

Physique

7 Décembre 2015



Sommaire

- Les pressions
- Loi de Mariotte
- Principe d'Archimède
- Loi de Dalton
- Loi de Henry
- Acoustique
- Vision

Les pressions



Les pressions

A. Définition

La pression est le résultat d'une force appliqué sur une surface. Elle s'exprime en bar.

$$P \text{ (bar)} = \frac{F \text{ (kg)}}{S \text{ (cm}^2\text{)}}$$

*Exemple : Un plongeur pesant 80kg et debout. Sa surface d'appuie sur le sol et de 20cm².
Quelle pression exerce t'il?*

$$F = 80\text{kg}$$

$$S = 20\text{cm}^2$$

$$P = \frac{80}{20} = 4\text{bar}$$

Les pressions

B. La pression atmosphérique

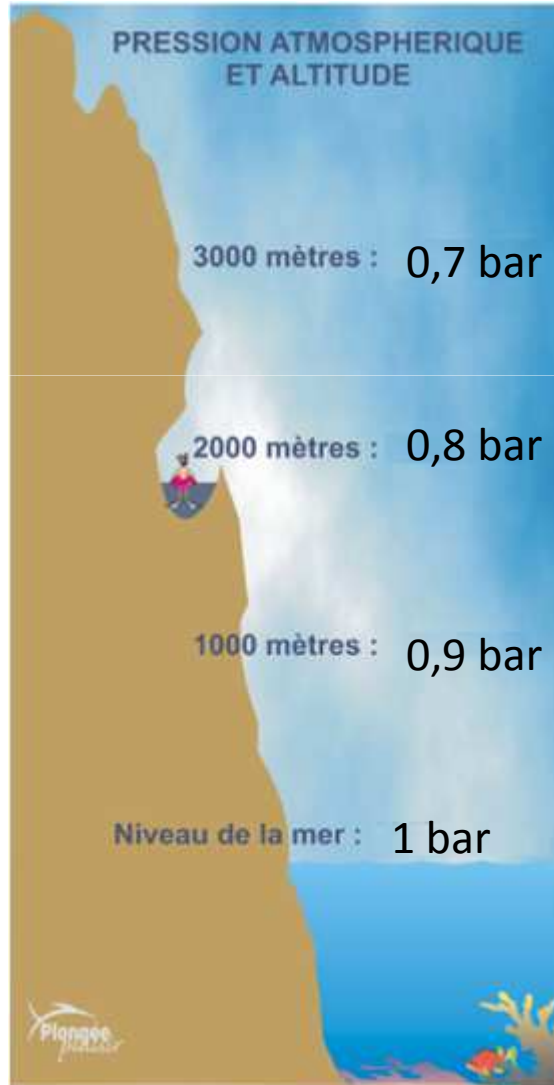
La pression atmosphérique correspond au poids de l'air qui entoure la terre, elle diminue donc avec l'altitude.

Au niveau de la mer, cette pression est environ de 1bar. Elle diminue d'environ 0,1bar par 1000m d'altitude. Ainsi à 1000m d'altitude, elle n'est plus que de 0,9bar et à 5000m, de 0,5bar. Ceci est une simplification.

Si on prend cette colonne d'air au niveau de la mer et sur une surface de 1cm^2 , elle pèsera environ 1kg, soit une pression de 1bar.

Les pressions

B. La pression atmosphérique (suite)



Les pressions

C. La pression hydrostatique (pression de l'eau)

La pression hydrostatique correspond à la pression exercée par le poids de l'eau sur le plongeur. Elle varie en fonction de la profondeur à laquelle nous nous trouvons. Elle augmente donc avec la profondeur.

Malgré une légère différence de poids entre l'eau de mer et l'eau douce, nous prendrons comme valeur que 1L d'eau pèse 1 kg.

Pour avoir une colonne d'eau qui pèse 1kg pour une surface de 1cm^2 c'est-à-dire 1 bar, il nous faudra une hauteur d'eau de 10m. La pression en plongée augmente donc de 1 bar tous les 10 m de profondeur.

Les pressions

D. La pression absolue

C'est la somme de : la **pression atmosphérique** (poids de l'air) + **pression hydrostatique** (poids de l'eau).

Exemple :

A 10 m la pression absolue sera donc de 1 bar (atmosphère) + 1 bar (d'eau) = 2 bar

Quelles sera la pression absolue à 20 m ?.....

1 bar (atmosphère) + 2 bar (eau) = 3 bar

À 35 m?.....

1 bar (atmosphère) + 3,5 bar (eau) = 4,5 bar

Et à 3 m à la piscine ?.....

1 bar (atmosphère) + 0,3 bar (eau) = 1,3 bar

Les pressions

D. La pression absolue (suite)

Tableau récapitulatif :

Profondeur :	Pression Atmosphérique :	Pression Hydrostatique:	Pression Absolue :
0m	1bar	0bar	1bar
10m	1bar	1bar	2bar
20m	1bar	2bar	3bar
30m	1bar	3bar	4bar
35m	1bar	3,5bar	4,5bar

Loi de Mariotte



Loi de Mariotte

A. Justification

Les solides et les liquides sont incompressibles, mais les gaz sont compressibles (gonflage d'une roue de vélo ou d'une bouteille de plongée).

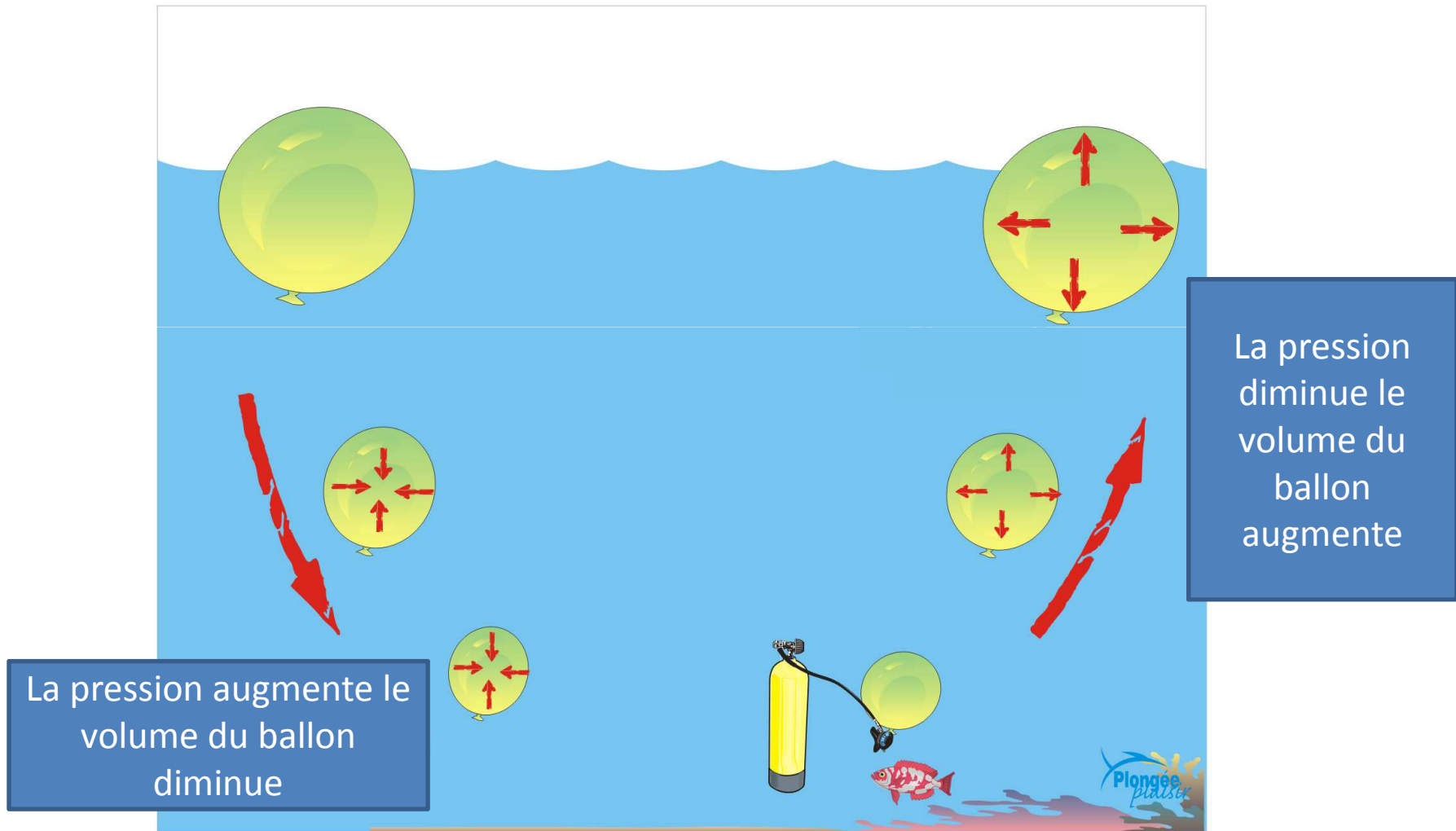
C'est-à-dire que si on exerce une pression sur un gaz, son volume diminue. Inversement, si la pression diminue, le volume du gaz va augmenter.

