

# Formation théorique Niveau IV



Patrick Baptiste  
MF1 n° 22108



# Formation théorique Niveau IV / Sommaire

## Aujourd'hui ..

- Réglementation
- **Physique appliquée à la plongée**
- Système nerveux et plongée
- Les accidents toxiques en plongée
- Système circulatoire et plongée
- Système respiratoire et plongée
- Sphère ORL et plongée
- Eléments de calcul de tables
- Utilisation des tables de plongées
- Procédures particulières de décompression
- Ordinateur de plongée et planification
- Matériel de plongée – le détendeur
- Matériel de plongée – compresseur - bouteille
- Matériel de navigation, de sécurité et matelotage
- Orienter et conduire sa palanquée en sécurité
- Etre un guide de la mer connaissant le milieu



## Préambule

Notre activité préférée est soumise à un certain nombre de lois ou principes de physiques.

- Théorème d'Archimède (Personnage Grec ayant vécu entre 287 et 212 avant JC)
- Loi de Boyle-Mariotte ( Boyle physicien-chimiste 1627-1691, Mariotte physicien-botaniste 1620-1684)
- Loi de Dalton (physicien-chimiste 1766-1844)
- Loi de Henry (Physicien anglais 1775-1836)
- Loi de Charles (1746 – 1823) et de Gay-Lussac (physicien Français du XIXème siècle (1778-1850).
- Effet Paul Bert (physiologiste et un homme politique français 1833-1886)
- ..

Bien qu'il ne soit pas nécessaire de disposer de connaissances importantes en physique, il est cependant nécessaire de connaître les principales lois qui interviennent en plongée.



## Rappels des notions préliminaires





# Formation théorique Niveau IV / Physique

---

Tout d'abord apportons quelques précisions aux notions de force, de masse et de poids

**La force** est une entité abstraite définie par sa direction, son point d'application, son sens et sa valeur. Elle se mesure en **Newton**.

Un newton est la force capable de communiquer à une masse de 1 kilogramme une accélération de 1 mètre par seconde chaque seconde.

**La force de gravité en est un exemple, la poussée d'Archimède également**



# Formation théorique Niveau IV / Physique

## Masse et poids

Très souvent le terme de poids est utilisé, à tort, pour désigner la **masse** d'un objet.

La masse représente la quantité de matière qui constitue un objet (densité) alors que son poids est la force exercée par la gravité sur cet objet.



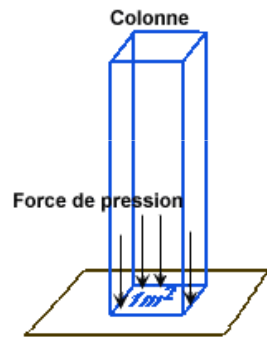
Dans notre langage Poids et Masse désignent souvent la même chose



# Formation théorique Niveau IV / Physique

**La pression** est la poussée subit par un objet et qui implique une réaction visible ou non.

La pression s'exprime par le rapport entre force appliquée et surface : **Pression = Force / Surface**



L'unité légale de pression est le Pascal. 1 Pascal correspond à une force d'1 Newton sur une surface de 1 M<sup>2</sup>. il existe plusieurs unités de mesure de la pression selon les domaines.

En plongée nous utilisons **le Bar** ( 10<sup>5</sup> Pascal ) qui correspond au poids (ou masse) d'une colonne d'eau de 10 mètres de haut et de 1 cm de diamètre.



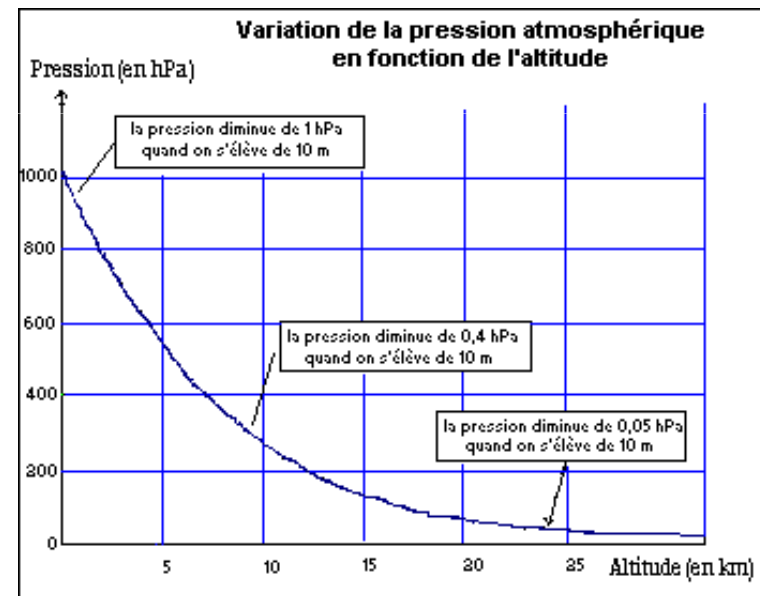
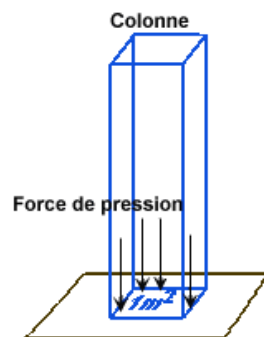
# Formation théorique Niveau IV / Physique

**La pression atmosphérique** est le poids d'une colonne d'air situé au dessus d'un niveau donné.

En raison de son poids (**1,293 g/l à 0°**) l'air exerce une pression sur toutes les surfaces du globe.

Par convention et au niveau de la mer ( altitude 0 mètres) la pression atmosphérique est de 1 Atmosphère soit 1,013 bar, que nous arrondons à 1 bar dans le cadre de notre activité.

Lors de plongée en altitude, la taille et le poids de la colonne d'air sont plus petit qu'au niveau de la mer.



*1 bar = 1000 Hectopascal.*



**En altitude la pression est réduite de 0,1 bar tous les 1000 mètres.**







# Formation théorique Niveau IV / Physique

---

## Questions :

Quelle sera la pression atmosphérique à 2000 m d'altitude ?

0,8 bar soit : 1 bar – 0,2 (2 x 0,1)

Quelle sera la pression atmosphérique à 3500 m d'altitude ?

0,65 bar soit : 1 bar – 0,35 (3,5 x 0,1)





# Formation théorique Niveau IV / Physique

---

**La pression hydrostatique** correspond au poids d'une colonne d'eau dont la hauteur correspond à la distance entre une profondeur donnée et la surface.

