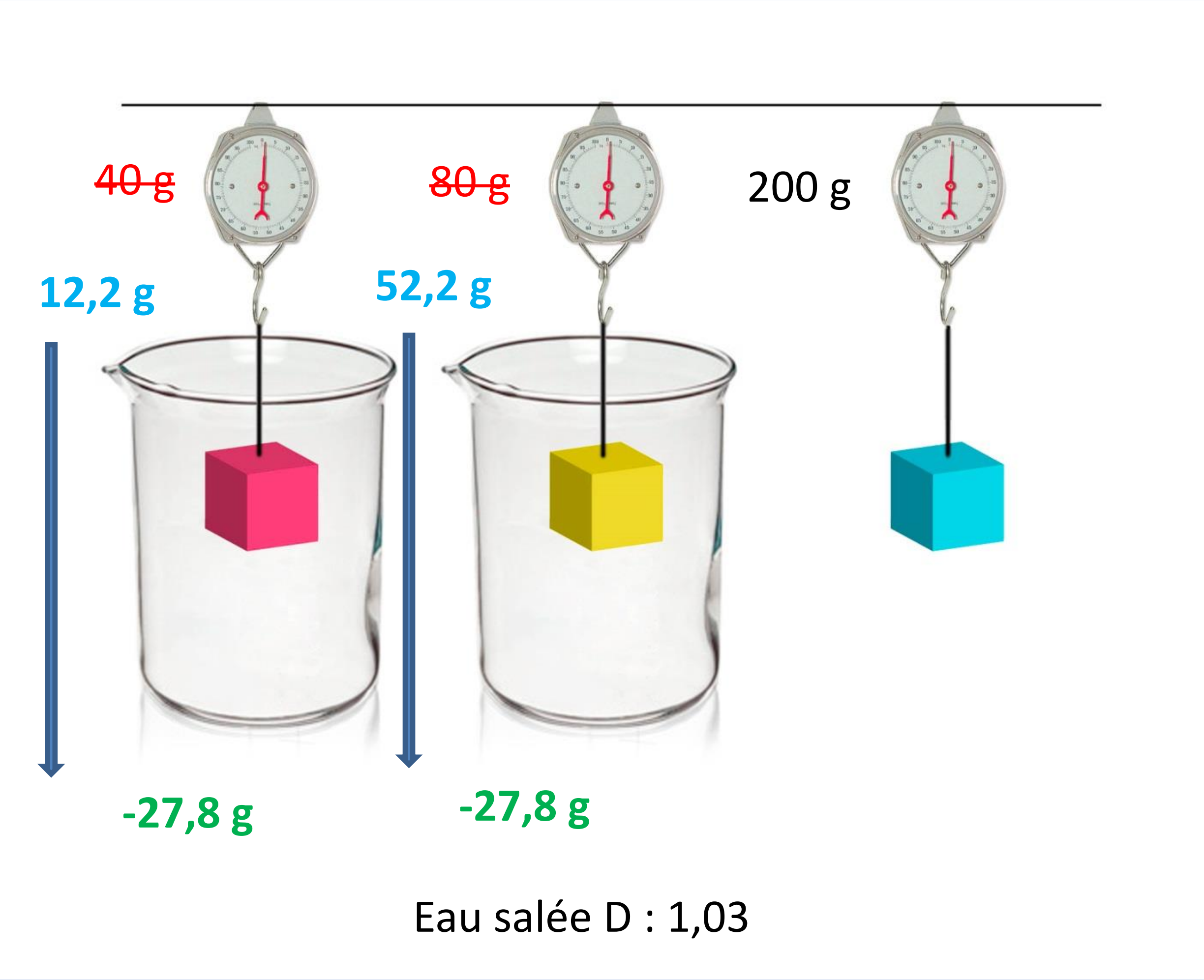
Mise en évidence



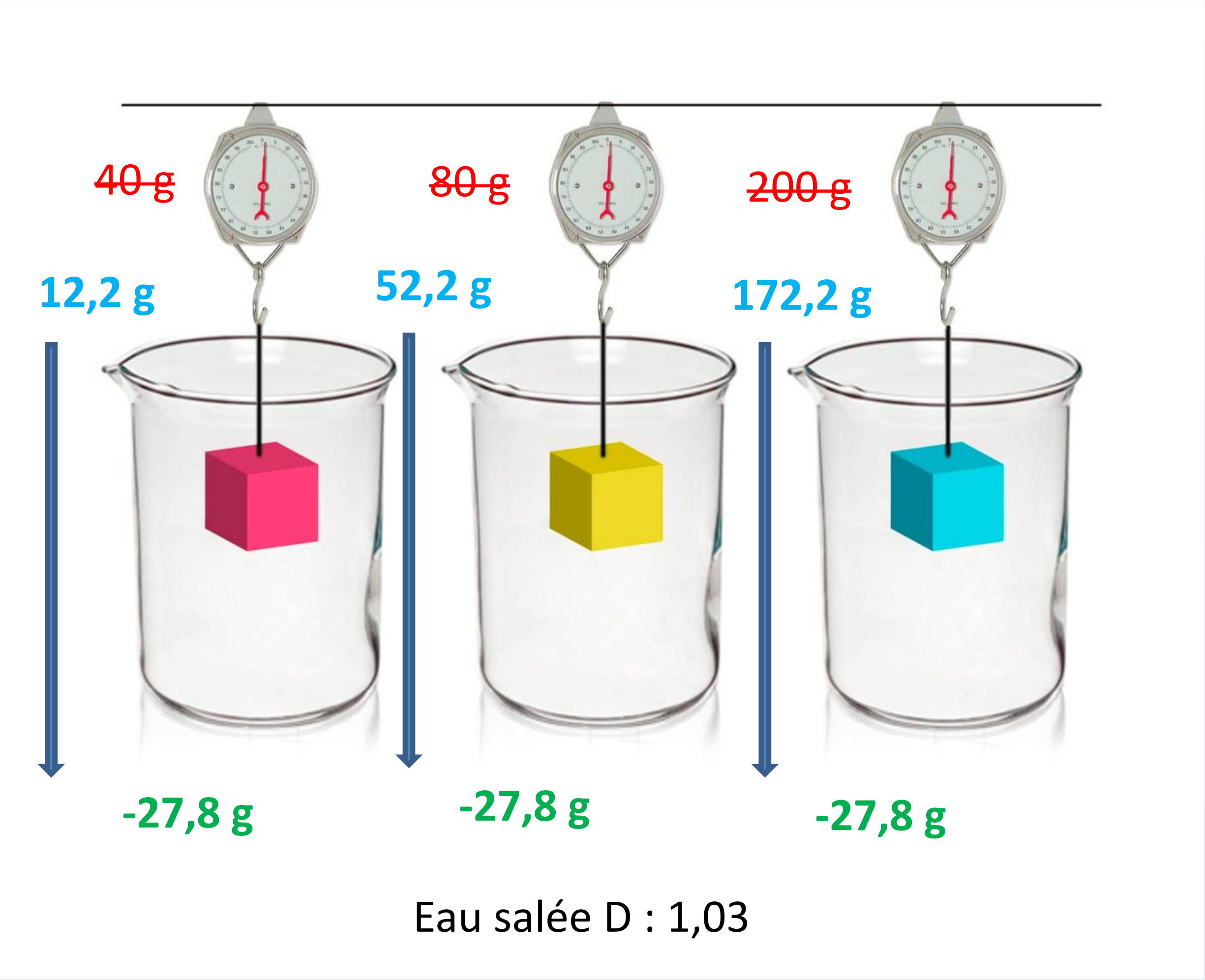
Mise en évidence



Mise en évidence



Mise en évidence



Déduction :

« 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. »

Poids Apparent et Poids Réel

Poids APPARENT =

Poids RÉEL - Poussée ARCHIMÈDE

Flottabilité

- 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

Flottabilité

TOUT DÉPEND DE DEUX 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 => P app = 70 - 60 = 10 kg

APPLICATIONS A LA PLONGÉE

- Poumons - ballast
- Lestage
- Gilet de stabilisation
- Parachute de relevage

Formules de Calcul :

- **Poids réel** = Volume x Densité objet
- **Poussée d'Archimède** = Volume x Densité eau

Exemple :

- **Poids réel** = Volume x Densité objet
- **Poussée d'Archimède** = Volume x Densité eau

- Une caisse de 5 dm X 0,4 m X 49 cm d'un poids réel de 100 kg tombe d'un bateau - Situation dans de l'eau douce et dans de l'eau de mer

- Résoudre le volume de la caisse en dm^3 : 5 X 4 X 4,9 = 98 dm^3
- Poids apparent = 100 - (98 X densité)
- Eau douce : Poids apparent = 100 - (98 X 1) = 100 – 98 = 2 kg
  → **l'objet coule**
- Eau de mer : Poids apparent. = 100 - (98 X 1,03) = 100 - 100,94 = -0,94 kg
  → **l'objet flotte**

Exercice 1

Un caisson vidéo pèse 3 kg sur terre et son volume est de 5 litres. Combien de lest doit-on ajouter à l'intérieur du caisson pour que ce dernier soit en flottabilité nulle dans l'eau douce et dans l'eau de mer ?

