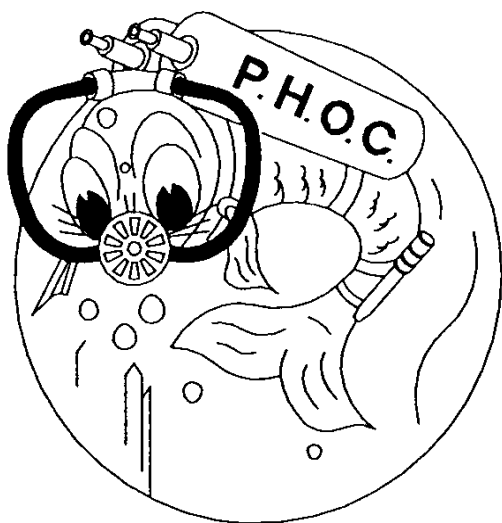




## COURS THEORIQUES NIVEAU 2

### PHYSIQUE

Version 1.0  
Patrick Bosser

## **PRELIMINAIRE**

### **Pourquoi un cours de physique ?**

Le milieu aquatique n'est pas un milieu naturel pour l'homme.

Il nous faut donc connaître quelques lois et règles élémentaires de physique afin de comprendre les phénomènes auxquels nous sommes exposés.

**Cette connaissance ne fait appel qu'à des notions simples, et ne demande pas de connaissances particulières.** Tout ce que nous allons étudier a **une application directe à la plongée :**

- l'optique et l'acoustique nous font comprendre la vision et la perception des sons en plongée,
- la loi de Mariotte va, par exemple, nous faire comprendre le mécanisme de la surpression pulmonaire, de l'équilibrage à l'aide de la bouée,..
- le théorème d'Archimède nous explique le principe de la flottabilité, du poumon ballast,...
- la loi de Dalton va nous expliquer notamment comment éviter "l'ivresse des profondeurs" (accident bio-chimique),...
- la loi de Henry nous explique l'apparition des accidents de décompression, le calcul des tables,...
- etc.

En complément de cette présentation, des exercices vous sont proposés.

Nous vous conseillons de prendre le temps de les résoudre. Cela vous permettra de vérifier si vous avez bien compris les lois et les règles, si vous arrivez à les mettre en pratique, et vous préparera à **l'examen théorique obligatoire pour l'obtention du niveau II.**

## **SOMMAIRE**

1. L'ACOUSTIQUE

2. L'OPTIQUE

3. LES PRESSIONS

4. LOI DE MARIOTTE

5. THEOREME D'ARCHIMEDE

6. COMPOSITION DE L'AIR

7. LOI DE DALTON

8. LOI DE HENRY

# 1. L'ACOUSTIQUE

Dans l'air, nous entendons les sons et sommes capables de déterminer la direction d'où ils viennent.

En plongée, nous entendons nettement les sons, y compris ceux qui viennent de très loin. Par contre, nous sommes incapable de déterminer d'où ils nous arrivent.

Ceci est dû au fait que l'onde sonore est une onde de pression, et qu'en conséquence elle ne se déplace pas à la même vitesse dans tous les milieux :

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

**dans l'eau, la vitesse du son est de 1500 m/s**

L'eau est un meilleur conducteur du son.

Ceci explique que nous ne pouvons pas déterminer d'où viennent les sons : les "informations" reçues par nos deux oreilles ne sont pas assez "décalées" dans le temps l'une de l'autre pour que le cerveau celui-ci puisse en déduire leur provenance.

## Conséquences :

En plongée, le silence est habituel. Il faut donc prêter attention au moindre bruit car il a forcément une signification :

- appel d'un camarade (cris dans l'embout, coups frappés sur la bouteille,...),
- détendeur "fusant" (assurez-vous que votre camarade maîtrise le problème !),
- approche d'un bateau (bruit de moteur,...),
- pétards de rappel,
- etc.

## Remarques importantes :

- le son en lui-même peut présenter un **danger pour les plongeurs**. Si il est important, l'onde de pression qu'il engendre peut créer des lésions sur les organes creux du corps (oreilles, poumons,...). Pour cette raison, l'utilisation de pétards de rappel (ou d'explosifs ! ) doit toujours se faire très prudemment et jamais dans un site clos.
- à l'inverse, **l'absence de bruit ne signifie pas "absence de danger"** (un voilier ou une planche à voile ne s'entendent pas arriver,..., pas plus qu'un bateau à l'arrêt ! ). Toujours faire un "tour d'horizon" lorsque l'on remonte (et ceci, bien sûr, avant d'être arrivé en surface ! ), et sortir le bras en premier.

