

COMMISSION DE L'ENSEIGNEMENT



Manuel Niveau 2

Physique



lifras

© Lifras 2023



Ce cours est un ouvrage de la LIFRAS (asbl).

Toute reproduction partielle ou totale est strictement interdite.



PLAN DE COURS

2. PHYSIQUE

2.1 LES ÉLÉMENTS DE BASE

2.1.1 Grandeurs fondamentales

2.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE PRESSIONS

2.2.1 La Pression atmosphérique

2.2.2 La Pression hydrostatique

2.2.3 La Pression relative

2.2.4 La Pression absolue

2.3 LE MILIEU DU PLONGEUR : L'EAU ET L'AIR

2.3.1 L'air

2.3.2 L'eau

2.3.3 L'eau – l'air

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.1 Lois physiques relatives à la lumière

2.4.2 Principe de Pascal

2.4.3 Principe d'Archimède et notion de flottabilité

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.4 Loi de Boyle-Mariotte

2.4.5 Loi de Charles

2.4.6 Loi de Henry

2.4.7 Loi de Dalton



PLAN DE COURS

2. PHYSIQUE

2.1 LES ÉLÉMENTS DE BASE

2.1.1 Grandeurs fondamentales

2.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE PRESSIONS

2.2.1 La Pression atmosphérique

2.2.2 La Pression hydrostatique

2.2.3 La Pression relative

2.2.4 La Pression absolue

2.3 LE MILIEU DU PLONGEUR : L'EAU ET L'AIR

2.3.1 L'air

2.3.2 L'eau

2.3.3 L'eau – l'air

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.1 Lois physiques relatives à la lumière

2.4.2 Principe de Pascal

2.4.3 Principe d'Archimède et notion de flottabilité

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.4 Loi de Boyle-Mariotte

2.4.5 Loi de Charles

2.4.6 Loi de Henry

2.4.7 Loi de Dalton



2. PHYSIQUE

2.1 GRANDEURS FONDAMENTALES

2.1.1 GRANDEURS FONDAMENTALES

Masse M

- ♦ Une masse est une quantité de matière.
- ♦ Unité de mesure officielle : le kilogramme (kg).

Force F

- ♦ Une force est une impulsion capable de mettre une masse en mouvement.
- ♦ Unité de mesure officielle : le newton (N).

Poids P

- ♦ Le poids d'un corps est la force qui attire ce corps vers le centre de la terre.
- ♦ Unité de mesure officielle : le newton (N).
- ♦ Relation entre P et M : $P = M \times 9,81$ (soit approximativement 10).



2. PHYSIQUE

2.1 GRANDEURS FONDAMENTALES

2.1.1 GRANDEURS FONDAMENTALES

Confusion habituelle

- ♦ Assimilation entre poids et masse d'où l'utilisation abusive du kilogramme pour mesurer des poids.

Capacité et volume

- ♦ $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ litre}$.
- ♦ $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ litres (l ou L)}$.

Masse volumique ρ

- ♦ La masse volumique est la masse d'un corps par rapport à son volume.
- ♦ Unité de mesure officielle : le kg par m^3 (kg/m^3).



2. PHYSIQUE

2.1 GRANDEURS FONDAMENTALES

2.1.1 GRANDEURS FONDAMENTALES

Densité

- ♦ La densité (d'un solide ou d'un liquide) est le rapport entre la masse de la substance et la masse d'un même volume d'eau pure à 4°C.
- ♦ La densité d'un gaz est le rapport entre la masse d'un volume donné de ce gaz et la masse du même volume d'air.
(Mêmes conditions de température et de pression)
- ♦ Pas d'unité.



2. PHYSIQUE

2.1 GRANDEURS FONDAMENTALES

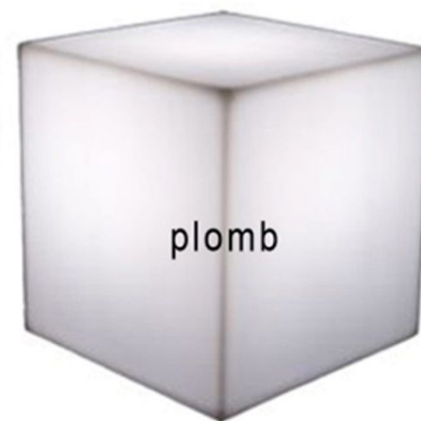
2.1.1 GRANDEURS FONDAMENTALES



eau pure



eau salée



plomb

Volume

1 dm^3
 1 L

1 dm^3
 1 L

1 dm^3

Masse

1.00 kg

1.03 kg

11.30 kg

Masse volumique

$1\,000 \text{ kg / m}^3$

$1\,030 \text{ kg / m}^3$

$11\,300 \text{ kg / m}^3$

Densité

1.00

1.03

11.30



2. PHYSIQUE

2.1 GRANDEURS FONDAMENTALES

2.1.1 GRANDEURS FONDAMENTALES

Pression P

Une pression est une force exercée sur une surface

$$P = F / S$$

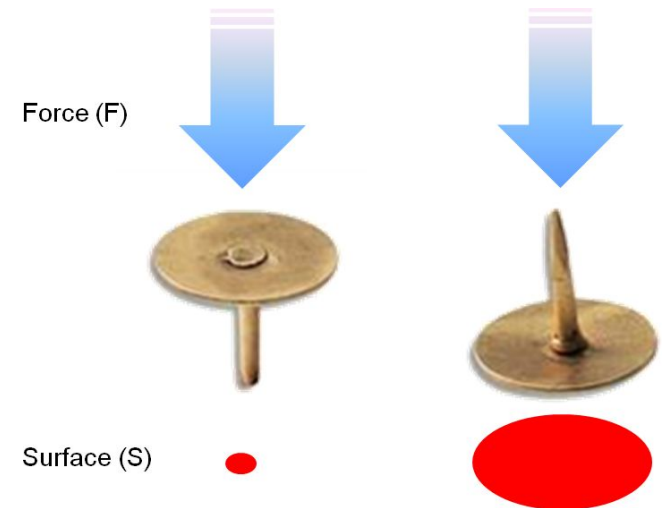
Unité de mesure officielle : le Pascal (Pa).

Le Pascal est la pression exercée par une force de 1 Newton (N) sur une surface de 1 m².

