

## Cours n° 2 : Notions de physique

### 4 Loi de Henry

#### 4.1 Introduction

A température donnée et constante, on met au contact un gaz sous pression et un liquide. On mesure périodiquement la quantité de gaz dissoute, dans le liquide. On constate que la quantité de gaz dissoute augmente jusqu'à une valeur limite qui reste constante.

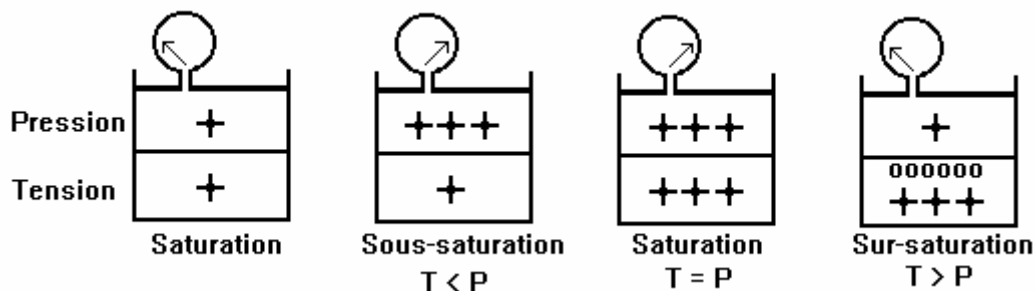
#### 4.2 La tension d'un gaz

Lorsqu'un gaz exerce une pression sur un liquide, ce dernier en dissout automatiquement une certaine quantité. Il faut alors admettre que le gaz dissout exerce lui aussi une certaine pression au sein du liquide et sur le gaz libre. Pour différencier la pression **P** exercée par le gaz libre de celle exercée par le gaz dissout, nous appellerons cette dernière la Tension **T** du gaz.

La tension T est la pression qu'exerce un gaz dissout au sein d'un liquide.

#### 4.3 Mise en évidence

Si on renouvelle l'expérience avec une pression de gaz triple de la valeur précédente, on mesure, lorsque l'équilibre est atteint à nouveau, une quantité dissoute triple de la précédente. Une fois ce second équilibre atteint, si on fait diminuer la pression du gaz au dessus du liquide pour retrouver la valeur de la première expérimentation, on constate que le gaz dissout retourne vers l'état gazeux, jusqu'à ce que la quantité restant à l'état dissout dans le liquide reprenne la valeur de la première expérience.



On appelle :

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 préalablement pour tendre vers une nouvelle valeur de saturation.

Remarque : lors de la diminution de pression qui conduit à une sursaturation du liquide, et à une restitution de l'excédent de gaz dissout, les molécules gazeuses se regroupent pour former des micro-bulles :

au voisinage de la surface de contact, si la vitesse de la baisse de pression est « faible » (**sur saturation**).

au sein même du liquide si la vitesse de baisse de pression est « rapide » (**sur saturation critique** → **A.D.D.**) dégazage anarchique (effet bouteille de champagne).

#### 4.4 Définition

**« A température donnée et à saturation, la quantité de gaz dissoute dans un liquide est proportionnelle à la pression du gaz au dessus du liquide. »**

Ce qui signifie que plus la pression qu'exerce un gaz au dessus d'un liquide est forte (plus la profondeur est grande), plus la quantité de gaz dissous par le liquide sera grande (plus il faudra faire de pallier pour permettre le retour à l'équilibre de façon contrôlée)

#### 4.5 Les compartiments

Le corps humain est constitué de 70% de liquide. Tous les liquides et tissus du corps humain ne réagissent pas de la même façon face à une saturation de gaz. Afin de faciliter les recherches nous avons regroupé dans un « Compartiment » un ensemble de tissus réagissant de la même façon vis à vis d'une saturation (temps de saturation/désaturation identique).

Il existe différents compartiments

Les compartiments courts (**à dissolution rapide**). Ils correspondent à des tissus comme le sang directement en contact avec les gaz respirés

Les compartiments moyens (**à dissolution moyenne**), comme les muscles.

