

# PRINCIPES DE DÉCOMPRESSION

SCIENCE OU THÉORIE ?...



Sources :  
Nauti-Tec, IANTD, DCIEM, US Navy, NOAA.  
Marinventure, RGBM. CMPQ.

**I Principales lois physiques appliquées en décompression.**

- Dalton
- Henry
- Éléments de calcul des tables de plongée.

**II Biophysique et Biochimie.**

- Le noyau gazeux
- Les phases dissoutes
- Les phases gazeuses ou libres

**Mécanisme de l'accident :**

- Perfusion
- Diffusion
- Osmose

**III Métabolisme de la décompression.**

- Le rôle exact de l'Oxygène
- La fenêtre Oxygène
- Principe de contre-diffusion isobare

**IV Introduction aux différentes tables de plongée.**

- USN, RGBM, VPM, Bühlmann, DCIEM...

**V Procédures de décompression.**

- Principes et paramètres
- Cas critiques

## I- Principales lois physiques appliquées en décompression

### 1- Dalton :

*À température donnée, la pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions de chaque gaz entrant dans la composition s'ils occupaient seuls le volume total.*

$$P_p = \frac{P_{abs} \times \%}{100}$$
$$\% = \frac{P_p}{P_{abs}}$$
$$P_{abs} = \frac{P_p \times 100}{\%}$$

**Calcul des Pressions partielles en mb** : (Prof. Abs = prof. Réelle + 10m ou 33ft)

-  $P_{pmb} = \text{Prof. abs} \times \%$

-  $\text{Prof. Abs} = \frac{P_{pmb}}{\%}$

-  $\% = \frac{P_{pmb}}{\text{prof. Abs}}$

Le millibar est l'unité utilisée pour le calcul des pressions partielles dans l'organisme, comme la *Tension* est le calcul de la pression d'un gaz dissout à saturation dans un tissu.

### **Rappel de la composition de l'air:**

Azote (N<sup>2</sup>) = 79.03%  
Oxygène (O<sup>2</sup>) = 20.93%  
Gaz Carbonique (CO<sup>2</sup>) = 0.03%  
Autres gaz : Néon, Argon.

*Un gaz exerce sa propre action comme s'il était seul. Un gaz occupe tout l'espace disponible. La Pp est donc proportionnelle au pourcentage et la somme des Pp d'un mélange est égale à la pression totale.*

### **Application** :

- Calcul des profondeurs limite en fonction de la toxicité des gaz.
- Calcul des fractions des mélanges respiratoires.
- Calcul des tensions et concentrations de chaque gaz.
- Élaboration des compartiments des tables de plongée.
- Élaboration des tables de plongée en gaz binaire et ternaire.

## 2- **Henry :**

*À température donnée, la quantité de gaz dissout à saturation dans un fluide est proportionnelle à la pression qu'il règne à la surface ou autour de ce fluide.*

$\frac{\text{Tension ou } PpN^2}{\text{Pression ambiante}} = \text{tension tissulaire ou } Pp \text{ alvéolaire}$

### a) **Facteur de dissolution :**

- nature du gaz
- nature du fluide (tissu)
- pression ambiante (profondeur)
- température
- durée de l'exposition
- surface de l'exposition
- agitation (effort)

<b>Les facteurs</b>	<b>Applications à la plongée</b>
Gaz : nature variable	$N^2 \neq H^e =$ tables spéciales pour $H^e$
Liquide : fluidité et débit variable	Tissus $\neq$ vascularisation
Température : $t \downarrow$ et $T \uparrow$	Problèmes liés à l'eau froide et aux longues expositions en décompression
Pression : $P \uparrow$ et $T \uparrow$	Profondeur
Temps : Durée $\uparrow$ et $T \uparrow$	Durée de la plongée. Limite de non-décompression
Surface de contact : $S \uparrow$ et $T \uparrow$	Tissus $\neq$ vascularisation
Agitation, stress : $A \uparrow$ et $T \uparrow$	Efforts durant la plongée, stress, narcose.

