

CLUB SUBAQUATIQUE TARBAIS

PRINCIPES DE PHYSIQUE APPLIQUES A LA PLONGEE

Patrick SIMANDIRAKIS
MF 1 8122

REVISIONS MATHEMATIQUES

I - Introduction

La connaissance de certaines formules mathématiques sera nécessaire pour la résolution des problèmes de plongée (physique ou tables). Il me paraît donc utile de rafraîchir la mémoire de toutes celles et ceux qui ne les utilisent pas au quotidien, c'est à dire la majorité d'entre nous.

NE NEGLIGEZ DONC PAS CES FORMULES

II - Certains symboles

$<$: Inférieur à ex : $5 < 7$
 $>$: Supérieur à ex : $7 > 5$
 \neq : Différent de ex : $5 \neq 7$
 \simeq : Environ ex : $7 + 5,9999 = \simeq 13$

III – L'opération, l'équation, l'inconnue

Exemple : $5 + x = 7$ x est l'inconnue. $5 + 7$ est une opération
 $5 + x$ est une équation.

IV – Méthode de résolution d'une équation simple

$A + x = B$ A et B sont connus x est l'inconnue.
 Dans ce type d'équation, le signe $=$ est une barrière.

$\frac{A + x}{\text{côté 1}} = \frac{B}{\text{côté 2}}$

Si on change un terme de côté on inverse son signe pour conserver l'égalité.

Exemple : $A = 5$ $B = 7$ $A + x = B$ $5 + x = B$ $x = 7 - 5$ $x = 2$

Exemple : $5 + x + 4 - 3 + 2 = 7$
 $x = 7 - 5 - 4 + 3 - 2 = -1$

Autre exemple : $A \times x = B$ A et B sont connus x est l'inconnue
 $x = B/A$ $A = B/x$

Pour se souvenir de ces formules, utiliser le triangle.

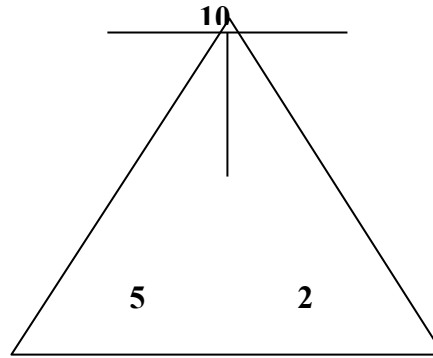
$$5 \times 2 = 10$$

1

$$5 = \frac{10}{2} \quad \text{ou} \quad 2 = \frac{10}{5}$$

2

5



Le produit en croix :

$$\frac{A}{B} = \frac{D}{C} \quad A \times C = B \times D$$

A, D, C sont connus, x est l'inconnue.

$$A \times C = D \times x \quad x = \frac{A \times C}{D} \quad \text{ex : } A = 1 \quad B = 2 \quad D = 4$$

$$\frac{A}{B} = \frac{x}{D} \quad 1 \times 4 = 2 \times x \quad x = \frac{1 \times 4}{2} = 2$$

Par ailleurs il faut savoir que dans le cursus fédéral il a été décidé de continuer à utiliser le bar comme unité de pression et non l'hectopascal, ainsi que le kilogramme comme unité de poids, nous n'utiliserons pas l'appellation de masse qui apparaîtra seulement au niveau 4 lors des calculs de volumes à partir de la masse et de la densité.

Enfin, s'agissant des volumes nous utiliserons exclusivement le litre et le dm³.

Ce cours se nomme d'ailleurs « principes de physiques appliqués à la plongée ». Il ne s'agit pas de faire de vous des diplômés d'études supérieures de physiques mais de vous permettre de comprendre simplement, quelque soit vos capacités intellectuelles ou votre niveau d'études, des règles simples qui s'appliquent directement à la pratique de la plongée.

LES PRESSIONS

Signification :

Pression atmosphérique, pression des pneus, bouton pression, etc...

Notion :

Main dans le sable, à plat ou verticale.

Marche dans la neige, avec des chaussures ou des raquettes.

Punaise enfoncée par la pointe ou par la tête.

d'où : **RELATION DIRECTE ENTRE PENETRATION ET SURFACE D'APPUI**

Définition :

La pression c'est l'application d'une force sur une surface

$$P = \frac{F}{S}$$

P = Pression

F = Force

S = Surface

Unités :

En physique les unités légales sont : **P** en **PASCAL** (1 Pascal = 1/100.000ème de bar). **F** en **NEWTON**, et S en mètres carrés. Mais il faudrait aussi prendre en compte l'attraction terrestre, c'est à dire la gravitation. D'où **F = Masse × Gravitation**.

En Plongée, nous simplifions les choses pour un langage plus clair, et nous utilisons **P** en Bars, **F** en Kg/f et **S** en cm². **1 bar = environ 1kg/cm²** (précisément 1,02 kg/cm²).

Application chiffrée :

F = 1 Tonne/Force

S = 1 dm²

P = ?

$$\frac{1000 \text{ kg/f}}{100 \text{ Cm}^2} = \text{environ } 10 \text{ bars.}$$

Un plongeur est soumis à deux types de pressions, celle de la masse d'eau qui l'entoure, appelée pression hydrostatique, et celle de la masse d'air qui s'exerce au dessus de l'eau, appelée pression atmosphérique.

