

Formation théorique Niveau IV



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108



Formation théorique Niveau IV / Sommaire

Aujourd'hui ..

- Réglementation
- Physique appliquée à la plongée
- Système nerveux et plongée
- Les accidents toxiques en plongée
- Système circulatoire et plongée
- Système respiratoire et plongée
- Sphère ORL et plongée
- **Eléments de calcul de tables**
- Utilisation des tables de plongées
- Procédures particulières de décompression
- Ordinateur de plongée et planification
- Matériel de plongée – le détendeur
- Matériel de plongée – compresseur - bouteille
- Matériel de navigation, de sécurité et matelotage
- Orienter et conduire sa palanquée en sécurité
- Etre un guide de la mer connaissant le milieu





Formation théorique Niveau IV

Un peu d'histoire



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108





Formation théorique Niveau IV

L'incidence de la pression quant à l'apparition de certaines lésions a été constatée assez tôt dans l'histoire.

Au XVII^e siècle, VON GUERICKE inventa une pompe à dépression qui modifiait la pression atmosphérique (pompe à vide).

Cette expérience fût reprise par Robert BOYLE en 1670 qui enferma dans le récipient une vipère et qui la décomprima à l'aide de sa pompe : il observa alors « qu'elle se débattait furieusement ; et présentait de remarquables bulles dans les liquides et diverses parties du corps, telle que l'humeur aqueuse de l'un de ses yeux... ».

Mais BOYLE fut loin de relier ces accidents aux gaz inertes contenus dans l'air, et surtout à l'azote.



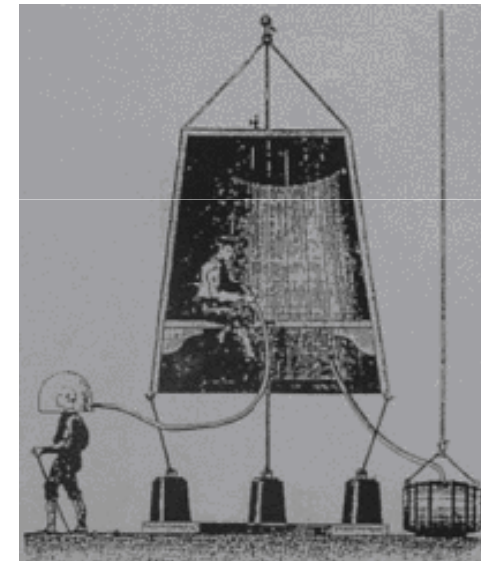


Formation théorique Niveau IV

La première tentative sous-marine remarquable de l'époque fut conduite par Edmond HALLEY, astronome anglais (qui donna son nom à une fameuse comète) et qui inventa en 1689 la première cloche.

Les seules observations faites à partir de ses expériences le furent sur certains facteurs qui influençaient la décompression :

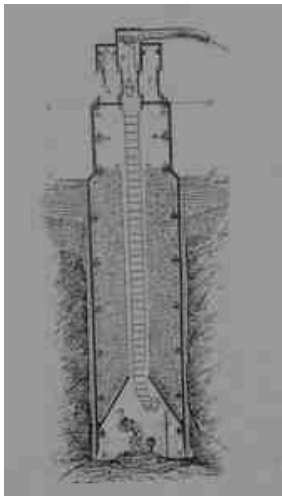
- la composition des gaz inspirés (CO_2 et O_2) ;
- la modification cardio-vasculaire due à la température (eau froide) et aux efforts inspiratoires générés par la pression hydrostatique ;
- la stature des plongeurs ;
- la forme physique.



Formation théorique Niveau IV

Au dix-neuvième siècle l'essor de l'industrie, des chantiers navals, des constructions de ponts, des mines de charbon en terrain humide, nécessitent que des hommes travaillent sous des pressions supérieures à la pression atmosphérique.

Qu'ils soient immergés (les fameux « pieds lourds » immortalisés par Jules VERNE ou par HERGE) ou à sec (les ouvriers « tubistes »), les accidents sont fréquents.



Les premières descriptions d'accidents de décompression chez l'homme furent faites par TRIGER en 1841.

Il observait des mineurs de charbon qui travaillaient en atmosphère pressurisée afin d'éviter des risques d'inondations – travail au sec à 20 m de fond pendant 7 heures.



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108





Formation théorique Niveau IV

TRIGER remarque qu'en décompressant les mineurs, ils présentent des crampes et des douleurs dans les muscles.

*« Leurs symptômes furent traités vigoureusement par de l'alcool à l'intérieur de leur corps ...
et en friction à l'extérieur ! »*

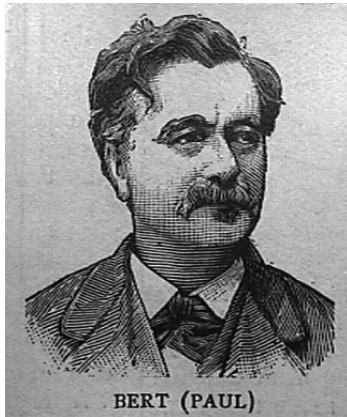
Dès 1854 POL et WATELLE étudièrent de façon plus suivie les accidents de décompression (ADD) et notèrent que le phénomène était associé à une baisse rapide de pression après un séjour en surpression.

Ils s'aperçurent aussi qu'un retour en pression supérieure après un ADD permettait de soulager certains symptômes. Ils ouvraient ainsi la voie des futurs caissons thérapeutiques.

En 1861, BUCQUOY émet les premières hypothèses sur les bulles : *« les gaz du sang...repassent à l'état libre sous l'influence de la décompression »* et conseille de *« prendre toutes les précautions nécessaires pour obtenir une décompression lente... »*



Formation théorique Niveau IV



Paul BERT (*), après avoir effectué de 1870 à 1890 de nombreuses expériences sur des animaux qu'il autopsiait après leur décès, démontre dans sa publication en 1879 « la pression barométrique », que les bulles qui tuent sont composées « **essentiellement d'azote.** »

Il remarque alors que : « la décompression brusque occasionne des accidents multiples plus ou moins graves, qui s'expliquent tous aisément par le dégagement, tant dans les liquides sanguins qu'au sein des tissus, de l'azote qui s'y était dissous en excès, à la faveur de la pression ».

Il préconise donc pour les ouvriers tubistes des temps de décompression en fonction de la pression de travail.

Il conseil : « *de ne les laisser descendre qu'une fois par jour dans les tubes* » ; quant aux scaphandriers, il conseille de : « *les décompresser très lentement et de les maintenir un « bon » quart d'heure à moitié chemin* »

et lorsqu'ils reviennent d'une plongée de : « *leur faire respirer de l'oxygène... aussitôt après leur retour à l'air libre* » et conclut ainsi : « *on ne paie qu'en sortant !* »...





Formation théorique Niveau IV

Le concept de Haldane

(physiologiste 1860-1936)

Afin de mener à bien les expériences, il fallut trouver une espèce animale proche de l'homme pour expérimenter les effets de la décompression. Le choix de HALDANE se porta sur la chèvre parce que c'était un animal facile à se procurer en Grande-Bretagne, et que sa physiologie était parfaitement connue.

En particulier, son rapport masse grasse/masse maigre et son taux de perfusion (débit cardiaque/masse corporelle) sont voisins de ceux de l'homme. Une étude préalable avait montré que cet animal était capable de présenter des ADD ayant la même expression que chez l'homme, et en particulier les Bends.

« Le primate fut éliminé du fait de son attitude « peu calme » face à la douleur... »

La démarche de HALDANE et de ses collaborateurs (BOYCOTT et al., 1908) a été de rechercher la relation entre une pression P1, à laquelle séjourne un animal pendant un temps prolongé, et la pression P2 à laquelle il faut décompresser rapidement pour qu'il développe un ADD



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108



Formation théorique Niveau IV



Ils résultera des observations d'Haldane une formule et plusieurs hypothèses :

$$TN2 = To + (Tf - To) (1 - 0,5 \Delta ET/T)$$

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

Hypothèse 2 : l'équilibre des pressions au niveau tissulaire (sang/tissus) est instantané

Hypothèse 3: le corps humain peut être représenté par une liste de 5 régions anatomiques appelées compartiments (5,10,20,40,75mn)

Hypothèse 4: chaque compartiment à un comportement homogène
Vis-à-vis de la charge/décharge de gaz inerte





Formation théorique Niveau IV

Sur la base de ses travaux, Haldane ne prévoit qu'une table pour plongées simples supposant que :

- La vitesse de remontée est fixée empiriquement à 10m/mn
- il n'existe que 5 compartiments parallèles sans interaction entre eux (modèle par perfusion)
- Il n'existe qu'un seuil de sursaturation critique ($Sc = 2$)
- les Sc sont indépendants de la profondeur
- la phase d'élimination de l'azote est strictement identique à la phase d'absorption
- la composition de l'air est celle de l'air atmosphérique au niveau de la mer et non de l'air alvéolaire
(voir cour sur le système respiratoire).

Le résultat de ces travaux est, évidemment trop complexe pour pouvoir être utilisé tel quel.

Aussi les paramètres clefs, permettant d'approcher au mieux le phénomène, sont regroupés et simplifiés pour former un « modèle mathématique » utilisable simplement et appelé « Modèle ».

les travaux de Haldane ont donnés naissance au « **Modèle Haldanien** »





Formation théorique Niveau IV

Il existe de nombreux modèles de décompression :

- Modèle HEMPLEMAN en 1952
- Modèle de SPENCER en 1970
- Modèle DCIEM (Canada 1983)
- Modèle Yarborough (UsNavy 1937)
- Modèle Buhlmann
- Modèle Sigmoidal (1992)
- Modèles probabilistes
- etc.

Ces modèles sont en permanence affinés sur la base des expériences et de l'observation.

Le **Modèle Haldanien** à subit depuis son origine de nombreuses améliorations.