Par définition, à 10 mètres de profondeur la pression hydrostatique est de 1 bar. Elle augmente d'un bar tous les 10 mètres donc on peut en déduire que :

$$\text{Pression Hydrostatique} = \text{Profondeur} / 10$$

Quelle sera **la pression hydrostatique** à 30 mètres de profondeur ?

$$30 / 10 = 3 \text{ bar}$$

Quelle sera **la pression hydrostatique** à 57mètres de profondeur ?

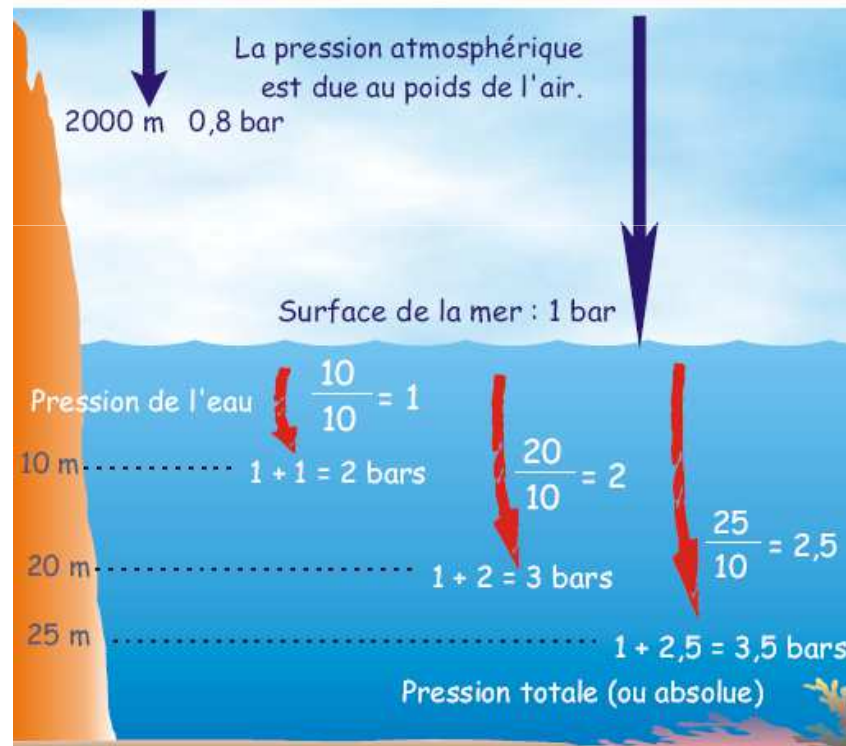
$$57 / 10 = 5,7 \text{ bar}$$



# Formation théorique Niveau IV / Physique

**La pression Absolue** est la somme des pression atmosphérique et hydrostatique

$$P. \text{ Absolue} = P. \text{ atmosphérique} + P. \text{ Hydrostatique}$$



## Questions :

Quelle sera la pression absolue à 6 mètres de profondeur ? :

$$1 \text{ bar (p. Atmosphère.)} + 0,6 \text{ bar (P. Hydro.)} = 1,6 \text{ bar}$$

C'est aussi la limite de toxicité de l' O<sub>2</sub>



## Flottabilité & Equilibre

*Le poids apparent*



# Formation théorique Niveau IV / Physique

« Tout corps plongé dans un liquide subit une force verticale, dirigée vers le haut et égale au poids du volume de liquide déplacé. » (théorème d'Archimède)

Lorsqu'un plongeur s'immerge il est immédiatement l'objet d'un combat opposant la pesanteur à la poussée d'Archimède.

De cette simple opération arithmétique :

**Poids réel – Force d'Archimède** résulte le **Poids Apparent et la flottabilité** d'un objet.



# Formation théorique Niveau IV / Physique



- si le **poids apparent** de l'objet est **positif**, sa **flottabilité** est **négative il coule.**



- si le **poids apparent** de l'objet est **négatif**, sa **flottabilité** est **positive il flotte.**

- si poids réel et force d'Archimède s'annule la **flottabilité** est dite **neutre**



Le premier exercice de style du plongeur consiste à donner, en permanence à son « poids apparent » une valeur aussi proche que possible de 0 afin d'obtenir une **flottabilité neutre**.



# Formation théorique Niveau IV / Physique



Nous savons que si une personne en maillot de bain est correctement équilibré en eau douce, l'équipement du plongeur perturbe ce fragile équilibre tant en surface qu'en immersion.

Sa combinaison augmente d'autant plus sa flottabilité qu'elle est épaisse. Le reste de son matériel, en général plus lourd que volumineux, la diminue.

On peut dire pour simplifier que :





# Formation théorique Niveau IV / Physique

Bien sur, **chacun des équipements** présent **possède**, lui aussi, **un poids et un volume** qui s'oppose dans l'eau.

Ainsi, par exemple, un plomb d'un litre de volume et qui pèse 11,35 Kilo (\*) ne pèse plus, si il est immergé dans de l'eau douce (\*\*) que :

$$11,35 \text{ Kg} - 1 \text{ kg (volume d'eau douce, densité} = 1) = \mathbf{10,35 \text{ Kg de poids apparent}}$$

Ce principe s'applique à chacun des matériels de l'équipement du plongeur.

Théoriquement, en additionnant le **poids apparent** du plongeur et de chacun de ses équipements on obtient le **poids apparent global** du plongeur et donc par voie de conséquence le poids de lest nécessaire pour assurer une flottabilité neutre (poids apparent = 0)

*(Le lest devra être majoré d'environ 10% pour compenser son propre volume.)*



# Formation théorique Niveau IV / Physique

**le poids apparent global fixe** du plongeur doit être pondéré par trois paramètres :

- 1- le poids de l'air embarqué
- 2- le facteur de compression de sa combinaison dut à l'air présent dans le néoprène
- 3- La densité de l'eau



Principaux éléments influençant la flottabilité



## Le poids de l'air (\*)

Bien que non palpable, l'air embarqué par le plongeur représente un poids non négligeable  
(densité 1,293 gramme / litre à 0°)

Soit pour une bouteille de 15 l à 230 bars :  $(230 \times 15) \times 1,293 = 4,460 \text{ kg}$  en début de plongée

Mais seulement, avec une réserve de 50 bars :  $(50 \times 15) \times 1,293 = 970 \text{ g}$  en fin de plongée

**ou 3,490 Kg de variation du poids apparent entre début et fin de plongée.**



Comme l'indiquent **les lois de Mariotte et de Charles**, la masse volumique de l'air est également influencée par la température ambiante lorsqu'elle est soumise à une pression.

Le densité se modifiant avec la température, la flottabilité sera donc elle aussi modifiée de même que l'autonomie, selon le contexte d'évolution (présence de thermocline, profondeur, froid par exemple).



