

# PLONGÉE NIVEAU 2

## THEORIE - Partie I



**Saison 2007 - 2008**

# Préface

Concocté de main de maître (et de maîtresses !) par Aurélie, Brigitte et Joël, ce document est une compilation des supports de cours donnés par ce Trio d'auteurs nouvellement promus dans la génération des MF1.

Je les remercie au nom du Club pour ce travail important et indispensable.

Trouvez une bonne place chez vous pour ce document ; il vous sera utile de vous y plonger en temps voulu pour travailler votre niveau 2. Mais bien au-delà de ce besoin immédiat, vous y trouverez une mine d'informations qui vous rendra bien des services tout au long de votre carrière de plongeur.

Jean-Michel Auffret - Février 2008

# Sommaire

## **1ère Partie : Un peu de Physique**

1- Les Pressions	Page 5
2- Le théorème d'Archimède	Page 7
3- La loi de Mariotte	Page 8
4- La loi de Dalton	Page 10
5- La loi de Henry	Page 11
6- Optique	Page 13
7- Acoustique	Page 15

## **2ème Partie : Anatomie/Physiologie**

1- L'oreille	Page 17
2- Le système cardio-vasculaire	Page 19
3- Les échanges gazeux	Page 21

## **3ème Partie : Les accidents de plongée**

1- Les barotraumatismes	Page 24
2- Les accidents de décompression	Page 28
3- L'essoufflement	Page 32
4- La noyade	Page 34
5- Le froid	Page 36
6- Les accidents liés au milieu	Page 38

## **4ème Partie : La Désaturation**

1- Les Tables	Page 41
---------------	---------

## **5ème Partie : Matériel et Réglementation**

1- Matériel	Page 49
2- Réglementation	Page 53

# **1<sup>ère</sup> Partie : Un peu de physique**

# 1 - LES PRESSIONS

La pression est le 1<sup>er</sup> paramètre physique que rencontre le plongeur. La pression permet également de comprendre le mécanisme des accidents, le fonctionnement du matériel ainsi que la gestion de l'air et la flottabilité.

## 1. Quelques rappels sur les grandeurs utilisées :

Grandeurs	Symboles	Définitions	Unités
Longueur	<b>L</b>		mètre (m)
Surface	<b>S</b>		centimètre <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )
Volume	<b>V</b>		décimètre <sup>3</sup> (dm <sup>3</sup> )
Masse	<b>M</b>	La masse est fonction de la quantité de matière contenue dans un corps	kilogramme (kg)
Densité	<b>d</b>	Rapport entre la masse du corps considéré et celle d'un corps référence (eau), pour un même volume	Sans
Force (Poids)	<b>F</b>	Dépend du lieu (gravité)	Newton (N) Kg en plongée

## 2. Définition :

Pour comprendre la notion de pression : expérience d'appuyer avec la main / le bout du doigt sur du sable. En appliquant la même force, le résultat est différent : la pression dépend donc de la surface sur laquelle elle est appliquée

Par définition, une pression est le résultat d'une force appliquée sur une surface :

$$\text{Pression} = \text{Force} / \text{Surface}$$

Les unités (utilisées en plongée) : Force en Kg  
Surface en cm<sup>2</sup>  
La pression s'exprime en bar (1 bar = 1 Kg / 1 cm<sup>2</sup>)

La pression peut également s'exprimer en pascal (Pa) ou en millimètres de Mercure (mmHg).

## 3. Les pressions utilisées en plongée :

### 3.1. La Pression Atmosphérique :

C'est le poids exercé par la masse d'air sur tout corps situé au niveau de la mer, cette pression varie avec l'altitude.

Grandeur	Symbole	Unités
Pression atmosphérique	<b>Patm</b>	mmHg, bar, hPa

Les conversions (en simplifiant pour les calculs) : 1 bar  $\Leftrightarrow$  1000000 Pa  $\Leftrightarrow$  760 mmHg

Au bord de la mer, Patm = 760 mmHg = 1013 mbar

Pour faciliter les calculs, nous prendrons par convention : Patm = 1 bar.

La pression atmosphérique diminue avec l'altitude ; elle perd environ 0,1 bar tous les 1000 mètres.

