



LOI DE HENRY.

1. Dissolution des gaz dans les liquides.

Lorsqu'un gaz est mis en contact avec un liquide, différents phénomènes vont intervenir.

A l'état initial, la molécule de gaz est entièrement sous sa forme gazeuse. Elle s'insère dans le liquide et se crée un espace qui lui est propre.

C'est le phénomène de diffusion, qui a lieu essentiellement à la surface du liquide et est quasiment immédiat.

Dans un deuxième temps, les molécules dissoutes envahissent petit à petit l'entière du liquide. Il s'établit entre les molécules de gaz et le solvant des interactions chimiques dont la conséquence est de stabiliser le gaz dans le liquide.

C'est le phénomène de dissolution du gaz dans le liquide. Ce phénomène est d'autant plus rapide que la surface de contact est grande, que le gaz est soluble, que le solvant est actif.

Exemples de *solvants* - les graisses.
- le sang et les muscles.
- l'eau.

Au bout d'un certain temps, s'établit un **état d'équilibre** entre le gaz et le liquide : le liquide contient le maximum de gaz qu'il lui est possible de dissoudre dans les conditions de température et de pression considérées. C'est la **saturation**. Un certain nombre de molécules de gaz continuent à pénétrer dans le liquide mais le même nombre de molécules de gaz dissoutes reprennent leur forme gazeuse et s'échappent du liquide.

Toute modification des conditions extérieures va mettre le liquide et le gaz dans un état de déséquilibre. Cet état est instable et va entraîner des phénomènes qui dirigeront l'ensemble vers un nouvel état d'équilibre, vers une nouvelle saturation.

En plongée les phénomènes suivants vont se produire:

1°. A la descente, c'est la phase de compression, la pression du gaz à la surface du liquide augmente, le gaz va se dissoudre dans le solvant (eau, sang,...) et se glisser **dans les lacunes (interstices)**. On est en état de **SOUS-SATURATION**.

Les processus mis en oeuvre pour revenir à l'équilibre sont la diffusion et la dissolution.

CLAS – 3* - Seraing.

2°. Sur le fond, on tend vers l'équilibre: la **SATURATION**. Cependant, tous les tissus n'atteindront pas cet état de saturation, bien loin de là, car cela demande un temps beaucoup trop long.

3°. A la remontée, la pression du gaz à la surface des liquides se met à diminuer instantanément. Mais, certains tissus restent en sous-saturation et par conséquent continuent à saturer pendant une partie de la remontée. D'autres tissus, notamment ceux qui avaient atteint la saturation, se trouvent en état de **SUR-SATURATION**: les molécules de gaz s'échappent progressivement du liquide. Le processus mis en oeuvre pour revenir à l'équilibre s'appelle élimination ou désaturation.

4°. A la fin de la remontée et particulièrement à la surface tous les tissus sont en **SUR-SATURATION**.

Si la diminution de pression extérieure est trop rapide, la structure de l'édifice sera **mécaniquement** détruite. Les molécules de gaz seront libérées sous forme de noyaux gazeux.

2. Loi de Henry.

Enoncé: - A température donnée, la quantité de gaz dissous à saturation dans un solvant liquide est **proportionnelle** à la pression du gaz au-dessus de ce solvant.

a) Cette quantité dépend:

1. pour un même gaz de la quantité de solvant.
2. pour un même solvant de la quantité de gaz.

b) La dissolution est fonction de la température: la quantité de gaz dissous diminue avec l'augmentation de la température.

ex.: les poissons qui crèvent en été par manque de O₂ dissous dans l'eau !

Si c'est un mélange de gaz qui est en contact avec un liquide, la quantité de gaz dissous sera **proportionnelle** pour chaque élément à **sa pression partielle**.

Il n'y a aucune interaction d'un gaz sur l'autre augmentant ou diminuant sa dissolution (voir la loi de Dalton).

Remarque: En ce qui concerne la température: on a cru bien longtemps qu'un abaissement de la température constituait un facteur favorisant l'accident de décompression à cause d'une plus importante dissolution d'N₂ dans les tissus. Cette explication est très controversée par le fait que les échanges gazeux se font au niveau des poumons dont la température est constante.