Les compartiments longs (**à dissolution longue**), comme les os

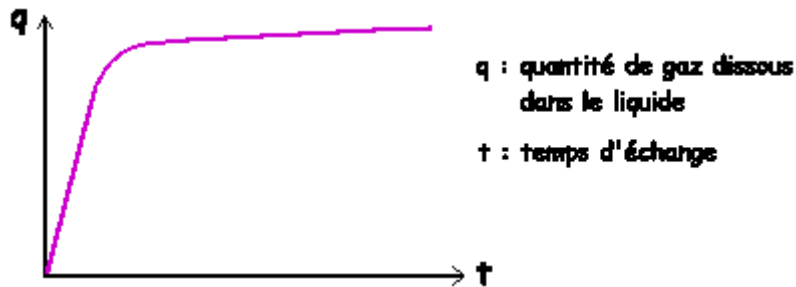
#### 4.6 Paramètres influençant le temps de transfert

Si une pression partielle augmente, alors la dissolution augmente

Si une tension relative augmente, alors la dissolution baisse

Si la surface de contact augmente, alors la dissolution augmente

Plus le temps est long, plus la dissolution augmente :



La nature du gaz par rapport au liquide a aussi une influence sur le temps de transfert

#### 4.7 Applications à la plongée

Calcul des tables, palier, accident de décompression (traitement hyperbare à l'oxygène).

La loi de Henry met en évidence tous les effets dus à la dissolution des gaz dans tous les liquides de l'organisme rencontrés en plongée.

La dissolution des gaz est liée à plusieurs facteurs dont nous retiendrons les principaux :

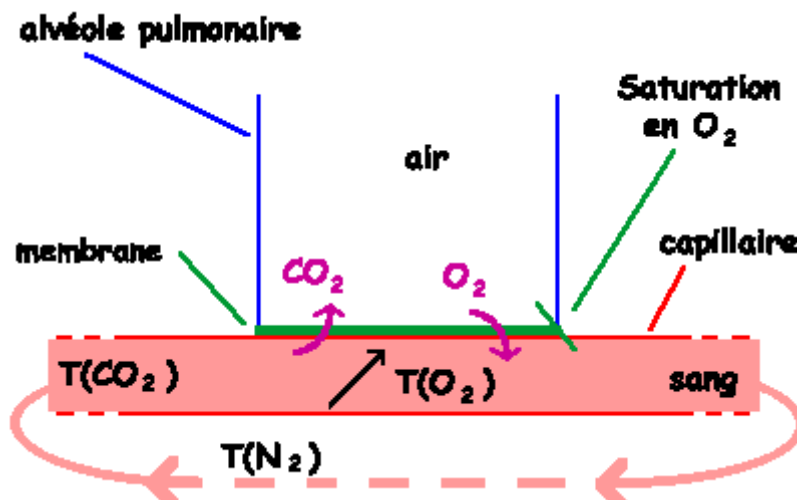
La durée d'exposition : c'est le temps de plongée

La pression exercée : C'est la profondeur de la plongée

La Nature du liquide : prise en compte dans les tables MN90

La phase critique se situe à la remontée.