### 3.2. La pression hydrostatique (ou pression relative) :

C'est le poids exercé par la masse d'eau sur le plongeur dès qu'il est immergé et est donc proportionnelle à la profondeur.

La pression relative est définie par :

$$P \text{ relative} = \text{Profondeur (m)} / 10$$

La pression relative augmente donc de 1 bar tous les 10 m.

Grandeur	Symbole	Unité
Pression relative	P rel	bar

### 3.3. La pression absolue :

C'est la résultante des pressions que subit le plongeur ; il est soumis au poids de l'air ainsi qu'au poids de l'eau.

On en déduit que :

$$P \text{ abs} = P \text{ atm} + P \text{ rel}$$

Grandeur	Symbole	Unité
Pression absolue	P abs	bar

Pour connaître la pression qui règne à une profondeur donnée, il suffit de diviser la profondeur par 10 et ajouter la valeur de la pression atmosphérique (1 bar au bord de la mer).

On constate que la pression absolue passe du simple au double entre la surface (1 bar) et une profondeur de 10 m (2 bars) ; la zone des 10 m est donc une zone critique en plongée qui nécessite certaines précautions.

## 4. Application à la plongée :

Les variations de pressions ont une influence sur l'organisme et permettent d'expliquer le mécanisme des accidents de plongée (barotraumatismes...).

La pression est un paramètre de mesure :

- pour les ordinateurs et profondimètres (indiquent la profondeur à laquelle se trouve le plongeur)
- pour le gonflage des blocs

## 5. Exercices :

Quelle est la pression absolue à : 3 m, 5 m, 12 m, 20 m, 39 m ?

Nous mesurons une pression de 3,5 b. A quelle profondeur sommes-nous ?

Même question avec une pression de 1,1 b.

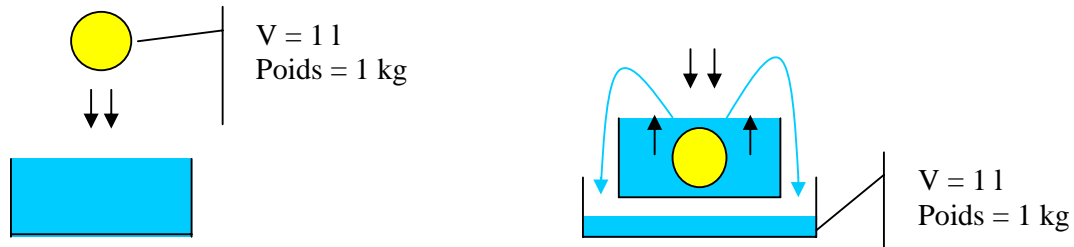
## 2- THEOREME D'ARCHIMEDE

Le Théorème d'Archimède permet de comprendre le phénomène de la flottabilité.

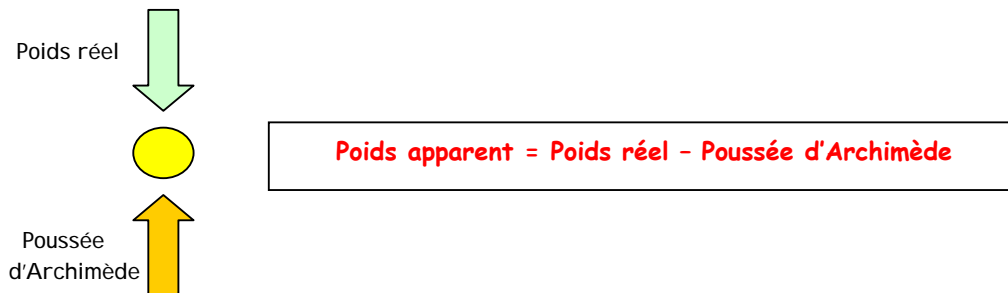
### 1. Historique :

Archimède était un savant grec (-287 à -212 av JC) à qui l'on doit par exemple, pour les mathématiques le calcul de  $\pi$  (périmètres), et pour la physique le théorème d'Archimède. Principe qui fait suite à des recherches demandées par le roi de Syracuse, Hiéron, qui voulait savoir si sa couronne était en or pur ou non (réponse trouvée dans son bain !).

