

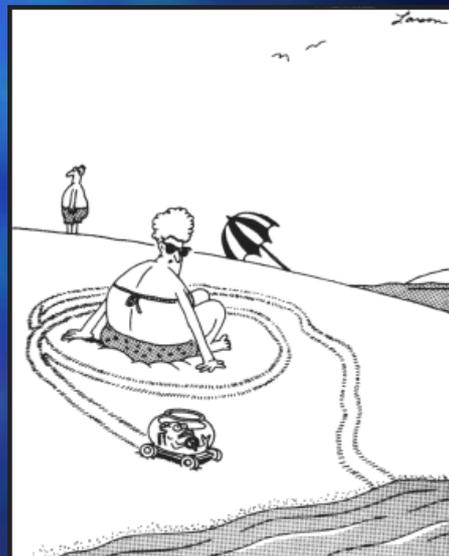
# La Physique appliquée à la plongée



ULB Sports Section Plongée  
Février 2001

## La Physique appliquée à la plongée

1. Introduction
2. La pression
3. Loi d'Archimède
4. La densité
5. Loi de Boyle et Mariotte
6. Loi de Gay Lussac
7. Loi de Charles
8. Loi de Dalton
9. Loi de Henri
10. L'énergie lumineuse
11. L'énergie sonore
12. L'énergie thermique



# 1. Introduction

## 1.1 La composition de l'air

A la louche :

- 79 % N<sub>2</sub>
- 21 % O<sub>2</sub>

Component	Concentration	
	Percent by Volume	Parts per Million (ppm)
Nitrogen	78.084	
Oxygen	20.946	
Carbon Dioxide	0.033	
Argon	0.0934	
Neon		18.18
Helium		5.24
Krypton		1.14
Xenon		0.08
Hydrogen		0.5
Methane		2.0
Nitrous Oxide		0.5

# 1. Introduction (suite)

## ■ 1.2 La nature de l'eau de mer

### ■ Contenance en minéraux

- Eau de pluie : 0,033 g/l
- Eau de mer : 35 g/l dont
  - NaCl : 77,8 %
  - MgCl<sub>2</sub> : 10,9 %
  - Sulfates : 10,8%
  - Carbonates : 0,5 %

### ■ Poids de l'eau

- Air : 0,013 N/l
- Eau pure : 9,81 N/l soit 770 fois plus que l'air
- Eau de mer est approximativement 2,5 à 3,3 % plus lourde que l'eau douce

### ■ Incompressibilité

- A 500 atm l'eau ne se comprime que de 1/47,000,000 de son volume initial

## 2. La pression

### 2.1 Définition

### 2.2 Pression atmosphérique

### 2.3 Pression relative ou hydrostatique

### 2.4 Pression absolue

## 2. La pression

### 2.1) Définition : Une force exercée sur une surface

Unité légale : le pascal **Pa** ou encore le **N/m<sup>2</sup>**

Autres unités utilisées

	atm	N/m <sup>2</sup> Pa	bars	kg/cm <sup>2</sup>	gm/cm <sup>2</sup> cm H <sub>2</sub> O	mm Hg	in Hg "Hg	lb/in <sup>2</sup> psi
1 atmosphere	1	1.013×10 <sup>5</sup>	1.013	1.033	1033	760	29.92	14.7
1 Newton (N/m <sup>2</sup> or Pascal (Pa)	.9869×10 <sup>-5</sup>	1	10 <sup>-5</sup>	1.02×10 <sup>-5</sup>	.0102	.0075	.2953×10 <sup>-3</sup>	.1451×10 <sup>-3</sup>
1 bar	.9869	10 <sup>5</sup>	1	1.02	1020	750.1	29.53	14.51
1 kg/cm <sup>2</sup>	.9681	.9807×10 <sup>5</sup>	.9807	1	1000	735	28.94	14.22
1 gm/cm <sup>2</sup> (1 cm H <sub>2</sub> O)	968.1	98.07	.9807×10 <sup>-3</sup>	.001	1	.735	.02894	.01422
1 mm Hg	.001316	133.3	.001333	.00136	1.36	1	.03937	.01934
1 in Hg	.0334	3386	.03386	.03453	34.53	25.4	1	.491
1 lb/in <sup>2</sup> (psi)	.06804	6895	.06895	.0703	70.3	51.7	2.035	1