## 2. L'OPTIQUE

Lors des plongées, il est facile de vérifier les faits suivants :

- sans masque, la vision est floue,
- avec le masque, les objets et les animaux qui nous entourent nous semblent plus gros et plus près qu'ils ne le sont en réalité,
- plus l'on descend profond, plus les couleurs qui nous entourent s'estompent. La faune et la flore perdent leurs couleurs chaudes.

**Ceci est dû au fait qu'au "contact" de l'eau, la lumière va subir des transformations.**

Quelques termes sont à connaître :

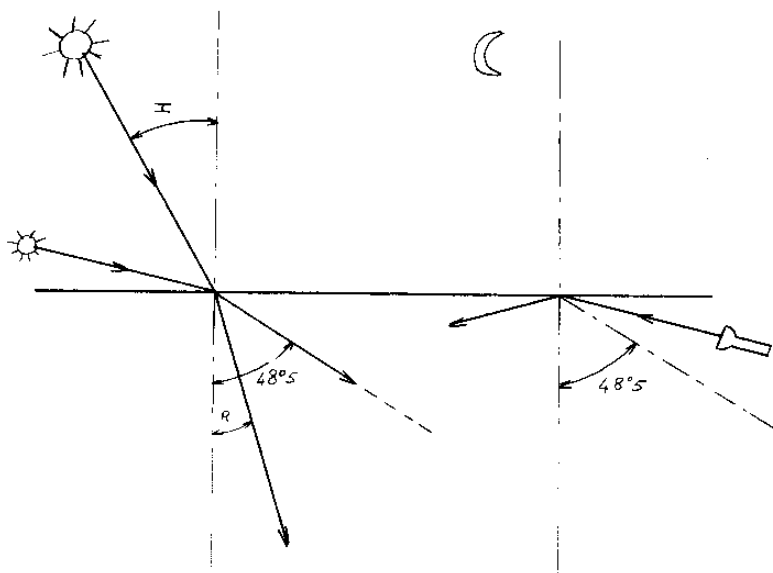
- **réflexion** : comme sur un miroir, une partie des rayons lumineux se réfléchissent à la surface de l'eau. L'autre partie y pénètre plus ou moins profondément.
- **réfraction** : la densité de l'eau étant supérieure à celle de l'air, le rayon lumineux est dévié.

*Ce phénomène est facile à observer : lorsque l'on trempe l'extrémité d'un bâton dans de l'eau, il nous semble que celui-ci est "brisé".*

Si un rayon lumineux fait dans l'air un angle d'incidence  $I$  avec la verticale, il pénètre dans l'eau avec un angle de réfraction  $R$  inférieur à  $I$ .

De plus, Si l'angle que fait le rayon par rapport à la perpendiculaire est supérieur à  $48^{\circ}5$ , la réflexion est totale et la lumière ne pénètre pas.

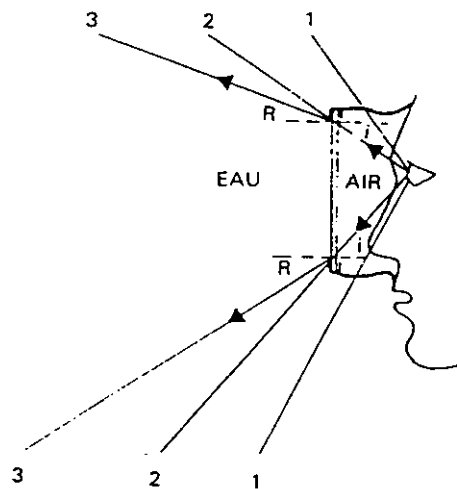
Inversement, un rayon lumineux qui vient du fond (un plongeur avec sa lampe, par exemple) ne traverse pas la surface si l'angle qu'il fait avec la verticale dépasse  $48^{\circ}5$ .



Ce phénomène nous explique aussi pourquoi la vision dans l'eau sans masque est floue : les indices de réfraction de l'eau et des tissus de l'oeil par rapport à l'air sont voisins. La convergence diminue et pour le cerveau, "l'image" de l'objet se forme en arrière de la rétine, comme pour un hypermétrope.