## La combinaison

D'autre part, le néoprène composant nos combinaisons comporte des bulles d'air qui se compriment sous l'effet de la pression (**loi de Boyle-Mariotte**), donc le volume de la combinaison se modifie en fonction de la profondeur d'évolution.

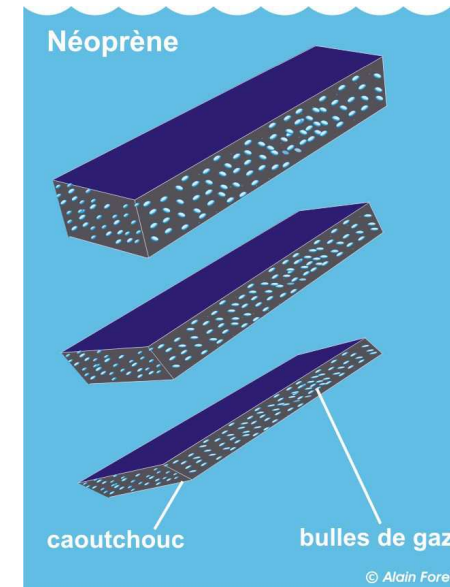
Ce phénomène est d'autant plus important que la combinaison est épaisse

La composition du matériaux de la combinaison influe également sur la flottabilité.

Un matériaux plus dense comme le titanium (combi. Semi-étanche) sera moins sensible à la pression qu'un néoprène classique.

Un vêtement en Lycra sera totalement insensible à ce phénomène, mais influencera néanmoins légèrement le volume et la flottabilité du plongeur.

**La flottabilité de la combinaison varie avec la profondeur**



# Formation théorique Niveau IV / Physique

Type de combinaison	Volume indicatif en surface
Shorty	< 1 dm <sup>3</sup> (*)
Monopiece 4 mm	4 à 5 dm <sup>3</sup>
Monopiece 6 mm	4 à 6 dm <sup>3</sup>
Monopiece 7 mm	5 à 6 dm <sup>3</sup>
Deux pièces 6 mm	6 à 7 dm <sup>3</sup>
Deux pièces 7 mm	7 à 8 dm <sup>3</sup>

La flottabilité d'une combinaison dépend énormément de son type





# Formation théorique Niveau IV / Physique

## Le poids de l'eau

Le théorème d'Archimède nous dit que la force qui s'oppose au poids d'un objet immergé est égale au poids du volume de liquide déplacé.

En plongée, le poids de ce volume d'eau varie en fonction de la salinité de ce liquide. Si la masse volumique de l'eau douce est de 1kg / litre (valeur arrondi), celle de l'eau de mer est relativement variable.

En méditerranée la masse volumique de l'eau est en moyenne de 1,03 kg / litre, alors que manche et atlantique ont en moyenne une masse volumique de 1,02 kg / litre.

L'impact de cette variable sur la flottabilité n'est pas négligeable puisque pour un plongeur de 80 Kg (volume 80 l environ) la poussée d'Archimède sera de :

$$(80 * 1) = \mathbf{80 \text{ kg en eau douce}}$$
 mais de  $(80 * 1,03) = \mathbf{82,4 \text{ kg en mer}}$

**Soit une différence de lestage de 2,4 kg**





# Formation théorique Niveau IV / Physique

## Exercice

Un plongeur de 85 kg habitué à plongée en mer méditerranée (densité: 1,03 kg/l), décide d'effectuer une plongée en lac (densité : 1),

**comment doit-il modifier son lestage ?**

Poids du liquide déplacé en mer :  $85 \times 1.03 = 87.55$  kg

Poids du liquide déplacé en lac :  $85 \times 1.00 = 85$  kg

Modification du lestage :  $87,55 - 85$  kg = 2,55 kg

**A équipement égal, le plongeur devra retirer 2,5 kg de lest**





# Formation théorique Niveau IV / Physique

---

## Trouver l'équilibre ..

Trouver le juste équilibre est donc chose difficile, mais nécessaire compte tenu des conséquences résultant d'un sur lestage ou d'un sous lestage.

### Sur lestage

Un plongeur sur lesté

- aura du mal à maintenir un niveau d'immersion,
- aura du mal à réaliser ses paliers
- fatiguera rapidement et inutilement
- consommera davantage
- devra compenser avec son gilet ce qui augmentera la résistance à l'avancement dans l'eau et en surface et sera source d'effort.

De plus

- le sur lestage augmente encore la difficulté à cas d'assistance
- et fatigue inutilement le dos en surface.

**Le sur lestage doit être évité à tout prix quelque soit le niveau d'expérience du plongeur et plus particulièrement lors de plongées en pleine eau ou le long d'un tombant**







# Formation théorique Niveau IV / Physique

---

Trouver l'équilibre ..

## Sous lestage

Un plongeur sous lesté

- aura du mal à maintenir un niveau d'immersion,
- aura du mal, voir même sera incapable de réaliser ses paliers.
- aura du mal à gérer sa vitesse de remontée
- rencontrera des difficultés à s'immerger

## Modification du lestage

Bien évidemment, chaque modification d'équipement doit entraîner une adaptation du lestage :

- Changement de type de combinaison
- ajout d'équipement (phare ou autres)

Mais aussi dans le cas de **plongées en eau douce** si **le lestage est prévu pour la mer** ou inversement.



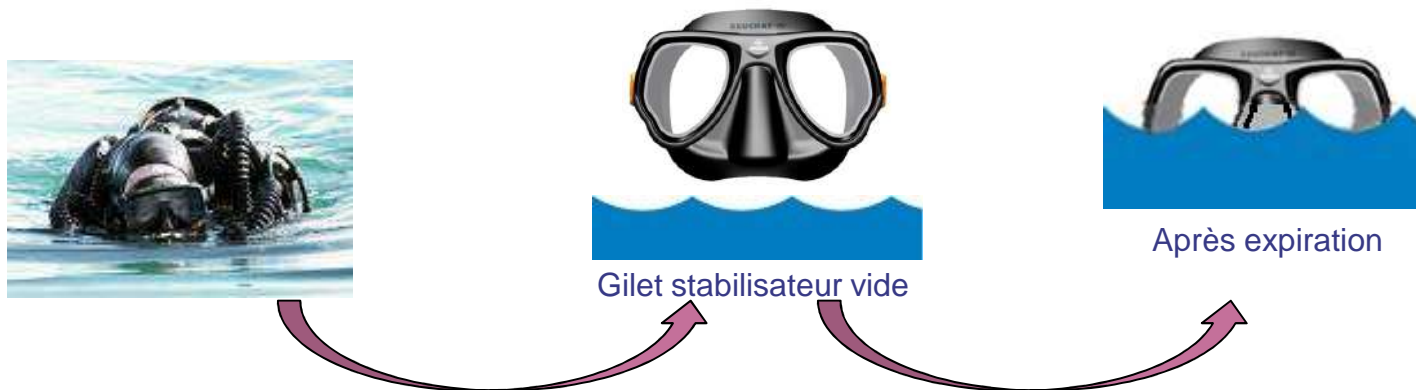
# Formation théorique Niveau IV / Physique

## Vérification du lestage

Il existe deux méthodes principales de vérification de son lestage.