### b) **les états de saturation :**

- SOUS-SATURATION :  $TN^2 < PpN^2 =$  le gaz entre
- SATURATION :  $TN^2 = PpN^2 =$  équilibre dans les tissus
- SURSATURATION :  $TN^2 > PpN^2 =$  le gaz sort
- ----- limite de sursaturation critique -----
- $TN^2 > 2 \times PpN^2 =$  dégazage incontrôlé et accident

### c) **Notion de Tension :**

$Pp =$  Pression d'un gaz dans un mélange  
 $T =$  Quantité de gaz dissout dans un liquide (fluide ou tissu)

- Saturation :  $T = Pp$
- Sous-saturation :  $T$  tend vers  $Pp$  en augmentant
- Sursaturation :  $T$  tend vers  $Pp$  en diminuant

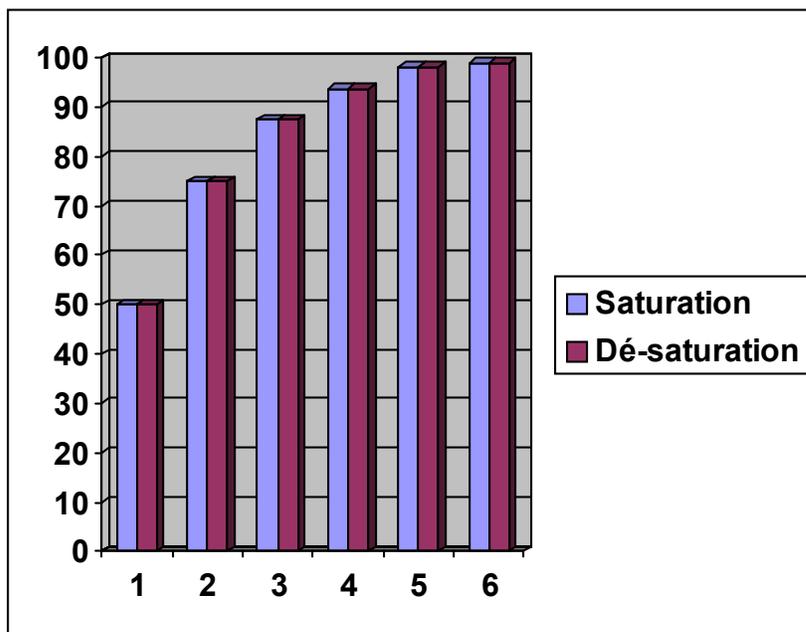
### d) **Notion de Gradient : (G)**

Différence entre  $Pp$  et  $T =$  gradient

### e) **Notion de période :**

Temps nécessaire pour un liquide ou un tissu pour diminuer de moitié le gradient. On peut considérer qu'un tissu est complètement saturé après 6 périodes selon le principe de Haldane et de la compartimentation. Les tables modernes considèrent maintenant jusqu'à 12 périodes sur 18 compartiments.

Selon ce principe, un tissu n'est jamais saturé à 100%. Il subsiste toujours une infime variation du gradient qui tend à être du - vers le + soit de l'état dissout vers l'état gazeux. Ce phénomène se rapporte à l'osmose dans les différences de concentrations des gaz dits « métaboliques » et « inertes »



Depuis la progression de Bühlmann sur le concept EE « Exponentiel - Exponentiel », les travaux sur la compartimentation des tissus selon des facteurs de vascularisation et de densité ont permis d'élaborer un autre concept, celui EL « Exponentiel – Linéaire ». La courbe de dé-saturation n'est plus identique à la saturation d'un même tissu. On retrouve ce concept dans les ordinateurs modernes de plongée.