### 2. Théorème et formule :



« *Tout corps plongé dans un liquide reçoit de celui-ci une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du liquide déplacé* »



Si Poids apparent < 0, le poids apparent est négatif et l'objet remonte s'il est sous l'eau

Si Poids apparent = 0, le poids apparent est neutre et l'objet flotte

Si Poids apparent > 0, le poids apparent est positif et l'objet coule

### 3. Applications en plongée :

- ✓ Lestage, combinaison, gilet, parachute, caisson d'appareil photos...
- ✓ Poumon ballast

### 4. Exercices :

Un plongeur tout équipé (bouteille, combi) a un poids de 70 kg, pour un volume de 75 L. => Quel sera son lestage sachant qu'1 L d'eau a un poids de 1 kg ?

Si Arthur a un poids de 80 kg pour un volume de 70 L, et si Benoît a un poids de 80 kg pour un volume de 90 L=> Que constatez-vous ?

### 3- LOI DE MARIOTTE

En plongée (avec scaphandre), nous respirons de l'air. L'air est un gaz qui peut se dilater ou se comprimer, ce qui n'est pas sans incidence pour le plongeur et son matériel :

- en surface : gonflage des blocs...
- en plongée : gestion de l'air, équilibre...

Cette loi permet d'expliquer le mécanisme d'un certain nombre d'accidents de plongée (et donc de les éviter !).

#### 1. Rappel :

Pression absolue = Pression atmosphérique + Pression relative

#### 2. Mise en évidence :

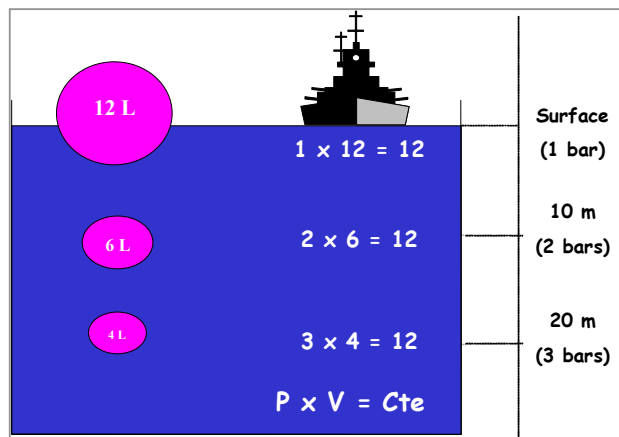
##### Expérience de la pompe à vélo :

Si on bouche l'extrémité de la pompe, on constate que le volume de l'air à l'intérieur est proportionnel à la force exercée sur le piston. Comme l'air ne peut s'échapper, il ne peut que se comprimer, sans changer sa composition (les molécules sont plus rapprochées les unes des autres).

##### Expérience dans l'eau :

Nous avons à disposition un ballon rempli de gaz (air). Nous allons le descendre à 10 M puis à 20 M.

Nous constatons que son volume diminue à mesure que la pression augmente, et ceci dans les mêmes proportions.



#### 3. La loi de Mariotte :

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

Cette loi se traduit par la formule :

$$P1 \times V1 = P2 \times V2$$

Exemple :

- a- A la surface, mon ballon à un volume de 20 l. Quel sera son volume à 30 M ?
- b- Je mets 1 l d'air dans mon parachute à 10 M. Quel sera son volume à la surface ?

#### 4. Les applications :

Mariotte agit sur toutes les cavités remplies d'air (ou de gaz) :

Matériel :	La combinaison	Le plongeur :	Le masque
	Le gilet		Les sinus
	Le gonflage des blocs		Les oreilles
	Les parachutes (de palier et de relevage)		Les poumons
			La gestion de l'air



## 5. La gestion de l'air :

### 5.1. Consommation d'air :

Un plongeur consomme en moyenne 20 l/min.

S'il consomme 20 l/min à 20M (3 bars), cela est équivalent à  $3 \times 20 = 60$  l/min à la surface.

Explication :

A 20 M :  $P1 = 3 \text{ bars}$   
 $V1 = 20 \text{ l}$

A la surface :  $P1 = 1 \text{ bar}$   
 $V2 = ?$

On sait que :  $P1 \times V1 = P2 \times V2$ , on a donc :  $V2 = 60 \text{ l}$

### 5.2. Volume d'air disponible dans un bloc :

Dans un bloc de 12l gonflé à 200 bars, il y a :  $12 \times 200 = 2400$  l d'air disponible.