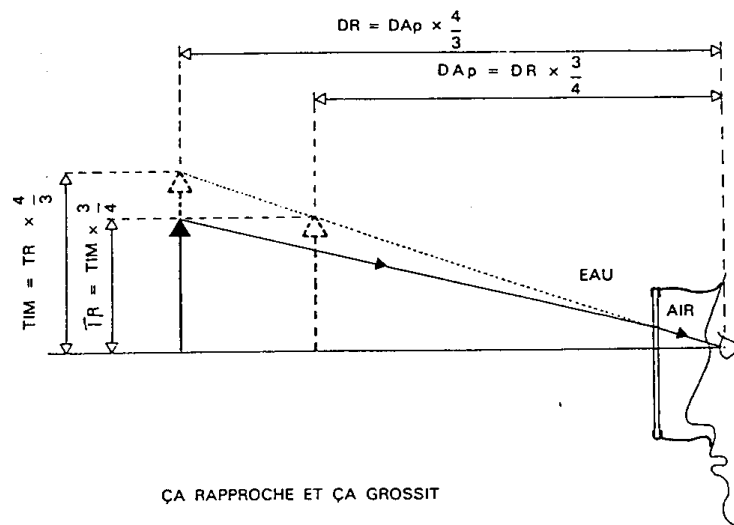
L'utilisation d'un masque présente malgré tout trois inconvénients :

- le champ de vision est **diminué**



1. CHAMP DE VISION A L'AIR SANS MASQUE
2. CHAMP DE VISION A L'AIR AVEC MASQUE
3. CHAMP DE VISION DANS L'EAU AVEC MASQUE :  $R < \bar{R}$

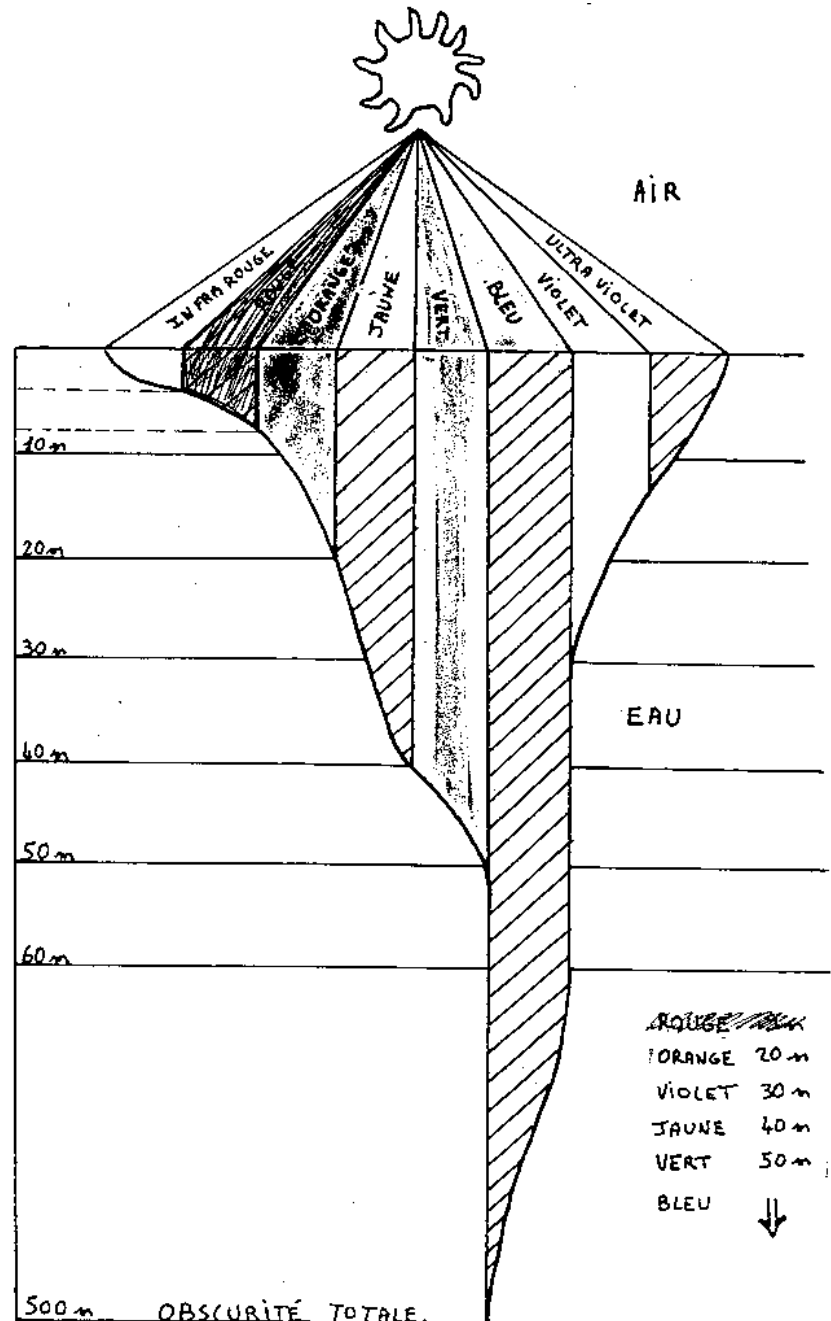
- les objets semblent **plus gros** et **plus proches** qu'ils ne le sont en réalité



**L'utilisation du masque :**

- diminue le champ de vision
- grossit (taille apparente = taille réelle  $\times 4/3$ )
- rapproche (distance apparente = distance réelle  $\times 3/4$ )

- **absorption** : la lumière blanche est en fait la superposition de 7 couleurs (violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange et rouge). L'eau absorbe la lumière au fur et à mesure que celle-ci la traverse. Cette absorption se fait sélectivement, en commençant par le rouge et en finissant par le bleu (d'où l'appellation de "grande bleue"...).