Autre unité de pression pratique :

le bar = 1 kg/cm²

1 bar = +/- 100000 Pa





PLAN DE COURS

2. PHYSIQUE

2.1 LES ÉLÉMENTS DE BASE

2.1.1 Grandeurs fondamentales

2.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE PRESSIONS

2.2.1 La Pression atmosphérique

2.2.2 La Pression hydrostatique

2.2.3 La Pression relative

2.2.4 La Pression absolue

2.3 LE MILIEU DU PLONGEUR : L'EAU ET L'AIR

2.3.1 L'air

2.3.2 L'eau

2.3.3 L'eau – l'air

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.1 Lois physiques relatives à la lumière

2.4.2 Principe de Pascal

2.4.3 Principe d'Archimède et notion de flottabilité

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.4 Loi de Boyle-Mariotte

2.4.5 Loi de Charles

2.4.6 Loi de Henry

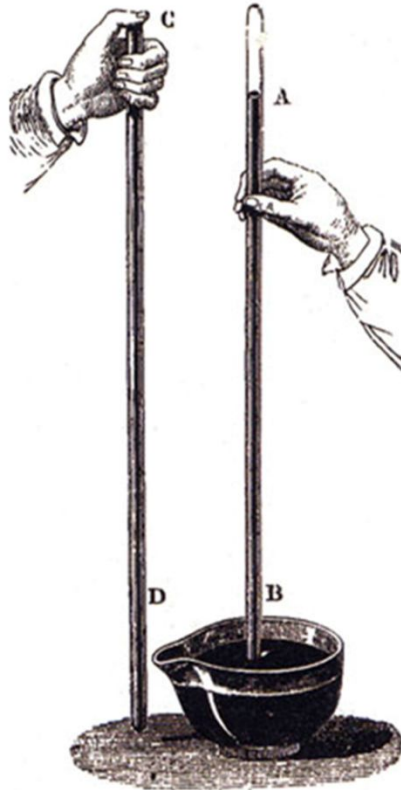
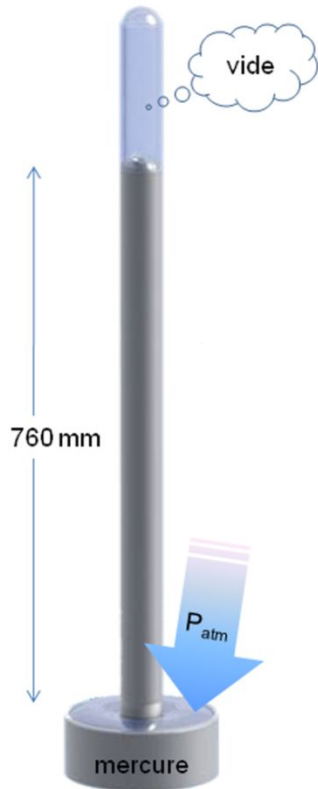
2.4.7 Loi de Dalton



2. PHYSIQUE

2.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE PRESSIONS

2.2.1 LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE



La pression atmosphérique est la pression due au poids de l'air situé au-dessus de nous.

Elle diminue donc avec l'altitude.

Au niveau de la mer, elle vaut :

$$1 \text{ atm} = 1013 \text{ hPa} = 1,013 \text{ bar} \\ = 760 \text{ mm de mercure}$$

Approximation suffisante :

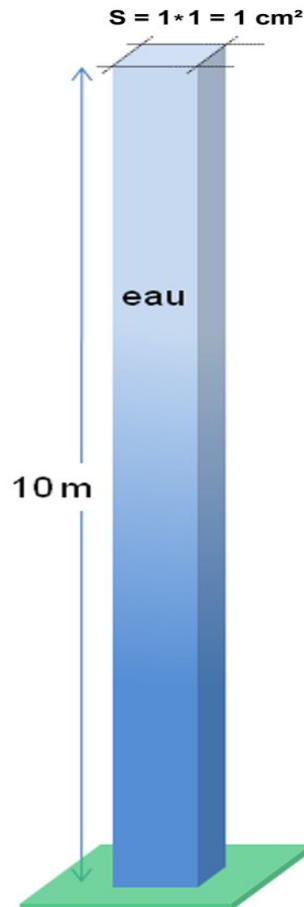
$$1 \text{ atm} = 1 \text{ bar}$$



2. PHYSIQUE

2.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE PRESSIONS

2.2.2 LA PRESSION HYDROSTATIQUE



La pression hydrostatique est la pression due au poids d'une colonne d'eau immobile. Elle augmente donc avec la profondeur.

Elle vaut à peu près :
1 bar pour 10 m d'eau



2. PHYSIQUE

2.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE PRESSIONS

2.2.3 LA PRESSION RELATIVE

La pression mesurée par rapport à une pression de référence.

Elle sera, par exemple, indiquée par les manomètres.

Cette pression est relative à la pression atmosphérique.



2. PHYSIQUE

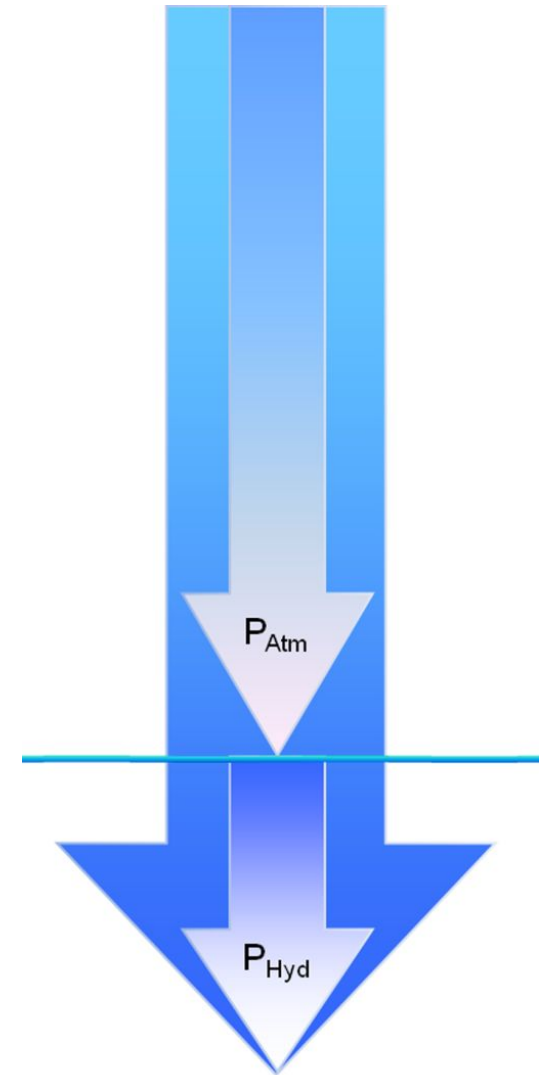
2.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE PRESSIONS

2.2.4 LA PRESSION ABSOLUE

La pression absolue est la pression **totale** que nous subissons vraiment.