La pression atmosphérique

Cause :

C'est la pression de l'air de l'atmosphère. En effet, la terre est entourée d'une couche d'air dont le poids 1,293 g/l exerce une pression. Au niveau de la mer cette pression est d'environ 1kg/cm² soit 1 bar.

Dans tous nos calculs de problèmes de physique au niveau de la mer c'est cette valeur de 1 bar que nous utiliserons.

Cette pression atmosphérique, c'est en fait le poids d'une colonne d'air au dessus de nos têtes qui aurait une section de 1 cm².

La pression atmosphérique varie avec l'altitude et la température. Elle diminue de 1/10^{ème} de bar tous les 1000 mètres, ex : 5000 m = Patm : 0,5 (application plongée en lac d'altitude). C'est le physicien italien TORRICELLI qui, au 17^{ème} siècle a mis en évidence la présence de cette pression atmosphérique.

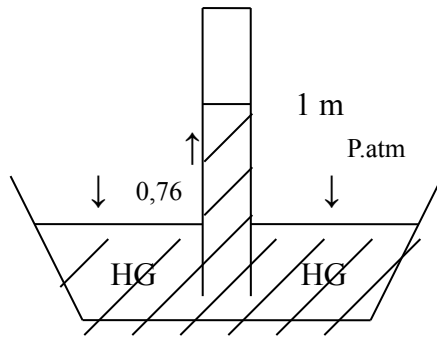
Il a rempli une cuve de mercure, ainsi qu'un tube de 1 cm² de section. Il a ensuite retourné le tube au dessus de la cuve en plongeant l'ouverture du tube verticalement dans la cuve dont la surface est à l'air libre. Le mercure descend alors dans le tube, mais le niveau s'arrête à 760 mm dans le tube au dessus du niveau du mercure de la cuve. C'est la pression de l'air au dessus de la surface de la cuve, qui retient le mercure.

Nous avons donc une nouvelle valeur de la pression atmosphérique exprimée en mm de mercure, il s'agit de 760 mm HG.

Il est important de retenir cette valeur, car lors de la résolution des problèmes de plongée en altitude (N4), la pression atmosphérique est tantôt donnée en bars et tantôt en mm de mercure. Il convient donc de savoir convertir les bars en mm de Hg et inversement.

On applique la formule suivante :
$$\frac{P \text{ en mm Hg}}{760} = P \text{ en bars.}$$

Inversement : $P \text{ en mm en Hg} = P \text{ en bars} \times 760$



La pression hydrostatique

On l'appelle aussi pression relative.

Elle a été mise en évidence par le principe de **PASCAL**. En prenant une colonne d'eau de 1 cm² de section et 10 mètres de haut, on s'aperçoit que la pression exercée par cette masse d'eau est de 1 Kg.

Le principe de **PASCAL** dit que la pression relative entre 2 points A et B est égale au poids de la colonne d'eau entre ces deux points.

0 m

1 kg

On voit que la pression hydrostatique varie de 1 kg, c'est à dire 1 bar tous les 10 mètres.

10 m

+

1 kg

20 m

La pression absolue

Lorsqu'il est sous l'eau le plongeur est soumis aux deux pressions. En effet, la pression atmosphérique s'exerce sur la surface de l'eau et vient donc s'ajouter à la pression hydrostatique qui s'exerce directement sur le plongeur.

La pression absolue, c'est donc la somme de la pression atmosphérique et de la pression hydrostatique.

$$P_{ABS.} = P_{ATM} + P_{HYDRO}$$

Ce qui donne en plongée :

0 m	=	1	+	0	=	1	
							double
10 m	=	1	+	1	=	2	
20 m	=	1	+	2	=	3	
							double
30 m	=	1	+	3	=	4	
							double
70 m	=	1	+	7	=	8	

LES VARIATIONS DE PRESSIONS SONT PLUS IMPORTANTES VERS LA SURFACE

Exercices :

Donner la pression à - 30 mètres 4 bars
- 35 mètres 4,5 bars
- 47 mètres 5,7 bars

