

Eléments de calculs de tables

Objectif : Etre capable de comprendre comment les tables ont été créent et comment elles ont évoluées jusqu'aux premiers ordinateurs

Justification : En tant que futurs GP N4, il faut savoir conseiller sur les différents modèles de décompression et le choix d'un ordinateur.

Plan :

- I. Rappels
- II. Historique en quelques dates
- III. Vocabulaire
- IV. Application
 - A) Les hypothèses d'Haldane
 - B) Jusqu'aux MN90 = un modèle Haldanien
- V. Autres exemples de modèles de déco
- VI. Conclusion

Séance précédente : essoufflement et accidents biochimique

Séance prochaine : les ordi

I. Rappels

Cours Physique

Loi de Henry sur la dissolution des Gaz, 1803 : « Lorsqu'un gaz, à une température et sous une pression données, est en équilibre avec un liquide dans lequel il est soluble (sans réaction chimique mutuelle), la masse de gaz dissoute dans un volume donnée de liquide est proportionnelle à la pression. »

Tables N2/N3

II. Historique en quelques dates

Milieu XIXe siècle : **vague de construction de grands ouvrages** (ponts, forage de puits...) avec de nouvelles techniques où les ouvriers sont soumis à des pressions supérieurs à notre atmosphère. (Milieu hyperbare à sec). Les ouvriers ressortaient avec des maux divers : « **le mal des caissons** ».

1861 : **Bucquoy** met en évidence « les effets fâcheux » de la désaturation par la création de bulles, du fait de « l'air » préalablement dissout.

1878 : **Paul Bert** édite un ouvrage « la pression barométrique » où il met en évidence le **rôle spécifique de l'azote** (et non de l'air comme Bucquoy) et donc la nécessité d'une procédure de « décompression suffisamment ralentie ».

1906-1908 : La marine anglaise confie à **John Haldane**, « la mise au point de règles de sécurité assurant le retour sans incident à la pression atmosphérique ». **1ere table de remontée par paliers en 1908.**

1948 : GRS (Groupe de recherches sous-marine) : tables basés sur l'US Navy

1965 : GERS 65 (Groupe d'études et de recherches sous-marine) : ré actualisation des GRS de 1948

1990 : Marine Nationale (MN 90 nouvelle table jusqu'à 65 m qui prend en compte 12 tissus ou compartiments)

III. Vocabulaire

Modèle mathématique : il décrit un phénomène complexe en le simplifiant à partir de quelques paramètres clefs ; qu'il faut ensuite expérimenter.

Exemple avec la plongée : la phase de désaturation est marquée de phénomènes complexes (physiques, physiologiques...), qui ont été simplifiés afin de proposer un modèle de désaturation en sécurité (ex : tables ou ordi)

Tension : Quantité de gaz dissous dans le corps (ou les compartiments cf. ci-dessous). Nous parlons ici de TN2 pour la tension d'Azote.

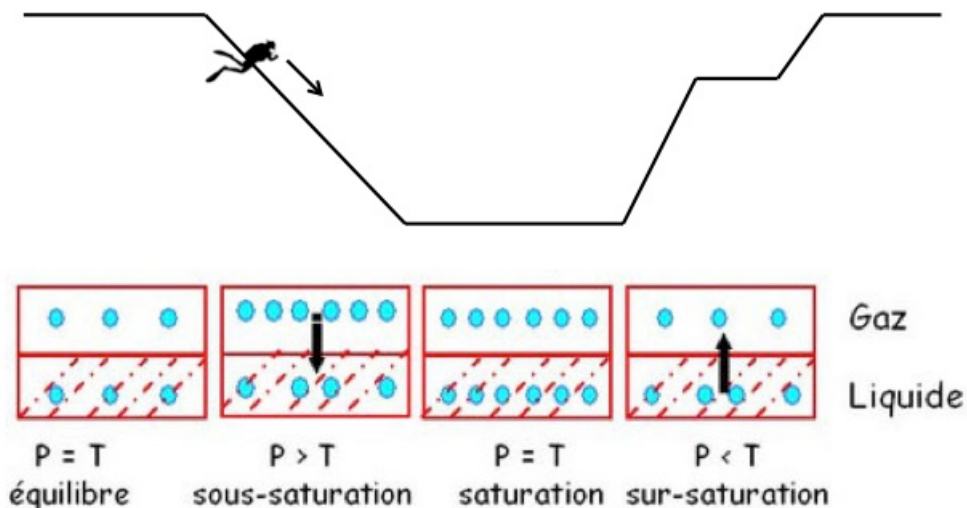
Tension Initial : Quantité de gaz dissous au départ de la plongée

Tension Finale : Quantité max pouvant être dissous dans chaque compartiment à quasi 100%

Saturation, Sur-saturation, Sous-saturation : schéma

4 étapes en plongée :

- A la surface la Pression et la Tension d'Azote sont en **équilibre**.
- A la descente la Pression augmente et la Tension est moins importante = **sous-saturation**.
- Pendant la plongée la Tension augmente (dissolution de N2) pour s'équilibrer à la Pression = **saturation (et équilibre)**
- A la remontée la Pression diminue et la Tension reste à son taux précédent = **Sur saturation**.