En plongée, c'est donc la somme de la pression atmosphérique et de la pression hydrostatique.

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{Atm}} + P_{\text{Hyd}}$$



$$P_{\text{abs}} = P_{\text{Atm}} + P_{\text{Hyd}}$$



PLAN DE COURS

2. PHYSIQUE

2.1 LES ÉLÉMENTS DE BASE

2.1.1 Grandeurs fondamentales

2.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE PRESSIONS

2.2.1 La Pression atmosphérique

2.2.2 La Pression hydrostatique

2.2.3 La Pression relative

2.2.4 La Pression absolue

2.3 LE MILIEU DU PLONGEUR : L'EAU ET L'AIR

2.3.1 L'air

2.3.2 L'eau

2.3.3 L'eau - l'air

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.1 Lois physiques relatives à la lumière

2.4.2 Principe de Pascal

2.4.3 Principe d'Archimède et notion de flottabilité

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.4 Loi de Boyle-Mariotte

2.4.5 Loi de Charles

2.4.6 Loi de Henry

2.4.7 Loi de Dalton



2. PHYSIQUE

2.3 LE MILIEU DU PLONGEUR : L'EAU ET L'AIR

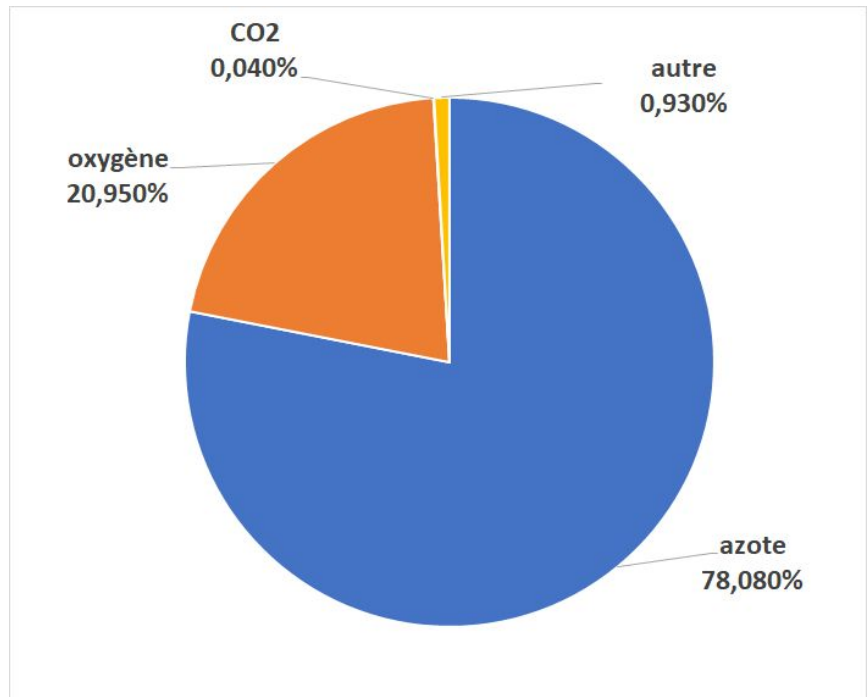
2.3.1 L'AIR

L'air est un **mélange gazeux** :

Approximation : **80 % de N_2 et 20 % d' O_2**

L'air a une **masse volumique** :

Approximation : **$1,25 \text{ kg/m}^3$**





2. PHYSIQUE

2.3 LE MILIEU DU PLONGEUR : L'EAU ET L'AIR

2.3.2 L'EAU

Masse volumique

- ♦ La masse volumique de l'eau douce est de **1000 kg/m³** (à 4°C).
- ♦ La masse volumique de l'eau de mer est (en moyenne) de **1033 kg/m³**

Conductivité thermique

- ♦ L'eau est bien **plus conductrice** de la chaleur que l'air (23 fois plus).

Conséquences :

- ♦ Refroidissement important dans l'eau.
- ♦ Combinaison indispensable.



2. PHYSIQUE

2.3 LE MILIEU DU PLONGEUR : L'EAU ET L'AIR

2.3.2 L'EAU

Thermocline

- ♦ Zone de transition thermique rapide entre les eaux superficielles et les eaux profondes.

Halocline

- ♦ Causée par un fort gradient de salinité affectant la densité de l'eau de mer.
- ♦ Souvent de concert avec la thermocline.
- ♦ Rencontrée lorsqu'il y a présence d'eau douce et d'eau salée dans un même milieu.



2. PHYSIQUE

2.3 LE MILIEU DU PLONGEUR : L'EAU ET L'AIR

2.3.2 L'EAU

Conséquences :

- ♦ Différence de température.
- ♦ Turbidité de l'eau 🏗️ réduction de visibilité sur quelques mètres.
- ♦ Peut constituer une barrière écologique pour la faune et flore (Ecotone).



2. PHYSIQUE

2.3 LE MILIEU DU PLONGEUR : L'EAU ET L'AIR

2.3.3 L'EAU - L'AIR

Propagation du son

Le son est une onde qui a besoin d'un milieu pour se propager :

- ♦ Plus le milieu est dense, plus l'onde sonore se propage vite.