De plus, la quantité de lumière diminue rapidement avec la profondeur : l'intensité lumineuse n'est plus que le quart à 5 m, le huitième à 15 m, le trentième à 40 m de celle en surface.

Les cellules de l'oeil qui enregistrent les couleurs n'étant sensibles qu'à des intensités lumineuses importantes, ceci explique que dans une demi-obscurité, nous ne distinguons plus les couleurs.

- **diffusion** : de même que le brouillard pour un phare de voiture, les particules en suspension dans l'eau vont réfléchir une partie de la lumière qu'elles reçoivent, et ceci dans toutes les directions. Si ces particules sont nombreuses, la visibilité devient très faible et l'utilisation d'une lampe inefficace.

**La visibilité dans l'eau dépend :**

- de la quantité de lumière qui franchit la surface
- de la profondeur
- de la transparence de l'eau

**Application à la plongée :**

- équipez-vous d'une lampe dès que possible ! En plongée, elle est indispensable pour redonner de la couleur à la faune et à la flore.

### **3. LES PRESSIONS**

La "pression" est un terme largement utilisé dans la vie quotidienne (pression des pneus,...)

Pour comprendre la notion de pression, il suffit d'essayer d'enfoncer une main à plat dans le sable, puis d'essayer de l'enfoncer en prenant appui sur l'extrémité des doigts.

La force exercée est la même. Pourtant, dans le premier cas, la main ne s'enfonce pas, alors que dans le deuxième elle pénètre facilement dans le sable.

Ceci est dû à la différence de *pression*, suivant la surface d'appui :

- dans le premier cas, la surface est importante, et la pression est faible,
- dans le deuxième cas, la surface est faible et la pression importante.

**Quelques définitions sont à connaître :**

La pression se détermine par le rapport d'une force ramenée à une surface.

On a donc :

$$P = F / S$$

Le "kilogramme par centimètre carrés" (Kg/cm<sup>2</sup>) de nos grands-pères n'existe plus officiellement. Pour être précis, 1 bar = 1,02 Kg/cm<sup>2</sup>.

Pour la plongée, nous considérerons que :

$$1 \text{ bar} = 1 \text{ Kg/cm}^2.$$

avec les unités suivantes :

**P** : pression , exprimée en **BAR**

**F** : force, exprimée en kilogramme (Kg)

**S** : surface, exprimée en centimètre carrés (cm<sup>2</sup>)

On considèrera également que 1 bar est la pression exercée par une colonne d'eau de 10 mètres de hauteur et de 1 cm<sup>2</sup> de section (ce qui correspond à un volume de 1 litre). On prendra donc pour les exercices :

$$10 \text{ mètres d'eau.} \Rightarrow 1 \text{ bar}$$

En plongée, ce qui va nous intéresser, c'est la variation de la pression, et ses effets sur le corps.

Afin de bien comprendre tous les phénomènes, quelques définitions sont à connaître :

### **Pression atmosphérique (Patm)**

La terre est entourée de couches d'air.

Un litre d'air pèse 1,293 gramme. Le poids de cet air exerce donc sur nous une pression appelée *pression atmosphérique (Patm)*.

Au niveau de la mer, cette pression est égale à 1,013 bar. Pour nous, nous considérerons que :

$$Patm = 1 \text{ bar.}$$

### **Remarques :**

- cette pression étant directement liée au poids de l'air situé au dessus de nous, elle varie suivant l'altitude, puisque la couche d'air est moins importante. A titre d'exemple, elle est d'environ 0,76 bar à 2000 mètres et de 0,5 bar à 5000 mètres.
- une autre façon de mesurer la pression atmosphérique est de la comparer à la pression exercée par une colonne de mercure (Hg). Cette mesure est utilisée principalement par les météorologistes. Au niveau de la mer, elle est de 760 mm de mercure. C'est à dire qu'elle correspond à la pression exercée par une colonne de mercure de 760 mm de haut. Cette valeur correspond à 1,013 bars, ou encore à 1,033 kg/cm<sup>2</sup>, ou bien 10,330 m d'eau pure.  
Pour transformer en bars une pression atmosphérique donnée en millimètres de mercure, il suffit de la diviser par 760

$$Pa \text{ (en bar)} = P \text{ (mmHg)} / 760$$

### Pression relative (Pr)

De la même façon que le poids de l'air exerce sur nous la pression atmosphérique, lorsque nous allons nous immerger, le poids de l'eau va également exercer sur nous une pression. Cette pression est appelée *pression relative (Pr)*.