Sur-Saturation critique : instant limite avant l'évacuation des gaz dissous, préalablement, de manière anarchique est non pas par la respiration.

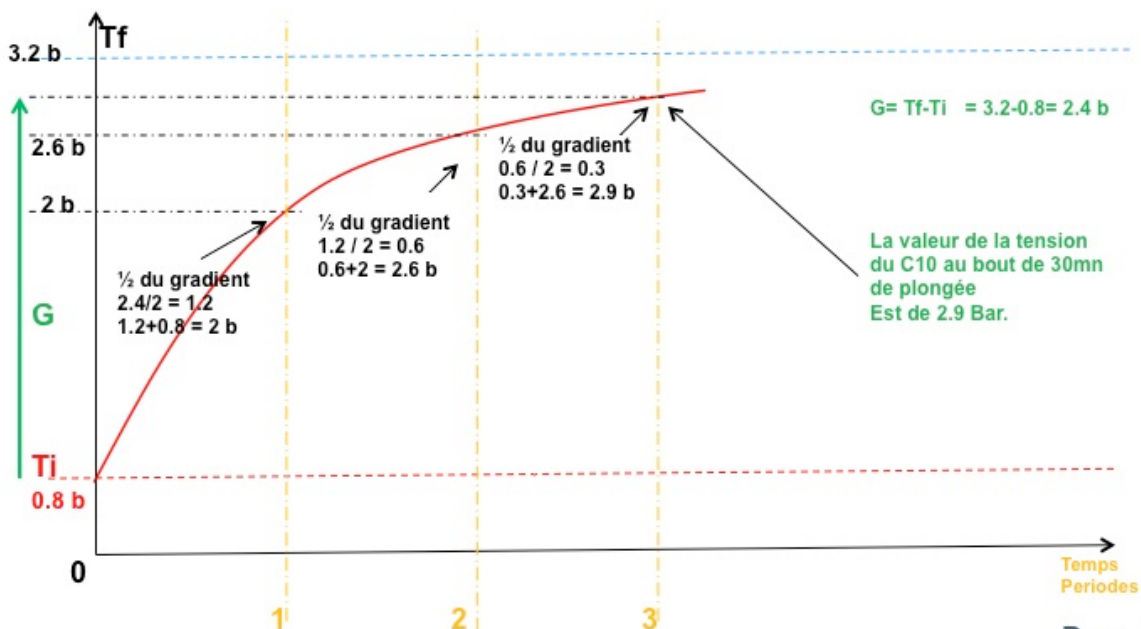
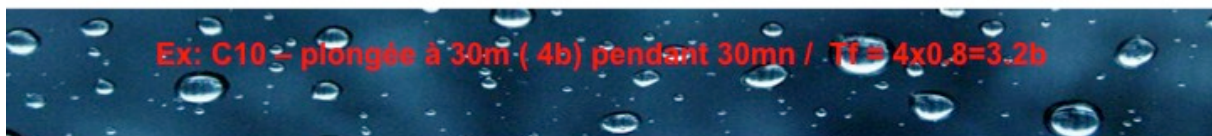
Compartiments : pour créer un modèle, les tissus humains sont divisés en différentes régions anatomiques en fonction de leur vitesse de saturation et de désaturation.

Gradient : le gradient de pression est la différence entre la Tension finale et la Tension Initiale.

$$G = T_f - T_i$$

Période : Temps nécessaire pour qu'un compartiment absorbe la moitié du gradient de pression. Au bout de 6 périodes on arrive à quasiment à 100% de saturation.

Schéma de la courbe exponentielle de saturation (50%, 75% etc...)



Page 15

© Laurent Moreau !!!!

Seuil de Sur-saturation critique (Sc) : Rapport entre la Tension d'Azote dissous dans les compartiments et la Pression absolue qui ne doit pas dépasser un seuil de sursaturation critique.

$$P_{abs} = TN_2 / Sc$$

Tant que le rapport est **inférieur à 1** (cad 1bar de pression atmosphérique) il n'y a **pas de risque pour rejoindre la surface**. S'il est **supérieur à 1**, un **palier** est nécessaire.

Compartiment Directeur : Si plusieurs compartiments ont un rapport supérieur à 1, on doit se baser sur celui dont la valeur est la plus élevée : c'est le compartiment directeur.