2. PHYSIQUE

2.3 LE MILIEU DU PLONGEUR : L'EAU ET L'AIR

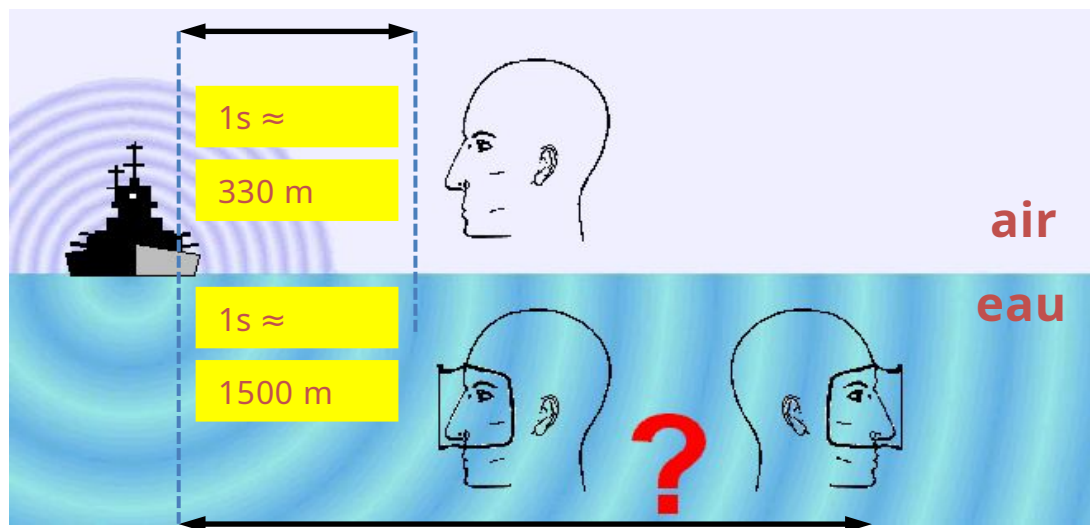
2.3.3 L'EAU - L'AIR

Propagation du son

Conséquence

w Le son se propage plus vite dans l'eau que dans l'air.

- ♦ Dans l'eau, il est impossible de déterminer la direction du son.





PLAN DE COURS

2. PHYSIQUE

2.1 LES ÉLÉMENTS DE BASE

2.1.1 Grandeurs fondamentales

2.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE PRESSIONS

2.2.1 La Pression atmosphérique

2.2.2 La Pression hydrostatique

2.2.3 La Pression relative

2.2.4 La Pression absolue

2.3 LE MILIEU DU PLONGEUR : L'EAU ET L'AIR

2.3.1 L'air

2.3.2 L'eau

2.3.3 L'eau – l'air

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.1 Lois physiques relatives à la lumière

2.4.2 Principe de Pascal

2.4.3 Principe d'Archimède et notion de flottabilité

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.4 Loi de Boyle-Mariotte

2.4.5 Loi de Charles

2.4.6 Loi de Henry

2.4.7 Loi de Dalton



2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

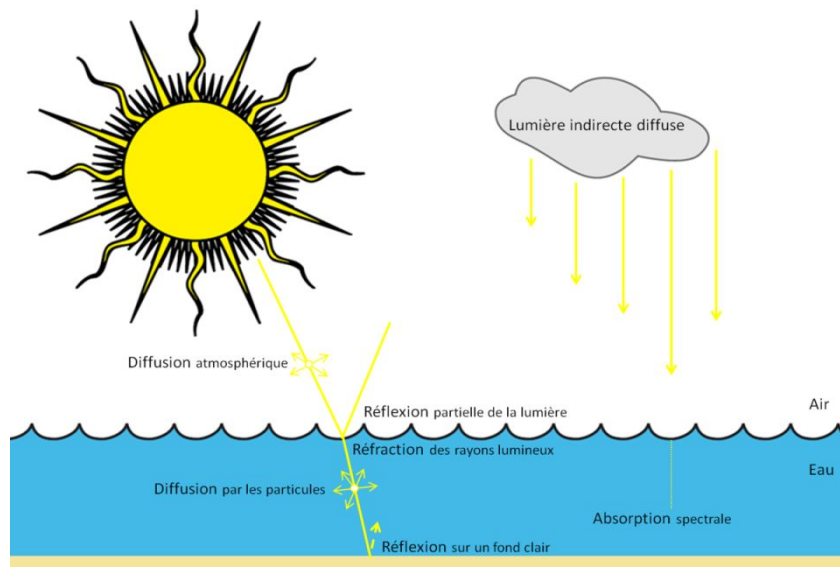
2.4.1 LOIS PHYSIQUES RELATIVES À LA LUMIÈRE

La lumière est une onde qui peut se propager même dans le vide.

Plus le milieu transparent est dense, plus l'onde lumineuse se propage lentement.

La lumière qui pénètre dans l'eau va subir quatre phénomènes :

- ♦ La réflexion.
- ♦ La réfraction.
- ♦ La diffusion.
- ♦ L'absorption.





2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

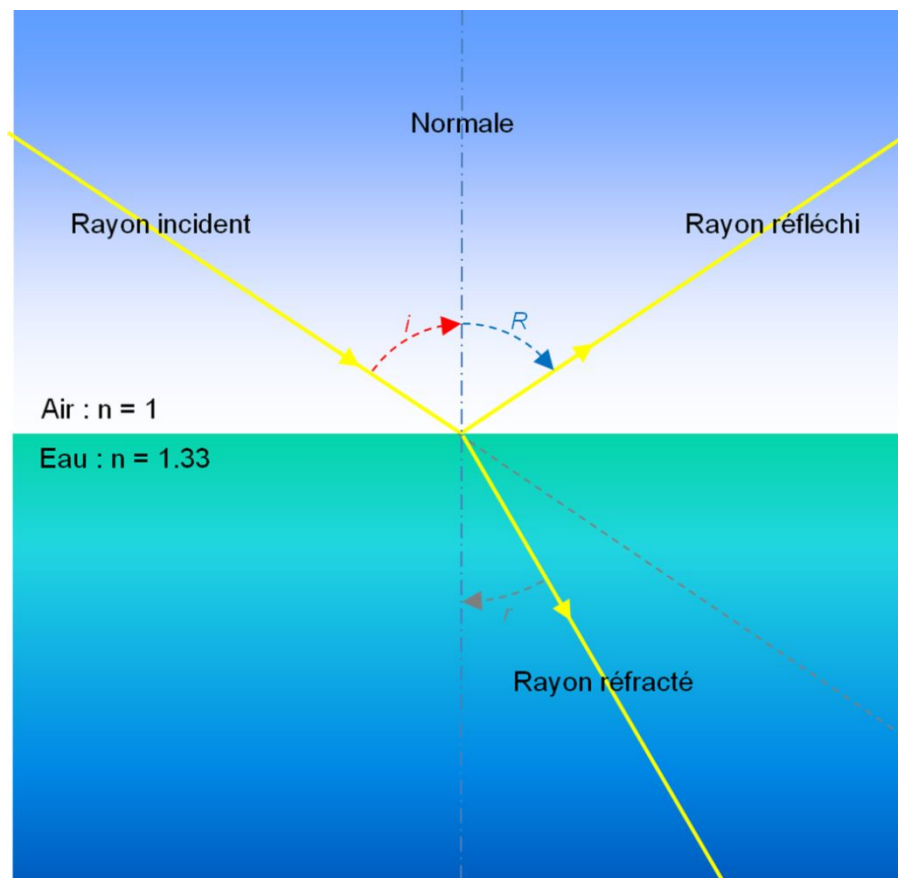
2.4.1 LOIS PHYSIQUES RELATIVES À LA LUMIÈRE

La **réflexion** est le retour dans le premier milieu d'une partie de la lumière.