*Première méthode* :  **votre lestage est correct** si lors du **début de la plongée** vous vous immergez **lentement**, jusqu'à la hauteur de yeux, sur une légère expiration.

En forçant et en maintenant l'expiration, l'immersion complète doit intervenir en quelques secondes.



*Deuxième méthode*:  **votre lestage est correct** si, **en fin de plongée et avec 50 bar d'air**, vous pouvez vous stabiliser à trois mètres, gilet stabilisateur vide et sans palmer.



# Formation théorique Niveau IV / Physique

## Contrôler son équilibre

Pendant la phase de descente, plus la profondeur augmente plus il devient nécessaire de compenser l'augmentation de pression et l'écrasement de la combinaison.

Le **gilet stabilisateur** et le « **Poumons ballast** » sont deux outils essentiels au contrôle de l'équilibre en plongée.

La puissance du gilet stabilisateur est exprimés en **Newton**. Sa taille et sa puissance doivent être adaptées à l'utilisateur.

**La puissance nécessaire dépend directement du poids apparent global du plongeur.**

L'utilisation d'un gilet inadapté peut avoir de graves conséquences pour la sécurité du plongeur :

- Incapacité à assurer la flottabilité
- incapacité à remonter le plongeur
- incapacité à le maintenir en surface

**Attention:** le respect de la norme européenne EN 250:2000 couramment indiqué sur ce type de matériel limite l'usage du gilet à une profondeur de 50 mètres.



## Contrôler son équilibre

En modifiant le volume du plongeur, le gilet stabilisateur lui permet de gérer sa flottabilité en fonction de la profondeur.

**Le poumon ballast** s'appuie sur le même principe tout en n'offrant pas le même service. Cette technique est plutôt destinée à se diriger dans l'espace vertical et dans certaines circonstances, comme une remontée assistée, à compenser ponctuellement une perte ou une augmentation de flottabilité soudaine.

**En raison des risques de surpression pulmonaire, l'utilisation de cette technique doit être ponctuelle et parfaitement contrôlée**

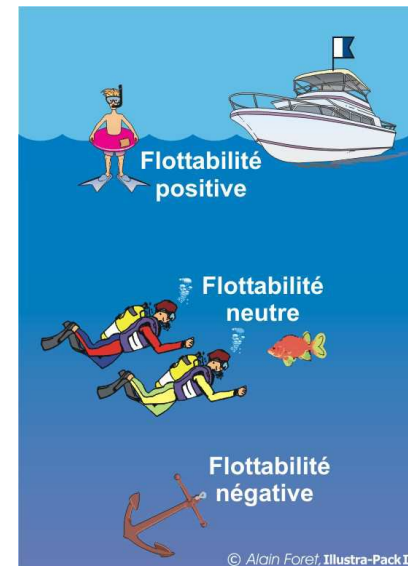


# Formation théorique Niveau IV / Physique

## En résumé

### Facteurs influençant la flottabilité :

- La ventilation
- La combinaison
- l'équipement du plongeur
- le poids de l'air
- le poids de l'eau
- le lest
- le gilet stabilisateur



## La compressibilité des gaz - loi de Boyle-Mariotte



## loi de Boyle-Mariotte

Cette loi s'est construite en deux parties grâce à deux personnes BOYLE et MARIOTTE.

Robert BOYLE énonça le début de la loi en 1662  
Edme Mariotte en 1676.

Cette loi indique que le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoit.  
Elle peut s'inscrire :

$$\text{Volume} = \text{Constante} / \text{Pression}$$

Donc

$$\text{Pression} \times \text{Volume} = \text{Constante}$$

$$\text{ou } P \times V = C$$

Guillaume Amontons, compléta cette loi en 1702, en précisant que la relation n'était valable qu'à température constante et plus précise aux basses pressions.



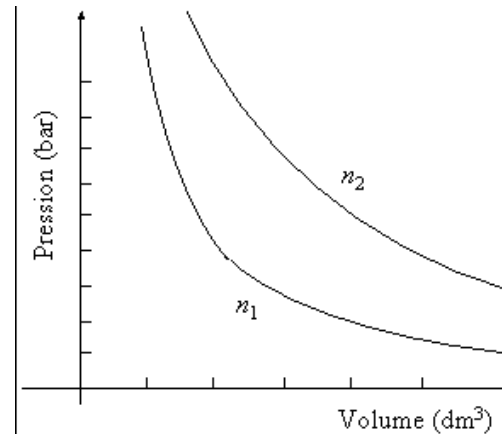
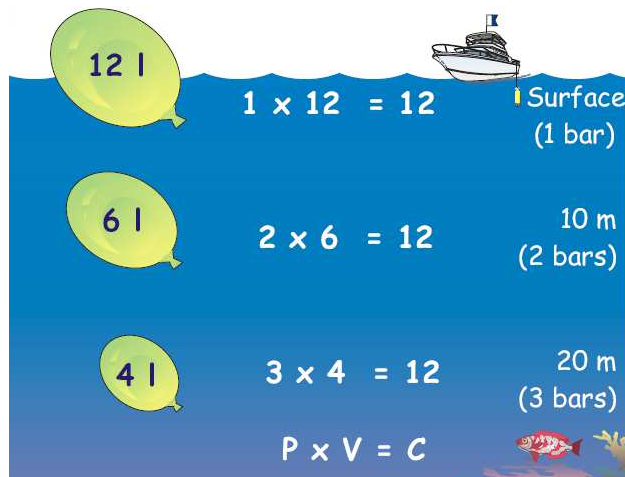
# Formation théorique Niveau IV / Physique

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

Exprimer différemment, le produit de la pression par le volume d'un gaz reste constant

$$P \times V = \text{Constante}$$

Lorsque l'on s'immerge, l'augmentation de pression provoque une diminution de volume. Et inversement, à la remontée la pression en diminuant engendre une augmentation de volume.





## loi de Boyle-Mariotte

A effort similaire, la consommation d'air en immersion sera d'autant plus importante que la profondeur est grande.

En effet, plus la pression augmente, plus le volume d'air disponible dans le bloc sera faible donc plus le temps d'immersion sera court.