En plongée, nous respirons de l'air sous pression.

Afin de prévenir les accidents et savoir utiliser le matériel de plongée (gilet...), il faut connaître la relation qui existe entre le volume et la pression d'un gaz.

Loi de Mariotte

B. Mise en evidence du rapport entre pression et volume



Il y a donc bien un rapport entre la pression et le volume d'un gaz

Loi de Mariotte

B. Mise en evidence du rapport entre pression et volume (suite)

Nous remarquons aussi, que dans tous les cas, le produit **Pression x Volume** est constant.

Nous pouvons donc écrire :

$$P1 \text{ (bar)} \times V1 \text{ (litre)} = P2 \text{ (bar)} \times V2 \text{ (litre)} = P3 \times V3 = \dots = Pn \times Vn = \text{constante}$$

Nous pouvons aussi l'écrire sous la forme :


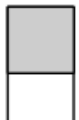
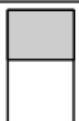
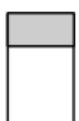
$$P \text{ (bar)} \times V \text{ (litre)} = \text{Cte}$$

Le produit de la pression par le volume est constant. Quand l'un baisse, l'autre augmente en sens inverse, c'est-à-dire si la pression est multipliée par 2, le volume est divisé par 2, si la pression est multipliée par 4 le volume sera divisé par 4 etc... On dit que la relation est inversement proportionnelle.

Loi de Mariotte

C. Quel est ce rapport

On plonge un récipient gradué rempli d'air (à l'envers) dans une colonne d'eau et on relève les mesures suivantes :

	Profondeur	Volume	P. abs	Produit P x V
	0 m	10 L	1 bar	10x1=10
	10 m	5 L	2 bar	5x2=10
	20 m	3.33 L	3 bar	3.33x3=10
	40 m	2 L	5 bar	2x5=10

Nous constatons donc qu'à 10m, la pression étant de 2 bar, l'eau n'occupe plus que la moitié du volume de départ, qu'à 20m ou la pression est de 3 bar, l'eau n'occupe plus que 1/3 du volume et qu'à 40m ou la pression est de 5 bar, le volume d'air n'est plus que de 1/5 du volume de départ.

Si nous remontons ce récipient vers la surface, l'air se dilate à nouveau et occupe tout le volume initial en arrivant à la surface

On constate que $P \times V \text{ à } 0 \text{ m} = P \times V \text{ à } 10 \text{ m} = P \times V \text{ à } 20 \text{ m} = P \times V \text{ à } 40 \text{ m}$

Loi de Mariotte

D. Loi de Mariotte

C'est Mariotte qui a donné son nom à la loi qui régit la relation entre la pression et le volume d'un gaz :

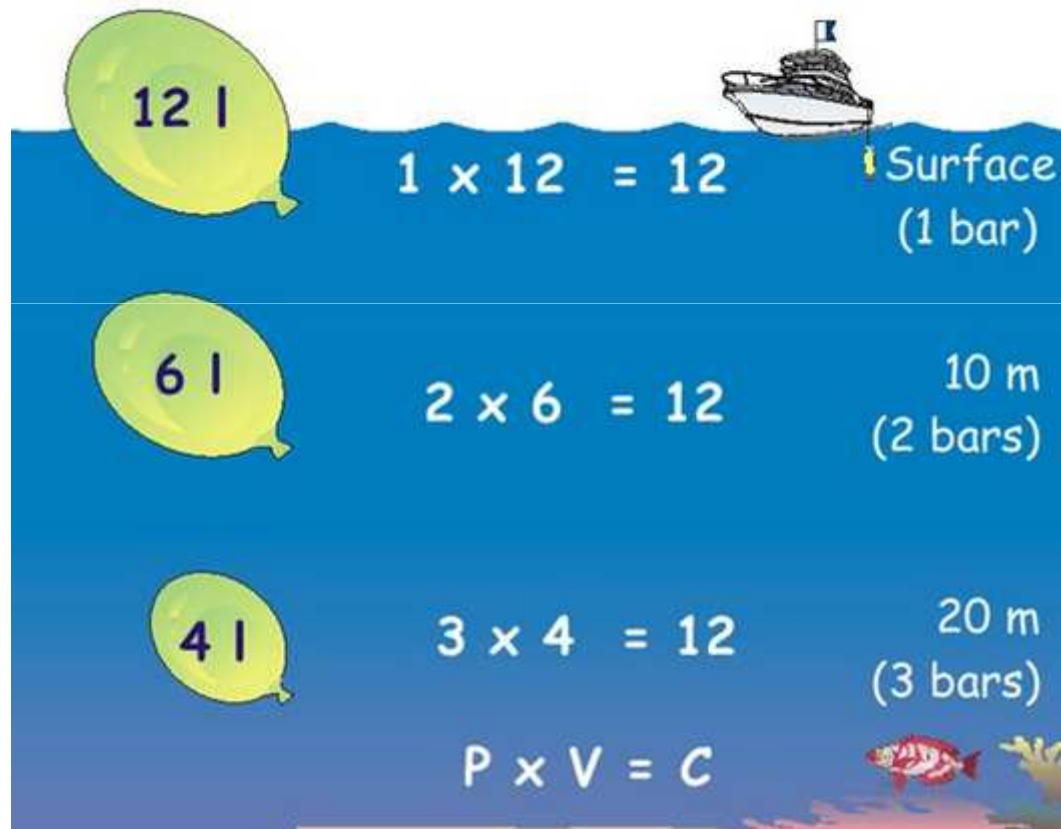
A température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il subit.

$$P \times V = Cte$$

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

Loi de Mariotte

D. Loi de Mariotte (suite)



Loi de Mariotte

E. Exemples chiffrés

Exercice n°1

Vous êtes en surface et mettez 5l d'air dans votre gilet stabilisateur. Quel sera son volume à 10m de profondeur ?