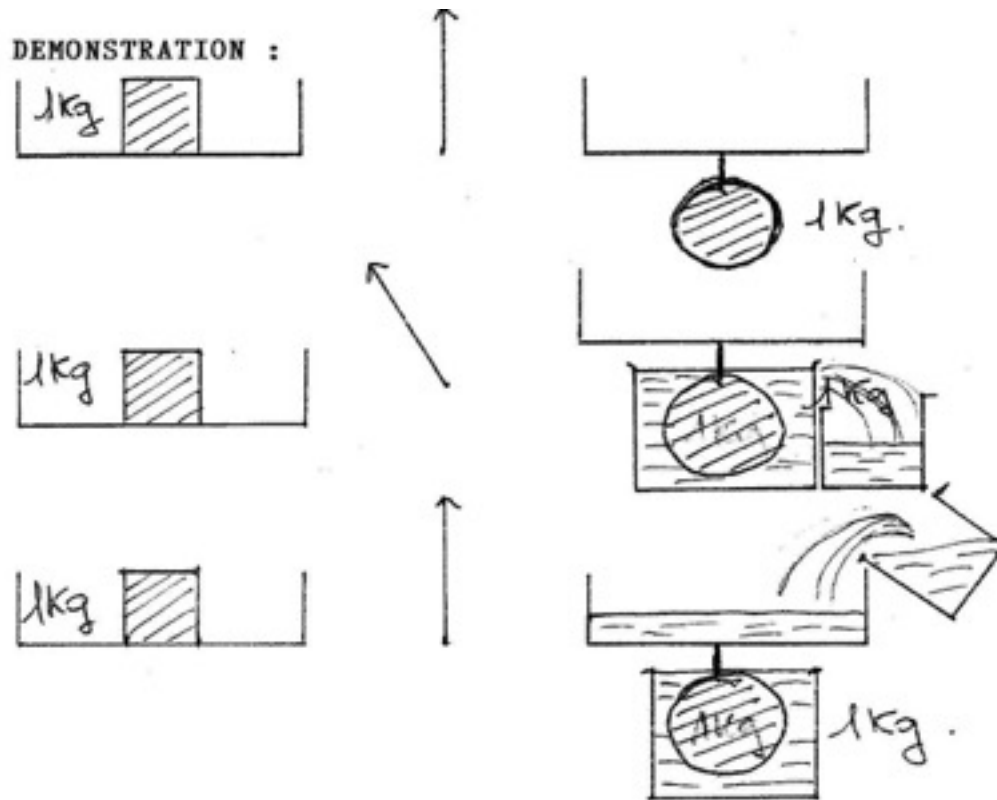
LE PRINCIPE D'ARCHIMEDE

Introduction :

Une bouteille de plongée ne pèse pas le même poids dans l'air que dans l'eau. Lorsque l'on nage notre corps paraît avoir une flottabilité positive, car si on s'arrête de faire des mouvements on flotte.

C'est un savant de l'antiquité qui a découvert l'explication en 250 avant J.C. Il s'appelait ARCHIMEDE.

La légende raconte que c'est en prenant son bain et en constatant que sa jambe flottait qu'Archimède a pris conscience du phénomène. Il a alors essayé d'en déterminer la cause et surtout à l'aide de l'expérience ci-après il a réussi à quantifier les différentes valeurs.



Enoncé du principe :

Tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de ce fluide une poussée verticale dirigée de bas en haut égale au poids du volume de fluide déplacé.

On constate que tout se passe comme si le corps avait deux poids. Un poids lorsqu'il se trouve dans l'air et un poids, lorsqu'il se trouve immergé.

On appelle le premier **poids réel**, et le second **poids apparent**.
Le second est toujours inférieur, et la différence entre les deux est due à ce que l'on appellera **La Poussée d'ARCHIMÈDE**.

$$\text{POIDS APPARENT} = \text{POIDS REEL} - \text{POUSSEE D'ARCHIMEDE}$$

En eau douce : 1 litre d'eau = 1 dm³ = 1kg.

La poussée d'Archimède est donc facile à calculer, elle est égale au volume et il suffit de la soustraire au poids réel. Cependant, nous verrons plus loin que cela n'est valable que pour un fluide de densité 1, car pour une densité différente il faudra tenir compte de cette différence dans le calcul.

Exemple :

Soit un plongeur pesant 70 kg de Poids réel et dont le volume est de 60 litres.

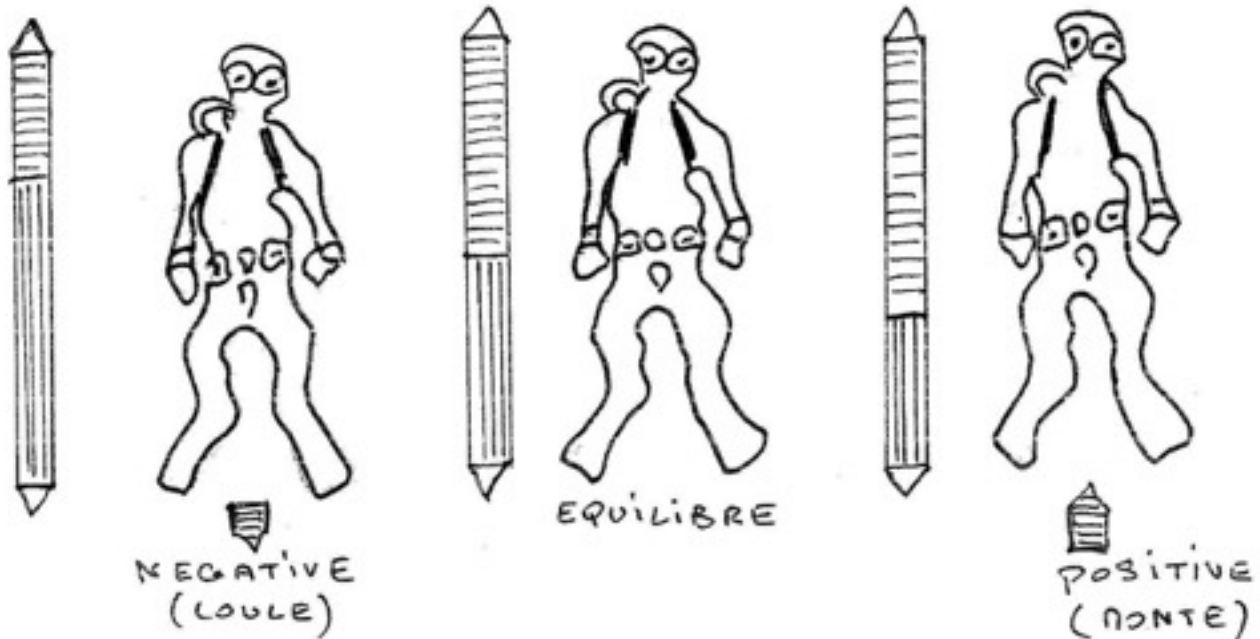
Dans une eau de densité 1 la poussée d'Archimède est égale à 60.