- Eau douce : P App = 3 - 5 = -2 kg
- Eau de mer : P app = 3 - (5 X 1,03) = 3 – 5.15 = -2.15 kg

Exercice 2

Un caisson vidéo pèse 3 kg sur terre et son volume est de 5 litres.

On vient de calculer la quantité de lest à ajouter à l’intérieur du caisson pour qu’il soit en flottabilité nulle.

Quelle sera la différence si on ajoute le lest à l’extérieur du caisson ?

Si on le met à l’extérieur le volume total est augmenté.

Il faudra donc plus de lestage.

Exercice 3

Quel est le poids apparent d'un dm^3 de plomb ? (densité : 11,3) dans l'eau douce et dans l'eau de mer ?

Eau douce : 11,3 – 1 = 10,3 kg

Eau de mer : 11,3 – 1,03 = 10,27 kg

- Soit un rapport d'environ 10% entre le poids réel et le poids apparent d'un lestage en plomb.

Exercice 4

Un plongeur passe d'un shorty dont le volume est de 2 dm^3 à une combinaison épaisse dont le volume est de 10 dm^3. Combien de kilos de plomb doit- il ajouter environ pour rester équilibré comme auparavant ?

Ajout d'un volume de 8 dm^3 → compensation avec un poids apparent de 8 kg

Poids réel = Poids apparent + poussée d'Archimède

Poids réel = 8 + 10% soit 9 kg de lest supplémentaire.

Exemple

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 indéterminé 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 ?

Papp = 50 – (10+20) = 20 → L'ancre reste sur le fond

Pour que l'ancre monte il faut que Parchi > Préel, donc Parchi >50

Volume du parachute = 40 l

Mariotte : 5 b x 20 l = P2 x 40 l

P2 = 100 / 40 = 2,5 bars

Profondeur = 15 mètres

Exercice 5

Une ancre dont le poids réel est de 150 kg pour une masse volumique de 5 kg/l est retrouvée à une profondeur de 50 mètres dans de l'eau douce.

Pour la remonter, les plongeurs disposent d'un bloc de 6l gonflé à 200 bars.

Combien de litres devront-ils mettre dans le parachute qu'ils fixeront à l'ancre afin que cette dernière ait un Poids apparent égal à 0 et que restera-t-il dans le bloc une fois l'opération exécutée ?

Volume de l'ancre : 150 / 5 = 30 litres

Poids apparent = 150 – 30 = 120 kg

Volume du parachute = 120 litres

Pression absolue à 50 m : 5 + 1 = 6 bars

Volume d'air détendu utilisé : 120 * 6 = 720 l

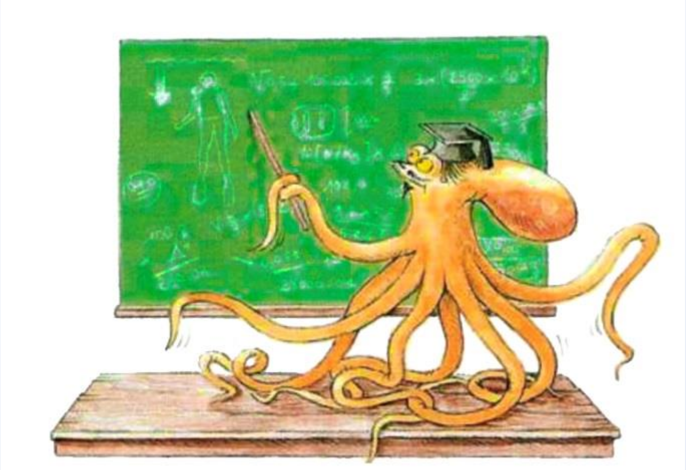
Il restera donc 1200 – 720 = 480 litres dans le bloc

Références

- FFESSM et les sites des CTR: http://www.ffessm.fr/
- Emmanuel Bernier : http://emmanuel.bernier.free.fr/
- Wikipedia : https://fr.wikipedia.org

Physique N4 - 2021

Codep 92



Merci de votre attention !