Dans un bloc de 15 l gonflé à 220 bars, il y a :  $15 \times 220 = 3300$  l d'air disponible.

## 6. Exercices :

### 6.1. Quantité d'air disponible dans un bloc:

- Combien d'air contient un bloc de 15 l gonflé à 210 bars ?
- Combien d'air contient un bloc de 12 l gonflé à 180 bars ?
- Combien d'air contient un bloc de 12 l gonflé à 50 bars ?

### 6.2. Calcul de consommation :

- Quelle est l'autonomie à 40 M d'un plongeur équipé d'un 12 l gonflé à 200 bars (en gardant une réserve de 50 bars) ?
- Ce plongeur peut rester 45 min à 10 M. Quelle est son autonomie à 30 M (en conservant le même bloc) ?

### 6.3. Exercice de gonflage :

Un tampon de 50 l gonflé à 250 bars est relié à une bouteille de 15l qui est à 50 bars.  
 Quelle sera la pression dans la bouteille après ouverture du tampon ?

### 6.4. Mariotte et Archimède :

- On gonfle une bouée à 40 M avec 3 l d'air. Quel sera son volume à la surface ?
- On veut relever à l'aide d'un parachute une ancre posée à 20 M.  
 L'ancre à un poids apparent de 10 Kg. Combien de litres d'air faut-il mettre dans le parachute pour amorcer la remontée ?

## 4- LOI DE DALTON

L'air respiré en plongée est composé de plusieurs gaz. Certains de ces gaz peuvent devenir toxiques à partir de certaines pressions. C'est pour cela que tout plongeur autonome doit savoir calculer la pression de chacun de ces gaz. La Loi de Dalton va également nous permettre de comprendre les cours sur les mélanges, ainsi que les accidents de plongée et en particulier les accidents biochimiques.

### 1. Rappels :

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{rel}}$$

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

### 2. Composition de l'air :

L'air est un mélange gazeux :

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ O<sub>2</sub> = 21 %</li> <li>▪ N<sub>2</sub> = 79 %</li> <li>▪ CO<sub>2</sub> = 0,03 %</li> <li>▪ Gaz rares = 0,07 %</li> </ul>	}	<p>on prendra pour les calculs les valeurs suivantes :</p>	}	<p>O<sub>2</sub> = 20 % N<sub>2</sub> = 80 %</p>
---	---	--	---	--

### 3. Loi et formule :

« La pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qu'aurait chacun des gaz s'il occupait seul le volume total ». On appelle ces pressions « pressions partielles ».

**Pression Partielle = Pression absolue du mélange X % du gaz dans le mélange**

Ou aussi :

**$P_{\text{abs}} = \Sigma \text{ des PP}$**

P abs étant la pression de tous les gaz réunis dans le mélange

### 4. Applications / conséquences en plongée :

- ⇒ Calcul des profondeurs limites en fonction de la toxicité des gaz composants l'air de la bouteille (accidents biochimiques),
- ⇒ Plongée aux mélanges (nitrox enrichi en oxygène),
- ⇒ Oxygénothérapie hyperbare,
- ⇒ Plongée à l'oxygène pure,
- ⇒ Attention, certains gaz peuvent devenir toxiques à partir de certaines profondeurs : O<sub>2</sub> toxique à 1,6 b ; narcose.

### 5. Exercices :

- a) Quelle est la PP de N<sub>2</sub> et de O<sub>2</sub> à 10m ? (prendre de l'air à 80% de N<sub>2</sub> et 20 % de O<sub>2</sub>)
- b) A quelle profondeur a-t-on une PPO<sub>2</sub> de 1,7 b ? (prendre de l'air à 80% de N<sub>2</sub> et 20 % de O<sub>2</sub>)
- c) Mélanges autres que l'air : pour quel pourcentage d' O<sub>2</sub> dans un mélange N<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> a-t-on un PPO<sub>2</sub> de 1,7 b à 40m ?