Le poids apparent est donc de $70 - 60 = 10$ kg.

Ce poids apparent étant positif le plongeur va donc couler.

Si le volume avait été de 70 litres, c'est à dire égal au poids réel, le plongeur se serait trouvé en équilibre parfait. En immersion il n'aurait donc ni remonté ni coulé.

En revanche si le volume avait été de 80 litres le poids apparent aurait donc été négatif et la poussée d'Archimède aurait été supérieure au poids réel et aurait donc fait remonter le plongeur.



Applications :

Elles sont multiples :

Le nageur nu : Le corps humain dans sa structure a une flottabilité négative. Si nous parvenons à le faire flotter c'est en modifiant la quantité d'air contenue dans nos poumons. En expiration forcée notre corps coule (exercice du phoque).

La combinaison de plongée : Sa matière s'écrase lors de la descente sous l'effet de la pression, et par conséquent notre flottabilité diminue, donc plus on descend plus la descente s'accélère si l'on intervient pas pour augmenter cette flottabilité et ralentir notre vitesse.

Le Gilet de stabilisation : C'est justement lui qui va nous permettre de faire varier notre flottabilité à la demande et le gonflant ou en le purgeant avec précision. Associée au « poumon ballast » cette opération doit nous permettre en immersion d'être toujours en équilibre parfait quelle que soit la profondeur, et notre lestage. Le bon lestage étant toujours celui qui procure une flottabilité nulle à 3 mètres, gilet vide et bouteille presque vide.

Le parachute de relevage : Attaché à un objet et gonflé d'air, il allège le poids de l'objet d'autant de Kg que de litres d'air introduits dans le parachute. Cela permet de remonter du fond des objets très lourds sans aucun effort.

Densité :

Nous l'avons vu toutes ces applications ont été réalisées dans une eau de densité 1. Dans une eau de densité différente de 1, l'eau de mer par exemple (densité 1,03), il faut tenir compte de cette augmentation dans les calculs. En effet lorsque la densité est plus importante la résistance du liquide à la pénétration est également plus forte.

Dans notre exemple, il suffit dans les calculs de remplacer la densité de 1 par 1,03. Ce qui donne : $60 \times 1,03 = 61,8$. Le poids apparent sera donc de $70 - 61,8 = 7,2$ et non plus 10.

C'est la raison pour laquelle la flottabilité est plus importante en mer qu'en eau douce. Inversement, si la densité est inférieure à 1 la poussée d'Archimède sera moins forte. Ceci est valable pour tous les fluides quelle que soit la densité.

La loi de Mariotte et Boyle

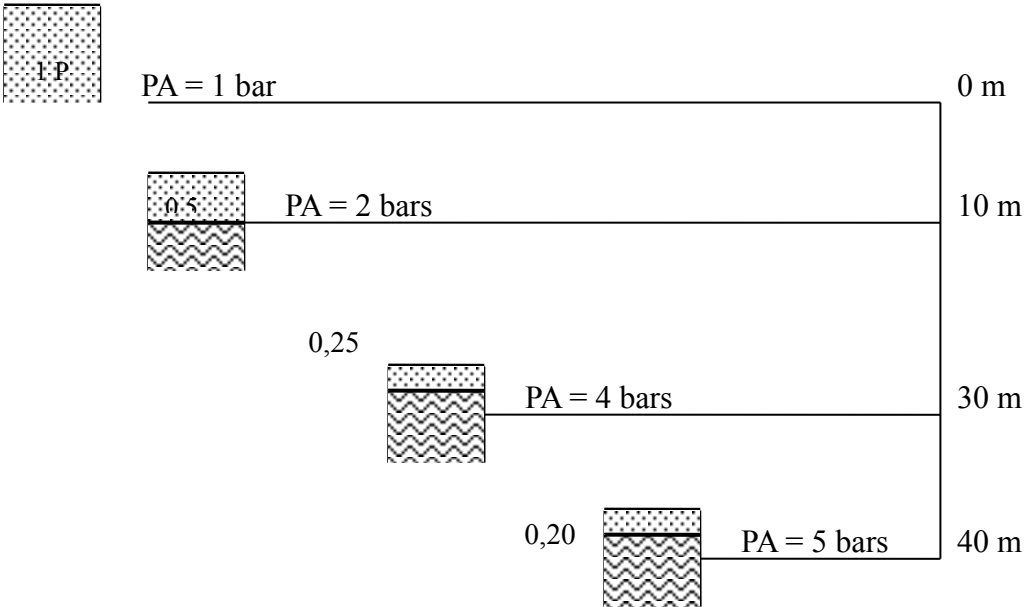
Mariotte et Boyle sont deux physiciens français et britannique qui ont mis en évidence les effets de la pression sur les gaz.

Solides et liquides sont incompressibles, mais les gaz sont compressibles.

Rappels : L'unité de pression est le bar $P = F/S$ $P_{abs.} = P_{atm.} + P_{re}$

Dans notre activité de plongée, le seul mélange gazeux qui va nous intéresser sera l'air.

MISE EN EVIDENCE DES EFFETS DE LA PRESSION SUR L'AIR



Bocal 1 litre, ouverture dirigée vers le bas. On l’immerge dans cette position, il est donc rempli d’un litre d’air ambiant.