### 3- **Éléments de calcul des tables :**

#### **Bref historique :**

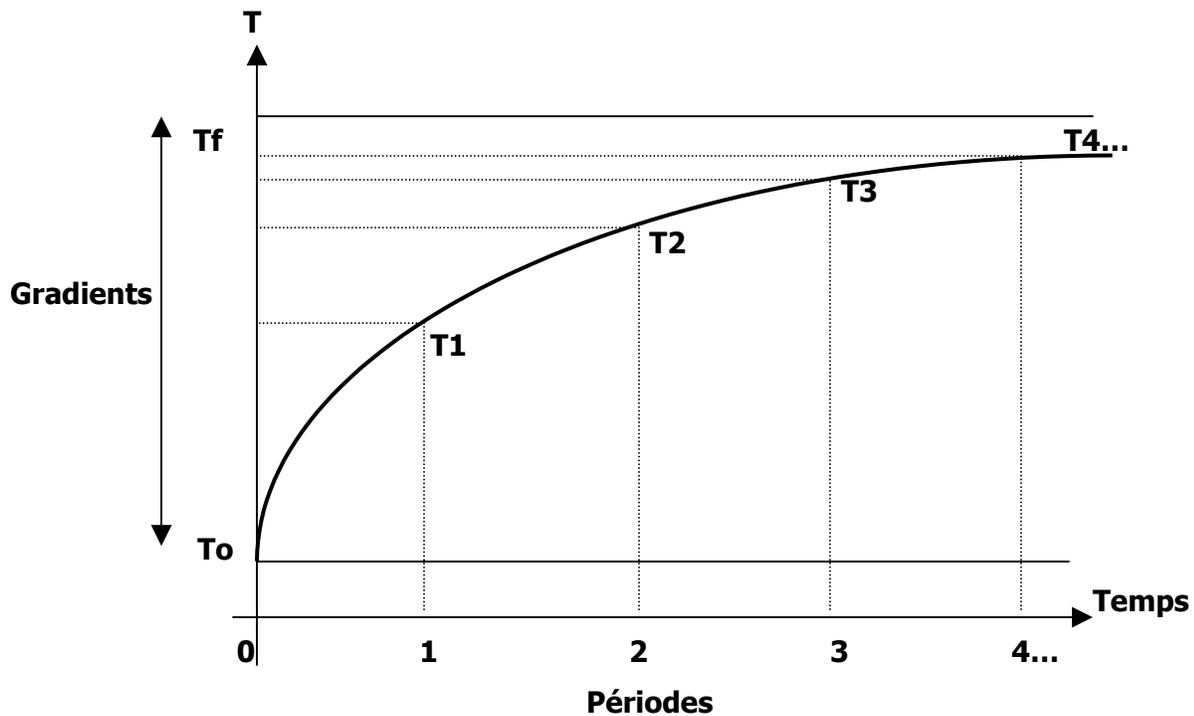
Paul Bert, physicien Français (1833-1886) découvre que les accidents des cloches à plongeurs –maladie des caissons- proviennent de la dissolution de l'azote dans les tissus et propose une remontée plus lente.

John Haldane, physicien Indien d'origine Anglaise (1892- 1964) définit une limite approximative du rapport :

$$\frac{\text{Tension du gaz}}{\text{Pression absolue}} = \frac{2}{1} \text{ au-delà de cette limite, le dégazage est } \textit{incontrôlé}.$$

a) *Notion complémentaire :*

**Courbe de saturation E**



Calculons la valeur des tensions :