Nous avons vu plus haut qu'une colonne d'eau de 10 m de haut exerce une pression de 1 bar.

L'augmentation de la pression relative va donc se faire à raison de 1 bar tous les 10 m.

$$\text{Pr} = 1 \text{ bar} / 10 \text{ mètres d'eau.}$$

On a donc le tableau suivant :

|                |    |     |    |    |    |
|----------------|----|-----|----|----|----|
| Profondeur (m) | 10 | 12  | 20 | 30 | 40 |
| Pr (bar)       | 1  | 1,2 | 2  | 3  | 4  |

### Pression absolue (Pa)\*

\*encore appelée Pression totale

Sur un corps immergé, les deux pressions dont nous venons de parler s'additionnent :

- la pression exercée par le poids de l'eau située au dessus de lui,
- la pression que le poids l'air exerce en surface sur cette eau.

On a donc :

$$\text{Pa} = \text{Patm} + \text{Pr}$$

ce qui donne le tableau suivant :

|                       |                    |           |            |           |           |           |
|-----------------------|--------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Profondeur (m)</b> | <b>0 (surface)</b> | <b>10</b> | <b>12</b>  | <b>20</b> | <b>30</b> | <b>40</b> |
| Patm (bar)            | 1                  | 1         | 1          | 1         | 1         | 1         |
| Pr (bar)              | 0                  | 1         | 1,2        | 2         | 3         | 4         |
| <b>Pa (bar)</b>       | <b>1</b>           | <b>2</b>  | <b>2,2</b> | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  |

Pour calculer la pression absolue, il suffit donc de rajouter 1 bar à la pression relative.

Cette pression étant celle qui va s'exercer réellement sur le plongeur, c'est elle qui va directement nous intéresser.

D'une façon générale, **lorsque nous parlerons de pression, ce sera toujours la PRESSION ABSOLUE.**

Remarque : il est important de remarquer l'augmentation de Pa en fonction de la profondeur ; les variations sont plus rapides dans les premiers mètres. Entre 0 et 10 m, nous constatons que la pression exercée sur le plongeur est multipliée par deux (cf : loi de Mariotte).

Application à la plongée :

- douleur aux oreilles,
- diminution de l'épaisseur de la combinaison avec la profondeur
- etc.

## 4. LOI DE MARIOTTE\*

\* physicien français (1620-1684)

Dans la nature les corps se présentent sous trois formes :

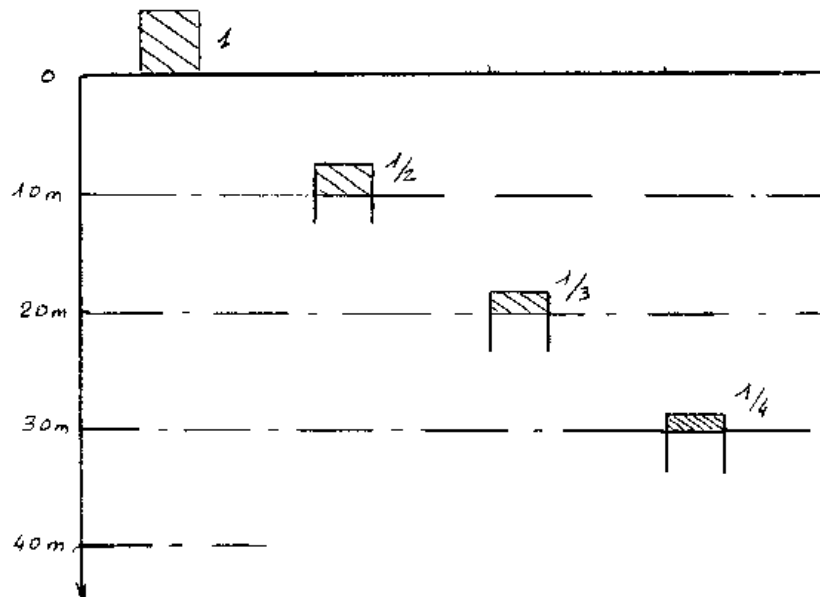
- solide
- liquide
- gazeuse

Les corps solides ou liquides sont pratiquement incompressibles.

Par contre, les corps gazeux sont aisément compressibles.

Au cours de l'immersion, la pression exercée par l'eau va comprimer les gazs.