Il est, aujourd'hui, le modèle utilisé par les tables de plongées MN90 - FFESSM





Formation théorique Niveau IV

Dissolution des gaz et éléments de calcul de tables



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108





Formation théorique Niveau IV

Dissolution des gaz

La **Loi de Henry**, formulée en 1803 par William Henry, énonce :

« Lorsqu'un gaz, à une température et sous une pression donnée, est en équilibre avec un liquide dans lequel il est soluble (sans réaction chimique mutuelle), la masse de gaz dissoute dans un volume donné de ce liquide est proportionnelle à la pression »



Si , par exemple, l'on est en un point où la pression est le double de la pression atmosphérique (c'est le cas dans l'eau à 10 m de profondeur), chaque gaz de l'air pourra se dissoudre 2 fois mieux qu'en surface.

en plongée, l'azote de l'air (que le plongeur stocke puisque les cellules ne consomment que l'oxygène) a tendance à se dissoudre dans le sang du plongeur.

Si celui-ci remonte trop vite, l'azote dissous va avoir tendance à se dilater rapidement dans l'organisme, ce qui peut créer des bulles dans les vaisseaux sanguins et entraîner la mort par embolie gazeuse.

La Loi de Henry a servi de base à Haldane pour la construction de son modèle, bien que la physique ne puisse traduire précisément le fonctionnement du corps humain.





Formation théorique Niveau IV

Les tables MN90

Sur la base du modèle Haldanien les tables de plongée de la marine nationale (MN90) considèrent que :

- Le corps est représenté par une liste de 12 (*et non pas 5*) régions anatomiques factices appelée compartiments,
- la quantité maximum que ces compartiments peuvent dissoudre correspond au **Gradient** (*) de la pression partielle d'azote entre le fond et la surface,
- La **période**, ou temps nécessaire pour que le compartiment absorbe la moitié de gradient de pression, est caractéristique du compartiment donné,
- **L'absorption et l'élimination de l'azote sont exponentielle**. On considère que le taux d'absorption (**Ts**) est de 100% au bout de 6 périodes.
- Au cours de la remontée **le rapport entre la tension d'azote d'un compartiment et la pression absolue** ne doit pas dépasser un certain seuil (**Sc**) appelé **Seuil de sursaturation Critique**



(*) Gradient = la différence





Formation théorique Niveau IV

Quelques explications



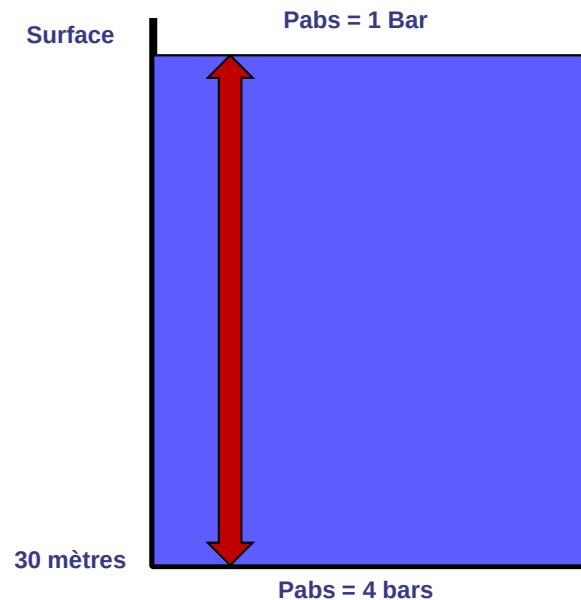
Patrick Baptiste
MF1 n° 22108



Le gradient de pression

Le gradient de pression correspond à la **différence** entre la pression fond et la pression surface.

On obtient le **gradient de pression absolu** en soustrayant la pression absolue surface $P_{abs}(surface)$ de la pression absolue fond $P_{abs}(fond)$.



Gradient de pression

$$4 \text{ bars} - 1 \text{ bar} =$$

3 bars

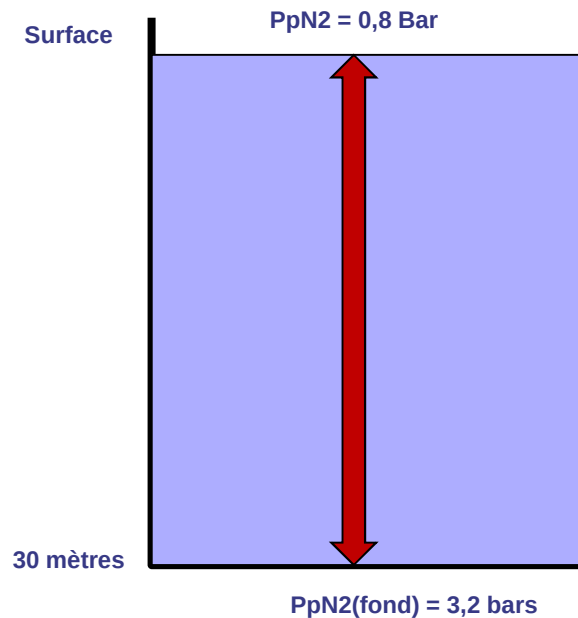


Le gradient de pression d'azote

En surface l'air contient 80% d'azote pour une pression partielle de 0,8 bar

A 30 mètres la pression partielle d'azote P_{pN2} est de 3,2 bars ($4 \text{ bars} \times 0,8 \text{ bar}$)

Le gradient de pression sera donc de 2,4 bars ($3,2 \text{ bars} - 0,8 \text{ bar}$)



Gradient de pression

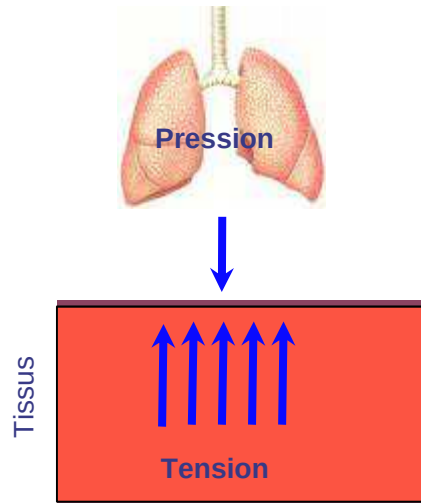
$$3,2 \text{ bars} - 0,8 \text{ bar} =$$

2,4 bars



Tension ou pression d'azote ?

Le terme « **pression partielle d'azote** (P_{pN_2}) » désigne la quantité d'azote présent à l'état gazeux dans les poumons ou dans l'air, par exemple.



Alors que le terme « **tension d'azote** (T_{N_2}) » désigne la **quantité d'azote dissoute** dans les tissus à un instant « T ».





Formation théorique Niveau IV

La notion de saturation



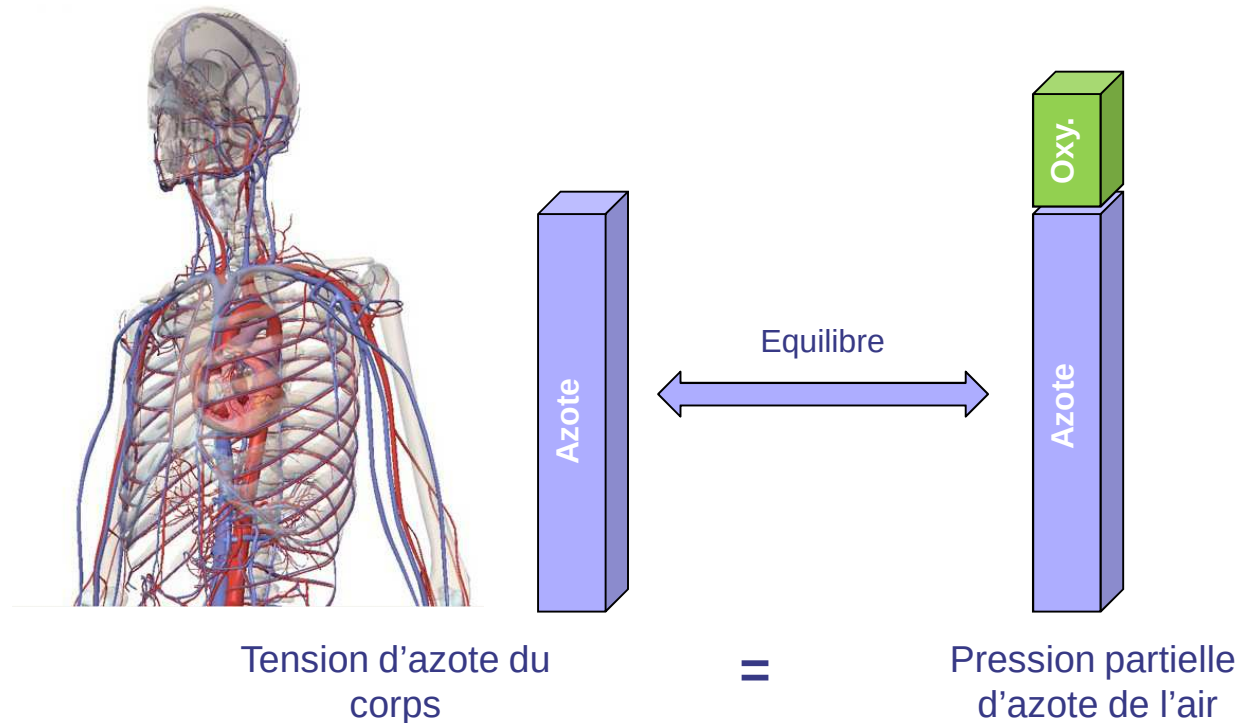
Patrick Baptiste
MF1 n° 22108



Formation théorique Niveau IV

La saturation

En surface et à l'air libre, la tension d'azote (TN₂) des tissus du corps humain est égale à la pression partielle d'azote (PpN₂) présent dans l'air (0,8b)