1 période  $T_1 = T_0 + (T_f - T_0 / 2)$

ou  $T_1 = T_0 + (T_f - T_0) \times 50/100$

2 périodes  $T_2 = T_1 + (T_f - T_1 / 2)$

ou  $T_2 = T_0 + (T_f - T_0) \times 75/100$

3 périodes  $T_3 = T_2 + (T_f - T_2 / 2)$

ou  $T_3 = T_0 + (T_f - T_0) \times 87.50/100$

4 périodes  $T_4 = T_3 + (T_f - T_3 / 2)$

ou  $T_4 = T_0 + (T_f - T_0) \times 93.75/100$

**Prenons un exemple chiffré d'une plongée à 40m (132ft) :** on considère 20%  $O^2$  et 80%  $N^2$

$T_0 = 1 \times 80/100 = 0.8b \text{ N}^2$

$T_f = 5 \times 80/100 = 4b \text{ N}^2$

$T_1 = 0.8 + (4 - 0.8 / 2) = 2.4b$

ou  $0.8 + (4 - 0.8) \times 50/100 = 2.4b$

$T_2 = 2.4 + (4 - 2.4 / 2) = 3.2b$

ou  $0.8 + (4 - 0.8) \times 75/100 = 3.2b$

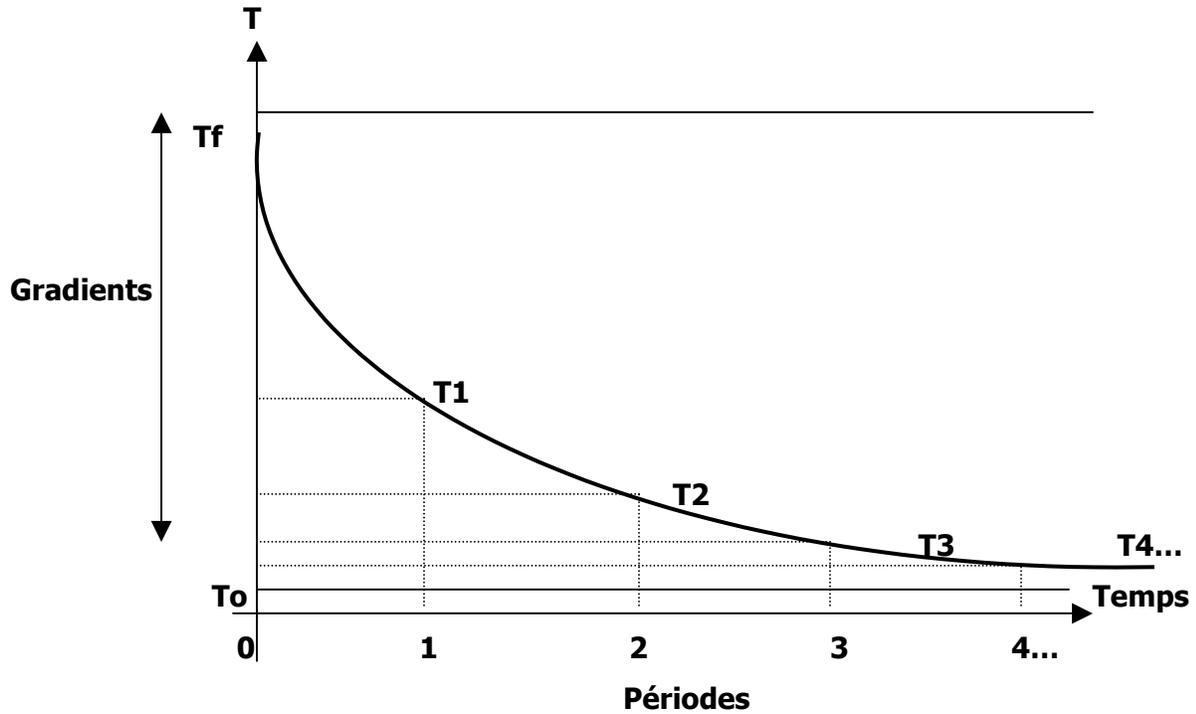
$T_3 = 3.2 + (4 - 3.2 / 2) = 3.6b$

ou  $0.8 + (4 - 0.8) \times 87.50/100 = 3.6b$

$T_4 = 3.6 + (4 - 3.6 / 2) = 3.8b$

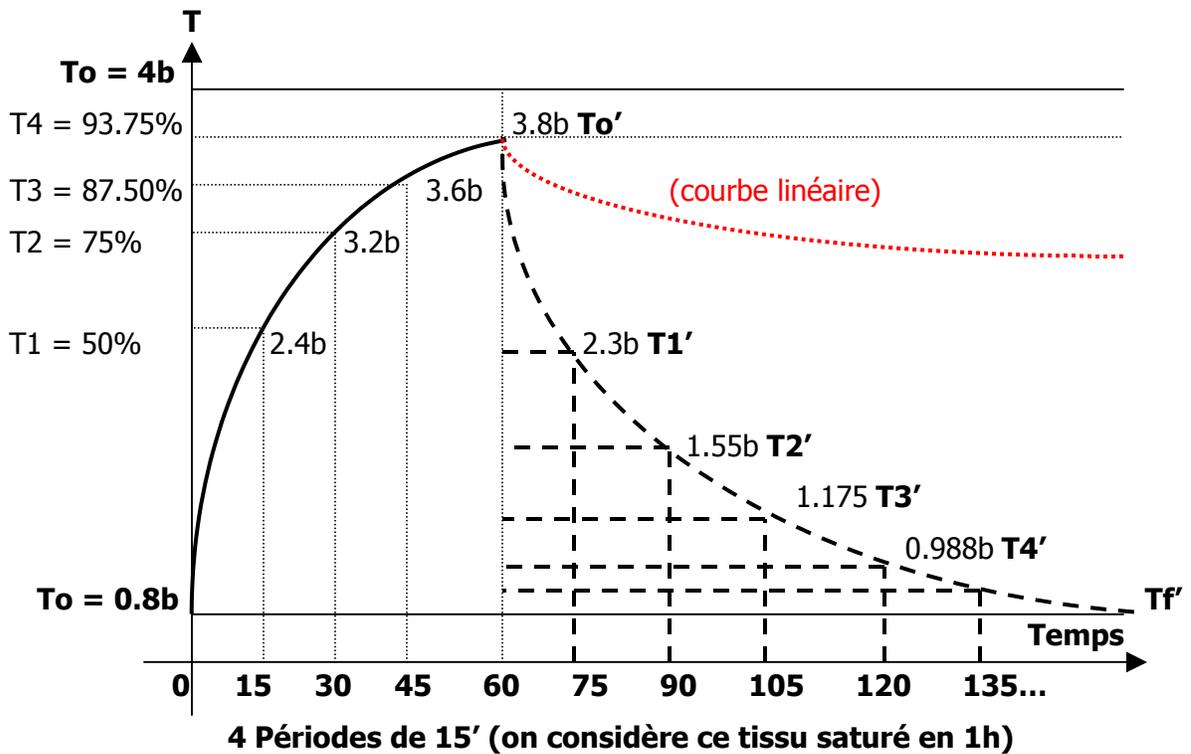
ou  $0.8 + (4 - 0.8) \times 93.75/100 = 3.6b$

## Courbe de désaturation E



## Courbe d'une plongée d'un tissu

*Exemple donné pour une plongée de 1h à 40m (132ft) pour un tissu de période 15'*