On applique la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$

A 10m de profondeur nous avons 2bar de pressions absolue.

$$1 \times 5 = 2 \times V_2 \text{ d'où } V_2 = 1 \times 5 / 2 = 2,5l$$

Même question, mais à 30m de profondeur ?

On applique la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$

A 30m de profondeur nous avons 4bar de pressions absolue.

$$1 \times 5 = 4 \times V_2 \text{ d'où } V_2 = 1 \times 5 / 4 = 1,25l$$

Loi de Mariotte

E. Exemples chiffrés (suite)

Exercice n°2

Votre combinaison de plongée est en néoprène (matière plein de bulle d'air) représente un volume de 9l en surface. Quel sera son volume à 20m ?

On applique la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$

A 20m de profondeur nous avons 3bar de pressions absolue.

$1 \times 9 = 3 \times V_2$ d'où $V_2 = 1 \times 9 / 3 = 3l$

Loi de Mariotte

E. Exemples chiffrés (suite)

Exercice n°3

Un poumon avec 2l d'air à 10m de profondeur. Si le plongeur bloque sa respiration et remonte à la surface sans expirer. Quel sera le volume de son poumon en surface ?

On applique la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$

A 10m de profondeur nous avons 2bar de pressions absolue.

$1 \times V_1 = 2 \times 2$ d'où $V_1 = 2 \times 2 / 1 = 4l$

Loi de Mariotte

E. Exemples chiffrés (suite)

Exercice n°4

Un plongeur consomme 20l d'air à la surface, combien d'air consomme-t-il à 35 ? (en volume d'air détendu).

On applique la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$

A 35m de profondeur nous avons 4,5bar de pressions absolue.

$4,5 \times 20 = 1 \times V_2$ d'où $V_2 = 4,5 \times 20 / 1 = 90l$

Principe d'Archimède



Principe d'Archimède

A. Définition

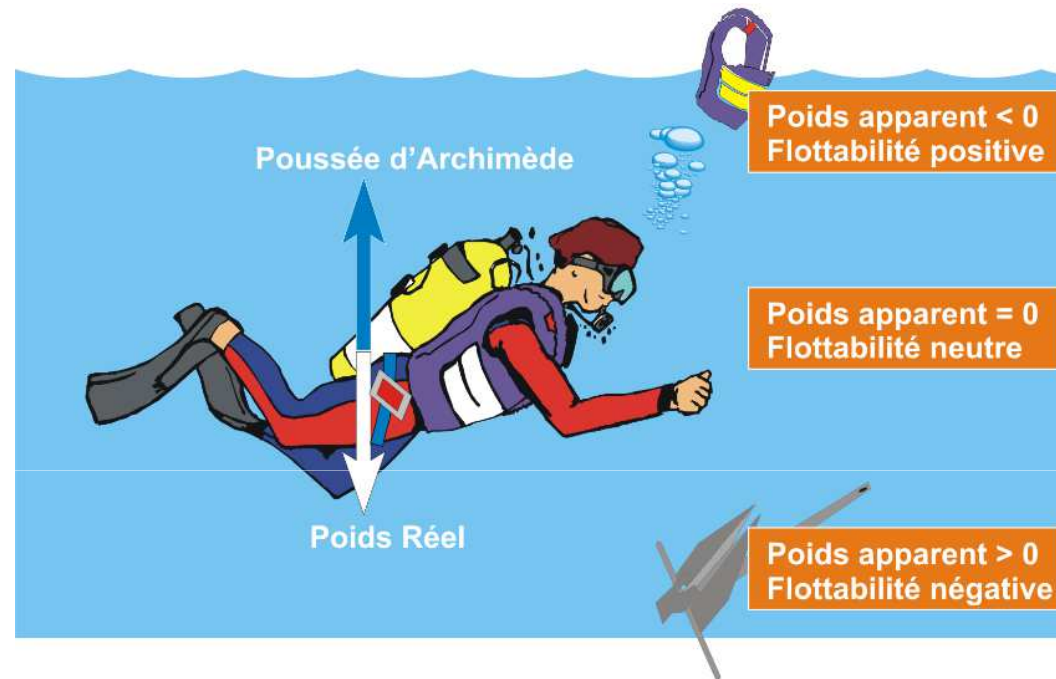
Tout corps plongé dans un liquide, reçoit une poussée verticale, dirigée du bas vers le haut, est égale au poids du volume de liquide déplacé.

$$\text{Poids Apparent (kg)} = \text{Poids Réel (kg)} - \text{Poussée d'Archimède (kg)}$$

- Le poids apparent, est le poids que le corps a dans l'eau.
- Le poids réel, est le poids sur terre.
- La poussée d'Archimède, est le poids qu'aurait un volume d'eau égal au volume du corps immergé.

Principe d'Archimède

A. Définition (suite)



Si le poids apparent > 0 kg, alors flottabilité négative; le corps coule.

Si le poids apparent $= 0$ kg, alors flottabilité nulle; le corps est en équilibre.

Si le poids apparent < 0 kg, alors flottabilité positive; le corps remonte.

Ce qui nous intéresse en plongée, c'est la notion de poids apparent. Il peut être modifié, par l'écrasement de la combinaison, par le gilet stabilisateur et le poumon-ballast.

Principe d'Archimède

E. Exemples chiffrés

Exercice n°1

Tout équipé, un plongeur pèse 70 kg et à un volume de 75 dm³. Quelle est sa flottabilité ?

On applique la formule Poids Apparent = Poids réel – Poussée d'Archimède

Poids réel = 70 kg et Poussée d'Archimède = 75 kg

Poids Apparent = $70 - 75 = -5 \text{ kg} < 0 \text{ kg}$

Flottabilité positive.