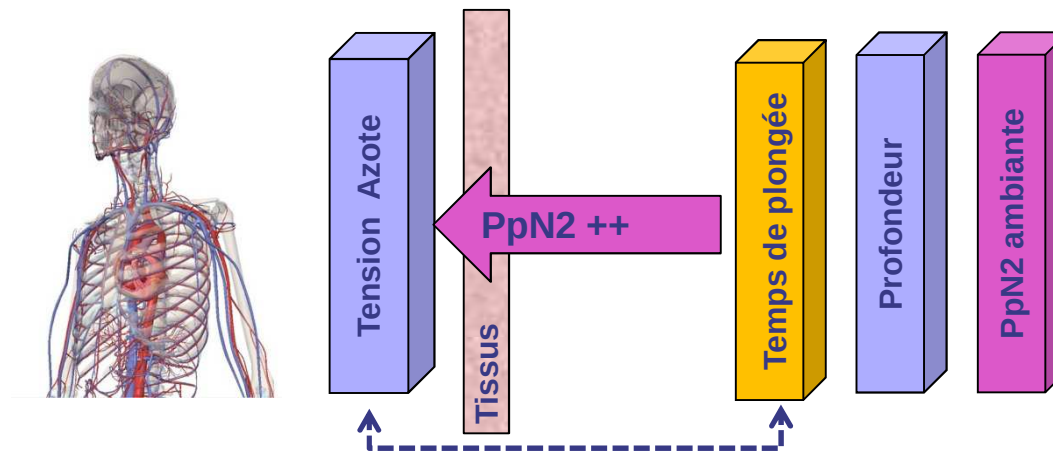
Il y a équilibre, on dit que **les tissus sont saturés**.



Formation théorique Niveau IV

La saturation en plongée

Pendant la plongée, et en fonction du temps de plongée et de la profondeur, le corps se charge progressivement en azote



A une même profondeur, la TN2 augmente avec le temps de plongée

Si la TN2 devient égale à la PpN2 ambiante,
il y a équilibre Pression / Tension et saturation totale des tissus.

A partir de cet instant la décompression ne changera plus quelque soit le temps d'exposition





Formation théorique Niveau IV

La sursaturation



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108



Formation théorique Niveau IV

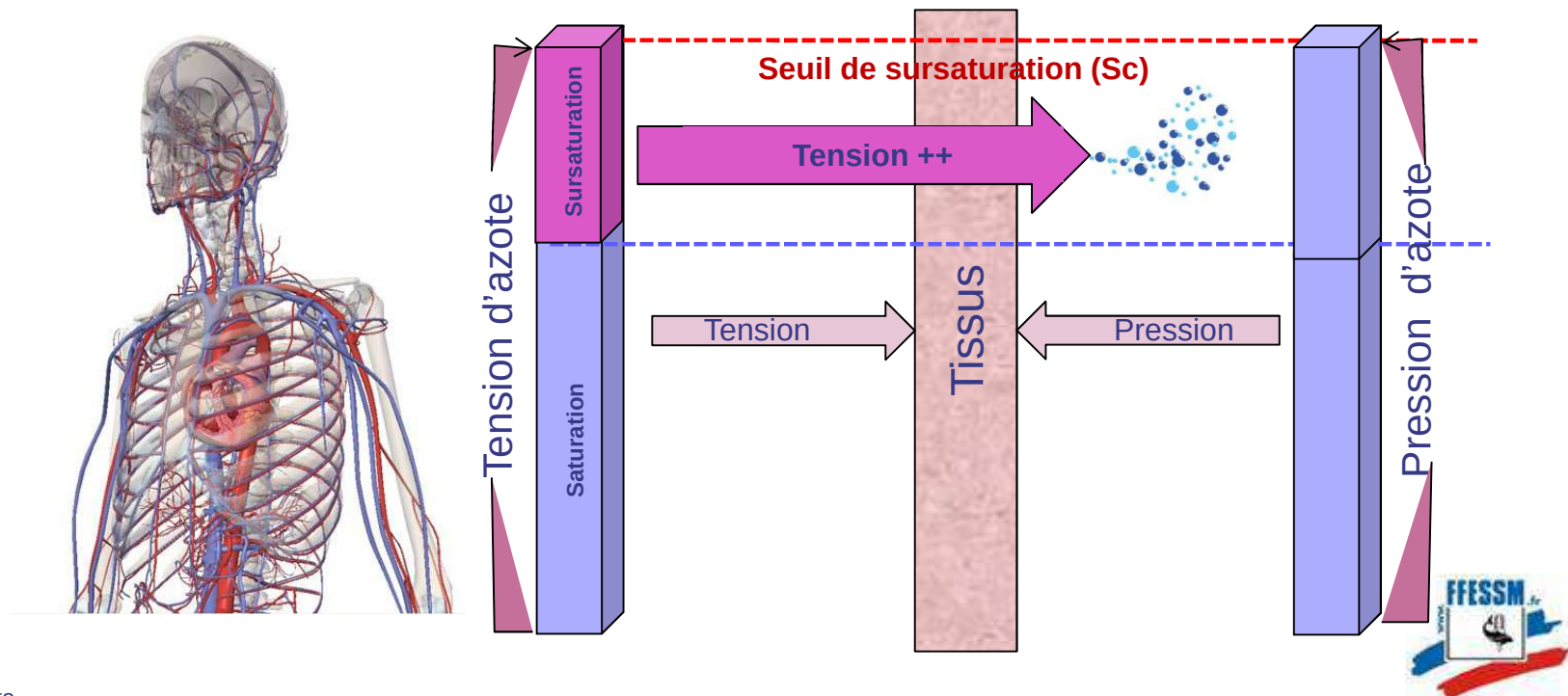
La sursaturation

Pendant la remontée La PpN2 ambiante diminue progressivement. La TN2 devient supérieure à la PpN2.

On dit dans ce cas qu'il y a « Sursaturation ». Le corps commence à évacuer l'excès de N2

Tant que la différence reste inférieure à un seuil de tolérance appelé seuil de sursaturation critique (Sc)

Le plongeur peut faire surface sans danger





Formation théorique Niveau IV

La sursaturation critique



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108

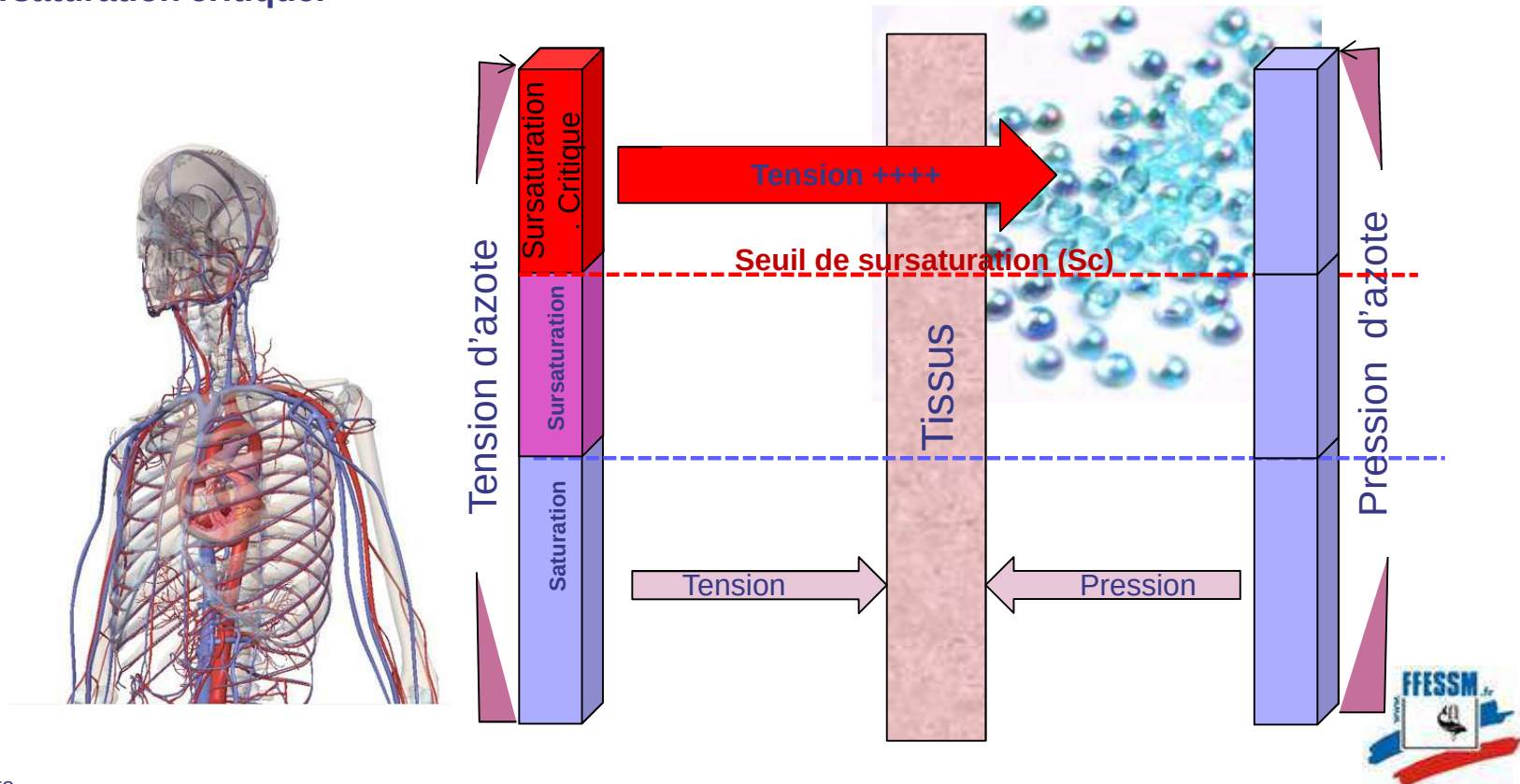


Formation théorique Niveau IV

La sursaturation critique

Si l'immersion a été particulièrement longue et/ou profonde le corps aura stocké dans les tissus, une quantité d'azote importante.