## 5- LA LOI DE HENRY

### 1. Historique :

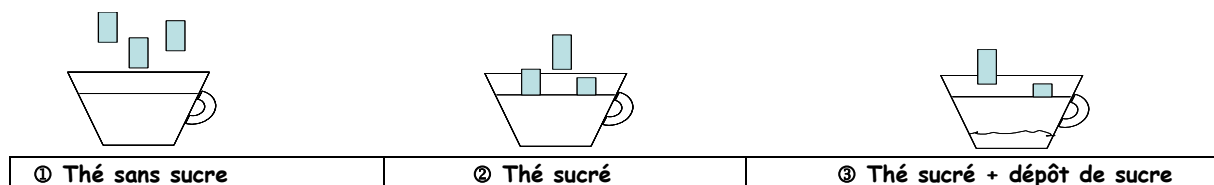
Pour la petite histoire, William Henry (1765 - 1836) est un Physicien et Chimiste Anglais. C'est en 1803 qu'il définit la loi sur la dissolution des gaz dans les liquides.

Cette loi, appliquée à la plongée, va nous aider à comprendre le mécanisme des accidents de décompression et le fonctionnement des tables ; en particulier la nécessité de faire des paliers. En effet, le gaz dissous pendant la plongée doit être éliminé. Ce processus est réalisé pendant la phase de remontée mais également après la fin de la plongée.

### 2. Mise en évidence :

#### 2.1. Expérience de la tasse à thé :

Nous allons mettre du sucre dans une tasse de thé.



On peut définir les notions suivantes :

Etat de sous-saturation : ① Le thé est sans sucre

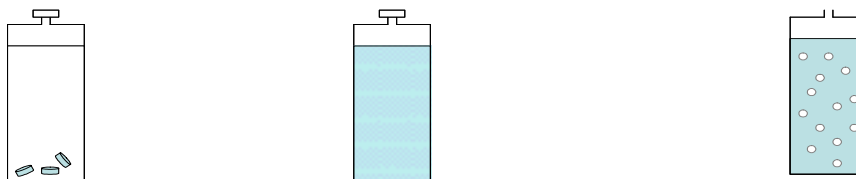
Etat de saturation : ② Le thé a atteint son taux en sucre maxi (le goût est stabilisé)

Etat de sursaturation : ③ Le supplément de sucre va se déposer

Remarque : En faisant chauffer la tasse de thé, nous allons pouvoir dissoudre une quantité supplémentaire de sucre. La quantité de sucre dissout augmente avec la température pour atteindre une quantité maximale.

#### 2.2. Application au gaz :

Nous disposons d'une bouteille d'eau plate, dans laquelle nous jetons des pastilles effervescentes avant de la boucher.



① Sous saturation	② Saturation (équilibre)	③ Sursaturation Ouverture => Equilibre des pressions => le surplus de gaz dans le liquide s'échappe
-------------------	--------------------------	---

Remarque : Si on ouvre brutalement, de grosses bulles s'échappent du liquide. L'agitation de la bouteille favorise également le dégazage.

### 3. La loi de Henry :

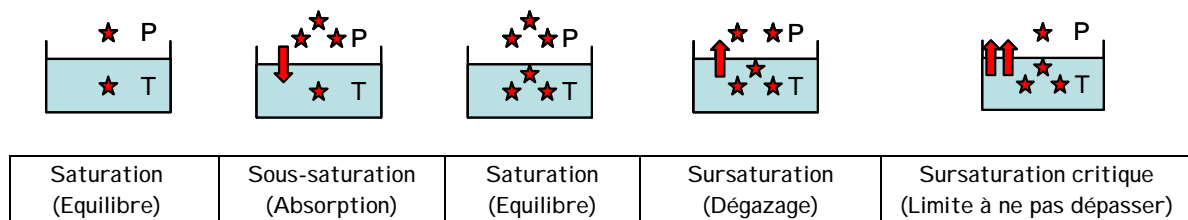
#### 3.1. Enoncé de la loi :

« A température donnée, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression du gaz exercée à la surface du liquide ».