C'est l'effet «miroir».

La **réfraction** est le changement de direction de la partie de la lumière qui pénètre dans le second milieu.

C'est l'effet «bâton brisé».

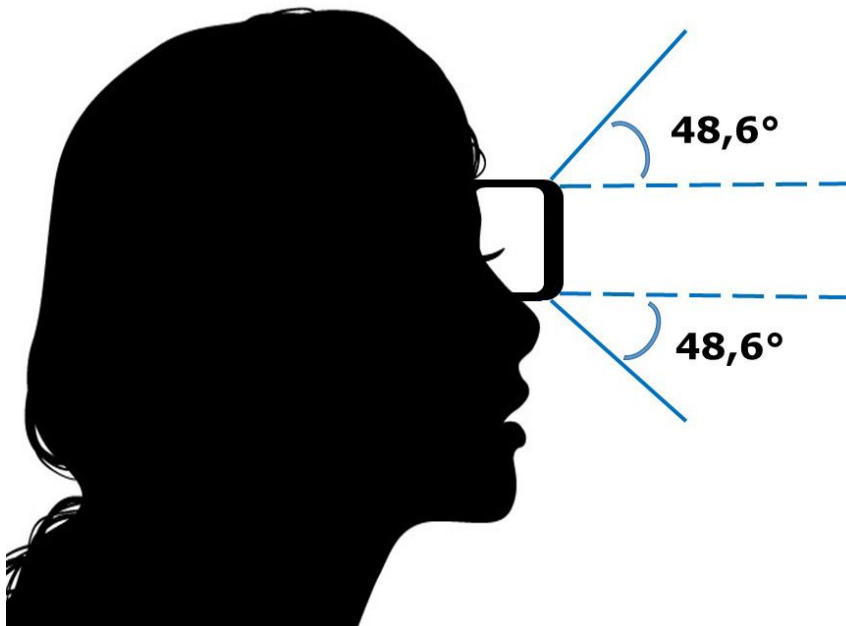




2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.1 LOIS PHYSIQUES RELATIVES À LA LUMIÈRE



- ♦ Les rayons lumineux dont l'angle d'incidence est supérieur à $48,6^\circ$ sont totalement réfléchis. C'est une limite.
- ♦ Le champ de vision à travers un masque, en plongée, est donc restreint.



2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.1 LOIS PHYSIQUES RELATIVES À LA LUMIÈRE

La **diffusion** est la déviation dans toutes les directions de la lumière par les particules en suspension dans l'eau.

C'est l'effet «brouillard».





2. PHYSIQUE

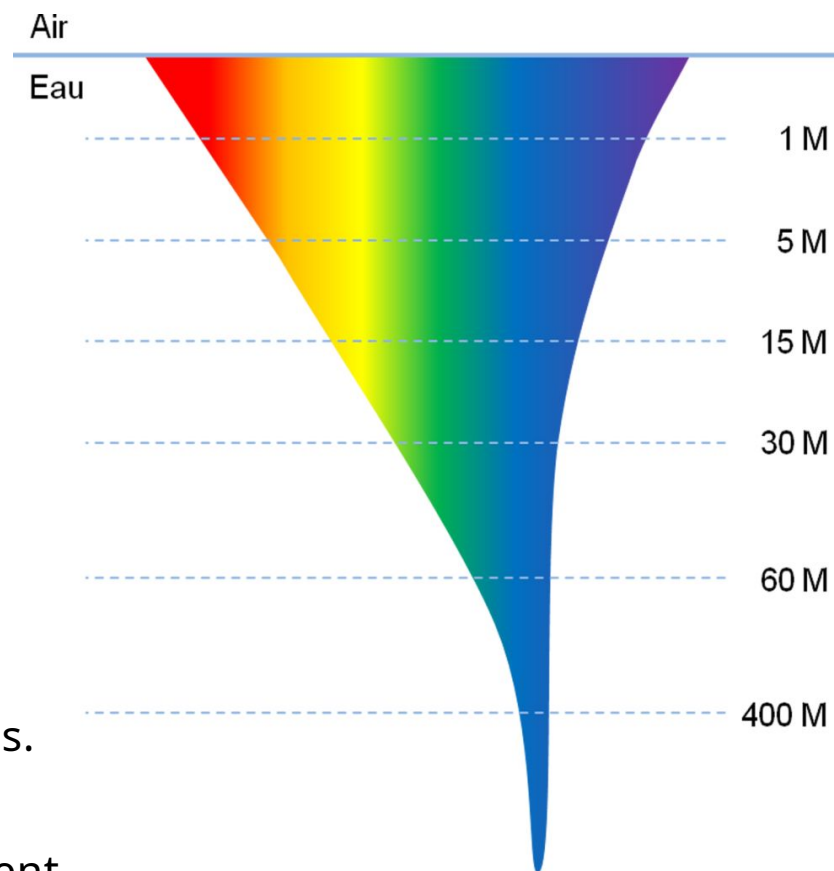
2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.1 LOIS PHYSIQUES RELATIVES À LA LUMIÈRE

L'**absorption** est la perte de l'intensité lumineuse et des couleurs avec la profondeur.

La luminosité, en eau claire, est réduite :

- ♦ Au quart de son intensité à une profondeur de 5 m.
- ♦ Au huitième de sa valeur à 15 mètres.
- ♦ Au trentième de sa valeur à 40 mètres.
 - ✓ Le rouge disparaît à 10 mètres.
 - ✓ L'orange disparaît entre 10 et 20 mètres.
 - ✓ Le jaune disparaît à 30 mètres.
 - ✓ Au-delà, seuls le bleu et le vert subsistent.