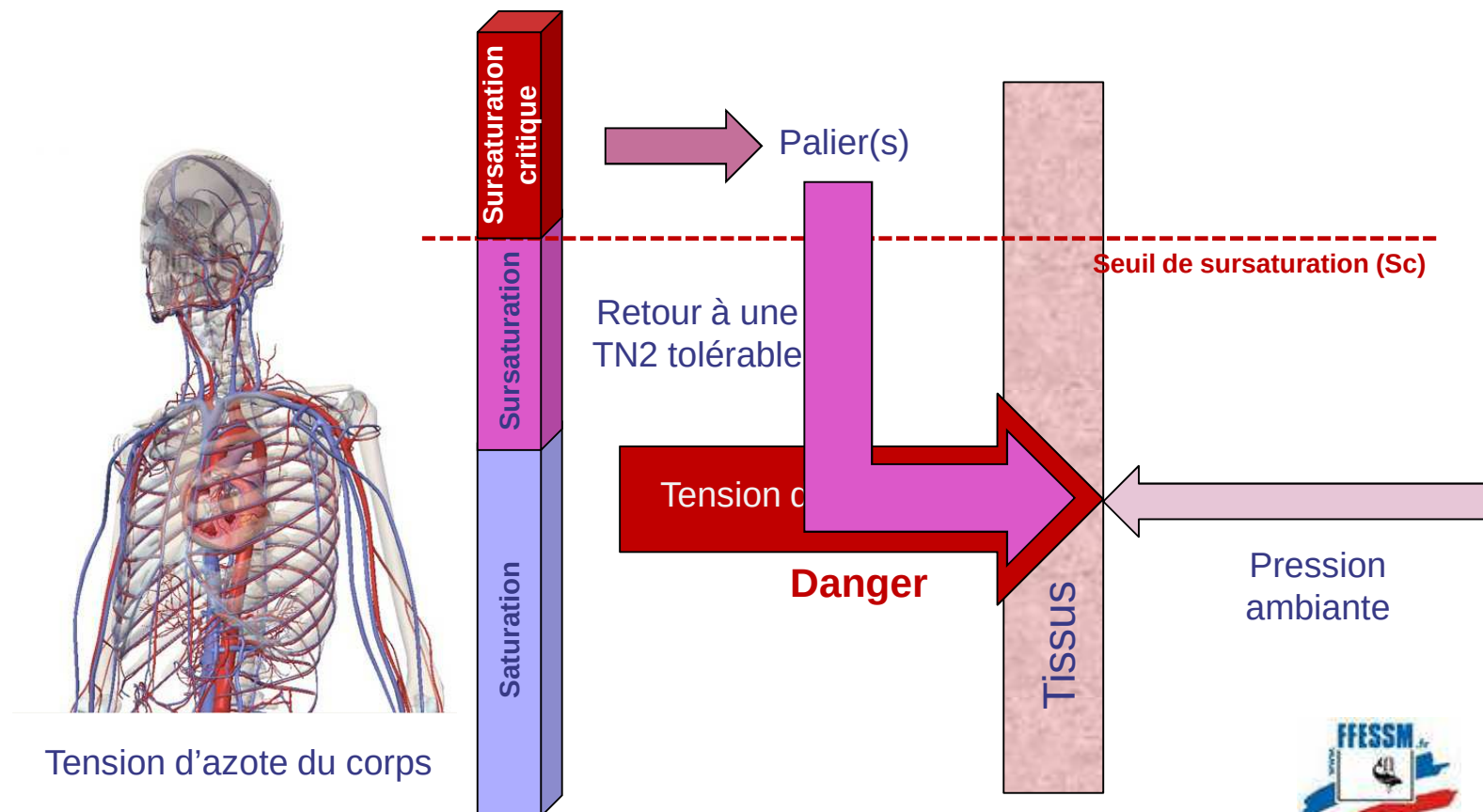
A la remontée, Il y aura **danger** si le rapport entre la TN2 et la PpN2 dépasse le seuil de sursaturation critique.



Formation théorique Niveau IV

La sursaturation critique

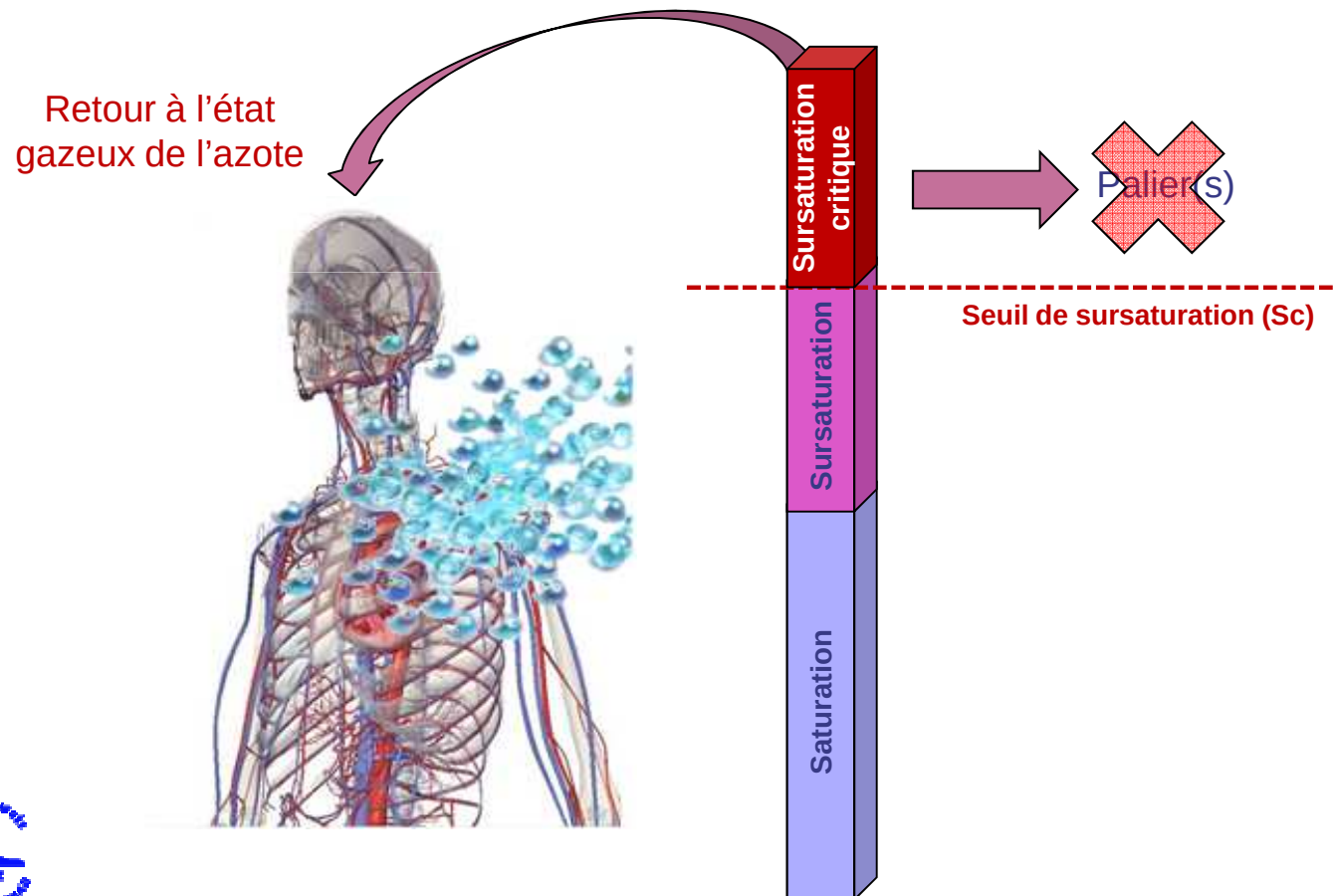
Le plongeur doit réaliser un ou plusieurs palier(s) pour évacuer l'excès d'azote et faire ainsi redescendre la Tension d'azote



Formation théorique Niveau IV

La sursaturation critique

Si le ou les paliers n'ont pas été respectés, les tissus vont commencer à dé-saturer empiriquement dans le corps ce qui provoquera par réactions un ADD