IV. Application

A) Les hypothèses d'Haldane : (Cf en détails Plongée Loisirs N4)

Haldane émet 4 hypothèses :

HYP 1 : l'équilibre des pressions au niveau alvéolaire (poumons/sang) est instantanée

HYP 2 : Idem au niveau des tissus (sang/tissus)

HYP 3 : le corps humain est divisé en compartiments

HYP 4 : chaque compartiment a un comportement homogène

Son modèle est dit « modèle par perfusion », c'est à dire que la diffusion du gaz dans un tissu est supposée instantanée. C'est comme s'il ne se passait rien entre le gaz (ici l'azote) et les liquides qui vont dissoudre le gaz. (cf. : échanges gazeux). C'est un modèle qui s'appuie essentiellement sur les phénomènes physiques plutôt que physiologiques.

B) Jusqu'au MN90 = un modèle Haldanien

Le modèle d'Haldane présentait des limites qui ont été corrigées. Par exemple :

- Haldane n'avait prévu qu'une table pour **plongées simples** (aujourd'hui les MN90 permettent les plongées successives.)
- La **vitesse de remontée** choisie était de 10m/min (les MN90 sont à 20m/min, et la FFESSM préconise 15 à 17m/min (6m/min entre le dernier palier et la surface) et propose une procédure en cas de remontée rapide)
- Il ne considérait que 5 **compartiments**, (les MN90 en considère 12. (Schéma des compartiments 5, 10, 20 minutes...)) et qu'ils étaient sans interaction entre eux.
- Haldane n'avait prévu qu'un seul **Seuil de sursaturation critique** = 2 (Les Mn90 ont divisés le corps en 12 compartiments et ont déterminé un seuil pour chacun qui varie de 1,54 à 2,72.

Compartiments	Périodes	Sc
C5	5 minutes	2,72
C7	7 minutes	2,54
C10	10 minutes	2,38
C15	15 minutes	2,20
C20	20 minutes	2,04
C30	30 minutes	1,82
C40	40 minutes	1,68
C50	50 minutes	1,61
C60	60 minutes	1,58
C80	80 minutes	1,56
C100	100 minutes	1,55
C120	120 minutes	1,54

- Haldane considère que la profondeur n'a pas d'incidence sur le Sc.
- Il ne considère que le gaz dissous et tant que le Sc n'est pas dépassé il n'y a pas de bulles.

V. Autres exemples de modèles de déco

- Modèles Haldanien : (par perfusion)

En **1965**, **Workmann** s'intéresse aux **plongées plus longues et profondes**, et conclut que le Sc dépend du compartiment mais aussi de la profondeur.

Il détermine donc une série de Sc dépendant du compartiment mais aussi de la profondeur qu'il nomme les **M-Value** ou valeurs maximales. En fait il s'agit de la **Tension Maximale d'Azote tolérée par chaque compartiment et à chaque profondeur**.

En **1983**, **Bulhman** poursuit les travaux de Workmann pour les adapter à la plongée en **altitude**. Il prend donc en compte la pression absolue (eau + atm) avec la composition de l'air alvéolaire au lieu de l'air atm seul.

Les **MT92** (ministère du travail) édité en 1992, ont, en fait, été développés par la Comex (Compagnie Maritime d'Expertise) pour répondre aux besoins **des travailleurs Hyperbares**.

- Modèles « di-phasiques » :

Haldane ne considérait que le gaz, et tant que le Sc n'était pas dépassé, il supposé qu'il n'y avait pas de bulles. Cette hypothèse est fausse et donc des modèles ont été développés dans le but de **prendre en compte l'azote dissous ainsi que les noyaux gazeux** (des bulles microscopiques ou micro-bulles) qui seraient les prémices d'une formation des bulles plus importantes lors de la désaturation. **Une remontée lente et des paliers profonds permettraient de les réduire**.

C'est ce qui a été développé dans le **modèle RGBM** (Reduced Gradient Bubble Model) développé par la physicien Bruce Wienke, qu'on retrouve notamment chez Suunto et Mares.

VI. Conclusion

Ouverture vers le prochain cours :

- Quelques ordi et différents modèles commerciaux

Noms des modèles commerciaux :

BEUCHAT Bühlmann ZHL-16C 12 compartiments Périodes : 2,5 à 480 min	CRESSI Bühlmann ZL-L12 12 compartiments Périodes : 5 à 640 min	MARES Mares-Wienke RGBM // //	SUUNTO Suunto RGBM 9 compartiments Périodes : 2,5 à 480 min	UWATEC Bühlmann ZH-L8 ADT 8 compartiments Périodes : 5 à 640mn
--	--	---	---	--

realisation actuelle	modèle	particularité
SUUNTO	haldanien : spencer / 9compartiments / périodes asymétrique	limitation des facteurs de risques avec un " conservatisme RGBM
MARES	Algorithme non public	limitation des facteurs de risques avec un " conservatisme RGBM
UWATEC	haldanien : Bulhmann à 8 compartiments	ADT : adaptatif en fonction des paramètres de risque
tables MN90	haldanien	12 compartiments, seuil = ratio tension/Pamb
océanic	Spencer à 12 compartiments	plongée altitude

© Laurent Moreau !!!!