Il n'en reste pas moins vrai qu'une plongée en eau froide provoque une vasoconstriction des vaisseaux périphériques susceptible de favoriser l'apparition d'un ADD.

3. Notion de tension.

Soit un liquide dégazé soumis à un gaz pur à une certaine pression.

Le gaz va se dissoudre dans le liquide jusqu'à saturation. A ce moment, il y aura autant de gaz entrant dans le liquide que de gaz sortant (on est en équilibre).

On dira alors que le gaz dissous exerce sur le gaz libre une pression égale à la pression du gaz au-dessus du liquide.

La pression exercée par le gaz dissous s'appellera **tension de gaz dissous**.

CLAS – 3* - Seraing.

A **saturation**, la tension du gaz dissous est égale à la pression du gaz considéré à la surface du liquide.

$$\text{TENSION} = \text{PRESSION}$$

S'il s'agit d'un mélange gazeux, la pression du gaz est bien évidemment sa pression partielle.

Exemple : si nous n'avons pas plongé depuis quelques jours, quelle est la tension d'azote dans les différents tissus de notre corps ?

Remarque importante:

La tension du gaz dans le liquide ne variera pas immédiatement si le liquide est soumis à une pression différente (supérieure ou inférieure). En effet, **la quantité de gaz dissous met un certain temps à se modifier**. Il en est donc de même de la tension alors qu'une modification de pression extérieure peut se faire quasi-instantanément.

Exemple : Lors d'une plongée unitaire, quelle est la tension approximative d'azote dans nos différents tissus lorsqu'on arrive à -40m si l'on estime que la descente s'est faite en quelques secondes et peut donc être négligée ?

4. Les trois états.

a) La sous-saturation: Partant d'un état d'équilibre, si on augmente la pression du gaz libre, la quantité de gaz disponible va augmenter et le liquide va recommencer à dissoudre pour tendre vers un nouvel état de saturation.

Il y a, dans ce cas, déséquilibre entre la pression du gaz libre et la tension du gaz dissous.

$$\text{TENSION} < \text{PRESSION}$$

b) La saturation

La saturation d'un liquide par un gaz est un état d'équilibre atteint lorsque la **QUANTITE de gaz dissous est le maximum** que ce liquide peut dissoudre à la température et la pression considérées, celles-ci étant constantes.

Il y a équilibre entre pression du gaz libre et tension du gaz dissous.

$$\text{TENSION} = \text{PRESSION}$$

Remarques

- La saturation n'est pas atteinte **immédiatement**.
- La courbe représentant l'évolution de la tension de gaz dissous avec le temps est de forme exponentielle.

CLAS – 3* - Seraing.

c) La sursaturation: partant toujours du même état d'équilibre, si on diminue la pression du gaz libre, la quantité de gaz dissous va devenir excédentaire par rapport à la quantité de gaz libre. Le liquide va éliminer cet excédent pour tendre vers un nouvel état de saturation. Il y a un déséquilibre inverse entre la pression du gaz libre et la tension du gaz dissous.

$$\text{TENSION} > \text{PRESSION.}$$

La sursaturation est un état d'équilibre instable.

5. Compartiment, tissu et période.

Le corps est constitué d'un ensemble de tissus qui ne se saturent pas en azote de la même façon. Pour différencier les tissus du corps humain avec les « tissus mathématiques » entrant dans le calcul des tables, on utilisera le terme « **compartiment** ».

Un compartiment est donc un module censé représenter les caractéristiques communes d'un ensemble de tissus ou de portions de tissus humains en ce qui concerne les mécanismes de saturation et désaturation.

La période d'un compartiment est le temps nécessaire pour que ce compartiment parcoure la moitié du chemin qui le sépare de la saturation. La période est mesurée en minutes.

Pendant la première période, le compartiment va dissoudre la moitié de la quantité maximale de gaz qu'il est capable de dissoudre, dans les conditions de température et de pression considérées, compte tenu de la quantité de gaz dissoute à l'état initial.