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108





Formation théorique Niveau IV

La dé-saturation



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108

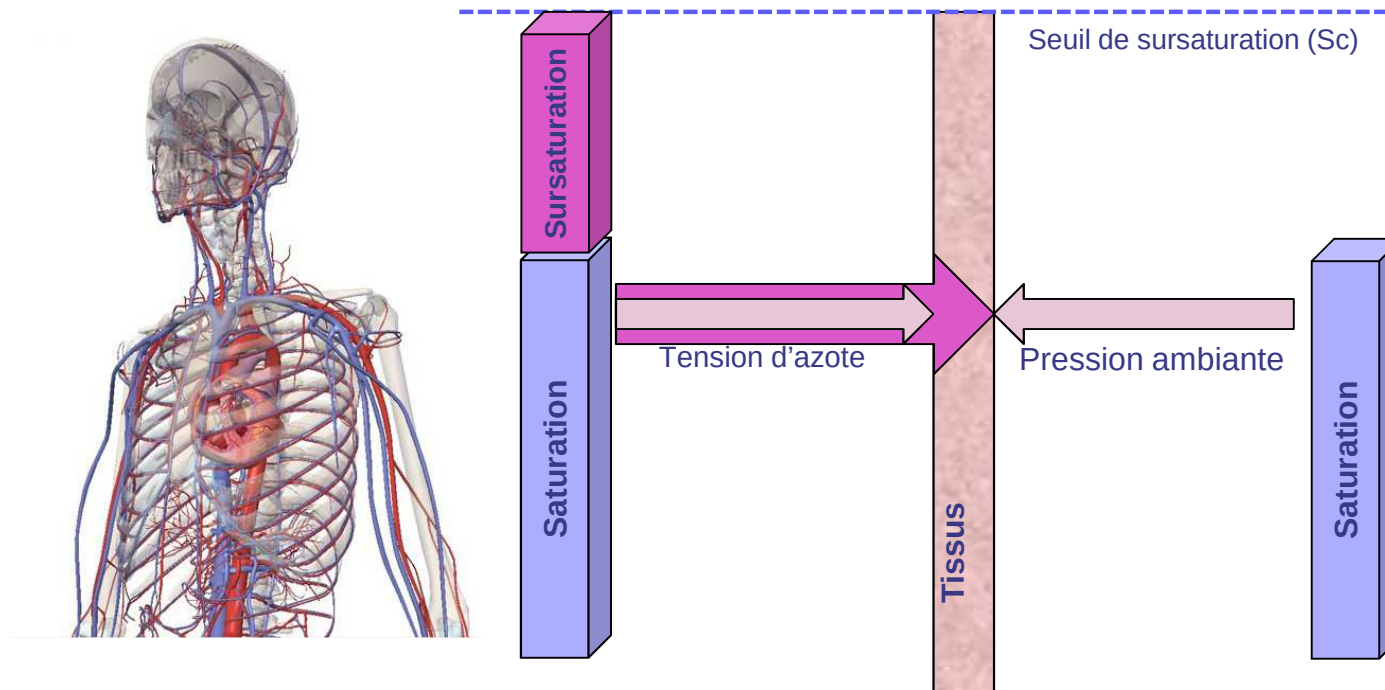


Formation théorique Niveau IV

La désaturation

Entre deux plongées, le système respiratoire évacue progressivement l'azote en excès et les tissus retrouvent un état de saturation normale au bout de quelques heures

On dit dans ce cas qu'il y a « désaturation »





Formation théorique Niveau IV

Les compartiments



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108





Formation théorique Niveau IV

Il est impossible de représenter la complexité de corps humain par des chiffres.

La représentation mathématique des tissus du corps humain ne peut être envisagée que si l'on accepte de les regrouper en fonction de la similarité de leurs caractéristiques.

Ce qui engendre obligatoirement une relative imprécisions du modèle de calcul utilisé.

Le modèle Haldanien suppose que tous les tissus du corps humain peuvent être classifiés en 5 catégories appelées « compartiment ».

Le modèle utilisé dans les tables de plongée MN90 porte le nombre de **compartiments à 12** ce qui permet d'affiner la précision des calculs de manière importante.

Chaque compartiment représente un groupe de tissus (tissus court, tissus long) ayant des caractéristiques de « perméabilité » à l'azote proches les uns des autres.

Quelque soit le nombre de compartiment d'un modèle il ne pourra jamais représenter avec une fidélité totale le fonctionnement du corps humain.

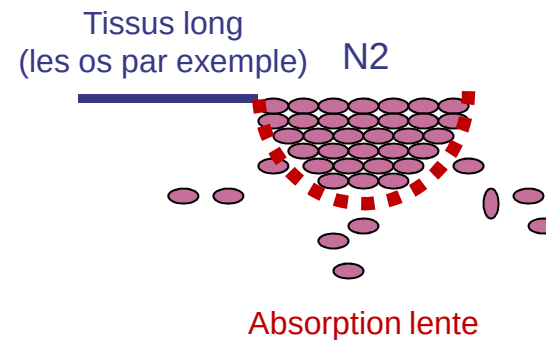
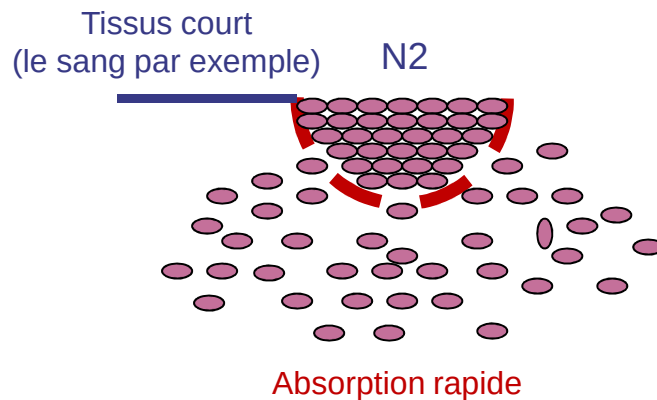


Formation théorique Niveau IV

Pour comprendre la notion de perméabilité on peut prendre l'exemple de plusieurs passoires dont la taille des trous représente leurs sensibilités à l'azote.

Chaque passoire représente un compartiment donné (*groupe de tissus*)

On dit que les tissus sont longs ou courts en fonction de la rapidité avec laquelle ils absorbent l'azote





Formation théorique Niveau IV

Les compartiments théoriques

Les compartiments sont des représentations fictives des différentes régions anatomiques du corps humain.

Chaque compartiment est caractérisé par un seuil de **Sursaturation critique (Sc)** et une **période** qui lui sont propre.

Compartiments	Périodes en minutes	SC
C5	5	2,72
C7	7	2,57
C10	10	2,38
C15	15	2,2
C20	20	2,04
C30	30	1,82
C40	40	1,68
C50	50	1,61
C60	60	1,58
C80	80	1,56
C100	100	1,55
C120	120	1,54

Exemple :

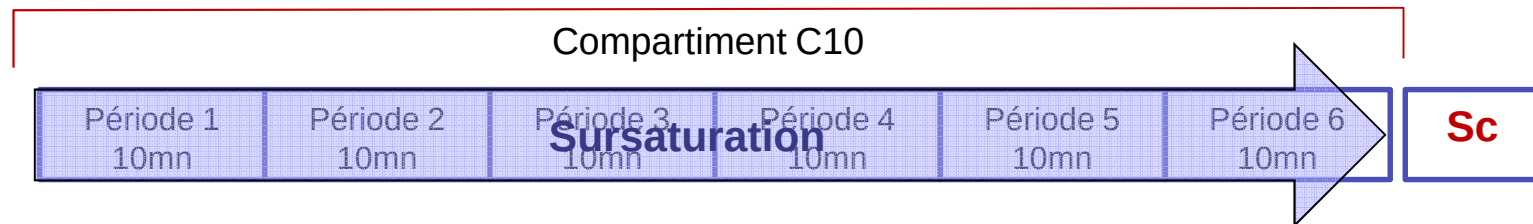
Le compartiment C10 à donc :

- une période de **10mn** et
- un Sc de **2,38**



La période d'un compartiment

La période d'un compartiment est le temps que va mettre ce compartiment pour **atteindre la moitié du gradient de pression** de la PpN2.

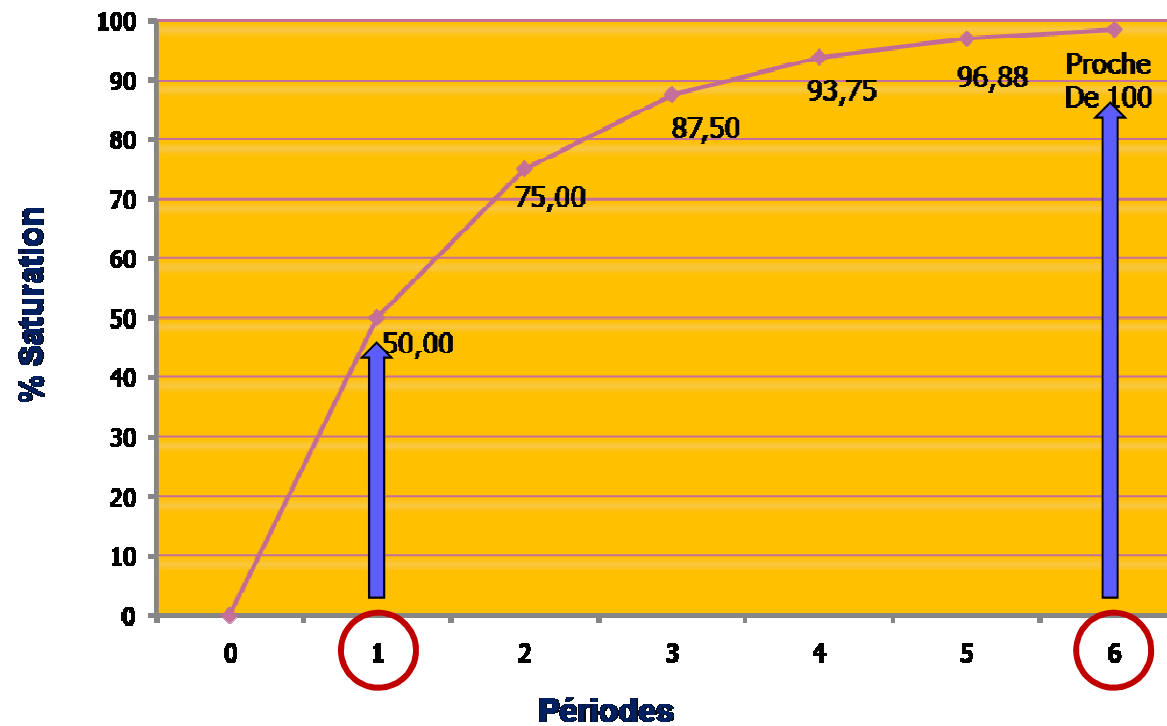


Ainsi un compartiment C10 mettra 6 fois 10 minutes pour atteindre le seuil de sursaturation critique (Sc)