Ce principe est facile à vérifier :



Retournons un verre gradué et enfonçons le progressivement dans l'eau. L'eau va comprimer l'air contenu dans le verre, et monter lentement dans celui-ci.

Nous constatons qu'à 10 m de profondeur, où la pression est de 2 bars (soit le double de la pression en surface), l'eau occupe la moitié du volume du verre. A 30 m, où la pression est de 4 bars, l'eau occupe les  $\frac{3}{4}$  du volume.

A la remontée, le phénomène se produit en sens inverse, et arrivé en surface, le gaz réoccupe son volume initial.

On constate ainsi que "**le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoit**". C'est la loi de **MARIOTTE** (qui précise que cela est vrai à température constante).

Si  $P_1$  est la pression avant immersion,  
 $V_1$  le volume du gaz avant immersion  
 $P_2$  la pression en immersion,  
 $V_2$  le volume du gaz pendant l'immersion

On a :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{Constante}$$

Ce qui peut aussi s'écrire sous la forme :

$$P_1 / P_2 = V_2 / V_1$$

ou encore :

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

Remarque importante : nous avons remarqué lors de l'étude des pressions que l'augmentation de  $P_a$  (pression absolue) est proportionnellement plus rapide lors des premiers mètres (entre 0 et 10 m, la pression absolue est multipliée par deux) que par la suite.

Ceci implique que plus nous allons remonter vers la surface, plus le volume de l'air que nous avons dans les poumons va augmenter rapidement : attention donc à la **SURPRESSION PULMONAIRE** !

Pour bien comprendre, prenons l'exemple d'un plongeur qui, à 30 m de profondeur, gonfle un ballon de baudruche afin qu'il occupe un volume de 1 litre, puis le ferme hermétiquement et le lâche.

Observons le ballon au cours de la remontée :

- à **30 m** (soit une  $P_a = 4$  bars), il occupe un volume de **1 litre**. On a donc

$$P_a \cdot V = 4 \times 1 = 4 = C^{\text{st}}$$

- à **20 m** (soit une  $P_a = 3$  bars), on a

$$V = C^{\text{st}} / P_a = 4 / 3 = \mathbf{1,33 \text{ litre}}$$

- à **10 m** (soit une  $P_a = 2$  bars), on a

$$V = C^{\text{st}} / P_a = 4 / 2 = \mathbf{2 \text{ litres}}$$

- **en surface** (soit une  $P_a = 1$  bars), on a

$$V = C^{\text{st}} / P_a = 4 / 1 = \mathbf{4 \text{ litres}}$$

Heureusement que c'est un ballon et pas vos poumons !

Application à la plongée :

- barotraumatismes,
- levage (parachute),
- gonflage des bouteilles,
- calcul d'autonomie (augmentation de la consommation avec la profondeur),
- gestion de la bouée ou du gilet au cours de la plongée,
- etc.

## 5. THEOREME D'ARCHIMEDE\*

\* savant de l'antiquité (287-212 av. JC)

Nous avons tous constaté que lorsque nous immergeons un corps dans un liquide, trois possibilités peuvent se présenter :

- il flotte, en présentant une partie émergée plus ou moins importante,
- il coule,
- il reste en équilibre "entre deux eaux".

Essayons par l'expérience de comprendre ce qui se passe.

Prenons un objet indéformable d'un volume de  $1 \text{ dm}^3$  (c'est à dire le volume qu'occupe 1 litre d'eau, sachant qu'un litre d'eau pèse 1 kg).

- lestons-le pour qu'il présente un poids de 0,5 kg et plongeons le dans l'eau ; il flotte.
- lestons-le à 1 kg ; il reste en équilibre quelle que soit la profondeur.
- lestons-le à 1,5 kg ; il coule.

Nous constatons donc que :

- si l'objet est plus léger que la quantité d'eau ayant le même volume que lui, il flotte,
- si il pèse le même poids, il est en équilibre,
- si il est plus lourd, il coule.

Ce principe est vrai pour tout corps immergé. Il a été énoncé par **ARCHIMEDE** sous la forme suivante : *"tout corps plongé dans un liquide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale, dirigée du bas vers le haut, égale au poids du volume de liquide déplacé"*.

Cette poussée s'appelle la poussée d'ARCHIMEDE

Appelons *poids réel* (**Pre**) le poids du corps dans l'air et *poids apparent* (**Pap**) le poids du corps dans l'eau.

Le poids apparent est égal à la différence entre le poids réel et la poussée d'Archimède.

|                                          |
|------------------------------------------|
| $\text{Pap} = \text{Pre} - \text{Parch}$ |
|------------------------------------------|

- Si
- $\text{Pap} < 0$  , l'objet flotte,
  - $\text{Pap} = 0$  , l'objet est en équilibre,
  - $\text{Pap} > 0$  , l'objet coule.