Il ne faut surtout pas conclure qu'en doublant la période le liquide atteindra 100% de saturation.

En effet, au cours de la période suivante, le chemin allant vers la saturation sera à nouveau parcouru à moitié et ainsi de suite.

Après :	% de saturation :
1 période	50%
2 périodes	50% + 25% = 75%
3 périodes	75% + 12,5% = 87,5%
4 périodes	87,5% + 6,25% = 93,75%
5 périodes	93,75% + 3,12% = 96,87%
6 périodes	96,87% + 1,56% = 98,43%

Il faut donc considérer, en théorie pure, qu'un compartiment ne sera jamais complètement saturé.

En pratique, on admet qu'un compartiment doit être considéré comme saturé ou désaturé après 6 périodes.

Remarques:

1) Pour un tissu, la vitesse de saturation reste toujours la même et est indépendante de la profondeur (pression), mais la quantité de gaz dissous, elle, est proportionnelle à la pression.

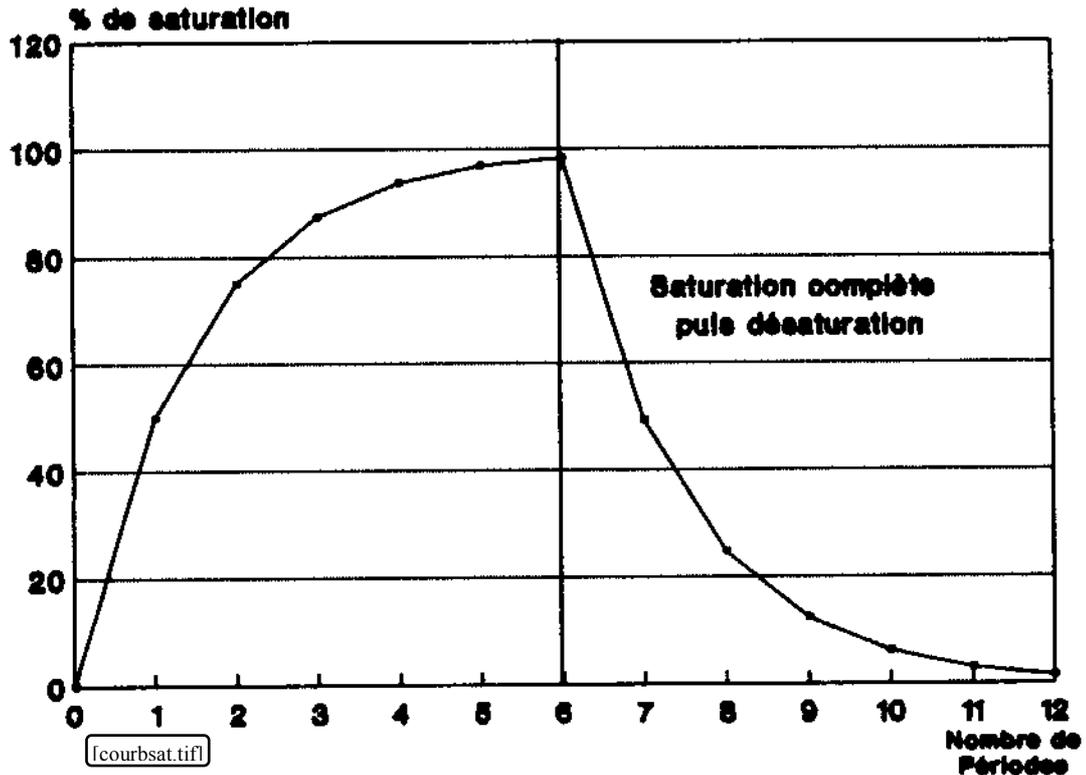
2) Compte tenu des lois de Boyle et Mariotte et Henry, on peut dire que le volume de gaz dissous dans un liquide, à saturation, est indépendant de la pression du gaz au-dessus du liquide.

CLAS – 3* - Seraing.

On a établi des courbes de dissolution et d'élimination d'un gaz dans un liquide, ces courbes représentant la situation décrite plus haut.