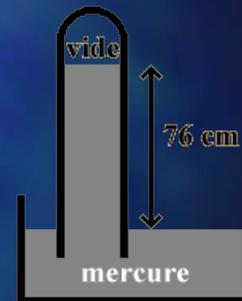
Abridged adaptation from NOAA

## 2. La pression (suite)

### 2.2 Pression atmosphérique

- Le poids de l'air à la surface de la terre exerce sur celle-ci une pression (donc cette pression diminue avec l'altitude)
- Au niveau de la mer cette pression atmosphérique est de

1013 mBar  
101325 pascal (1013 HectoPa)  
1 Atmosphère  
760 mm Hg (Mercure)



## 2. La pression (suite)

### 2.3 Pression hydrostatique ou relative

- C'est la pression que subit un corps immergé par le poids de la colonne d'eau qui le surplombe.
- Elle est dite relative car elle ne se réfère qu'au poids de l'eau, et non pas à celui de l'atmosphère.

### 2.4 Pression absolue

- C'est la pression totale que subit un corps immergé par le poids de la colonne d'eau et de la colonne d'air qui le surplombe

**Pression Absolue = Pression Atmosphérique + Pression Relative**

# 3. Loi d'Archimède

## 3.1 Principe d'Archimède

Principe :

Tout corps plongé dans un fluide subit de la part de celui-ci une poussée exercée perpendiculairement à et vers la surface du fluide, et d'intensité égale au poids du fluide déplacé par le corps.

Corollaire :

Poids Apparent = Poids Réel - Poussée d'Archimède

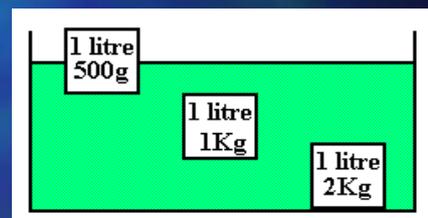
# 3. Loi d'Archimède (suite)

## 3.2 Applications : Flottabilité

**Flottabilité positive** : La poussée d'archimède est d'intensité supérieure au poids du corps immergé.

**Flottabilité neutre** : La poussée d'archimède est d'intensité égale au poids du corps immergé.

**Flottabilité négative** : La poussée d'archimède est d'intensité inférieure au poids du corps immergé.



## 4. La densité

---

### 4.1 Définition

La densité d'un gaz est le rapport entre la masse volumique du gaz considéré et celle de l'air.

La densité d'un liquide est le rapport entre la masse volumique du gaz considéré et celle de l'eau pure.

### 4.2 Applications à la plongée

Plombage en eau douce inférieur à celui en eau de mer, car l'eau de mer est plus dense d'environ 3 % que l'eau douce

## 5. Loi de Boyle et Mariotte

---

### 5.1 Principe

Boyle (physicien et chimiste irlandais, 1627-1691) et Mariotte (physicien et chimiste français, 1620-1684) découvrirent indépendamment la loi qui porte leur nom:

A température fixée et pour une quantité donnée de gaz, le produit de la pression et du volume de ce gaz est constant.

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

# 5. Loi de Boyle et Mariotte (suite)

## 5.2 Applications à la plongée

- Le gilet
- Les accidents barotraumatiques
- Le lestage et le néoprène
- La consommation d'air
- Le parachute
- etc.

depth (fsw)	pressure (atm.)	volume of air in balloon (l)	density of air in balloon	relative size of balloon
Sea level	1	12	1x	
33	2	6	2x	
66	3	4	3x	
99	4	3	4x	
132	5	2.4	5x	

# 6. Loi de Gay Lussac

## 6.1 Principe

Pour une pression de gaz donné, plus haute est sa température plus grand est son volume et inversement.

# 7. Loi de Charles

## 7.1 Principe

Pour un volume de gaz donné, plus haute est sa température plus grande est sa pression et inversement.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

## 7.2 Applications à la plongée

Gonflage des bouteilles

# 8. Loi de Dalton

## 8.1 Principe

La pression totale exercée par un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qui seraient exercées si chacun des gaz occupait seul le volume du mélange initial. La pression de chacun des gaz dans ces conditions est appelée pression partielle PP.