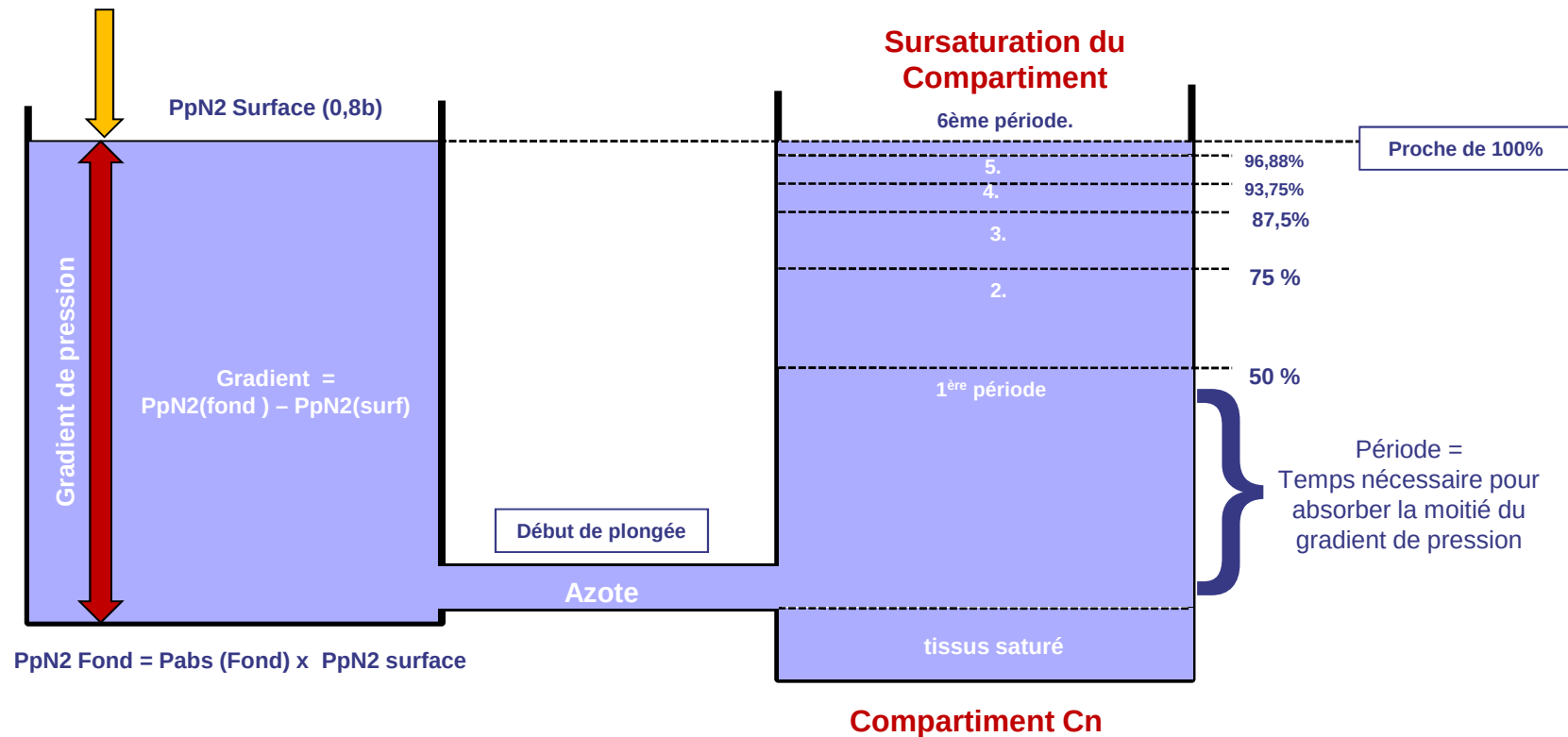
Courbe de saturation

On considère qu'au bout de 6 périodes, le taux de sursaturation du compartiment sera proche de 100%



Formation théorique Niveau IV

Mécanisme de la saturation en azote



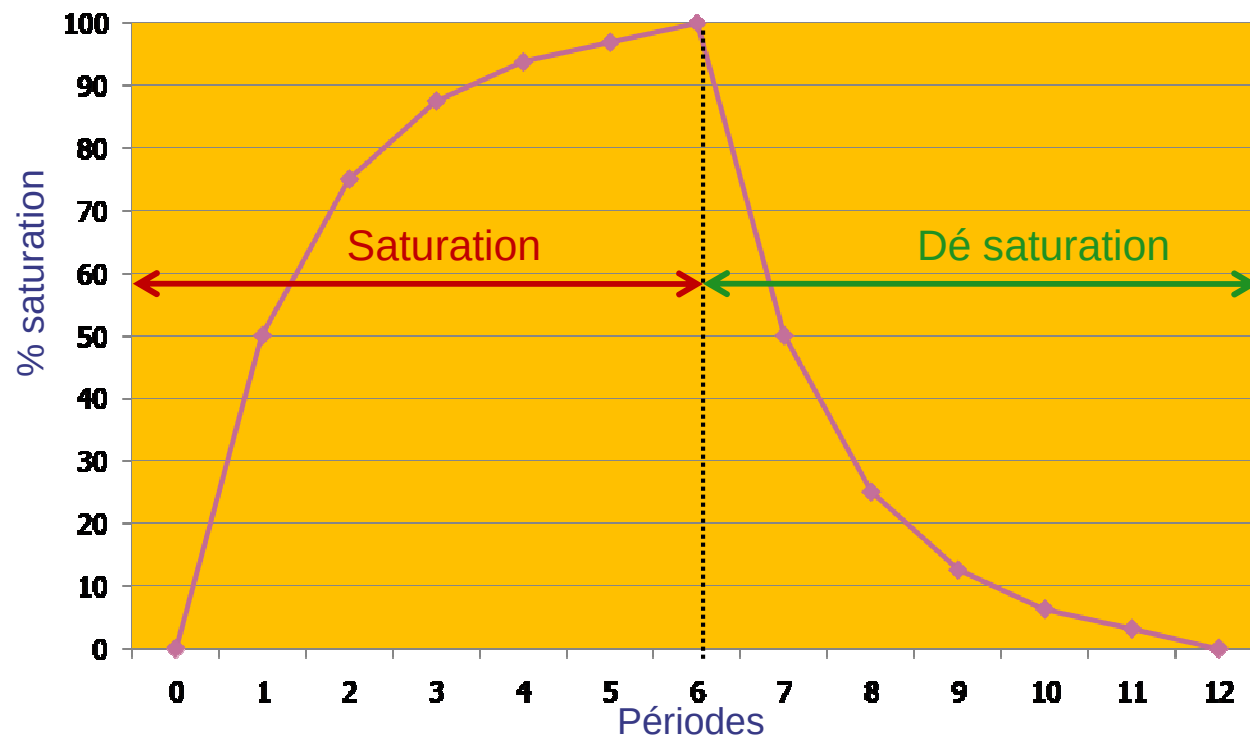
A la fin de la 6^{ème} période le compartiment a atteint son seuil de sursaturation critique (S_c)



Courbe de dé saturation

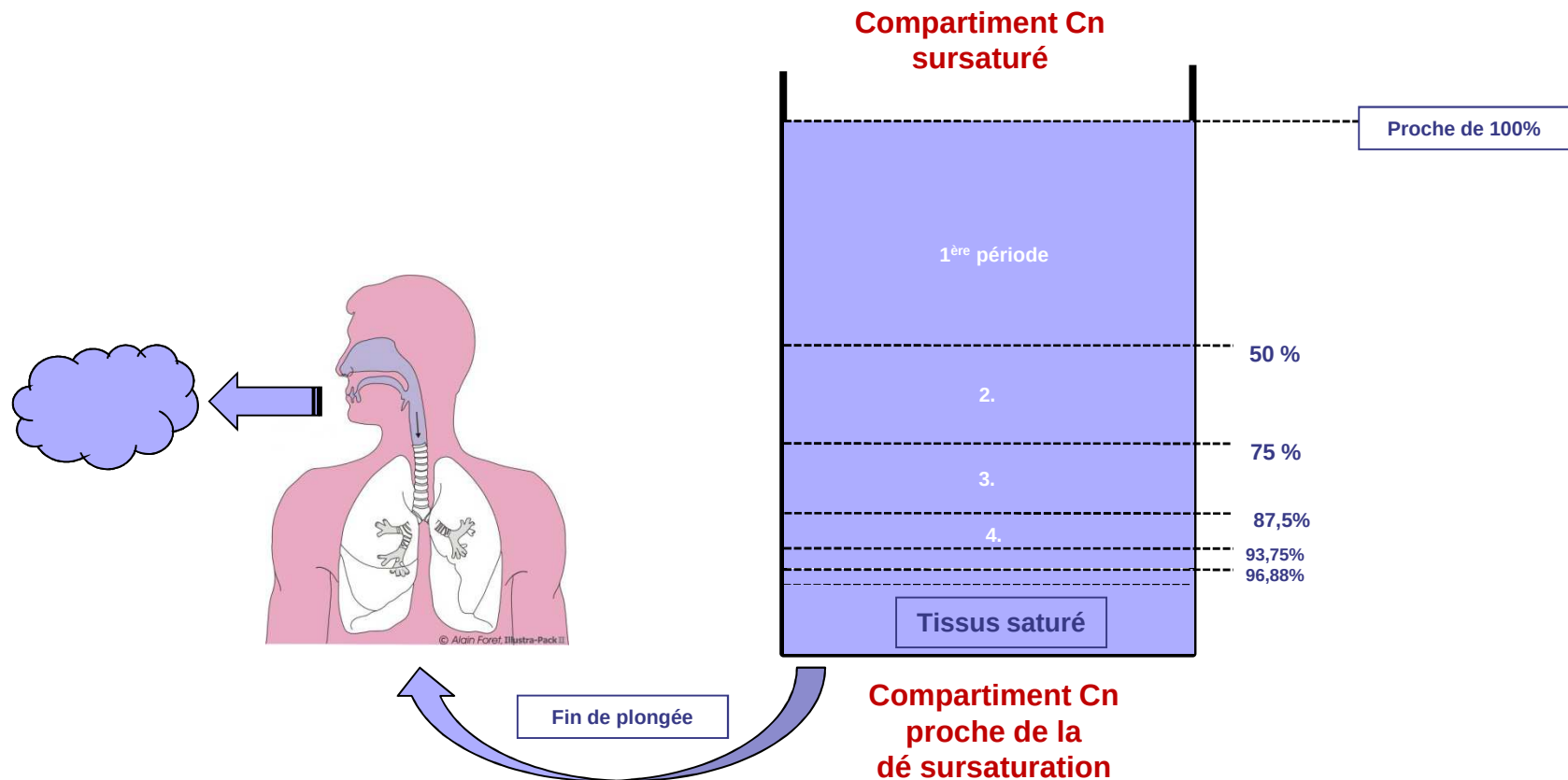
Dans le modèle Haldanien l'absorption et l'élimination de l'azote sont exponentielle