Il est à noter que le processus d'élimination d'un gaz est identique au processus de dissolution. On peut donc considérer qu'un tissu est complètement désaturé après 6 périodes (et cela même s'il n'avait pas atteint la saturation complète pour la profondeur déterminée).

Courbe de Saturation - Désaturation.



6.1 Calcul de la tension d'un compartiment.

Définissons d'abord ce qu'est un **gradient de pression**: on appelle gradient, la différence entre la pression partielle d'un gaz respiré et la tension de ce gaz dans un compartiment donné (c'est le chemin à parcourir pour arriver à saturation complète).

Prenons un exemple de calcul: pour une plongée à 40m, quelle sera la tension d' N_2 dans le compartiment 10 min après 20 min de plongée?

1^{ère} période : soit après 10 min

P absolue à 40m = 5 b

PpN₂ en surface = 0,8 b = tension initiale

PpN₂ à 40m = 0,8 x 5 = 4 b

Chemin à parcourir (ou gradient) : 4 – 0,8 = 3,2 b

Après 10 min, le compartiment sera à 50 % de saturation (1 période), autrement dit il aura parcouru la moitié du chemin soit 1,6 b

La tension finale sera donc : 0,8 + 1,6 = 2,4 b

CLAS – 3* - Seraing.

8. Sursaturation critique.

C'est un état de sursaturation (qui peut bien entendu s'exprimer par un coefficient) présentant un danger de formation de bulles pathogènes ou circulantes.

L'organisme peut tolérer un certain écart entre la pression partielle d'azote et la tension d'azote. Toutefois, à une profondeur déterminée, la tension d'azote ne devra jamais dépasser la valeur maximale admissible pour le tissu concerné (valeur donnée anciennement par les M de Workman).

L'idée originale a été de définir, pour chaque compartiment, cette valeur maximale admissible en fonction de la profondeur.

Si le maximum admissible est dépassé, le tissu est dit en état de sursaturation critique, il en résulte la formation de bulles pathogènes qui peuvent créer un accident de décompression.

« **M** » de **Workman** (d'après Fructus et Sciarli 1980).

Toutes les tensions sont exprimées en dm d'eau de mer (d.e.m.).

10m d'eau de mer correspond à 1 bar

1 dm d'eau de mer = 0.01 bar

Donc une valeur de 270 dans le tableau correspond à 2.7 bars.

Comp.	5'	10'	20'	40'	80'	120'	160'	200'	240'
Prof.									
0 m	270	240	205	172	156	152	148	144	140
3 m	330	290	250	212	191	185	179	174	170
6 m	390	340	295	252	226	218	210	204	200
9 m	450	390	340	292	261	251	241	234	230
12 m	510	440	385	332	296	284	272	264	260
15 m	570	490	430	372	331	317	303	294	290
18 m	630	540	475	412	366	350	334	324	320
21 m	690	590	520	452	401	383	365	354	350
....etc.									
Progr.	60	50	45	40	35	33	31	30	30

Le but des tables de plongée et des ordinateurs est donc d'éviter qu'aucun compartiment ne se trouve au-dessus de ces valeurs pour une profondeur déterminée.

Le début d'une remontée est souvent conditionné par le compartiment le plus rapide, ensuite les compartiments plus lents prennent progressivement le relais.

Le compartiment entrant en ligne de compte à un moment précis de la remontée s'appelle compartiment directeur. C'est celui qui oblige à s'arrêter à un palier.

Reprenons notre plongée de 20 min à 40m.

Le compartiment de 10' présente une tension d'azote de 3.2 bars.

Ceci est acceptable à -6m mais non acceptable à -3m. Donc, un palier serait nécessaire à -6m pour lui permettre de revenir à une tension inférieure à 2.9 bars et pouvoir atteindre ainsi -3m.

Bien sûr ce calcul doit être fait à tout moment pour chaque compartiment... De plus il faut tenir compte de la désaturation qui se fait pendant la remontée à 10m/min d'où la complexité du calcul des tables.