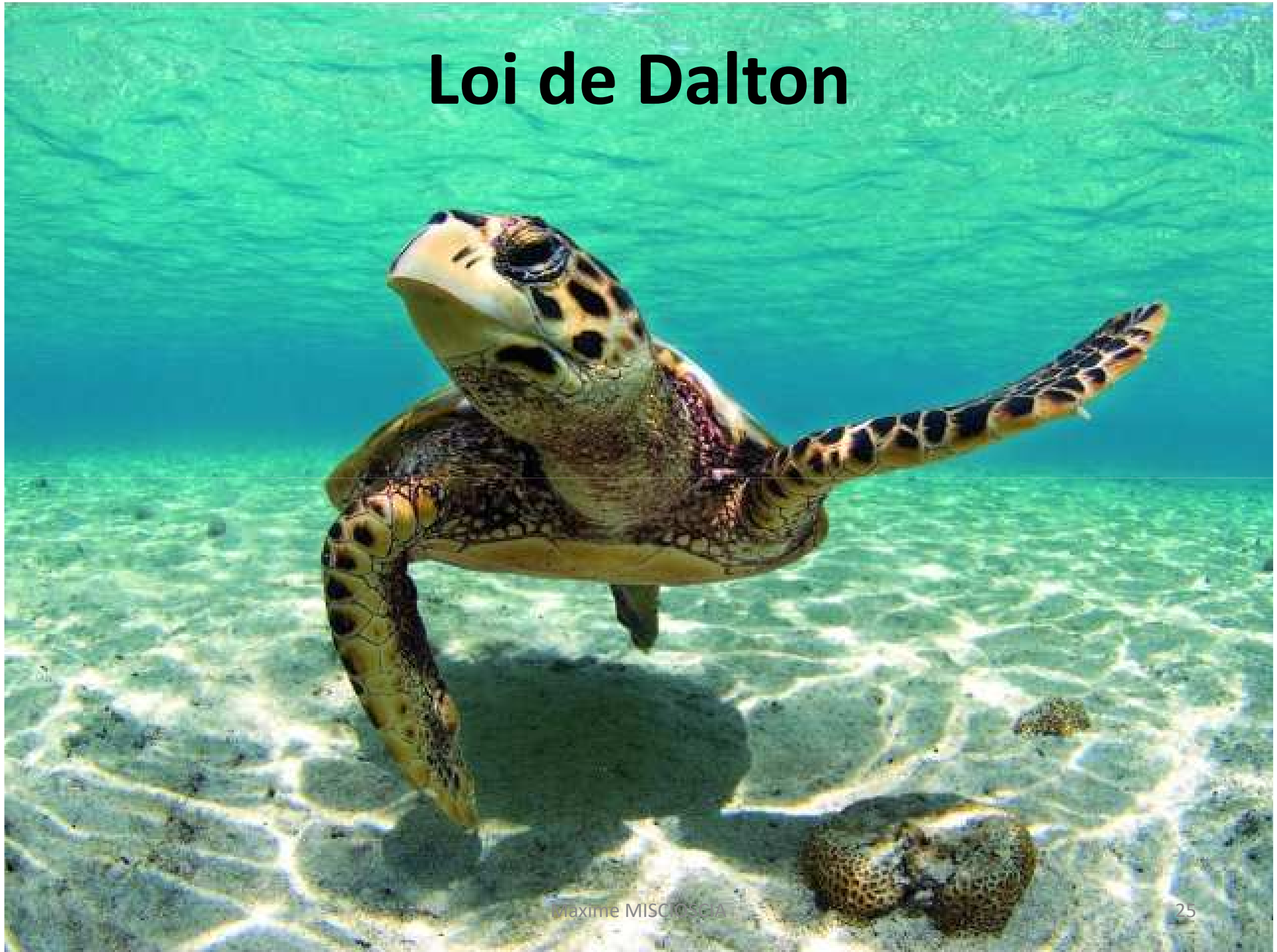
Quel devrait être son lestage pour avoir une flottabilité nulle ?

On applique la formule Poids Apparent = Poids réel – Poussée d'Archimède

Poids Apparent = $70 - 75 = -5 \text{ kg}$

Son lestage devrait être de 5 kg

Loi de Dalton



Loi de Dalton

A. Rappels

Le plongeur respire de l'air comprimé. Plus on va descendre, plus cet air est dense. Il est composé de plusieurs gaz, toxiques à une certaine profondeur (narcose, essoufflement, hyperoxie).

Il est donc nécessaire de calculer la pression à telle ou telle profondeur pour mesurer leurs effets.

Dans l'air :

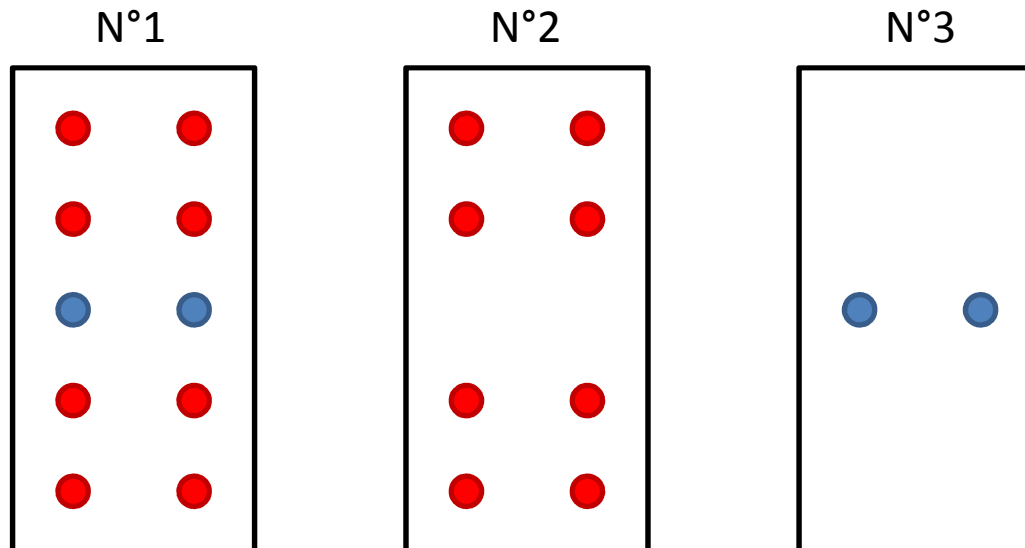
- O₂ (oxygène) = 20,9%, c'est le carburant.
- N₂ (azote) = 79%, c'est le diluant.
- CO₂ (gaz carbonique) = 0,02%, c'est le déclencheur du système respiratoire.
- Gaz rare (néon, xénon, argon, krypton....) = 0,01%.

En pratique, on prend O₂ = 20% et N₂ = 80%

Loi de Dalton

B. Mise en évidence

Imaginons un récipient rempli d'air à la pression de 1 bar (*schéma N°1*). Il est occupé à 80% d'azote et à 20% d'oxygène. Si nous retirons l'oxygène pour la placer dans un autre récipient de même volume (*schéma N°3*), nous aurons le récipient d'azote (*schéma N°2*) rempli à 80% et le récipient d'oxygène (*schéma N°3*) rempli à 20%.



Loi de Dalton

B. Mise en évidence (suite)

La pression partielle est la pression qu'occupe un des composants d'un mélange. Dans un même mélange à 1 bar dans lequel nous avons 80% d'azote et 20% d'oxygène, on peut donc dire que l'azote occupe 80% de l'espace et que l'oxygène occupe 20% de l'espace. Autrement dit, l'azote occupe 80% de la pression du mélange et l'oxygène 20% de la pression du mélange soit 0,8 bar d'azote et 0,2 bar d'oxygène. On peut en déduire la formule suivante :

$$\text{Pression Partielle (bar)} = \text{Pression Absolue (bar)} \times \% \text{ du gaz dans le mélange}$$

Loi de Dalton

C. Loi et formule

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 tout le volume.

On appelle **pression partielle** d'un gaz dans un mélange, la pression qu'aurait ce gaz s'il occupait seul tout le volume.

$$\text{Pression Partielle (bar)} = \text{Pression Absolue (bar)} \times \% \text{ du gaz dans le mélange}$$

$$\text{Pression Absolue} = \text{Pression Partielle gaz 1} + \text{Pression Partielle gaz 2} + \text{Pression Partielle gaz n}$$

Exemple :

Quelle est la pression partielle de l'O₂ à 30m de profondeur ?

Pression Absolue = 4 bar et le %O₂ = 20%

Pression Partielle = 4 x 0,2 = 0,8 bar

Loi de Dalton

D. Exemples chiffrés

Exercice n°1

Quelle est la pression partielle de l'O₂ et de N₂ à 40m ?

On applique la formule Pression Partielle (bar) = Pression Absolue (bar) x % du gaz dans le mélange

Pression absolue à 40m est de 5 bar

$$PPN_2 = 5 \times 0,8 = 4 \text{ bar}$$

$$PPO_2 = 5 \times 0,2 = 1 \text{ bar}$$

Loi de Dalton

D. Exemples chiffrés

Exercice n°2

A quelle profondeur aura-t-on une PPO2 = 1,7 bar ?