#### OSMOSE



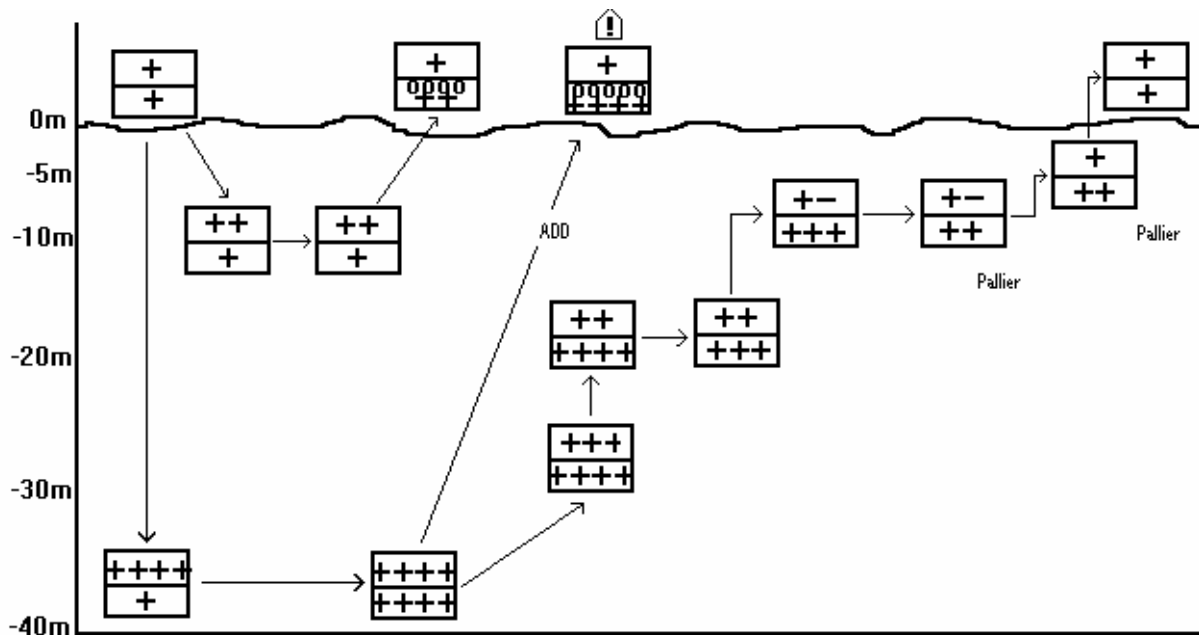
En plongée, il y a modification des pressions partielles.

A 40 mètres,  $P_{tot.} = 5 \text{ bars} = P_p(N_2) + P_p(O_2) = 4 + 1$

De l'azote va se dissoudre dans tous les tissus.

### Résumé

Le schéma ci dessous représente les différents états rencontrés lors de la saturation / désaturation de l'azote en cours de plongée



### Ce qu'il faut retenir

Notre corps est composé en majeure partie de liquide (environ 70%)

Ces liquides sont en contact avec les gaz de l'air, conséquence de la respiration.

Nous allons donc dissoudre ces gaz.

Nous sommes saturés par les gaz composant l'air à la pression atmosphérique (surtout l'azote  $N_2$ )

Au cours d'une plongée, la pression augmente, nous allons donc dissoudre ce gaz.

Lors de la remontée, la pression diminue nous allons donc éliminer ce gaz. Cette élimination devra se faire sous certaines conditions pour éviter tout accident.

C'est l'azote ( $N_2$ ) qui est dissout dans le corps à travers les alvéoles pulmonaires, puis véhiculé dans l'ensemble de l'organisme.

## 5 Loi de Dalton

### 5.1 Rappel sur la composition de l'air

L'air que nous respirons lors de nos plongées est de l'air naturel comprimé. Il est composé de différents gaz qui vont jouer un rôle plus ou moins important au cours de nos plongées.

L'air est donc composé des éléments suivants

Azote (N<sub>2</sub>) : 78.034%  
Oxygène (O<sub>2</sub>) : 20.946%  
Gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) : 0.033%  
Argon : 0.934%  
Gaz rares (Néon, crypton,...) : 0.053%

Pour la suite du cours nous prendrons comme valeur les approximations suivantes ;

Azote : 80%

Oxygène : 20%

### 5.2 Introduction

Un plongeur respire de l'air comprimé à une certaine pression. Cet air comme nous venons de le voir est composé de différents gaz qui à partir d'une certaine profondeur peuvent devenir toxiques.

Il est donc nécessaire de savoir calculer la pression de chacun de ces gaz

### 5.3 Mise en évidence

Prenons deux récipients clos de même volume. Dans chacun de ces récipients introduisons respectivement de l'oxygène et du gaz carbonique à une même pression.

A présent relierons ces récipients entre eux et observons ce qui se passe

La pression reste inchangée.

Au bout d'un certain temps, on ferme la liaison et on analyse leur contenu.