Surface :	Patm. = 1 bar.	Pabs. × V =	1 × 1	= 1
10 m	Pabs. = 2 bars	Pabs. × V =	2 × 0,5	= 1
30 m	Pabs. = 4 bars	Pabs. × V =	4 × 0,25	= 1
40 m	Pabs. = 5 bars	Pabs. × V =	5 × 0,20	= 1

Donc : P × V = CONSTANTE

LOI DE MARIOTTE : A température constante le volume d’un gaz varie de façon inversement proportionnelle à la pression qu’il reçoit.

Si : P ↗ V ↘ et inversement si P ↘ V ↗

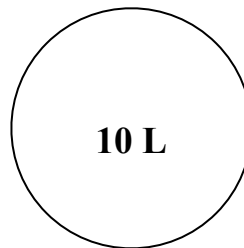
La notion de température est ici très importante car vous verrez dans vos formations futures (programme du niveau 4) que les variations de température modifient sensiblement cette loi.

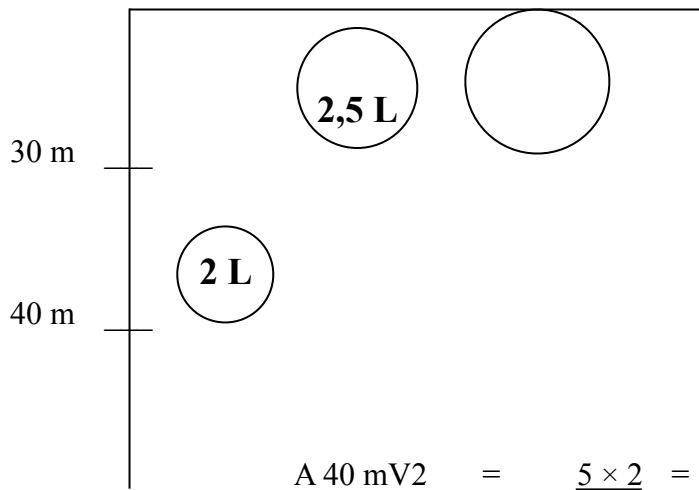
L’augmentation de la pression avec diminution du volume c’est la **compression**.

La diminution de la pression avec augmentation du volume c’est la **détente**.

10 m —

5 L





$$\text{A } 40 \text{ mV}^2 = \frac{5 \times 2}{5} = 2 \text{ litres.}$$

$$\text{A } 30 \text{ mV}^2 = \frac{5 \times 2}{4} = 2,5 \text{ litres.}$$

$$\text{A } 10 \text{ mV}^2 = \frac{5 \times 2}{2} = 5 \text{ litres.}$$

$$\text{A la surface } \text{V}^2 = \frac{5 \times 2}{1} = 10 \text{ litres.}$$

Les variations de volume sont plus importantes vers la surface.

A la remontée, le volume double entre 10 mètres et la surface.

Applications :

Placage du masque, barotraumatismes, compresseurs, profondimètres, consommations.

Gonflage des bouteilles, elles sont plus lourdes car l'air pèse 1,293 g par litre. Dans un bloc de 12 litres gonflé à 200 bars, il y aura $200 \times 12 = 2\,400$ litres soit $2\,400 \times 1,293 \text{ g} = 3,12 \text{ kg}$. A l'inverse en fin de plongée, le poids diminue.

La bouteille est également plus chaude au gonflage car la compression produit de la chaleur, à l'inverse la détente produit du froid.

Consommation autonomie :

Le volume interne de nos poumons est identique à 40 mètres comme à la surface environ 6 litres. Mais le détenteur donne de l'air à la pression ambiante, à 40 mètres cette pression est de 5

bars, il y aura donc 6×5 soit 30 litres dans les poumons qui au retour en surface occuperaient vraiment ce volume de 30 litres.

IL EST DONC IMPERATIF ET VITAL DE SOUFFLER EN REMONTANT

Exemple sur le calcul de l'autonomie :

Un plongeur respire 20 litres/mn en surface, à 40 mètres de profondeur cette consommation devient $20 \times 5 = 100$ litres.

Supposons un bloc de 12 L gonflé à 220 bars. Réserve tarée à 30 bars. Autonomie du plongeur avant de passer la réserve ?

Au départ il y a dans le bloc : $12 \times 220 = 2\ 640$ L. Réserve $12 \times 30 = 360$ bars.

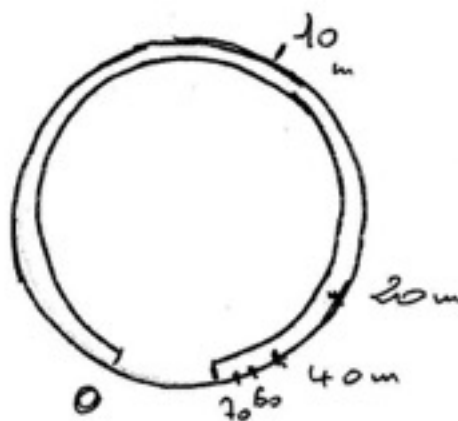
Air disponible avant réserve : $2\ 640 - 360 = 2\ 280$ L à 30 mètres P.A. = 4 bars.

Respiration à 30 mètres $4 \times 20 = 80$ litres/mn.

Il peut rester au fond pendant : $\frac{2280}{80} = 28,5$ mn.