**b) Notion de tissu :**

Les 12 tissus ou compartiments pris en compte dans les principales tables de plongée loisirs USN et NOAA, Padi (Rogers et Hamilton et leur dérivé des USN), MN90 Française, Royal Navy et certains ordinateurs de plongée comme Aladin, Scubapro, qui fonctionnent selon des tables Bühlmann modifiées avec 14 ou 16 compartiments pour les versions les plus récentes (Aladin Pro, Cochran, Mares)

De 6 à 65m (20 à 220ft) :

5mn-7mn-10mn-15mn-20mn-30mn-40mn-50mn-60mn-80mn-100mn-120mn  
+ 1.5mn pour les vitesses de remontée et 300mn pour les tables professionnelles

**c) Application sur une plongée :**

Exemple : 2h à 40m (132ft) pour les tissus 5-15-30-60-120

<u>Tissus :</u>	<u>Périodes :</u>	<u>TN2 :</u>
05mn	120/5=24	TN <sup>2</sup> =Tf on considère le tissu saturé
15mn	120/15=8	TN <sup>2</sup> =Tf on considère le tissu saturé
30mn	120/30=4	TN <sup>2</sup> =0.8+(4-0.8)X93.75% = 3.75b
60mn	120/60=2	TN <sup>2</sup> =0.8+(4-0.8)X75% = 3.2b
120mn	120/120=1	TN <sup>2</sup> =0.8+(4-0.8)X50% = 2.4b

**d) La sursaturation et la sursaturation critique:**

La sursaturation se définit par :  $S = \frac{TN^2}{P.abs}$

La valeur limite est la sursaturation critique Sc : si elle est dépassée, il y a risque de dégazage incontrôlé et accident.