On considère, également, qu'au bout de 6 périodes de dé saturation, le pourcentage de sursaturation du compartiment sera proche de 0%



Formation théorique Niveau IV

La désaturation en azote (N_2)





Formation théorique Niveau IV

Calcul de la Tension finale (TfN2)



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108





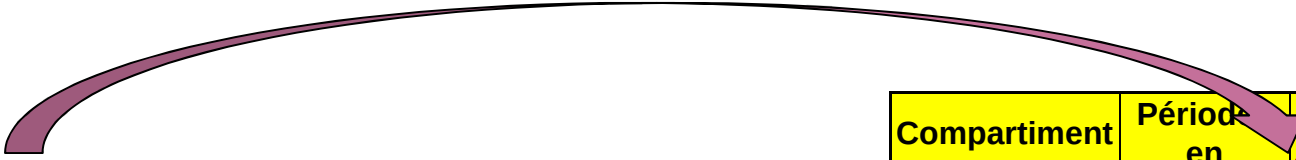
Formation théorique Niveau IV

La tension finale d'azote (**TfN2**) représente la quantité d'azote absorbée au cours de la plongée par chaque compartiment théorique.

C'est la somme de la PpN2 de départ + taux de saturation (Ts)

Lorsque l'on divise la TfN2 par le seuil de sursaturation critique (**Sc**) d'un compartiment donné, on obtient la Pabs (et donc la profondeur) minimum admissible par celui ci.

Le résultat de cette opération permet de déterminer si un palier doit être effectué et, si oui, à quelle profondeur il doit l'être



Compartiments	Période en minutes	SC
C5	5	2,72
C7	7	2,57
C10	10	2,38
C15	15	2,2
C20	20	2,04
C30	30	1,82
C40	40	1,68
C50	50	1,61
C60	60	1,58
C80	80	1,56
C100	100	1,55
C120	120	1,54



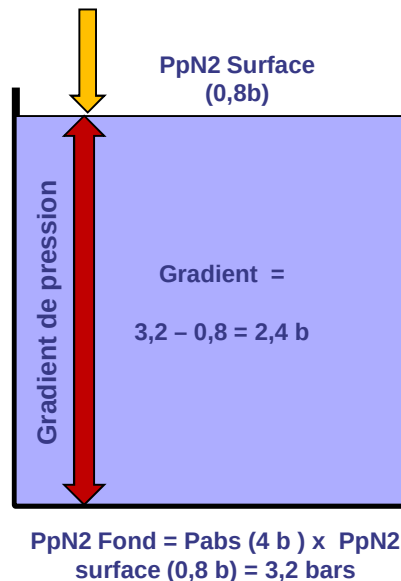
Formation théorique Niveau IV

Calcul de la tension finale

La Tension finale en azote (TfN2) d'un compartiment est la somme de :

la PpN2 de départ + (gradient de pression initial (G) X taux de saturation (Ts))

Exemple : Calcul de TfN2 du compartiment C10 au cours d'une plongée de 40 minutes à 30 m,



Pabs à 30 m = 4 bars

PpN2 surface = 0,8 bar donc,

PpN2 fond = 4 x 0,8 bar soit 3,2 bars

Gradient de pression = 3,2 - 0,8 = 2,4 bars (PpN2 fond - PpN2 surface)

Au bout de 40 mn le compartiment C10 aura passé 4 périodes (40 / 10) donc le % de saturation (Ts) sera de 93,75 %, (voir courbe de saturation)

Donc TfN2 = 0,8 b + (2,4b x 93,75%)

= 0,8 b + 2,25 b = 3,05 b





Formation théorique Niveau IV

Calcul de la Pabs minimum admissible

Pour déterminer la Pabs minimum admissible par un compartiment donné, on divise la Tension finale (TfN2) par le seuil de sursaturation critique (Sc) de ce compartiment ($TfN2 / Sc$).

Dans l'exemple précédent la TfN2 résultant d'un plongée de 40mn à 30 m était de :

3,05 b pour le compartiment C10, pour lequel le **Sc est de 2,38**.

Donc la **Pabs** admissible par ce compartiment sera de :

$3,05 / 2,38 = \mathbf{1,28 \text{ bar}}$ soit 2,8 m de profondeur minimum

Il n'est pas possible de regagner la surface, ce compartiment nécessite un pallier à 3 mètres.

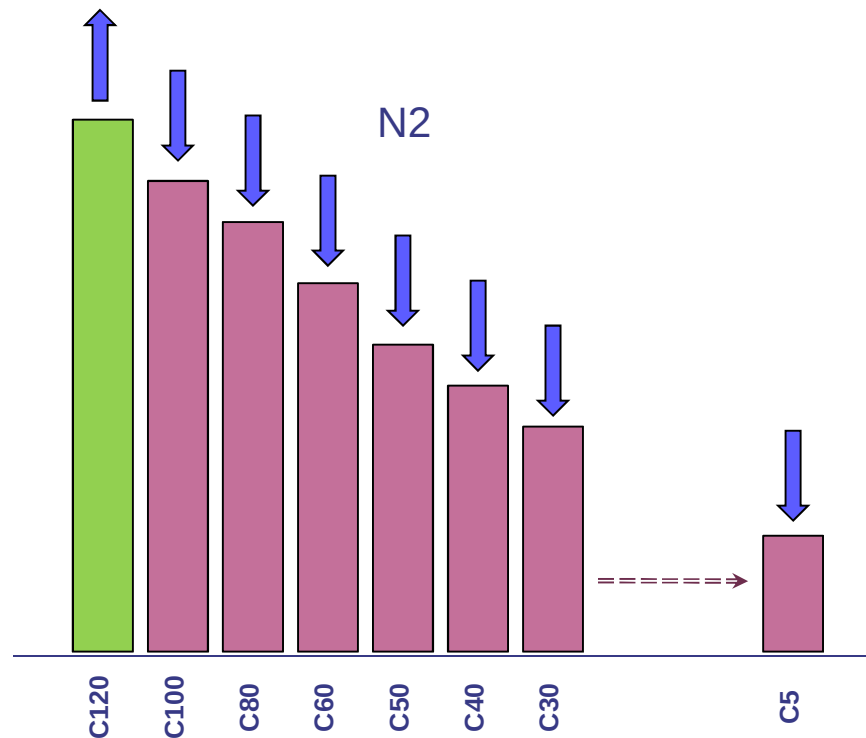
Compartiments	Périodes en minutes	SC
C5	5	2,72
C7	7	2,57
C10	10	2,38
C15	15	2,2
C20	20	2,04
C30	30	1,82
C40	40	1,68
C50	50	1,61
C60	60	1,58
C80	80	1,56
C100	100	1,55
C120	120	1,54



Formation théorique Niveau IV

Le modèle Haldanien suppose que les phases de saturation et de dé saturation s'effectue progressivement pour chaque compartiment.

Le Ts de chaque compartiment évolue en parallèle des autres et indépendamment d'eux.



Formation théorique Niveau IV

Au cours de la plongée le Ts de chaque compartiment va évoluer en fonction de sa période propre.

La Pabs minimum de chaque compartiment est calculée selon le principe vu précédemment.

Lorsque plusieurs compartiments imposent un palier, celui dont la profondeur minimum est la plus importante est appelé « Compartiment directeur » (*)

	C5	C7	C10	C15	C20	C30	C40	C50	C60	C80	C100	C120
Tn2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Pression absolue	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
PpN2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Gradient	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Temps plongée	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Période	5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
Nombre de périodes	8,00	5,71	4,00	2,67	2,00	1,33	1,00	0,80	0,67	0,50	0,40	0,33
Taux saturation	100,00%	100,00%	93,75%	87,50%	75,00%	75,00%	50,00%	50%	50%	50%	0%	0%
N2 dissout	2,4	2,4	2,25	2,1	1,8	1,8	1,2	1,2	1,2	1,2	0	0
TN2 finale	3,2	3,2	3,05	2,9	2,6	2,6	2	2	2	2	0,8	0,8
Sc	2,72	2,54	2,38	2,2	2,04	1,82	1,68	1,6	1,58	1,56	1,55	1,54
Pabs admise	1,18	1,26	1,28	1,32	1,27	1,43	1,19	1,25	1,27	1,28	0,52	0,52
Profondeur mini	1,76	2,60	2,82	3,18	2,75	4,29	1,90	2,50	2,66	2,82	0,00	0,00
Palier	3	3	3	6	3	6	3	3	3	3		



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108

Valeurs pour une plongée de 40 mn à 30 m





Formation théorique Niveau IV

Evolution de l'azote résiduel



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108



Formation théorique Niveau IV

l'azote résiduel

Comme son nom l'indique l'azote résiduel est l'azote encore présent dans le corps à l'issue d'une plongée et qui sera évacué progressivement entre deux plongées.

En effet, bien que la procédure de décompression soit strictement respectée, les tissus ne sont pas totalement dé saturés et il reste encore dans le corps une partie d'azote dissous.