On applique la formule = Pression Absolue (bar) = Pression Partielle (bar) / % du gaz dans le mélange

Pression partielle = 1,7 et %O2 = 20%

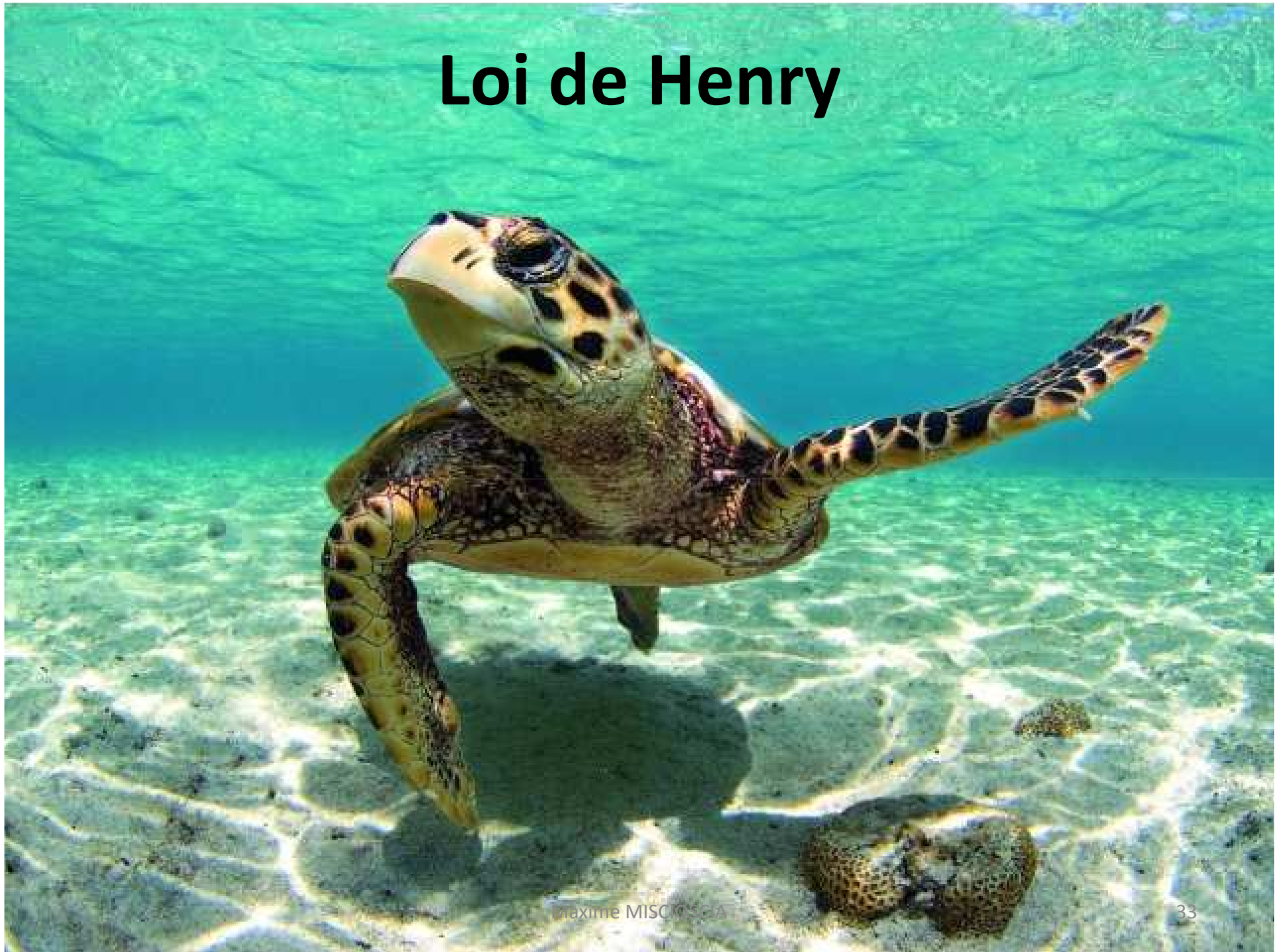
Pression Absolue = 1,7 / 0,2 = 8,5 bar, donc à 75m

Loi de Dalton

E. Application à la plongée

Toxicité des gaz en fonction de la profondeur atteinte (voir cours sur les accidents biochimiques).

Loi de Henry



Loi de Henry

A. Justification

On remarque que lorsqu'un gaz est mis en contact avec un liquide, une partie de ce gaz se dissout dans le liquide. Différents facteurs influencent le degré de cette dissolution, en particulier la température et la pression.

La loi de Henry définit le comportement d'un gaz lorsqu'on le met en contact avec un liquide en fonction de la pression exercée par ce gaz.

Les variations de pression étant très fortes en plongée, la loi de Henry est donc essentielle car elle permet de comprendre **la procédure de désaturation** du plongeur ainsi que de déterminer les causes des **accidents de désaturation** et autres **accidents biophysiques**.

Le corps est composé de 75% de liquides.

Les liquides sont incompressibles.

Les liquides dissolvent les gaz.

Le plongeur va dissoudre plus de gaz au fond qu'à la surface.

Loi de Henry

B. Loi de Henry

A température constante et à saturation, la quantité de gaz dissout dans un liquide est directement proportionnelle à la pression exercée par ce gaz à la surface du liquide.

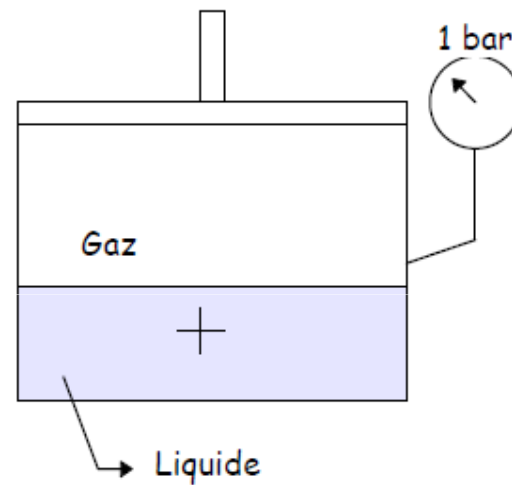
Pour les gaz, nous parlons de pression partielle exprimée en bar, mais pour les gaz dissout, nous parlerons de tension de gaz dissout exprimée elle aussi en bar.

Loi de Henry

C. Les 4 états

1^{er} état : la saturation

Notre cuve est à équilibre, notre piston étant simplement posé sur la cuve mais n'exerçant pas de pression à la surface du liquide à part la pression atmosphérique de 1 bar.
Notre plongeur est à la surface et se prépare à plonger ...



Loi de Henry

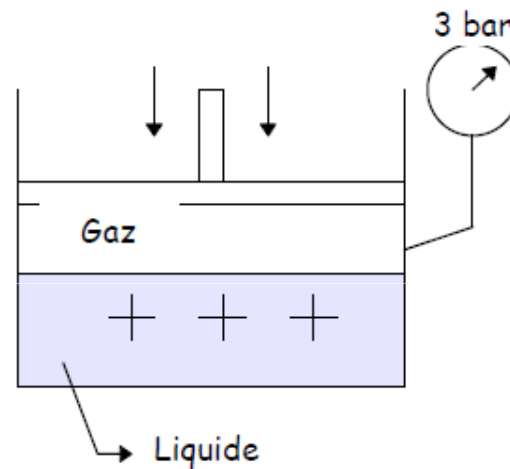
C. Les 4 états (suite)

2^{ème} état : la sous saturation

Nous appuyant sur le piston afin de faire augmenter la pression qui s'exerce à la surface du liquide.