#### 3.2. Définitions :

On appelle « P » : la pression exercée par le gaz sur le liquide  
 « T » : la quantité de gaz dissout dans le liquide

Les différents états :



### 4. Application à la plongée :

L'air que nous respirons est en contact avec le sang au niveau des poumons, où le CO<sub>2</sub> est rejeté pour être remplacé par l'O<sub>2</sub> (combustible pour notre organisme). L'Azote (N<sub>2</sub>) est un gaz inerte qui ne sert que de diluant. Il n'est pas consommé, par contre il est absorbé par nos tissus et c'est son dégazage, à la remontée, qui doit être maîtrisé.

Le sucre est remplacé par l'Azote, le thé par nos tissus et la température (paramètre favorisant l'absorption) par la pression.

#### - A la descente et pendant le temps de plongée :

L'organisme se charge en Azote (facteurs favorisants : profondeur et temps).

#### - A la remontée :

La pression diminue, donc la Pression Partielle d'Azote dans les poumons diminue ⇒ mise en place du mécanisme de désaturation pour un retour à l'état initial



Si protocole de décompression respecté (vitesse de remontée, temps et durée des paliers) : dégazage naturel (les bulles silencieuses d'azote s'évacuent naturellement par les poumons à chaque expiration).



Si protocole non respecté (vitesse de remontée trop rapide, palier / temps de palier non faits...), agitation au palier ou après la plongée :



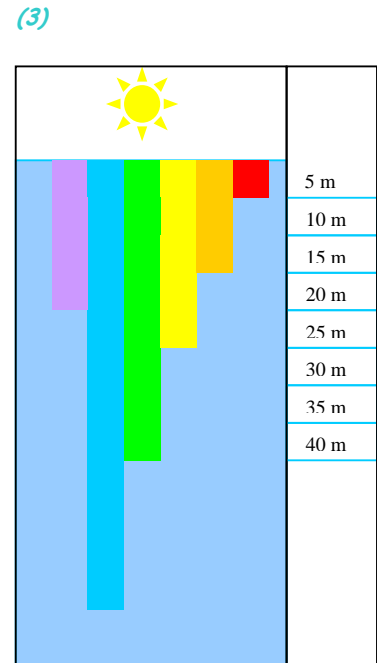
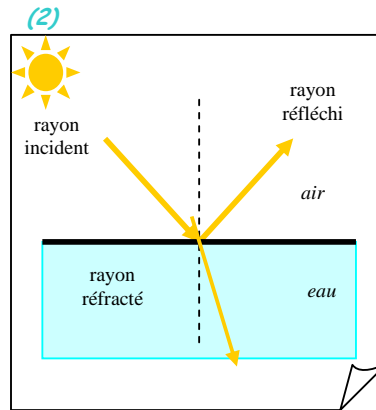
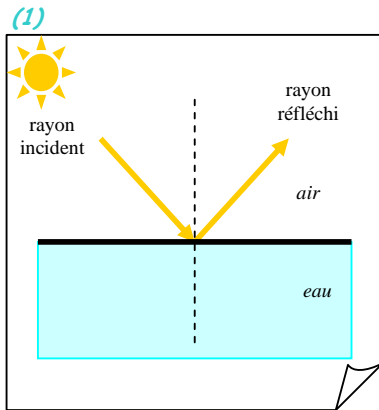
Les bulles silencieuses deviennent pathogènes ⇒ ADD

## 6- OPTIQUE

### 1. Introduction :

La vue est l'un des 5 sens de l'homme. Vous avez sûrement constaté qu'elle subit des modifications sous l'eau. Il convient donc d'expliquer les raisons de ces phénomènes et de voir leurs conséquences sur la plongée.

### 2. Les 4 effets subit par un rayon lumineux :



#### 2.1. La réflexion (1):

Le rayon est réfléchi à la surface de séparation de 2 milieux : l'air et l'eau. La lumière ne pénètre donc pas complètement dans l'eau.

La réflexion peut donc être comparée à un « *effet miroir* ».

**Conclu : la luminosité diminue dans l'eau**

#### 2.2. La réfraction (2):

Le rayon passant de l'air à l'eau est alors dévié vers la verticale dès son entrée dans l'eau, car la lumière ne va plus à la même vitesse (densité de l'eau >).

**Conclu : la vision est alors déformée**

#### 2.3. L'absorption (3):

Les couleurs sont absorbées progressivement par l'eau, et sans lampe, le paysage sous-marin apparaît d'un bleu uniforme.