On constate qu'il y a dans chacun des récipients 50% de chacun des gaz.

En volume : Chaque gaz représente la moitié du volume total.

En pression : Chaque gaz représente la moitié de la pression totale.

A présent prenons un récipient contenant un litre d'air (soit 20% O<sub>2</sub>, 80% N<sub>2</sub>)

Analysons sont contenu à différentes pressions

A 1 bar

	Volume	Pression
PPO <sub>2</sub>	0.2 l	0.2b
PPN <sub>2</sub>	0.8 l	0.8b
Total	1 l	1 b

A 2 bar (10m)

	Volume	Pression
PPO <sub>2</sub>	0.2 l	0.4b
PPN <sub>2</sub>	0.8 l	1.6b
Total	1 l	2 b

A 3 bar (20m)

	Volume	Pression
PPO <sub>2</sub>	0.2 l	0.6b
PPN <sub>2</sub>	0.8 l	2.4b
Total	1 l	3 b

On remarque que la proportion de gaz est constante, soit (20%, 80%) et que la pression de chaque gaz est proportionnelle au volume de chacun des gaz dans le mélange.

Nous pouvons donc dire que la pression totale est égale à la somme des pressions partielles

## 5.4 Définition

La loi de Dalton :

« A température donnée, la pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qu'aurait chacun des gaz s'il occupait seul le volume ».

## 5.5 Formule

PP gaz (pression partielle) = Pabs (pression absolue) x % de gaz dans le mélange

Ainsi

PPO<sub>2</sub> = Pabs x 20/100

PPN<sub>2</sub> = Pabs x 80/100

### 5.6 Exemple

Composition de l'air à 40 mètres :

$$P_{\text{tot.}} = P_{\text{atm.}} + P_{\text{rel.}} = 1 + 4 = 5 \text{ bars.}$$

$$\text{On a donc : } P_p(\text{N}_2) = P_{\text{tot.}} \times \%(\text{N}_2) = 5 \times 0,8 = 4 \text{ bars.}$$

$$P_p(\text{O}_2) = P_{\text{tot.}} \times \%(\text{O}_2) = 5 \times 0,2 = 1 \text{ bar.}$$

### 5.7 Application à la plongée

En fonction de la profondeur, les différents gaz constituant l'air vont subir des variations de pression. Ces variations de pression vont se traduire par des variations de concentration de ces gaz dans nos tissus. A partir d'un certain seuil, certains de ces gaz deviennent toxiques pour l'organisme et aboutissent à des accidents Biochimiques et à l'accident de décompression.

Fort de ces constats, il a été instauré une limite conseillée (-60m) pour la plongée loisir à l'air.

## 6. Acoustique

L'eau est un très bon conducteur pour le son. Comme l'eau est plus dense que l'air, le son s'y déplace beaucoup plus vite (presque 4.5 fois plus vite)

Vitesse de déplacement du son dans l'air 330 m/s

Vitesse de déplacement du son dans l'eau 1500 m/s

### **Perception des sons dans l'eau**

*Sur terre, l'émission d'une source sonore est d'abord captée par une oreille puis par l'autre (en fonction de la provenance de ce bruit droite puis gauche ou gauche puis droite).*

Ce décalage de réception du bruit d'une oreille par rapport à l'autre, quoique très bref (de l'ordre de  $1/2000^{\circ}$  de seconde) est perçu au niveau de notre cerveau et nous permet d'en apprécier l'origine.

Dans l'eau on mesure ce décalage à environ  $1/10000^{\circ}$  de seconde. Ce temps trop court ne peut être perçu par le cerveau et nous sommes dans l'incapacité de déceler la provenance d'un son.

Dans l'eau nous entendons des sons, mais nous sommes incapables d'en localiser la provenance, Nous sommes incapables d'en apprécier la distance.

### **Application en plongée**

Dans le monde du silence ou nous entraîne la plongée sous marine, tous les sons doivent attirer notre attention. Ils peuvent avoir une signification importante.