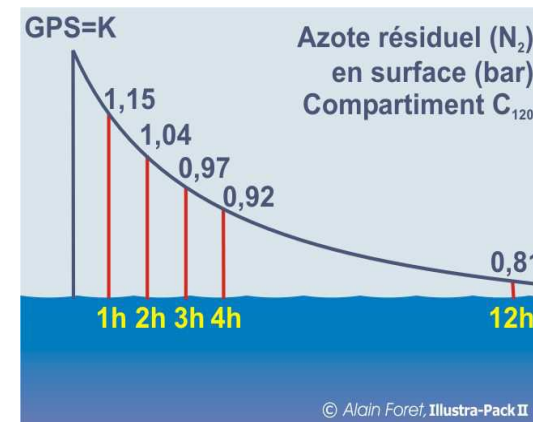
Le compartiment **C120** des tables MN90 permet de déterminer le taux d'azote résiduel en surface

Sa valeur en fin de plongée, est représentée dans les tables par le paramètre « GPS »
(Groupe de Plongée Successive des tables MN90)

L'évolution de l'azote résiduel en surface est donnée par le tableau

« **Evolution de l'azote résiduel entre deux plongée** »

Des tables MN90



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108



Formation théorique Niveau IV

Prof.	T	6 m	3 m	DTR	GPS
30	25		4	7	H
	30		9	12	I
	35		17	20	J
	40				K
	45	1	31	35	L
	50	3	36	42	

Tableau I : Évolution de l'azote résiduel entre deux plongées

		Intervalle en surface															
		0h15	0h30	0h45	1h00	1h30	2h00	2h30	3h00	3h30	4h00	4h30	5h00	5h30	11h00	11h30	12h00
GPS	H	1,13	1,10	1,08	1,05	1,01	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,81	0,81	0,81
	I	1,17	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,86	0,81	0,81	0,81
	J	1,20	1,17	1,14	1,11	1,06	1,02	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89	0,87	0,86	0,81	0,81	0,81
	K	1,25	1,21	1,18	1,15	1,09	1,04	1,01	0,97	0,95	0,92	0,90	0,89	0,87	0,81	0,81	0,81
	L	1,28	1,25	1,21	1,17	1,12	1,07	1,02	0,99	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,81	0,81	0,81
	M	1,31	1,28	1,25	1,21	1,14	1,09	1,04	1,01	0,97	0,94	0,92	0,90	0,89	0,81	0,81	0,81
	N	1,35	1,32	1,28	1,24	1,17	1,11	1,06	1,02	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,81	0,81	0,81
	O	1,41	1,36	1,32	1,28	1,20	1,13	1,08	1,04	1,00	0,97	0,94	0,92	0,90	0,81	0,81	0,81
	P	1,45	1,40	1,35	1,30	1,22	1,15	1,10	1,05	1,01	0,98	0,95	0,93	0,91	0,82	0,81	0,81



Formation théorique Niveau IV

Le tableau « Evolution de l'azote résiduel entre deux plongée » permet de suivre l'évolution de la PpN2 après le retour en surface.

Tableau I : Évolution de l'azote résiduel entre deux plongées

		Intervalle en surface																	
		0h15	0h30	0h45	1h00	1h30	2h00	2h30	3h00	3h30	4h00	4h30	5h00	5h30		11h00	11h30	12h00	
GPS	H	1,13	1,10	1,08	1,05	1,01	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85		0,81	0,81	0,81	
	I	1,17	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,86		0,81	0,81	0,81	
	J	1,20	1,17	1,14	1,11	1,06	1,02	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87		0,81	0,81	0,81	
	K	1,23	1,20	1,17	1,14	1,09	1,05	1,01	0,97	0,94	0,91	0,89	0,88	0,87		0,81	0,81	0,81	
	L	1,29	1,25	1,21	1,17	1,12	1,07	1,02	0,99	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88		0,81	0,81	0,81	
	M	1,33	1,29	1,25	1,21	1,14	1,09	1,04	1,01	0,97	0,94	0,92	0,90	0,89		0,81	0,81	0,81	
	N	1,37	1,32	1,28	1,24	1,17	1,11	1,06	1,02	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89		0,81	0,81	0,81	
	O	1,41	1,36	1,32	1,27	1,20	1,13	1,08	1,04	1,00	0,97	0,94	0,92	0,90		0,81	0,81	0,81	
	P	1,45	1,40	1,35	1,30	1,22	1,15	1,10	1,05	1,01	0,98	0,95	0,93	0,91		0,82	0,81	0,81	

Ce tableau indique l'évolution de la PpN2 sur une période de 12 h.

Ce qui correspond au 6 périodes de 120 minutes du compartiment C120.





Formation théorique Niveau IV

Autres modèles Haldanien ou non



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108





Autres modèles Haldanien

Au fur et à mesure du temps, d'autres modèles de décompression sont apparus avec un seul et même objectif : sécuriser au maximum la pratique de notre activité favorite.

Plusieurs modèles basés sur les travaux de Haldane ou vu le jour

- Modèle Workman (plongées longues et profondes)
- Modèle Buhlman (prise en compte de l'air alvéolaire plutôt qu'atmosphérique)
- Modèle Spencer (prise en compte des bulles silencieuses)
- Modèle COMEX (MT92)
- Modèle Hahn
- etc.

Certains de ces modèles sont souvent utilisés par nos ordinateurs

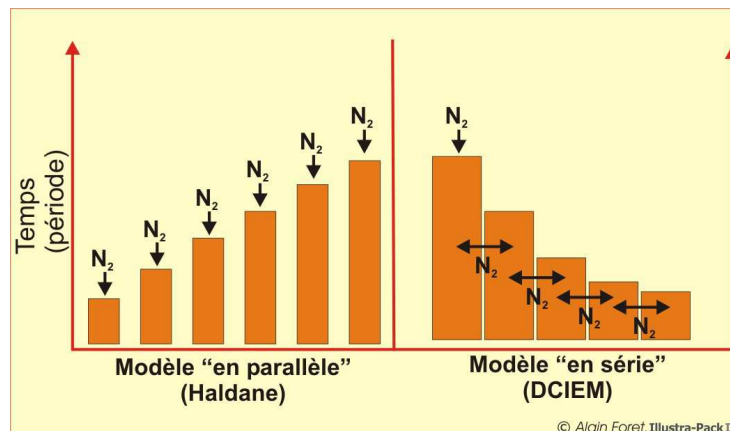
Uwatec > modèle Buhlman
Aladin > modèle Buhlman
Mares > modèle Buhlman
Scubapro > modèle Hahn
Etc.



Modèles Non Haldanien

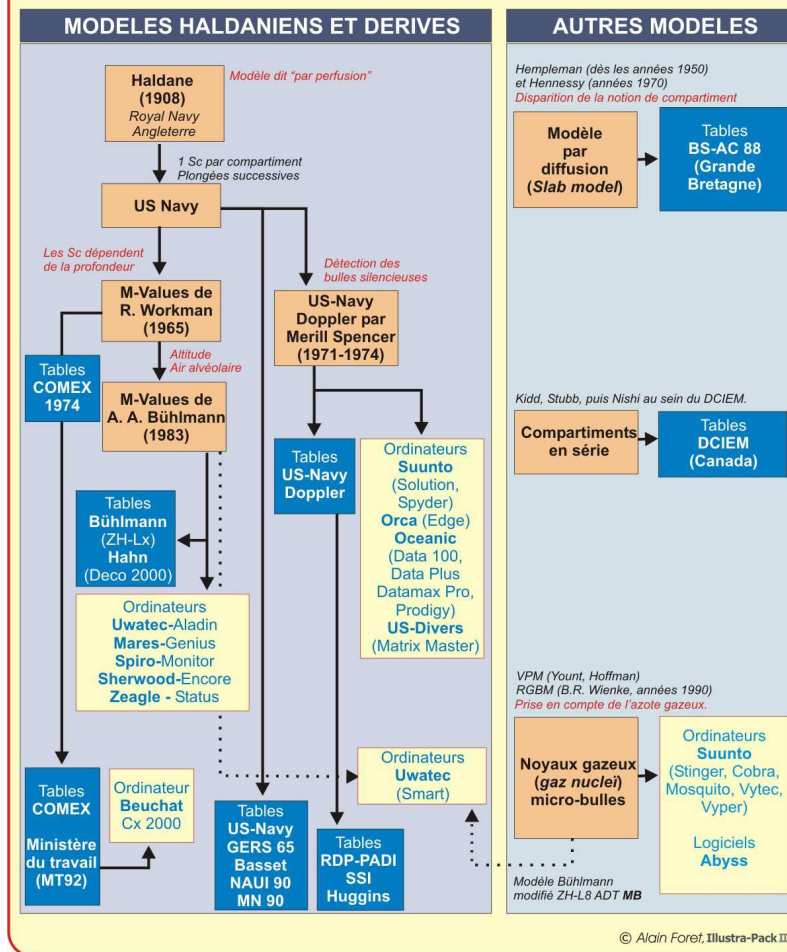
Bien que très répandu le modèle Haldanien comporte un certains nombre de limites, aussi plusieurs scientifiques ont développés des approches différentes.

- Modèles par diffusion (prise en compte de la résistance des tissus pendant les phases de compression ou décompression)
- Modèles « Di-phasique »
(prise en compte du noyau gazeux en plus de l'azote dissous)
- Modèles statistiques (Taux de risque accepté)
- Modèle DCIEM (compartiment en série plutôt que parallèle > Canada)
- Etc.



Formation théorique Niveau IV

LES MODELES DE DECOMPRESSION



Des questions ?





Formation théorique Niveau IV

La prochaine fois ...

- Réglementations
- Physique appliquée à la plongée
- Système nerveux et plongée
- Les accidents toxiques en plongée
- Système circulatoire et plongée
- Système respiratoire et plongée
- Sphère ORL et plongée
- Éléments de calcul de tables
- **Utilisation des tables de plongées**
- Procédures particulières de décompression
- Ordinateur de plongée et planification
- Matériel de plongée – le détendeur
- Matériel de plongée – compresseur - bouteille
- Matériel de navigation, de sécurité et matelotage
- Orienter et conduire sa palanquée en sécurité
- Etre un guide de la mer connaissant le milieu