Pression totale = PP gaz 1 + PP gaz 2 + ... + PP gaz n

Pression du Gaz = Pourcentage du Gaz dans le mélange x Pression du mélange

# 8. Loi de Dalton (suite)

## 8.2 Applications à la plongée

- Les effets Lorrain Smith et Paul Bert (Toxicité O<sub>2</sub>)
  - L'air (PP.O<sub>2</sub> max 1,6 bar) est neurotoxique (CNS) à 66m
  - En effet  $1,6 / 0,21 = 7,62$  bar equivalent air, soit une profondeur de  $(7,62 - 1) \times 10 = 66,2$  m
- La narcose
  - L'air (PP.N<sub>2</sub> max 6,3 bar) est toxique à 70m
  - Exercice
- L'hypercapnie
  - Le gaz carbonique (PP.CO<sub>2</sub> max 0,08 bar) provoque la perte de connaissance
  - Une PP.CO<sub>2</sub> de 0,04 bar provoque systématiquement un essoufflement

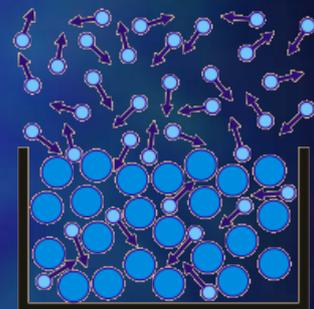
### Le nitrox et autres mélanges gazeux

- Quelque soit la profondeur, le pourcentage d'un gaz reste constant
- Un mélange à 40 % d'oxygène (PP.O<sub>2</sub> max 1,6 bar) est neurotoxique (CNS) à 30m

# 9. Loi de Henri

## 9.1 Principe

La quantité de gaz qui se dissout dans un liquide est, à température donnée, une fonction de la pression partielle du gaz qui est en contact avec ce liquide et du coefficient de solubilité (a) de ce gaz dans ce liquide.

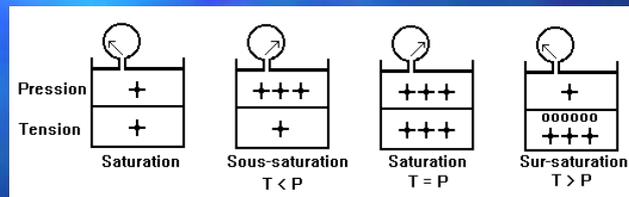


$$\text{Volume du Gaz} / \text{Volume du liquide} = a \times \text{Pression du Gaz}$$

# 9. Loi de Henri (suite)

## 9.2 Applications à la plongée

- La table de plongée
- Les phénomènes de saturation et désaturation



Saturation : l'état d'équilibre (initial ou final).

Sous-saturation : l'étape au cours de laquelle le liquide absorbe le gaz en le dissolvant.

Sur-saturation : l'étape au cours de laquelle le liquide restitue le gaz dissout

# 9. Loi de Henri (suite)

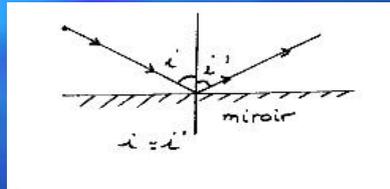
Plusieurs facteurs influent sur la dissolution des gaz dans les liquides.

En général	Equivalent en plongée	La dissolution augmente si :
Nature du gaz	Azote	-
Nature du liquide	Compartiment concerné	L'irrigation sanguine croît
Pression du gaz	Profondeur	La profondeur augmente
Température	Constante 37° C	La température diminue
Durée	Temps de plongée	Le temps augmente
Agitation	Travail physique au cours de la plongée	L'irrigation sanguine croît
Surface	Sensiblement constante pour un individu donné	La surface augmente

# 10. L'énergie lumineuse

## ■ 10.1 La Reflexion

- Si un rayon lumineux rencontre une surface réfléchissante, il se réfléchit, c'est à dire qu'il change de direction selon une loi simple: l'angle d'incidence égale l'angle de réflexion.