Hauteur d'eau Z en m	P en bar	V en litre	P x V
0	1	1	1
10	2	1/2	1
20	3	1/3	1
30	4	1/4	1

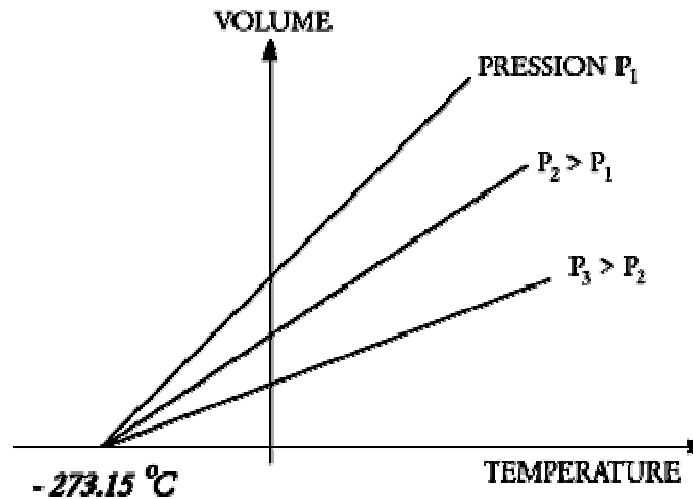
Par ailleurs, la combinaison de néoprène possédant des bulles d'air se verra comprimée en raison de la pression, d'où une diminution de la flottabilité avec la profondeur.



## loi de Boyle-Mariotte

Enfin ce phénomène est à l'origine d'accidents de plongée (*accidents barotraumatiques*) et peut en aggraver certains (*accidents de décompression*).

Assez proche de la loi de Boyle-Mariotte, la **loi de Charles et de Gay-Lussac** met en évidence l'influence de la température sur la pression d'un gaz contenu dans un espace fermé



# Formation théorique Niveau IV / Physique

## Exercice

### Question :

Quelle **volume** d'air contiendra, à **60 mètres**, une bouteille d'un litre de contenance en surface ?

**Réponse:** (  $P \times V = \text{Constante}$  ), ou dans ce cas (  $\text{Constante} / \text{Pression} = \text{Volume}$  )  
*La constante étant la contenance de la bouteille*

**1 litre** (contenance en surface) / **7 bar** (Pression à 60 m) = **volume = 0,1428 litre**

### Question :

Quel sera le volume en surface (1b) d'un objet d'une contenance de 5 l lorsqu'il sera rempli à 60 mètres de profondeur :

**Réponse :**  $P \times V = 7b * 5l = 35 \text{ litres}$

**Soit 7 fois la capacité pulmonaire moyenne**





# Formation théorique Niveau IV / Physique

---

## Exercice

### Question :

Quel sera l'autonomie en air à 40 m d'un plongeur, consommant en moyenne 20 l air /minute en surface, si il utilise un bloc 15 l gonflé à 230 bar et souhaite conserver une réserve de 50 bar

### Réponse :

$$230-50 = 180 / 5 \text{ b} = 36 \text{ b} * 15 \text{ litres} = 540 \text{ l} / 20 \text{ l/m} = 27 \text{ mn}$$



## Les pressions partielles- Loi de Dalton





# Formation théorique Niveau IV / Physique

*"La pression partielle d'un constituant d'un mélange gazeux est égale à la pression qu'il aurait s'il remplissait seul le volume occupé par le mélange."*

L'air est composé d'environ 80% d'azote ( $N_2$ ), 20% d'oxygène ( $O_2$ ). La pression exercée par l'azote représente donc 80% de la pression absolue, celle de l'oxygène 20%.

La pression exercée par chacun de ces gaz est nommée **pression partielle (Pp)**.

**Pour obtenir la pression partielle d'un gaz, il faut multiplier la fraction du gaz par la pression absolue.**

A la surface (1 bar), les pressions partielles d'azote et d'oxygène sont de :

- $Pp(N_2) = 1 \times 0,80 = 0,80$  bar.
- $Pp(O_2) = 1 \times 0,20 = 0,20$  bar.

A 10 m (2 bars), elles deviennent :

- $Pp(N_2) = 2 \times 0,80 = 1,60$  bar.
- $Pp(O_2) = 2 \times 0,20 = 0,40$  bar.



## Les pressions partielles

1 litre d'air  
à 1 bar.

$1 \text{ bar} \times 20 \% = 0,2 \text{ bar } O_2$

$1 \text{ bar} \times 80 \% = 0,8 \text{ bar } N_2$

1 bar

La somme des pressions partielles est égale à la pression absolue.

1 litre d'air  
à 3 bars.

$3 \text{ bars} \times 20 \% = 0,6 \text{ bar } O_2 (PpO_2 = 0,6)$

$3 \text{ bars} \times 80 \% = 2,4 \text{ bars } N_2 (PpN_2 = 2,4)$

3 bars

20 m (3 bars)

**$Pp \text{ gaz} = P_{Abs} \times \% \text{ gaz}$**



# Formation théorique Niveau IV / Physique

Les limites maximum de toxicité autorisées par le code du sport pour l'azote et l'oxygène sont respectivement de 5,6 b et 1,6 b.

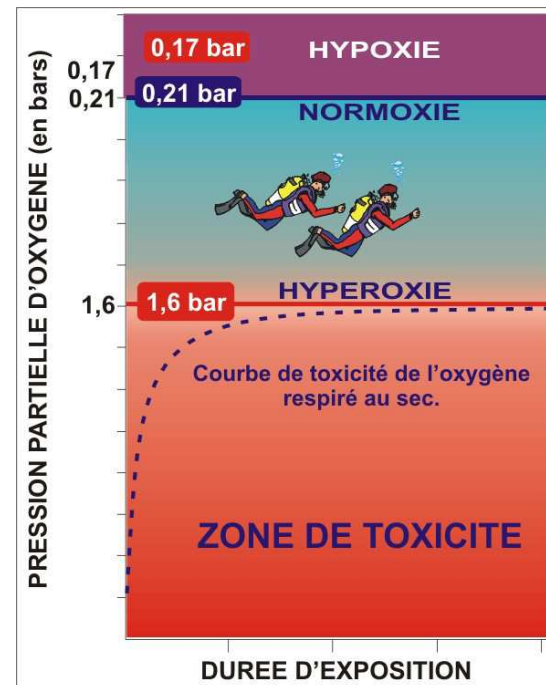
La loi de Dalton permet de définir les limites de la plongée à l'air

Cette règle s'applique également dans la cas de plongée aux mélanges Nitrox, Heliox, Trimix, Hydrox, etc.