Tissus	5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
Coef.Sc	2.72	2.54	2.38	2.20	2.04	1.82	1.68	1.61	1.58	1.56	1.55	1.54

**Les tissus principaux utilisés dans les calculs de table MN 90 :**

Le sang : 7mn           coef. SC=2.54  
Les muscles : 30mn   coef. SC=1.82  
Les graisses : 60mn   coef. SC=1.58  
La moelle : 120mn   coef. SC=1.54

**e) Calcul de la profondeur d'un palier :  $Sc = TN^2/Pabs$  donc  $Pabs = TN^2/Sc$**

C'est la pression absolue que peut supporter un tissu avant dégazage incontrôlé. On en déduit la profondeur à laquelle le palier doit être effectué. On le calcule pour chaque tissu. Exemple de la plongée précédente C :

<b>Tissu :</b>	<b>Pabs :</b>	<b>Paliers :</b>
5mn	4/2.72 = 1.47b	4.7m
15mn	4/2.20 = 1.818b	8.18m
30mn	3.6/1.82 = 1.978b	9.78m
60mn	3.2/1.58 = 2.025b	10.25m ( <i>tissu directeur</i> )
120mn	2.4/1.54 = 0.641b	3.59m

Le tissu qui impose le palier le plus profond est appelé « tissu directeur » et change au cours de la remontée. La variation de la tension est calculée selon la vitesse de remontée préconisée par les tables. D'où la différence entre chaque table!

**f) Calcul de la durée d'un palier :**

Calcul de la tension :  $TN^2 = T0 + (Tf - T0) \times \% \rightarrow \% = (TN^2 - T0)/(Tf - T0)$

En fin de palier, la  $TN^2$  du tissu peut être « remontée » sans dépasser la  $Sc$   
 $\rightarrow TN^2 = Sc \times Pabs$

$Tf$  = valeur de  $PpN^2$  à la profondeur du palier  
 $T0$  = valeur de  $TN^2$  à l'arrivée à ce palier

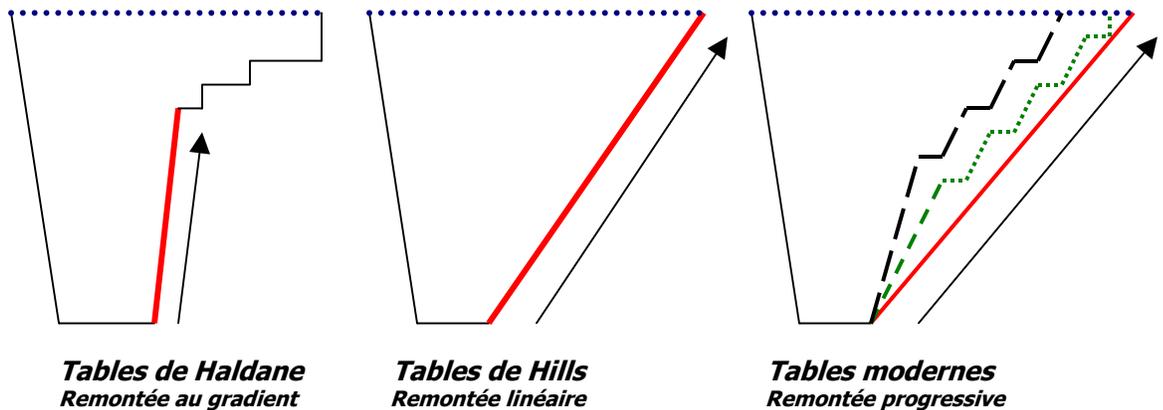
On peut donc calculer le % et en déduire la durée du palier

Si % = 50%, palier d'une période  
 Si % = 75%, palier de 2 périodes  
 Etc...