#### Communication

En règle générale les bruits émis au fond sont en rapport étroit avec la sécurité. Ceux ci peuvent provenir d'un autre plongeur qui désire attirer l'attention, soit sur lui soit, sur un « truc » à voir. Le plus souvent il utilisera un couteau qu'il frappera sur sa bouteille ou bien un « shaker ».

#### Rappel

Les pétards de rappel signalent l'interruption d'une plongée et la remontée immédiate du groupe (dans le respect des règles de sécurité élémentaires).

Un moyen de rappel doit figurer dans le matériel de tout bateau de plongée.

#### Danger

Certaines embarcations, malheureusement, ne respectent pas les pavillons de plongée. C'est au bruit de leur moteur que l'on peut les repérer et les éviter.

## 7. Optique

Tout plongeur a constaté qu'en ouvrant les yeux sous l'eau, il avait une vision floue mais qu'en se servant d'un masque, il rétablissait la netteté de sa vision.  
Les couleurs ainsi que la taille des objets sont aussi soumis à des altérations de perception.

### 7.1 Rappel

Vitesse de la lumière :  
300 000 km/s dans l'air  
225 000 km/s dans l'eau

La vision dans l'eau dépend  
De la quantité de lumière qui franchit la surface (nuages, hauteur du soleil)  
De la profondeur  
De la transparence de l'eau

### 7.2 Les 4 effets

#### La réflexion (effet miroir)

Si un rayon lumineux arrive sur la surface de l'eau avec un angle d'incidence (i) vis à vis de la verticale à  $48.5^\circ$ , ce rayon est totalement réfléchi et ne traverse pas l'eau.

#### La diffusion

Dans l'eau, les particules en suspension diffusent la lumière, c'est à dire qu'elle les renvoie dans toutes les directions. Si ces particules sont très nombreuses, la visibilité devient très faible et un éclairage artificiel est inefficace, exactement comme un phare allumé dans un brouillard dense.

#### L'absorption

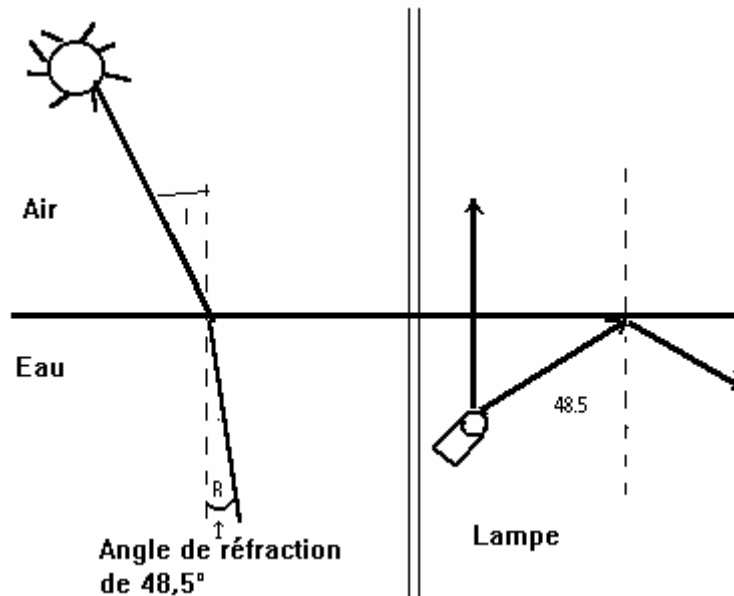
La lumière blanche est la superposition de sept couleurs  
Violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange et rouge  
Mais l'eau absorbe ces couleurs de façon différente en fonction de la profondeur

#### Intensité lumineuse:

0 mètre	1 mètre	10 mètres	20 mètres	40 mètres
100 %	40 %	14 %	7 %	1,5 %

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

La réfraction ( changement de direction)



*Application à la plongée*

Une vision floue. Avec le masque, il existe 3 inconvénients :

Le grossissement (\* 4/3 )

Mauvaise appréciation des distances ( + proche de 3/4 )

Réduction du champ visuel

*Formules*

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

$$\text{Taille apparente} = \text{Taille réelle} \times 4/3$$