Application au profondimètre dit " loi de Mariotte "

Ce type de profondimètre est basé sur le principe de la loi de MARIOTTE. Un tube capillaire rempli d'air coloré est fixé sur le pourtour d'un cadran gradué. L'une des extrémité du tube est fermée hermétiquement, et l'autre est également obturée mais par un joint étanche et mobile qui se déplace sous l'effet de la pression comprimant ainsi l'air contenu dans le tube. Ce profondimètre est d'une grande précision jusqu'à 20 mètres car les graduations sont très espacées et parfaitement lisibles. Il était très prisé des chasseurs sous marins. Passé 20 mètres les plages de mesures se rapprochent rendant la lecture difficile. Mais aujourd'hui presque tous les ordinateurs de plongée disposent d'une fonction profondimètre. Certains ordinateurs-montres sont même plus spécialement prévus pour l'apnée.



LA LOI DE HENRY

Nous venons de voir l'incidence que peut avoir l'application de la loi de MARIOTTE sur la survenance de certains accidents de plongée (barotraumatismes).

D'autres lois ont également une relation directe avec certains accidents de plongée qu'elles ont permis d'expliquer. C'est le cas de la loi de HENRY, et les travaux de ce physicien américain ont permis, au XIX^{ème} siècle, d'expliquer et donc de prévenir l'accident de décompression.

Un petit rappel préalable :

En plongée nous respirons de l'air dont la composition est de 79 % d'azote (N₂)
20,90 % d'oxygène (O₂)
0,03 % de gaz carbonique (CO₂)

Les 0,07 % qui restent sont constitués d'un mélange de différents gaz rares (néon, krypton, argon...)

Afin de simplifier les calculs nous retiendrons les valeurs suivantes : 79% d'azote et 21% d'oxygène.

La loi de HENRY s'énonce ainsi : *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.*

L'application de cette loi dans le cadre de la plongée est la suivante :

Lorsque nous respirons sur terre, le mélange gazeux est transporté dans notre organisme une partie de l'oxygène est consommée dans nos tissus qui se débarrassent du gaz carbonique, mais l'azote qui n'est qu'un diluant est seulement transporté. Il se dissout sous l'effet de la faible pression atmosphérique, et ressort lors de la phase d'expiration dans la même quantité. Notre organisme est donc en permanence saturé. Mais la pression ne varie jamais donc nous assimilons parfaitement cet état.

En immersion il en va tout autrement. Au cours de la descente la pression augmente, et une quantité plus importante d'azote se dissout dans notre organisme entraînant une sursaturation. Cette quantité est d'autant plus importante que la pression augmente, et elle est proportionnelle à cette pression.

Au cours de la remontée la pression va diminuer et l'azote va s'éliminer en reprenant sa forme gazeuse. Mais en raison de l'augmentation de la pression nous étions en état de sursaturation.

Le temps de remontée est inférieur au temps de plongée et cette durée sera insuffisante pour éliminer l'azote dissous en quantité importante du fait de l'augmentation de la pression.

Si le plongeur remonte lentement cet azote peut s'éliminer lors de chaque expiration. Par contre s'il remonte trop vite, l'azote ne peut pas s'échapper totalement par les poumons, des bulles se forment dans les vaisseaux et dans les tissus et comme la pression diminue le volume de ces bulles augmente (loi de MARIOTTE), provoquant des lésions graves pouvant être mortelles - ischémie des vaisseaux (obturation), embolies cérébrales ou pulmonaires, lésions articulaires et osseuses etc...-

La saturation ne se fait pas immédiatement. Un liquide est saturé par un gaz d'autant plus rapidement que la surface de contact entre le liquide et le gaz est grande et que l'agitation du liquide est forte. Réciproquement, le gaz dissous ne reprend pas totalement sa forme gazeuse dès que la pression diminue. Ce temps est le même que celui qui a été nécessaire à la saturation. C'est pourquoi en plus d'une vitesse de remontée réduite et parfaitement contrôlée, le plongeur devra également observer des paliers, dont la profondeur et la durée seront déterminés par la profondeur

atteinte et la durée de la plongée. Ces paliers permettront au plongeur d'éliminer une quantité plus importante d'azote dissous et de regagner la surface dans les meilleures conditions.

Mais attention tout n'est pas rentré dans l'ordre pour autant. L'organisme du plongeur est toujours en sursaturation, mais elle n'est pas critique, et il devra observer certaines règles avant de replonger (attendre une période de 12 heures, ne pas prendre l'avion avant au moins 24 heures), ou bien appliquer la règles des plongées successives en cas de réimmersion avant 12 heures de délai. C'est ce que vous mettrez en application dans le cours sur l'utilisation des tables de plongées.

Vous aurez également une démonstration plus précise du déroulement de l'accident de décompression dans le cours sur les accidents de plongée.

L'OPTIQUE

En immersion, tous les chasseurs sous-marins connaissent bien ce phénomène, on assiste à une déformation des images essentiellement due à la présence et au comportement du milieu liquide dans lequel nous évoluons, par rapport à ce qui se passe dans l'air. Les objets paraissent plus gros et plus près.

Cela se matérialise tout d'abord par la vision sans masque qui devient floue, et avec le masque, c'est l'objet que l'on veut saisir et que l'on rate parce qu'il se trouve plus loin.

La lumière :

Dans un milieu homogène, la lumière se propage en ligne droite à une vitesse donnée. Le changement de vitesse entraîne un changement de vitesse et un changement de direction.

La vitesse de la lumière c'est sa **CELERITE**.