Il en est de même pour notre plongeur qui descend et qui est donc soumis à la pression ambiante qui augmente.

Après un certain temps à une même profondeur, le plongeur va, comme le liquide de la cuve, atteindre un nouvel état d'équilibre, on dit qu'il y a un nouvel état de saturation.



Loi de Henry

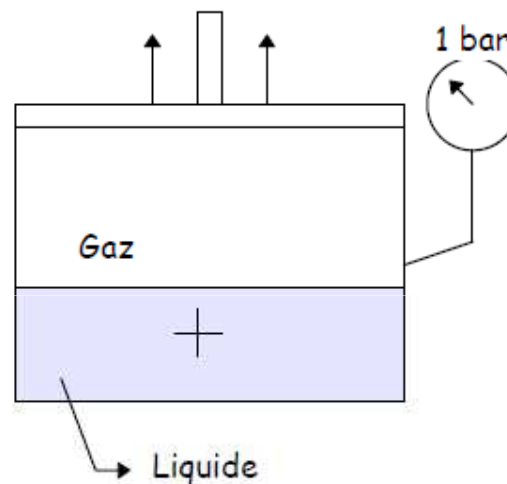
C. Les 4 états (suite)

3^{ème} état : la sursaturation

Nous relevons le piston lentement afin de faire diminuer la pression qui s'exerce à la surface du liquide.

Il en est de même pour notre plongeur qui remonte à vitesse contrôlée de 17m/mn.

Le gaz qui était dissout dans le liquide est libéré et retrouve son état gazeux de départ.



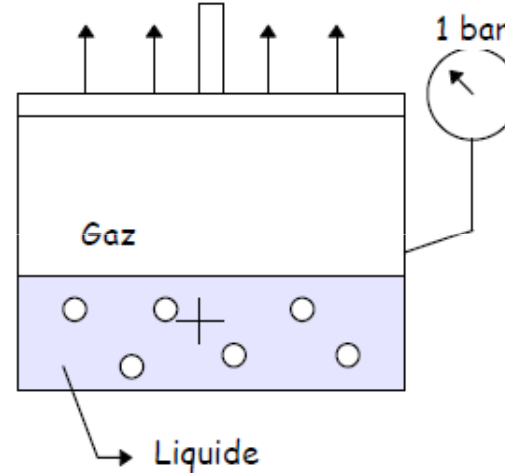
Loi de Henry

C. Les 4 états (suite)

4^{ème} état : la sursaturation critique et son dépassement

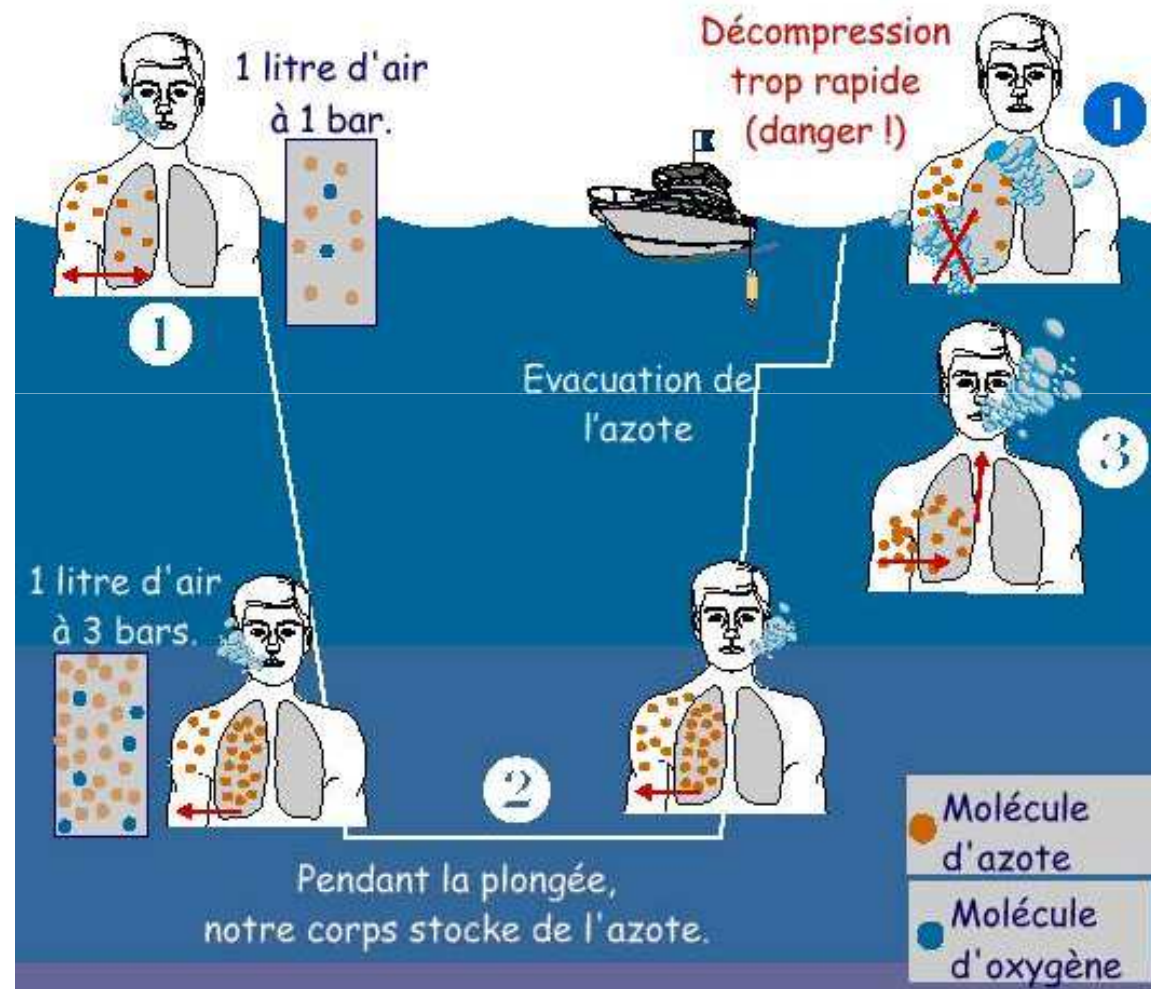
Lorsque nous relevons le piston rapidement, il y a formation de petites bulles dans le liquide, le dégazage est trop rapide !!! (on le dit "incontrôlé").

Il en est de même pour notre plongeur qui fait une remontée trop rapide (>17m/mn) ou qui ne respecte pas les paliers qui lui sont imposés par les tables. C'est le mécanisme de l'accident de décompression qui fera l'objet d'un cours spécifique.



Loi de Henry

C. Les 4 états (suite)



Loi de Henry

D. Les facteurs de dissolution

Les facteurs de dissolution	Equivalent en plongée	La dissolution augmente si :
Nature du gaz	Azote (l'oxygène étant consommé)	
Nature du liquide		
Pression du gaz	Profondeur	La profondeur augmente
Température	Normalement constante (37°)	La température diminue
Durée	Temps de plongée	Le temps de plongée augmente
Agitation	Travail physique au cours de la plongée	On fait des efforts lors de la plongée, le cœur battant plus vite, l'irrigation est plus grande

Loi de Henry

E. Application à la plongée

Application :

Vitesse de remontée.