Question : Quelle est la limite MINIMUM autorisée pour la pression partielle d'oxygène ?

$$PpO_2 = 0,16 \text{ Bar}$$

En dessous de cette valeur on parle d'HYPOXIE



© Alain Foret, Illustra-Pack II







# Formation théorique Niveau IV / Physique

---

## Exercice

### Question :

Sachant que la limite de toxicité de l'oxygène est de 1,6 bar, quelle serait la limite d'évolution d'un plongeur utilisant un mélange à 40% oxygène et 60% Azote

### Réponse:

Application de la loi de Dalton :  $P_{pO_2} = 0,4$

donc :  **$1,6 \text{ b} / 0,4 = 4 \text{ bar soit } 30 \text{ mètres}$**

A 30 m la  $P_{pN_2}$  sera de  $4 \times 0,60\% = 2,4 \text{ bar}$



## La dissolution des gaz – Loi de Henri



## La dissolution des gaz – Loi de Henri

« A température constante et à saturation, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par ce gaz sur le liquide »

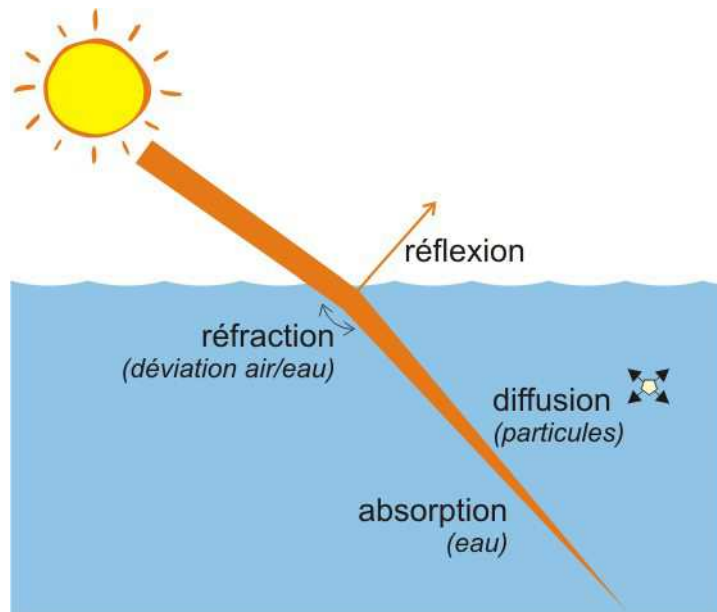
**Cette loi très importante, pour comprendre les phénomènes de saturation, de sur saturation et de dé saturation, sera abordée plus tard lors de l'étude de la décompression**



## La lumière sous l'eau



## La vision subaquatique



Les rayons lumineux subissent plusieurs modifications lorsqu'ils pénètrent dans l'eau.

- Une partie des rayons est réfléchi par la surface de l'eau et provoque une perte de clarté, c'est la **réflexion**.
- Les rayons sont déviés en perçant la surface par un phénomène de **réfraction**,
- La **diffusion** est la propriété de la matière finement divisée (particules) de disperser la lumière dans toutes les directions.
- Enfin la présence de particules provoque l'**absorption** progressives des couleurs

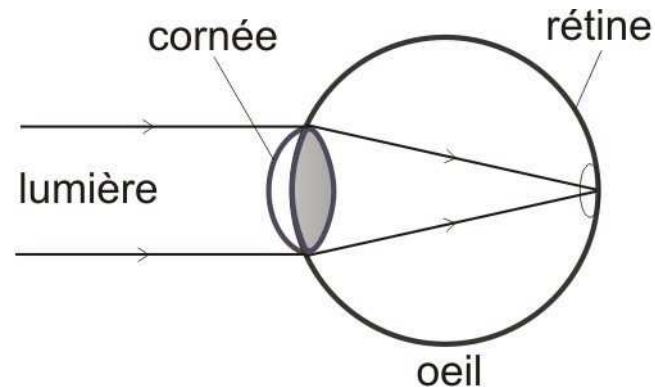


## La vision subaquatique

En raison de leurs différences d'indice de réfraction, l'air et l'eau ne propagent pas la lumière de la même manière.

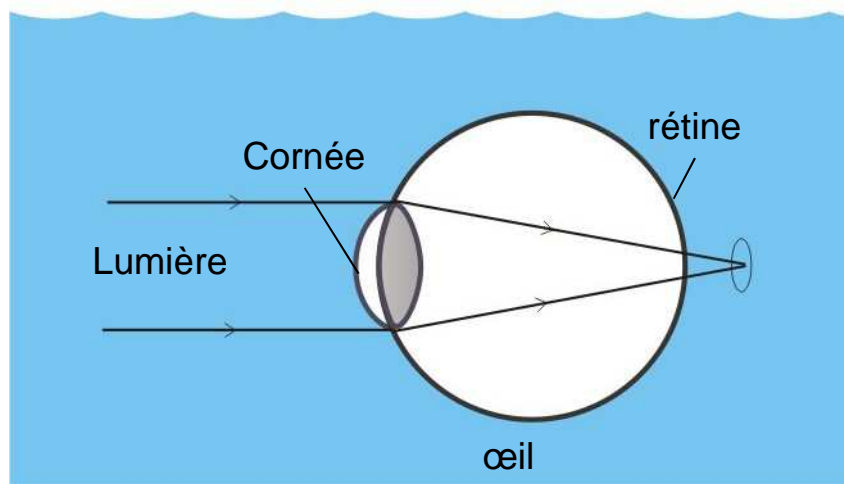
Pour cette raison, notre vision est donc modifiée sous l'eau. D'autre part le port d'un masque de plongée et l'absorption progressive et sélective des couleurs en fonction de la profondeur, amplifie encore ce phénomène.

En milieu aérien, les propriétés de la cornée font converger les rayons lumineux sur la rétine.



## La vision subaquatique

Sous l'eau l'effet d'optique dut à la courbure de l'œil est annulée l'image ne se forme plus sur la rétine, mais légèrement en arrière.



Notre œil, non conçu pour fonctionner dans l'eau devient hypermétrope et ne peut plus faire la mise au point. Les objets deviennent troubles.