Dans le vide elle est de 300.000 km/seconde

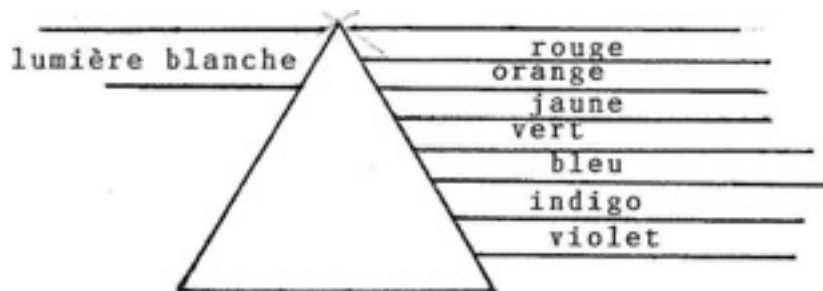
Dans l'eau elle est de 225.000 km/seconde

Dans le verre elle est de 200.000 km/seconde

Dans le diamant de 125.000 km/seconde

Chaque milieu homogène possède un indice de réfraction. Celui de l'air est approximativement de **1**, celui de l'eau est de **1,33** et celui du verre de **1,5**.

La lumière blanche est un mélange de plusieurs couleurs : (rouge, orange, jaune, indigo, violet et bleu). L'arc en ciel est un prisme.



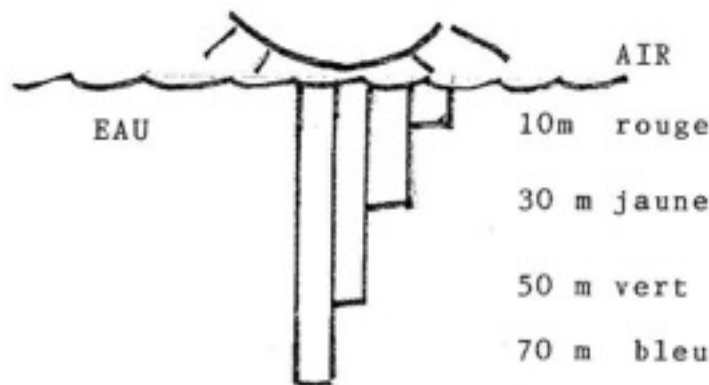
Quant elle pénètre dans l'eau, la lumière est soumise à plusieurs phénomènes :

La diffusion, l'absorption, la réfraction et la réflexion.

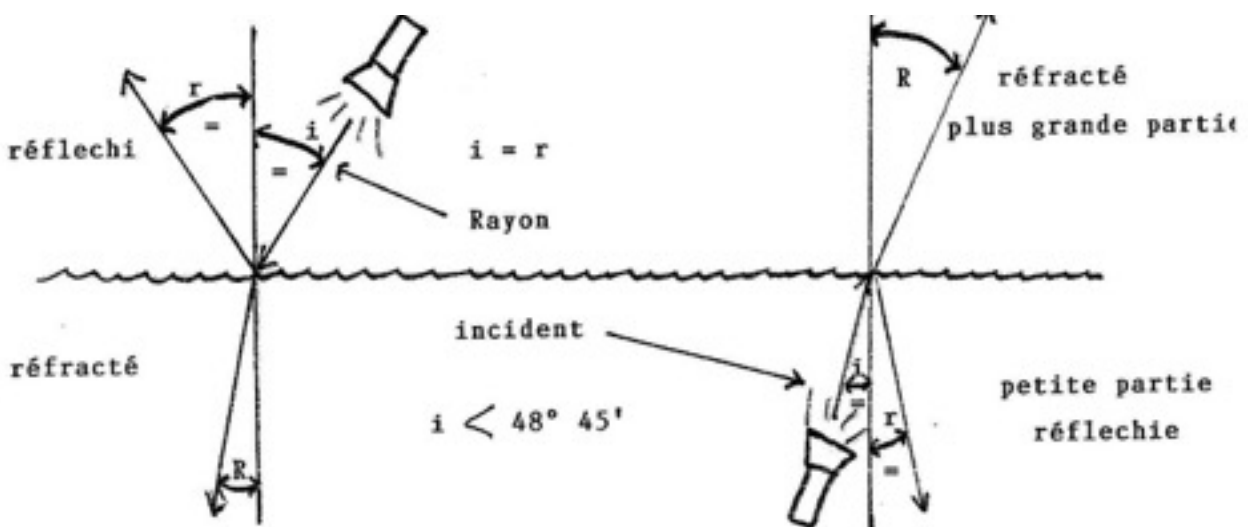
Tout ceci influe sur la vision dans l'eau.

La diffusion : la lumière est renvoyée dans toutes les directions par les particules en suspension, avec un effet maximum pour le violet et le bleu. Mais la somme des rayons ne sera jamais égale au rayon lumineux primaire. S'il n'existe pas de particules, il n'y a pas de diffusion. Le brouillard n'est rien d'autre que des particules en suspension dans l'air qui renvoient la lumière des phares. Dans l'eau, un exemple de particules en suspension, c'est le plancton.