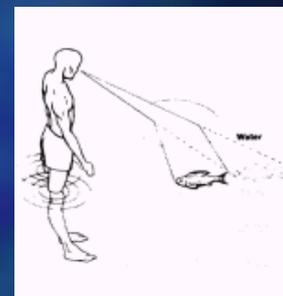


- Plus le soleil est haut dans le ciel, plus ses rayons pénètrent dans l'eau. À l'aube, ou au crépuscule, les rayons du soleil étant rasants, la majeure partie est réfléchi et il y a peu de lumière sous l'eau. On préférera donc plonger vers la mi-journée.

# 10. L'énergie lumineuse (Suite)

## ■ 10.1 La Réfraction.

- Lorsqu'un rayon lumineux passe de l'air dans l'eau, il est légèrement dévié. C'est la réfraction.
- L'effet de réfraction a pour conséquence de provoquer l'impression de voir un tiers plus grand et un quart plus près dans l'eau et réduit l'angle de vision de  $180^\circ$  (air) à  $97^\circ$  (eau).



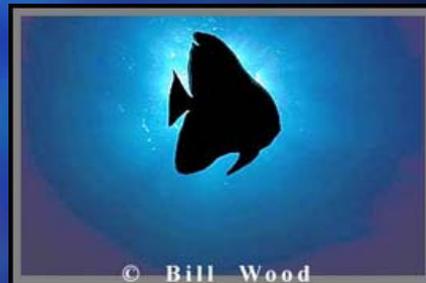
# 10. L 'énergie lumineuse (Suite)

## ■ 10.2 Turbidité de l' eau

- La turbidité de l'eau peut quelque fois profondément influencer la vision au cours de la plongée.
- Plus elle est turbide, non seulement la visibilité en sera diminuée, mais la perception des distances le sera aussi:
- Par exemple:
- En zeelande, la distance des objects à 1 ou 1,5 metre est surestimée.
- En Méditerranée, ce sont les objets à 6 à 7 mètre qui apparaissent plus proche.
- En Mer Rouge, ce phénomène apparaît aux alentours de 15 à 20 mètres.

# 10. L 'énergie lumineuse (Suite)

## ■ 10.3 Diffusion.



# 10. L'énergie lumineuse (suite)

## ■ 10.4 L'absorption des couleurs

2 mètres	5 mètres	10 et 15 m	25 et 65 m	> 65 m
Rouge modifié	Disparition du rouge	Disparition de l'orangé	Disparition du bleu, vert et violet	Disparition du monochrome vert

# 11 L'énergie sonore

## 11.1 Vitesse du son dans l'eau

**Son :** Une vibration qui se propage dans un milieu matériel (air, eau), de poche en poche.

Air : 330 m/s

Eau : 1500 m/s

**Conséquence:** le plongeur ne peut s'orienter grâce au bruit

**Application :** L'écho-sondeur émet une onde verticale vers le fond et reçoit son écho après un délai, qui permet d'estimer la profondeur.

ex: Soit un délai d'1/10e de seconde. Quel est sa profondeur ?

$$1/10e \times 1500m = 150 \text{ mètres} / 2 = 75 \text{ mètres}$$

## 11.2 Température de l'eau et le son.

Les thermoclines peuvent réfléchir les ondes sonores, c'est à dire qu'un plongeur à 20m en méditerranée peut ne plus entendre ce qu'il ya en surface

# 12 Energie thermique

## 12.1 Conduction, Convection, et Radiation.

- *Conduction* est la transmission de chaleur par contact direct. Parce que l'eau est un très bon conducteur de chaleur, le plongeur doit minimiser le contact entre son corps et l'eau froide, afin d'éviter l'hypothermie.
- *Convection* est le transfert de chaleur par mouvement du milieu physique. C'est le principe de la combinaison humide. L'eau est immobilisée contre le corps du plongeur, et elle n'est pas refroidi par le milieu car la convection est limitée.
- *Radiation* est la transmission de chaleur par ondes électromagnétique. C'est le principe du thermoplush au titane des vêtements de plongée haut de gamme.