Application à la plongée :

- lestage (en équilibre lors du palier à 3 m, avec la bouteille et le gilet vides),
- levage (utilisation d'un parachute),
- équilibrage (bouée, gilet, "poumons ballast")
- etc.

## 6. COMPOSITION DE L'AIR

**L'air que nous respirons est un mélange de plusieurs gaz.**

Il est important de connaître sa composition :

Il contient :

- 79,00 % d'azote (N<sub>2</sub>),
- 20,90 % d'oxygène (O<sub>2</sub>),
- 0,03 % de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>),
- 0,07 % de "gaz rares" (Néon, Crypton, Argon,...).

Afin de simplifier les calculs, nous retiendrons les chiffres suivants :

|                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>80 % d'Azote (N<sub>2</sub>)</b><br><b>20 % d'oxygène (O<sub>2</sub>)</b> |
|------------------------------------------------------------------------------|

## **7. LOI DE DALTON\***

\* physicien et chimiste anglais (1766-1844)

Nous venons de voir que l'air que nous respirons est un mélange de plusieurs gaz.

Sous certaines conditions de pressions, ces gaz peuvent devenir **toxiques** (cf : cours sur les accidents) :

- l'oxygène vers 1,5 à 2 bars : **hyperoxie**,
- l'azote vers 5 à 6 bars : **narcose (ou ivresse des profondeurs)**.

Il est donc important de savoir calculer la *pression partielle* de chacun des composants de l'air, et notamment de l'azote et de l'oxygène, afin d'éviter d'atteindre ces limites.

La loi de **DALTON** nous dit :

**"A température donnée, la pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qu'auraient chacun des gaz s'il occupait seul le volume total".**

Ces pressions sont appelées "**pressions partielles**" (P<sub>p</sub>) de ces gazs.

|                                           |
|-------------------------------------------|
| <b><math>P_p = P_a \cdot X/100</math></b> |
|-------------------------------------------|

ou inversement

|                                           |
|-------------------------------------------|
| <b><math>P_a = P_p \cdot 100/X</math></b> |
|-------------------------------------------|

### Prenons un exemple pour mieux comprendre :

A 40 m, un plongeur respire de l'air comprimé. Grâce au détendeur, cet air lui est fourni à la pression absolue où il se trouve, soit à 5 bars.

Cet air est composé de 20 % d'oxygène et de 80 % d'azote.

- si l'oxygène était seul, il occuperait toute la place et aurait une pression de 5 bars.
- comme il n'occupe que 20 % du volume total, sa pression n'est que 20/100 de la pression du mélange.
- cette pression, appelée pression partielle est donc de
$$P_p(O_2) = 5 \times 20/100 = 1 \text{ bar}$$

De la même façon, pour l'azote, on a :

$$P_p(N_2) = 5 \times 80/100 = 4 \text{ bars}$$

Nous constatons que la somme des pressions partielles de chacun des gazs est bien égale à la pression absolue du mélange :

$$P_p(O_2) + P_p(N_2) = P_a$$
$$1 + 4 = 5 \text{ bars}$$

### Application à la plongée :

- détermination des tables de décompression,
- accidents bio-chimiques (narcose, hyperoxie,...),
- etc.

## **8. LOI DE HENRY\***

\* physicien américain (1797 - 1878)

Prenons un verre d'eau froide, et ajoutons-y un morceau de sucre :

- celui-ci disparaît. Pourtant, il est bien présent, car l'eau est sucrée. Ce phénomène s'appelle la *dissolution*. Le liquide est en *sous-saturation*.
- si nous continuons à rajouter du sucre, au bout d'une certaine quantité, celui-ci ne se dissout plus. On dit alors que le liquide est *saturé*.
- chauffons maintenant le liquide : on constate que le sucre disparaît, c'est à dire que la quantité de sucre dissous est plus importante quand la température augmente.
- lorsque l'eau refroidit, des cristaux de sucre se reforment : on dit que le liquide est en *sur-saturation*.
- lorsque la formation de cristaux cesse, le liquide a retrouvé son état d'équilibre, il est saturé.

Nous voyons donc que la quantité de produit dissous lors de la saturation est fonction de la température du liquide.

Si nous faisons la même expérience, non plus avec un solide (le sucre), mais avec un gaz, nous constatons que la quantité de gaz dissous lors de la saturation va être fonction toujours de la température, mais également de la pression de ce gaz au-dessus du liquide.

La loi de **HENRY** nous dit :

**"A température donnée, la quantité de gaz dissous à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression du gaz au-dessus de ce liquide"**

La pression exercée par le gaz dissous dans un liquide est appelé la "tension" (T).