Pour retrouver les facultés de notre œil et une vision normal, il suffit d'interposer une couche d'air entre l'eau et l'œil

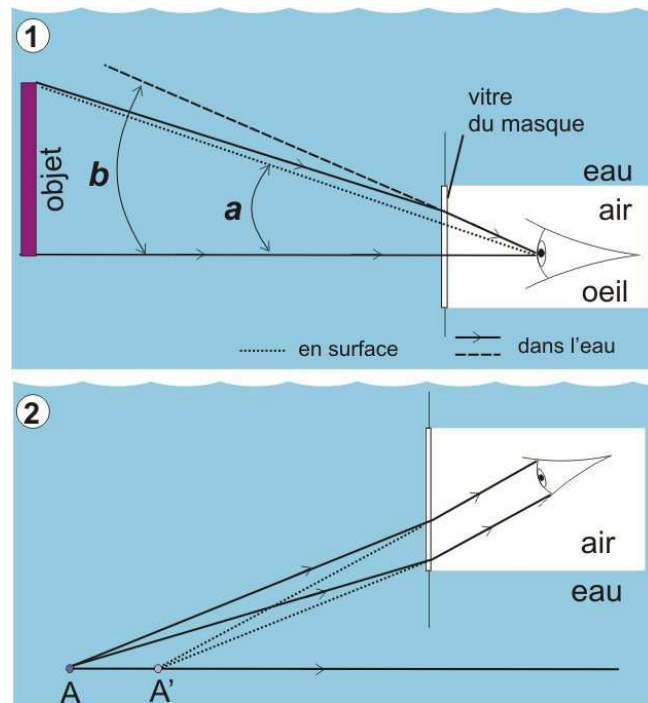
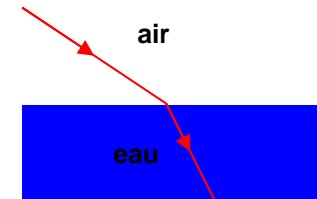
C'est le rôle du masque.

Le masque déforme la vision, et la présence de deux milieux différents sur le trajet de la lumière provoque un phénomène de réfraction



# Formation théorique Niveau IV / Physique

La réfraction est la **dévi**ation de direction de propagation d'une onde lumineuse lorsque celle-ci change de milieu



Ce phénomène provoque deux réactions :

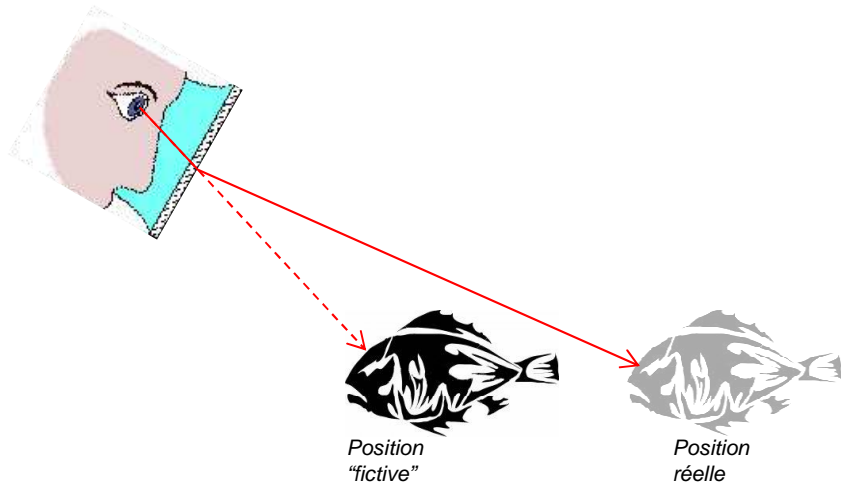
L'angle sous lequel nous voyons les rayons est plus grand qu'en surface, il y a grossissement.

La distance apparente est raccourcie, les objets semblent plus proches

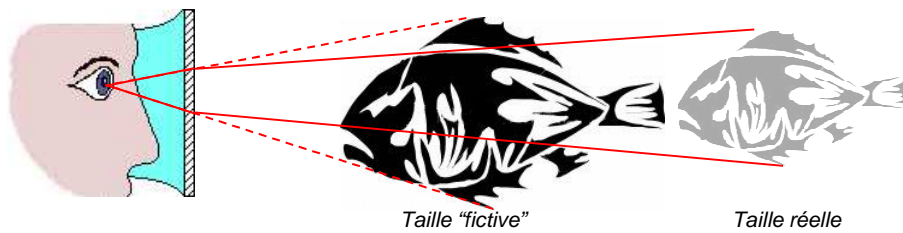




# Formation théorique Niveau IV / Physique



**Rapprochement**



**Grossissement**



# Formation théorique Niveau IV / Physique

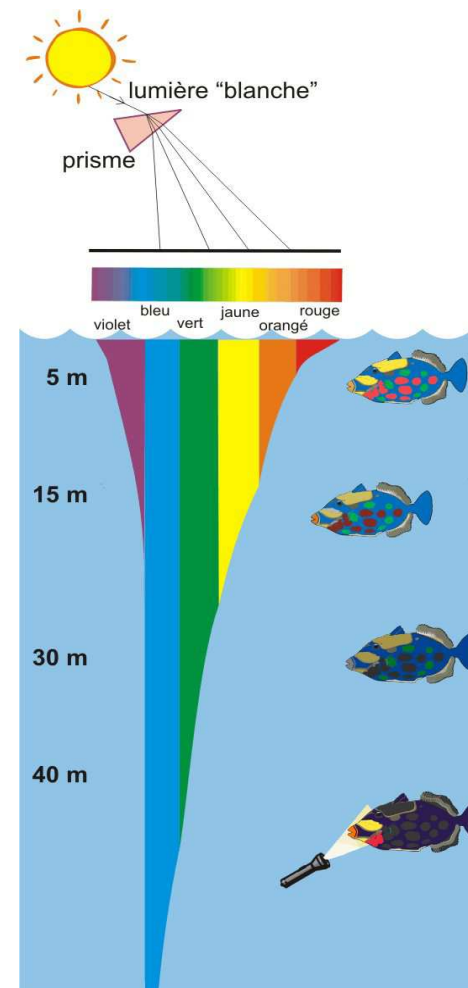
**L'absorption** est la **perte d'intensité lumineuse** due aux particules en suspension dans le milieu. L'absorption n'est pas homogène. Les couleurs disparaissent en fonction de la profondeur.

Chaque couleur est caractérisée par une longueur d'onde différente.