Paliers.

Calcul des tables de plongée.

Conséquences :

Accidents de désaturation (voir cours sur les accidents de désaturation).

Acoustique



Acoustique

A. Justification

Contrairement à ce que l'on pense, l'eau n'est pas le monde du silence, on y entend très bien les sons :

- Les hélices de bateaux.
- Les pétards de rappel.
- Les chocs sur la bouteille.
- Les cris dans le détendeurs.
- Les chants des baleines.

Acoustique

B. Différence de milieu

En fait, les sons se propagent très bien dans l'eau et même mieux que dans l'air.

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

C'est pour cela qu'il est difficile de repérer la provenance d'un son sous l'eau car sa vitesse est tellement élevée qu'il arrive en même temps aux deux oreilles d'où rupture de la stéréophonie. Sur terre, c'est le léger décalage entre la perception de chaque oreille qui permet de situer sa provenance.

De plus, dans l'eau, la boîte crânienne transmet les sons à l'oreille, ce qui perturbe en plus le mécanisme de reconnaissance de la provenance d'un son.

Acoustique

C. Exemples chiffrés

Exercice n°1

Une explosion à lieu à 4950 m d'un bateau. Combien de temps les plongeurs au palier sous le navire l'entendront-ils avant le marin resté à bord ?

On applique la formule $Vitesse = Distance / Temps$

Temps plongeurs = $Distance / Vitesse = 4950 / 1500 = 3,3$ secondes

Temps marin = $Distance / Vitesse = 4950 / 330 = 15$ secondes

Delta = $15 - 3,3 = 11,7$ secondes

Acoustique

C. Exemples chiffrés (suite)

Exercice n°2

Un sondeur émet une onde sonore vers le fond et en reçoit l'écho un dixième de seconde après l'émission. A quelle distance se trouve le fond ?

On applique la formule $Vitesse = Distance / Temps$

$Distance = Vitesse \times Temps = 1500 \times 0,1 = 150 \text{ m}$

$150\text{m} = \text{distance onde} + \text{distance écho} \Rightarrow 150 / 2 = 75 \text{ m}$

Acoustique

D. Application à la plongée

Communication entre plongeurs (chocs sur la bouteille, cris dans l'embout).

Communication entre la surface et les plongeurs (chocs sur échelle métallique, pétards de rappel, accélération moteur).

Ecoute des bruits de moteurs avant de faire surface.

Sondeur.

Vision



Vision

A. Justification

Dans notre expérience de plongeur, on a remarqué plusieurs choses :

- _ On voit plus gros.
- _ Les objets sont rapprochés.
- _ Le champ de vision est rétréci.
- _ Les couleurs disparaissent, sauf si on éclaire avec une lampe.
- _ En eau trouble, la lampe est peu efficace.

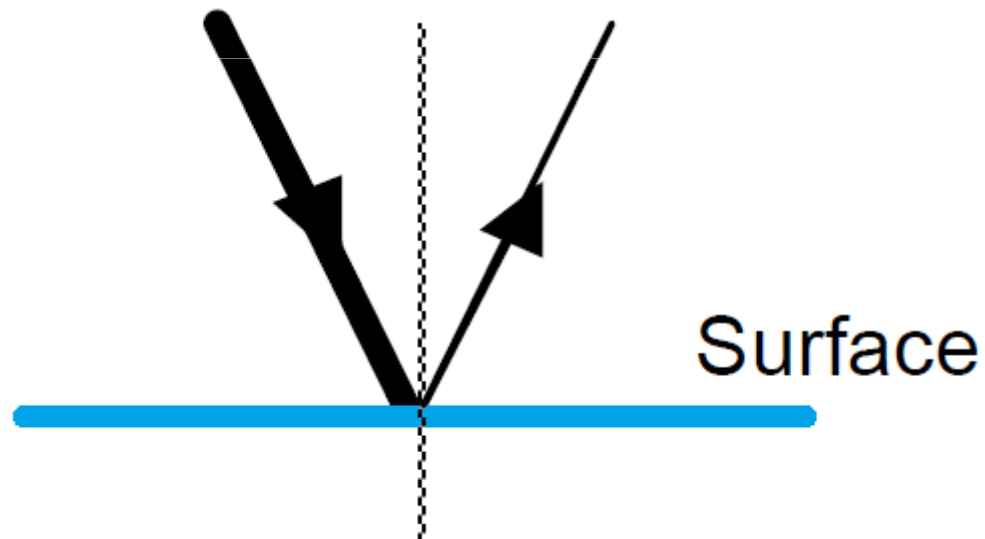
Nous allons voir pourquoi.

Vision

B. Les 4 effets

1/ La réflexion

Tout se passe comme si la surface de l'eau de l'eau agissait comme un miroir. Une partie des rayons est réfléchi.



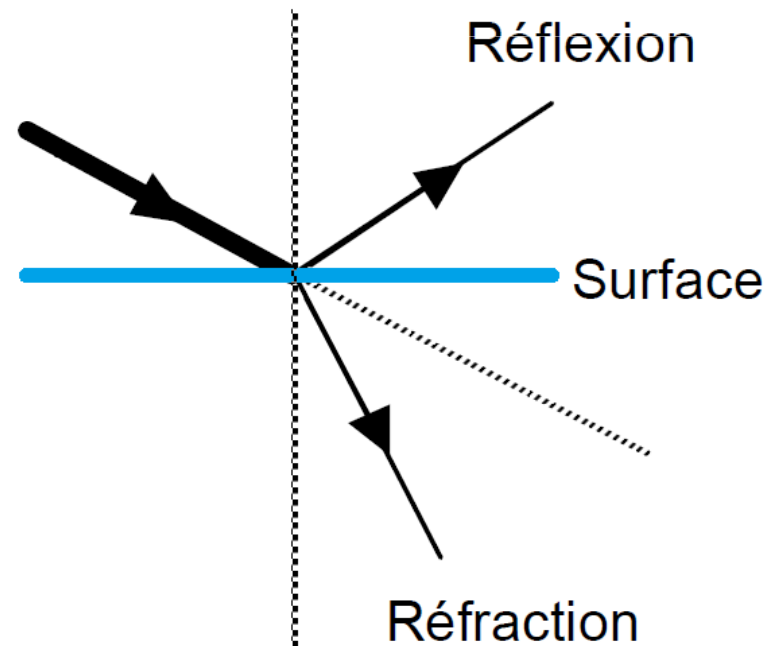
De plus, plus la lumière arrive rasante sur l'eau, moins elle y pénètre.

Vision

B. Les 4 effets (suite)

2/ La réfraction

En passant de l'air à l'eau, l'angle des rayons lumineux est modifié (expérience du bâton cassé), car l'indice de réfraction de l'air est de 1,00 et celui de l'eau de 1,33.