2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.1 LOIS PHYSIQUES RELATIVES À LA LUMIÈRE

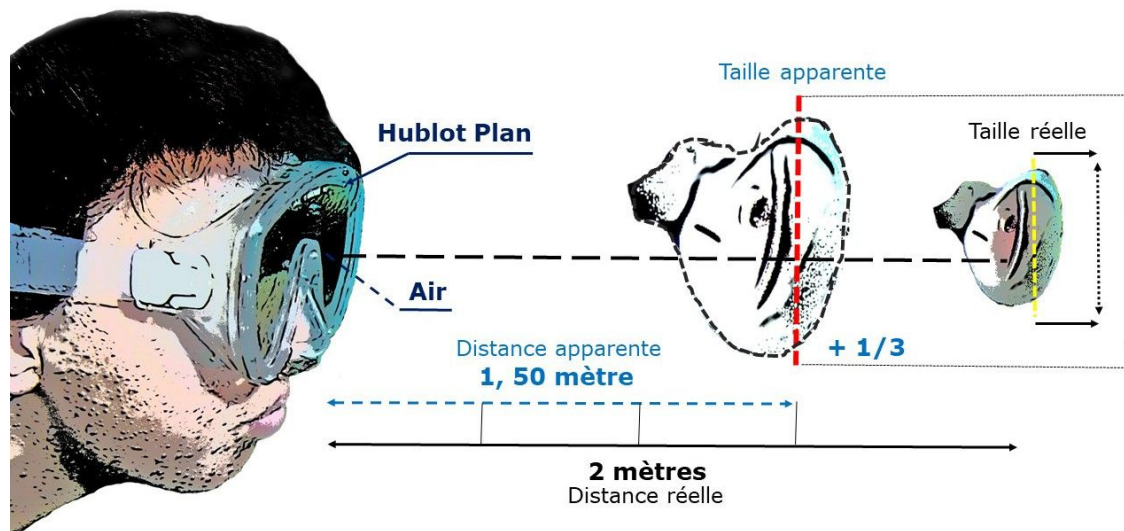
Conséquences de la réfraction :

- ♦ Impression de **rapprochement**

La distance apparente = $\frac{3}{4}$ de la distance réelle.

- ♦ Impression de **grossissement**

La taille apparente = $\frac{4}{3}$ de la taille réelle.



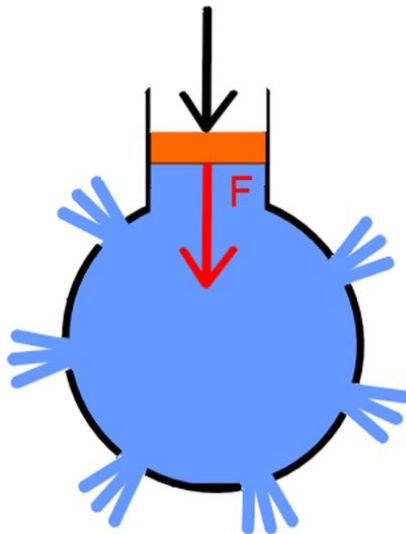


2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.2 PRINCIPE DE PASCAL

Toute pression exercée sur un fluide se transmet par lui intégralement et dans toutes les directions.



Application :

Réépreuve hydraulique des bouteilles.

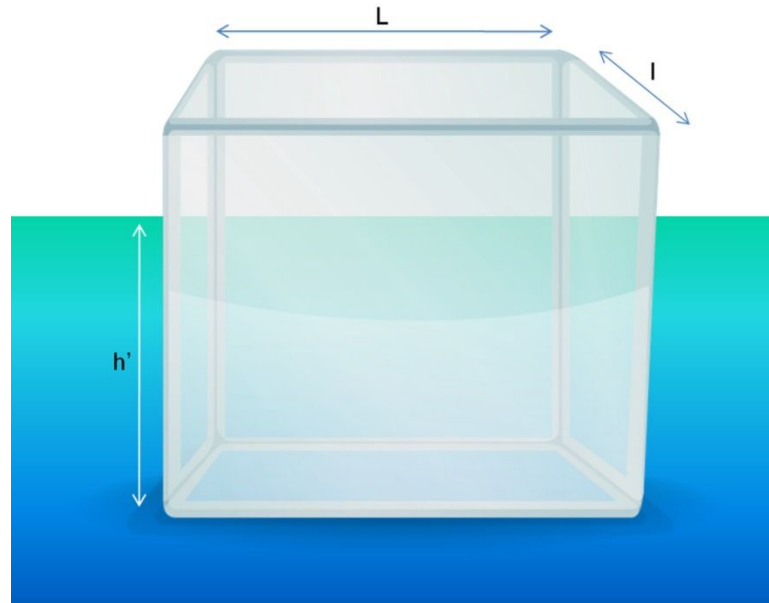


2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.3 PRINCIPE D'ARCHIMÈDE ET NOTION DE FLOTTABILITÉ

Tout corps plongé dans un fluide subit de la part de celui-ci une poussée verticale, orientée de bas en haut, égale au poids du volume de fluide déplacé.

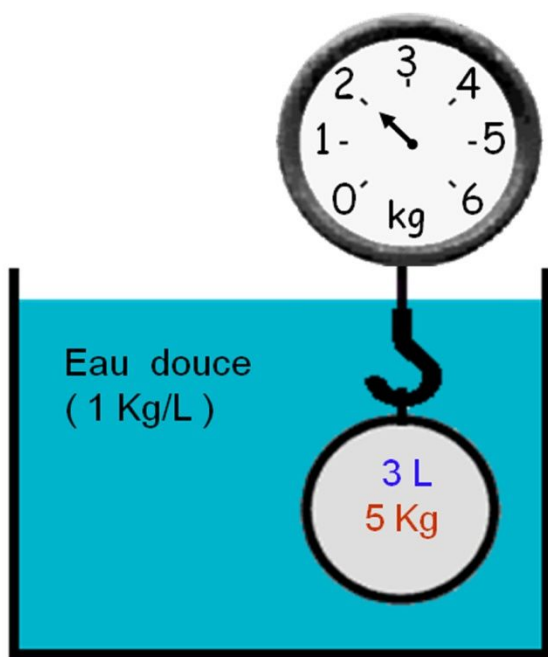




2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.3 PRINCIPE D'ARCHIMÈDE ET NOTION DE FLOTTABILITÉ



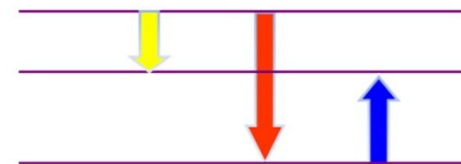
↓ Poids apparent du corps

Objet: volume: 3 L
masse: 5 kg

Poussée d'Archimède:
 $3 \times 1 \times 9.81 \sim 30 \text{ N}$

↑ 30 N Poussée d'Archimède
(force du fluide sur l'objet)

↓ 50 N Force de gravité



Bilan: $50 - 30 = 20 \text{ N}$
soit 2 kg sur la balance

Calcul du poids apparent

$$P_{\text{app}} (\text{kg}) = P_{\text{réel}} (\text{kg}) - P_{\text{arch}} (\text{kg})$$



2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.3 PRINCIPE D'ARCHIMÈDE ET NOTION DE FLOTTABILITÉ

Applications :

- Le poumon-ballast.**
- La combinaison.**
- L'air du scaphandre.**
- Le lestage.**
- Le gilet stabilisateur.**
- Le tuba** (Respiration en surface).
- Le canard.**



2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.3 PRINCIPE D'ARCHIMÈDE ET NOTION DE FLOTTABILITÉ

Flottabilité

- ♦ Positive : $P_{\text{arch}} > P_{\text{réel}}$

Le corps **remonte**.