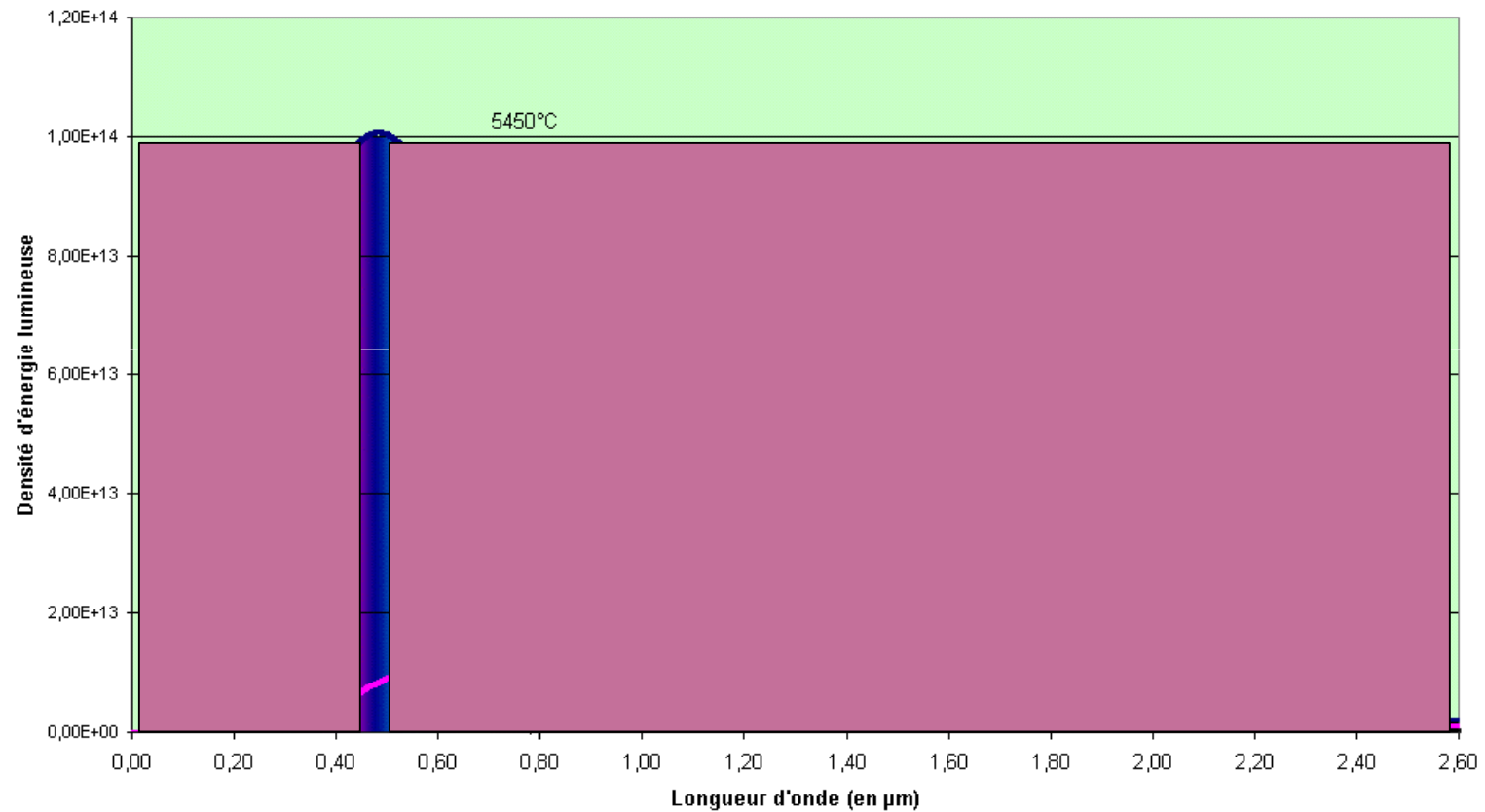
Les différentes composantes de la lumière sont progressivement absorbées par les extrêmes ( les plus courtes et les plus longues longueurs d'ondes ).

Le bleu fait l'objet de l'absorption la plus faible.

La lumière disparaît en générale totalement vers 500 m



# Formation théorique Niveau IV / Physique



## L'audition sous marine



## L'audition sous marine

Le son est une **vibration mécanique propagée dans un milieu solide, liquide ou gazeux.**

Sa vitesse varie selon le milieu. Le son se propage plus rapidement dans un solide que dans des milieux liquide ou gazeux.

*Dans l'air, la vitesse du son est de **330 m/s.***

*Dans l'eau, la vitesse du son est de **1 530 m/s.***

En temps normal, avec une vitesse de l'ordre de 300 m/s et par l'écart entre nos deux oreilles (*environ 10 cm*), **nos deux oreilles ne sont pas stimulées au même moment** (*environ 0,3 ms entre chaque oreille*).

Il est donc possible de **connaître l'origine du son** dans l'air.



## L'audition sous marine

Sous l'eau, les ondes sonores se **déplacent environ 5 fois plus vite** que dans l'air. Les deux oreilles sont **stimulées pratiquement au même moment** ( $0,05\text{ ms}$ ).

De plus, plusieurs études ont montrées que sous l'eau, le son est principalement **propagé par voie osseuse** jusqu'à l'organe de l'audition.

C'est pourquoi l'origine de la source sonore est **difficilement identifiable**.

On a l'impression que le son provient de toutes les directions en même temps.



## Sous l'eau en résumé

The diagram shows a diver on the left with sound waves emanating from their head. On the right, four fish are shown at different depths, with their colors becoming more vibrant as depth increases. A flashlight beam illuminates the fish at 20m depth.

Surface

Difficile de déterminer la provenance d'un son.

10 m

20 m

Les objets nous apparaissent plus gros et plus proches.

La lumière du soleil est progressivement absorbée, une lampe restitue les couleurs.

© Alain Foret, Illustra-Pack II



# Formation théorique Niveau IV / Physique

## A retenir

### / Flottabilité

- le poids apparent d'un objet est égal au poids réel moins le poids du volume d'eau déplacé,
- influence de l'équipement sur la flottabilité,
- influence du poids de l'air et de l'eau,
- influence du lestage sur la sécurité (sur lestage, sous lestage),
- facteurs influençant la flottabilité.

### / La pression

- c'est la poussée subit par un objet et qui implique une réaction visible ou non,
- Influence la flottabilité,
- est à l'origine des barotraumatismes,
- influence de la pression sur l'autonomie,
- La pression partielle est la partie occupée par chacun des constituants d'un gaz composé lorsqu'il est sous pression,
- La pression absolue est la somme des pressions partielles,
- Influence de la pression sur la toxicité des gaz,
- Influence de la pression sur la saturation en azote.

### / Environnement

- Influence de l'environnement sur la vision subaquatique,
- Influence de l'environnement sur l'audition subaquatique et la sécurité,





## Des questions ?



## La prochaine fois ...

- Réglementations
- Physique appliquée à la plongée
- **• Système nerveux et plongée**
- Les accidents toxiques en plongée
- Système circulatoire et plongée
- Système respiratoire et plongée
- Sphère ORL et plongée
- Eléments de calcul de tables
- Utilisation des tables de plongées
- Procédures particulières de décompression
- Ordinateur de plongée et planification
- Matériel de plongée – le détendeur
- Matériel de plongée – compresseur - bouteille
- Matériel de navigation, de sécurité et matelotage
- Orienter et conduire sa palanquée en sécurité
- Etre un guide de la mer connaissant le milieu