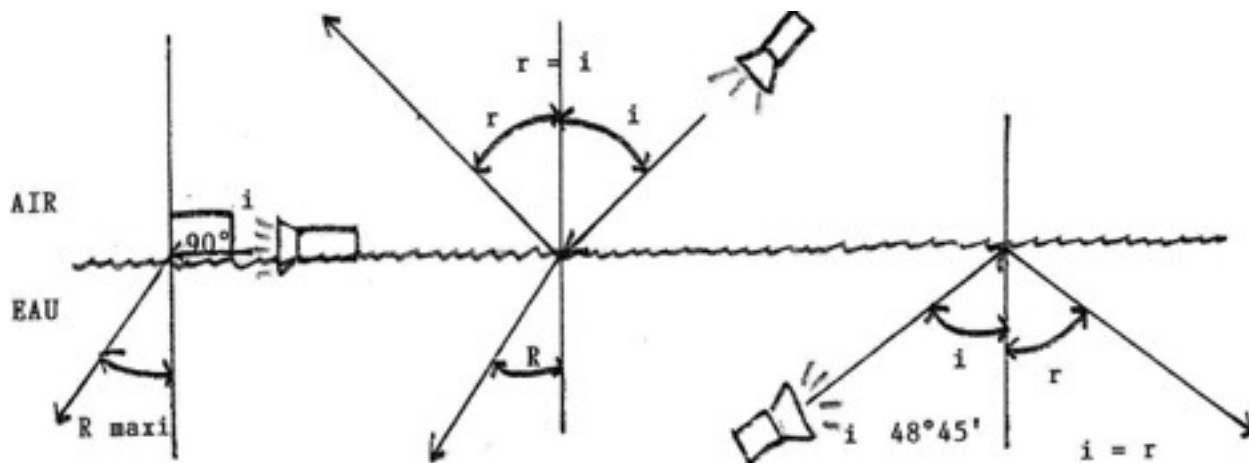
L'absorption : Une partie de la lumière est absorbée par l'eau et transformée en chaleur. Le rouge est absorbé en premier vers 10 mètres, le jaune vers 30 mètres, le vert vers 50 mètres et le bleu vers 70 mètres. Vers 400 mètres la lumière ne parvient plus et c'est l'obscurité totale. Ceci explique la nécessité d'utilisation de phares de plongée même en plongée de jour, car cela permet de restituer tout ou partie des couleurs en fonction des performances de l'appareil.



La réfraction : (DESCARTES). Un changement de milieu de la lumière, implique un changement de vitesse (indice de réfraction), de direction (exemple du bâton trempé dans l'eau), de couleur, et d'absorption. Il en est de même avec le rayon lumineux d'une lampe.



La réflexion : Un rayon réfléchi se réfléchit toujours suivant un angle égal à l'angle d'incidence : $i = r$. Si l'angle d'incidence est supérieur à $48^\circ 45'$, il y a totale réflexion.



48° 45'

La vision dans l'eau : Dans l'air l'image est nette car elle se forme sur la rétine. Dans l'eau elle se forme en arrière de la rétine et l'oeil est fortement **hypermétrope**.

Avec le masque, la vitre est un plan (système optique constitué par deux milieux transparents, homogènes, et d'indices de réfraction différents, séparés par une surface plane).

dioptre eau – verre

dioptre verre – air

En raison du dioptre, l'objet se trouve rapproché suivant la formule : $D' = D / n$

D' est la distance à laquelle on voit l'objet

D est la distance réelle

n est l'indice de réfraction de l'eau **1,33**

Donc $D' = \frac{3}{4}$ de **D**. L'objet apparaît dans l'eau au $\frac{3}{4}$ de sa distance réelle. Il paraît donc plus près et par conséquent plus gros d'environ $\frac{4}{3}$ de sa grosseur réelle.

L'ACCOUSTIQUE

Le son est une vibration qui se compose de trois éléments :

La fréquence, l'intensité et le timbre.

La fréquence de 20 à 20.000 vibrations par secondes s'exprime en HERTZ.

L'intensité est la force du son (fort ou faible).

Le timbre nous permet de distinguer deux sons émis par deux instruments différents, c'est la « couleur » du son.

La parole se situe dans une fréquence comprise entre 125 et 6000 Hertz.

En dessous (de 60 à 125 hertz), il s'agit d'infra sons.

Et au-delà (de 6000 à 18.000 hertz), il s'agit d'ultra sons.

Infra sons

parole

ultra sons

60 Hz

125 Hz

6000 Hz

18.000 Hz

Propagation :

La vitesse du son dépend du milieu dans lequel il se propage. Plus le milieu est dense, plus le son va vite.

Dans le vide, il n'y a pas de propagation.

Dans l'air à 0° la propagation est de **331 m/sec.** (0,6m//sec. en plus par degré d'élévation de température).

Dans l'eau à 8° **1435 m/seconde.** Soit 4,5 fois plus vite que dans l'air.

Dans l'acier, **5 km/seconde.**

Le son est reçu par les deux oreilles. Le cerveau est capable d'intégrer la différence de temps entre la perception d'une oreille par rapport à l'autre. Il est de **1/2000 ème de seconde.**

C'est ce qui nous permet de déterminer la direction du son. Dans l'eau, 4,5 fois plus, c'est-à-dire **1/8000 à 1/10.000 ème.** Dans ce cas le cerveau ne peut plus faire la différence et nous entendons les sons de tous les côtés à la fois.

La propagation plus rapide des sons sous l'eau peut nous aider en plongée. En effet, cela peut être pour nous un moyen d'alerte (coups frappés sur la bouteille avec le poignard pour prévenir les coéquipiers d'un danger ou d'une détresse, pétard de rappel, identification de la présence d'un moteur de bateau avant de remonter).