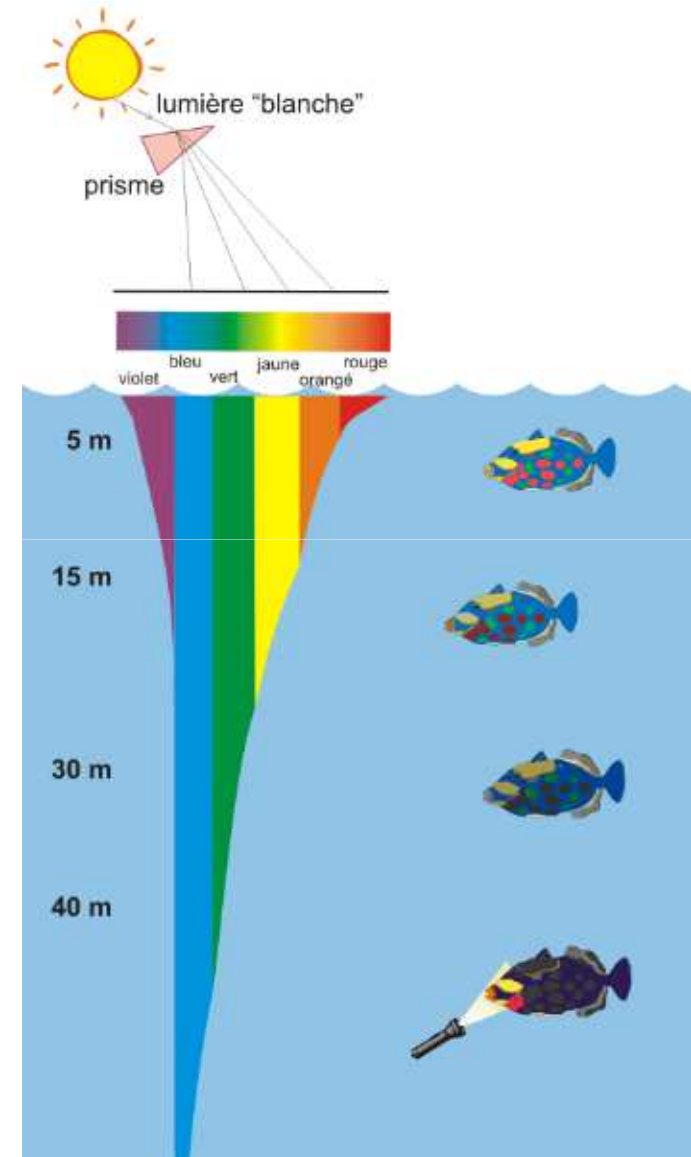
Vision

B. Les 4 effets (suite)

3/ L'absorption

L'eau absorbe l'intensité lumineuse et les couleurs.

Profondeur	Disparition des couleurs
Surface	
1m	Infrarouge
2m	Rouge modifié
5m	Rouge
10 à 15m	Orange
15 à 25m	Jaune
25 à 60m	Violet puis Bleu et vert
Vers 70m	Monochrome
400 à 500m	Noir total



Vision

B. Les 4 effets (suite)

4/ La diffusion

Elle est due à la réfraction et à la réflexion sur les particules en suspension (eaux troubles, plancton,...).

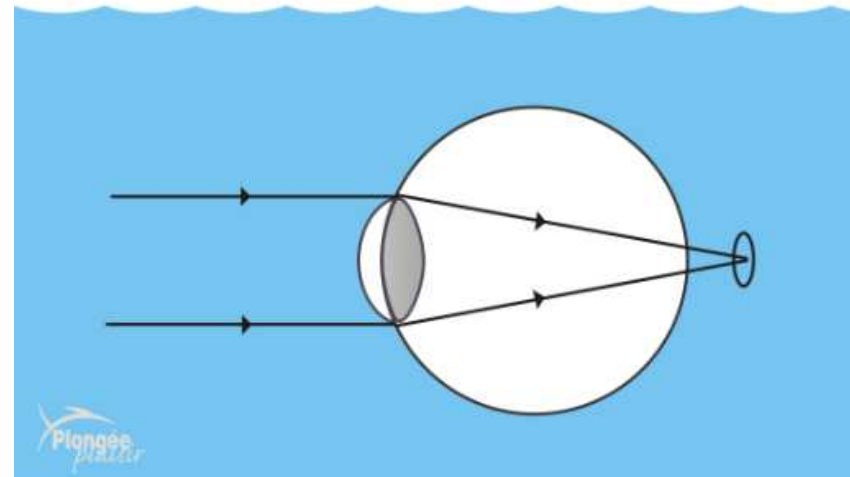
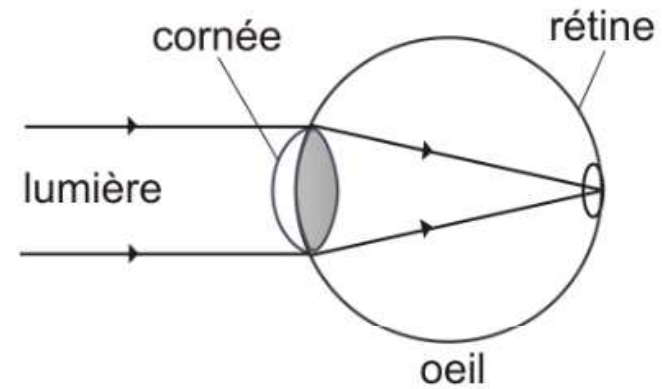
L'effet d'une lampe en eau trouble est le même qu'un phare dans le brouillard.

Vision

C. Application à la plongée

1/ Sans masque

La rétine est prévue pour recevoir des rayons lumineux véhiculés dans l'air. Comme le milieu est différent, l'image se forme en arrière de la rétine : l'image est floue (hypermétropie).



Vision

C. Application à la plongée (suite)

2/ Avec masque

Effet de grossissement et de rapprochement :

- le masque rapproche

$$\text{Distance apparente} = \text{Distance réelle} \times \frac{3}{4}$$

- le masque grossit :

$$\text{Taille vue} = \text{Taille réelle} \times \frac{4}{3}$$

Vision

C. Application à la plongée (suite)

2/ Avec masque (suite)

Rétrécissement du champ de vision d'environ 90% :

Le masque, dans l'air comme dans l'eau agit comme des œillères.

C'est pourquoi, dans l'eau, il faut prendre l'habitude de :

- Balayer pour regarder afin de voir un maximum de choses.
- Faire les signes bien en face des autres plongeurs.
- Faire des tours d'horizon (360°), au fond, à 3m comme en surface.

Vision

D. Exemples chiffrés

Exercice n°1

En plongée, un poisson se trouve à 4 m de nous et mesure 90 cm de long. A quelle distance et de quelle grosseur le voit-on ?

On applique la formule Distance apparente = Distance réelle $\times \frac{3}{4}$

Distance apparente = $4 \times \frac{3}{4} = 3$ m

On applique la formule Taille vue = Taille réelle $\times \frac{4}{3}$

Taille vue = $90 \times \frac{4}{3} = 1,20$ m

Vision

D. Exemples chiffrés (suite)

Exercice n°2

Vue de la surface avec un masque, l'ancre du bateau a l'air d'être à 15m de fond et d'être longue de 80 cm. A quelle distance réelle se trouve-t-elle de nous et quelle est sa vraie longueur ?

On applique la formule Distance apparente = Distance réelle $\times \frac{3}{4}$

Distance réelle = Distance apparente $\div \frac{3}{4} = 15 \div (\frac{3}{4}) = 20$ m

On applique la formule Taille vue = Taille réelle $\times \frac{4}{3}$

Taille réelle = Taille vu $\div (\frac{4}{3}) = 80 \div (\frac{4}{3}) = 60$ cm



Questions ?