Disparition des couleurs :

- Rouges vers 5 m
- Orange vers 10 -15 m
- Violet vers 20 m
- Jaune vers 15 - 25 m
- Vert au delà de 40 m
- Il ne reste finalement que des bleus ensuite.

## 2.4. La diffusion :

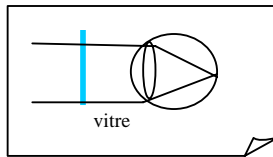
Elle est due à la réflexion + la réfraction de la lumière sur les particules en suspension : c'est « **l'effet brouillard** ».

## 3. Application à la plongée :

### 3.1. Sans masque :

Dans l'air, l'image se forme sur la rétine, et elle est nette.

### 3.2. Avec masque :



C'est fois il y a de l'air au contact de l'œil, l'image se forme donc sur la rétine et sera nette. Cependant cette image sera quelque peu déformée : en effet le masque va modifier ce que l'on voit ainsi que la distance à laquelle on le voit à cause de la réfraction.

Conséquences qui se traduisent par un :

#### a ) grossissement des objets :

Les objets apparaissent plus gros d'environ 1/3, et plus proche d'environ 1/4 (donc un poisson de 30 cm en paraît 40 et s'il est à 1 m de nous il n'en paraîtra qu'à 75 cm)

#### b ) rétrécissement du champ de vision :

La jupe du masque agit comme des œillères et diminue notre champ de vision.

En conséquent nous sommes obligés de bouger la tête dans l'eau pour regarder sur le côté, en haut et en bas. Pensez à bien effectuer vos signes en face de la personne concernée, à hauteur des yeux, et à effectuer un tour d'horizon en arrivant à la surface.

Conseil : Adapter son masque à sa vue à l'aide de verres correcteurs.

#### c ) les couleurs :

Comme nous l'avons vu précédemment, les couleurs sont absorbées progressivement dans l'eau. Il est donc conseillé d'avoir une lampe.

**En conclusion : Attention, sous l'eau les apparences sont trompeuses !**

## 7- ACOUSTIQUE

### 1. Introduction :

L'acoustique étudie les phénomènes liés aux sons. Sous l'eau, ceux-ci présentent quelques particularités. Exemples :

- bruit de bateaux,
- choc sur la bouteille,
- voix dans l'embout, toux,
- bruits dus aux animaux, tels que craquements etc... ne sont pas rares, et ont des applications ou des conséquences importantes en plongée...

### 2. Propagation du son dans l'eau :

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

L'eau est donc un bon conducteur pour le son, 4,5 fois supérieur à l'air.

Dans l'air, la détection de l'origine d'un son est aisée grâce à l'effet stéréophonique, c'est à dire grâce au petit intervalle de temps entre l'arrivée du son à chaque oreille. Par contre, dans l'eau, il est beaucoup plus difficile de savoir d'où vient un son puisque le son se propage plus vite.

Un bruit produit hors de l'eau est presque entièrement réfléchi par la surface, donc ne sera pas perçu par un plongeur.

Dans l'eau, les sons aigus sont plus vite absorbés que les sons graves.

### 3. Application en plongée :

#### 3.1. Moyen de communication :

La parole n'est pas un moyen de communication utilisable sous l'eau : le son s'y transmet mal et il est bien difficile de s'exprimer avec un embout dans la bouche... D'où toute l'utilité des signes conventionnels !

Par contre, pour attirer l'attention d'un camarade sous l'eau, on peut utiliser :

- des chocs sur la bouteille (avec le couteau par ex.),
- des chocs sur l'échelle d'un bateau et en surface - le sifflet attaché à la "stab",
- des "pétards de rappel"...

#### 3.2. Moyens de repérage :

Les bateaux peuvent présenter un danger pour le plongeur qui refait surface.

On peut repérer les gros d'assez loin, sans toutefois pouvoir déterminer précisément leur direction, mais les petits bateaux rapides (du genre hors-bord) ne s'entendent que de près !

Quant aux bruits des animaux, il est rare qu'on les perçoive...

En conclusion : En plongée, la connaissance des phénomènes acoustiques contribue surtout à la sécurité du plongeur.