- ♦ Nulle (ou neutre) : $P_{\text{arch}} = P_{\text{réel}}$

Le corps est en **équilibre**.

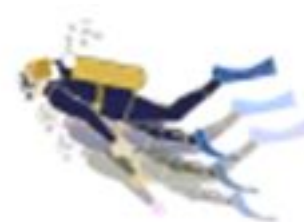
- ♦ Négative : $P_{\text{arch}} < P_{\text{réel}}$

Le corps **coule**.

Tout dépend donc de deux paramètres :

(à fluide constant)

- ✓ Le poids du corps.
- ✓ Le volume du corps.



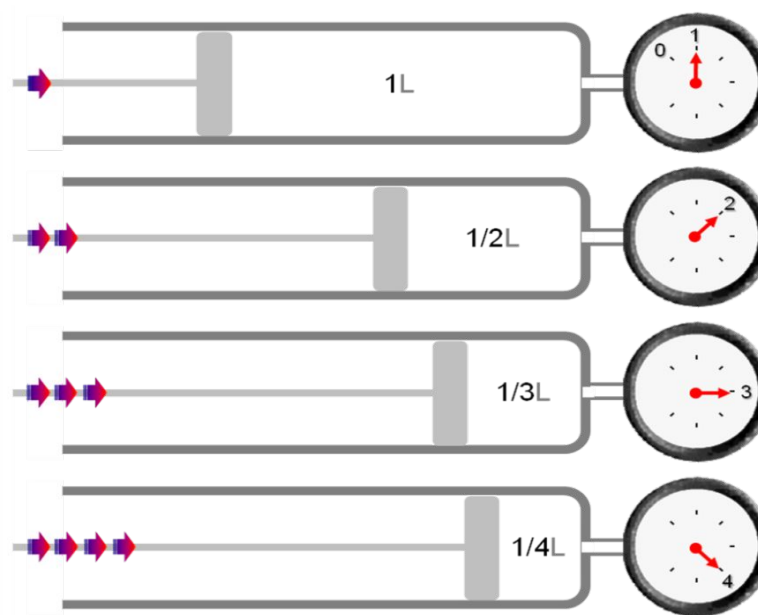


2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.4 LOI DE BOYLE-MARIOTTE

À température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression absolue qu'il subit.



$$\text{PRESSION} \times \text{VOLUME} = P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 = \dots = \text{CONSTANTE}$$