Si on appelle P la pression du gaz libre au dessus du liquide, on a :

- sous saturation si  $T < P$   
Le liquide dissout du gaz pour tendre vers la saturation.
- saturation (équilibre) si  $T = P$
- sur saturation si  $T > P$   
Le liquide rejette du gaz pour revenir à la saturation.

Cette loi, très importante pour le plongeur, est à l'origine des **accidents de décompression**.

Analysons le mécanisme :

La température d'un plongeur étant constante (37°), c'est uniquement la pression de l'air respiré qui va être influent.

Nous avons vu que l'air est constitué de 20 % d'oxygène et de 80 % d'azote. L'oxygène est utilisé par nos muscles, qui restituent du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), ce dernier étant évacué par les poumons. Par contre, l'azote n'a qu'un rôle de diluant. C'est lui qui va se dissoudre dans les tissus de l'organisme.

A la pression atmosphérique, le sang et tous les tissus du corps sont saturés en azote. Lors de la plongée, nous respirons de l'air à une pression supérieure. Suivant la loi de HENRY, le sang et les tissus absorbent donc davantage d'azote, et ce jusqu'à une nouvelle saturation, proportionnelle à la pression de l'air respiré, et donc de la profondeur atteinte.

Au cours de la remontée, la pression va diminuer. Le sang et les tissus sont donc en état de sur-saturation, et une partie de l'azote va reprendre sa forme gazeuse.

Deux cas peuvent alors se produire :

- si la remontée se fait suffisamment lentement, l'azote sous forme gazeuse va être acheminée par le sang jusqu'aux poumons, qui vont l'éliminer normalement à chaque expiration,
- si la remontée est trop rapide, la quantité d'azote est trop importante pour être évacuée. Des bulles se forment, puis se dilatent suivant la loi de Mariotte, et cela peut amener vers l'**accident de décompression**.

La saturation ne se fait pas instantanément. Un liquide est saturé d'autant plus rapidement que la surface de contact entre le gaz et le liquide est grande, et que celui-ci est agité. Réciproquement, le gaz dissous ne reprend pas immédiatement sa forme gazeuse dès que la pression diminue. Ce temps est sensiblement le même que celui nécessaire à sa saturation.

C'est pourquoi les paliers que le plongeur doit respecter en remontant sont fonction non seulement de la profondeur, mais aussi du temps passé à cette profondeur. **Ces paliers sont des arrêts obligatoires, qui permettent d'éliminer l'azote accumulé au cours de la plongée.**

C'est également pour cela que la **vitesse de remonté est limitée à 17 m/mn**.

Attention : la table de décompression que l'on utilise habituellement (MN90) n'est valable que pour un effort "normal". Tout effort musculaire augmente le débit sanguin, donc l'agitation et le transport des gaz. Il existe des tables spéciales pour le travail en plongée.

Ces tables sont également calculées pour les plongées effectuées au niveau de la mer ( $P_{atm} = 1 \text{ bar}$ ). Pour les plongées en altitude, il faut faire intervenir des coefficients correcteurs.

#### Application à la plongée :

- accidents de décompression,
- détermination des tables de décompression,
- etc.

## RESUME

### Acoustique :

Vitesse du son      - dans l'air : 330 m/s  
                             - dans l'eau : 1500 m/s

### Optique :

L'utilisation du masque :

- diminue le champ de vision
- grossit (taille apparente = taille réelle x 4/3)
- rapproche (distance apparente = distance réelle x 3/4)

La visibilité dans l'eau dépend :

- de la quantité de lumière qui franchit la surface
- de la profondeur
- de la transparence de l'eau

### Pressions :

$$P = F / S$$

$$P_a = P_{atm} + P_r$$

### Loi de MARIOTTE :

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

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

### Théorème d'ARCHIMEDE :

*"tout corps plongé dans un liquide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale, dirigée du bas vers le haut, égale au poids du volume de liquide déplacé"*.

$$P_{ap} = P_{re} - P_{arch}$$

Si       $P_{ap} < 0$  , l'objet flotte,  
          $P_{ap} = 0$  , l'objet est en équilibre,  
          $P_{ap} > 0$  , l'objet coule.

### Composition de l'air :

80 % d'azote (N<sub>2</sub>)  
20 % d'oxygène (O<sub>2</sub>)

### Loi de DALTON :

*"A température donnée, la pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qu'auraient chacun des gaz s'il occupait seul le volume total"*.

$$P_p = P_a \cdot X/100$$

ou inversement

$$P_a = P_p \cdot 100/X$$

### Loi de HENRY :

*"A température donnée, la quantité de gaz dissous à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression du gaz au-dessus de ce liquide"*