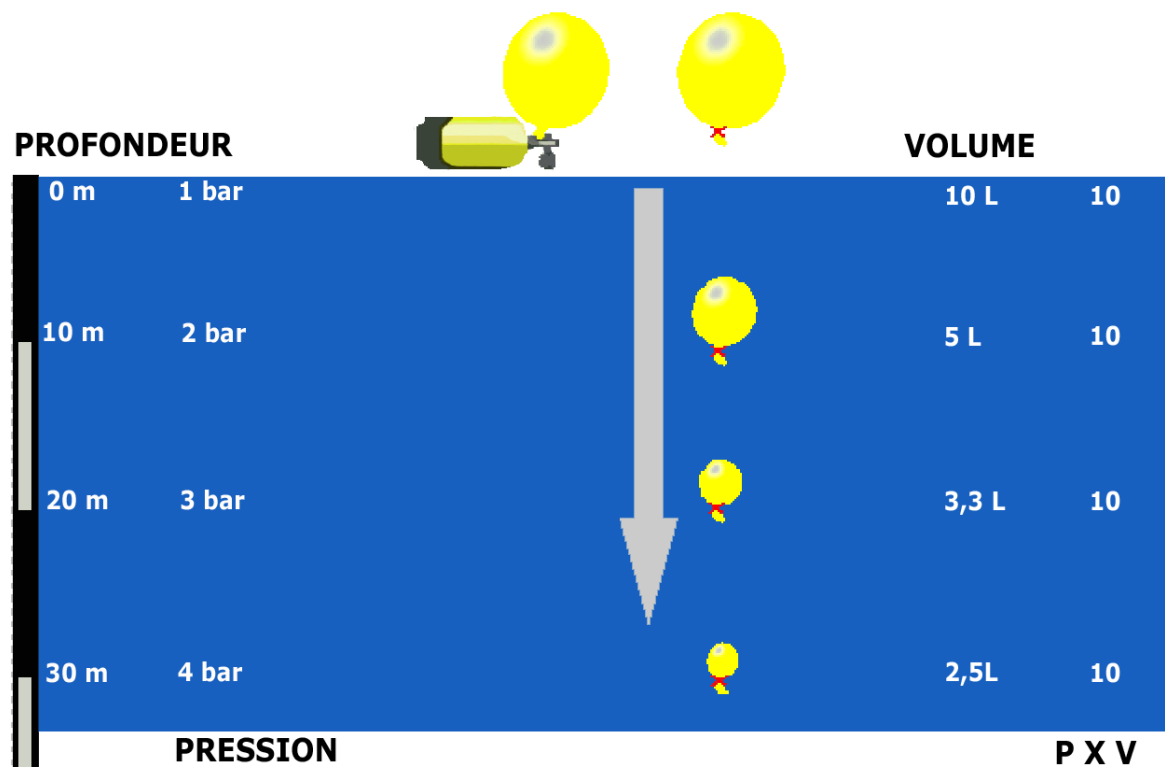


2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.4 LOI DE BOYLE-MARIOTTE

À la descente



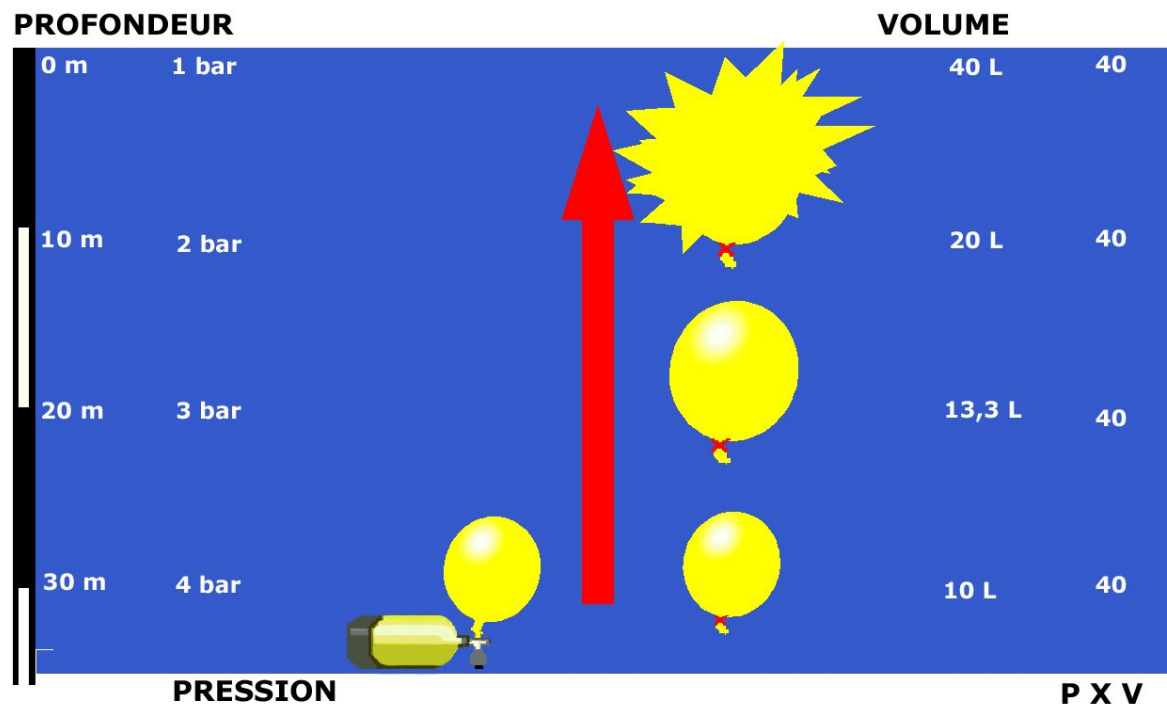


2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.4 LOI DE BOYLE-MARIOTTE

À la remontée





2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.4 LOI DE BOYLE-MARIOTTE

Applications : **Le gonflage des bouteilles.**

Le gilet stabilisateur.

Le parachute.

La consommation d'air.

La combinaison.

Les barotraumatismes.



2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.4 LOI DE BOYLE-MARIOTTE

On considère qu'une personne consomme ± 20 L/minute en surface.

A **40 m**, la consommation sera alors équivalente à **100 L/min** ! (en surface)
(Le volume des poumons et la consommation ne changent pas, mais Boyle-Mariotte intervient).

L'autonomie du plongeur est dépendante du profil de plongée.

Il est important de vérifier si la plongée envisagée est possible avec la quantité de gaz embarquée (et la réserve prévue).

Une 15 L à 200 bars, avec réserve à 50 bars \Rightarrow 2250 L planifiables.
Soit une autonomie de 37 minutes à 20 m mais 22 minutes à 40 m.



2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.5 LOI DE CHARLES

Version simplifiée :

À volume constant, la pression d'un gaz augmente avec sa température.

Application : **Variation de la pression des bouteilles avec la température.**



2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.6 LOI DE HENRY

La quantité de gaz dissoute dans un liquide dépend :

- ♦ De la pression.
- ♦ De la surface de contact.
- ♦ De la durée.
- ♦ De la température.
- ♦ De la nature du gaz.
- ♦ De la nature du liquide.





2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.6 LOI DE HENRY

À température constante et à saturation, la quantité d'un gaz donné dissous dans un liquide donné est directement proportionnelle à la pression exercée par le gaz à la surface du liquide.

Applications : **Accidents de décompression.**

Tables et ordinateurs de plongée.

Etats : **Saturation**

Sous-Saturation

Sursaturation





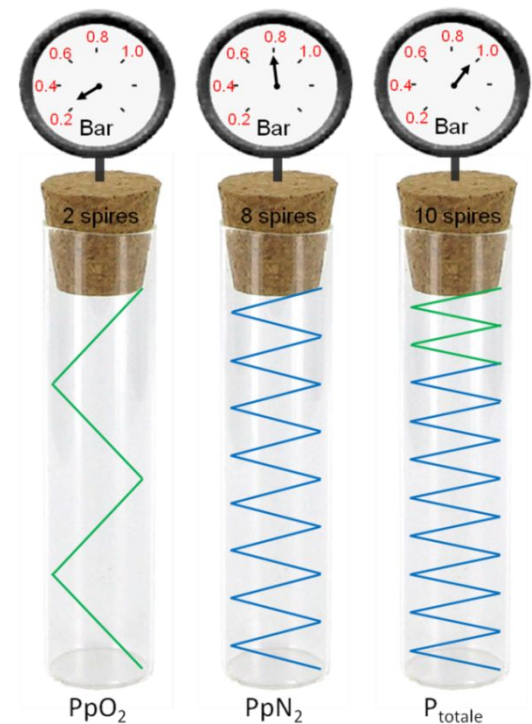
2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.7 LOI DE DALTON : LA PRESSION PARTIELLE

À température constante, la pression absolue d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions partielles de chacun des gaz constituants.

$$P_p \text{ gaz} = P_{\text{abs}} \text{ mélange} \times \% \text{ gaz}$$





2. PHYSIQUE

2.4 LES LOIS PHYSIQUES

2.4.7 LOI DE DALTON : LA PRESSION PARTIELLE

Applications : **Toxicité des gaz : accidents biochimiques.**

Mélanges respiratoires.

Tables de décompression.

Mélanges respiratoires modifiés.

Accident de décompression.

Plongées en altitude.





2. PHYSIQUE

QUESTIONS :

1. Pourquoi les bulles remontent ?
2. Est-ce que la vue est modifiée sous l'eau ?
3. Combien pèsent 1000 L d'air ?
4. Quelle couleur disparaît à 30 m ?
5. Peut-on dire d'où arrive un bateau (à l'oreille) ?
6. Pourquoi «planifier» ?
7. Etc.



Auteur :

Stéphane Dubois (2015)

Jean-Marc Szalies (2020)

Crédits photos

Slide 1 : Marc Hiernaux