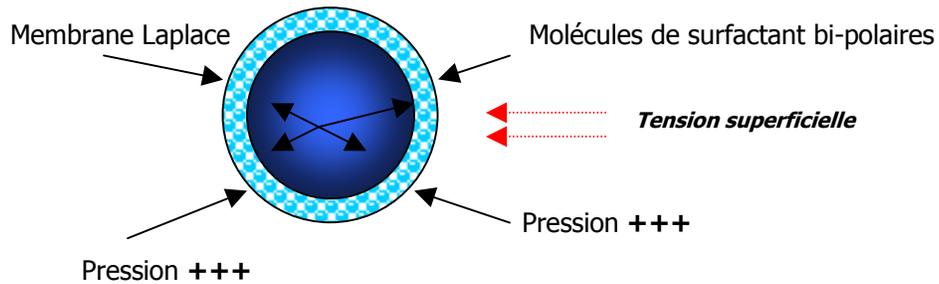
**II- Biophysique et biochimie**

**a) Le noyau gazeux.**

L'aventure commence au début de la remontée. Les tissus sont chargés, le gaz reste à éliminer et les bulles à contrôler. Le profil de remonté prendra la forme que lui donne notre idée de la sécurité. Quel phénomène critique prendrons-nous en considération? La quantité de gaz dissoute, la sursaturation des tissus, le volume des bulles ou le rayon des micro-bulles? Cela s'appelle **le critère d'ascension...** En effet, il entre en scène une fois que le plongeur à « accroché » un tissu car il faut un minimum de saturation pour générer des bulles et un problème!



Avant d'évoquer les bulles, on parle de Phase gazeuse, informelle et qui s'adapte au milieu comme de l'air dans un sac en plastique. Sa pression interne est égale à sa pression ambiante et elle est aussi gérée par la loi de Mariotte. Puis vient la bulle ronde, cette forme caractéristique cherche à minimiser l'énergie de surface lorsque deux milieux sont en présence. Par exemple, un gaz et un liquide. Cet effet est celui de la **tension superficielle**. C'est comme une pression qui s'oppose à une croissance, comme une résistance élastique. Elle se nomme **Laplace**.



Pression +++

Cette pression dépend du rayon; plus le rayon est petit, plus la tension superficielle est importante et plus la pression qu'elle exerce est forte. Un peu comme lorsque l'on souffle dans un ballon pour enfant; au début il faut souffler fort mais lorsque le ballon grandit cela devient plus facile.

Quand la bulle prend sa forme ronde, le gaz qu'elle contient a une pression supérieure à la pression ambiante et l'équilibre de sa forme est précaire.

La moindre variation du rayon entraîne des variations de pression importantes qui vont faire évoluer la bulle vers un autre destin...

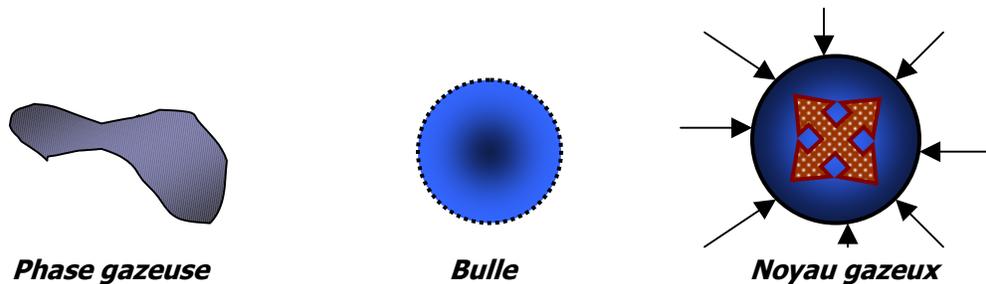
Lorsque le rayon grandit, la bulle perd sa forme sphérique et devient une phase gazeuse. Lorsque le rayon diminue, la tension superficielle augmente rapidement et la bulle a tendance à s'écraser sur elle-même. On l'appelle le **rayon critique**. Dès que le rayon est inférieur au rayon critique, ce noyau gazeux « disparaît » sous la forme de **Nuclei**. Ces Nucleis sont présents à tous les stades de la saturation des tissus et même à des pressions ambiantes infimes. Ils représentent la quantité de gaz dissout dans un fluide même après un parfait état d'équilibre. Prenez par exemple un simple verre d'eau et agitez-le puis observez les millions de bulles microscopiques qui tournoient dans le liquide... Sans oublier celles qui restent accrochées à la paroi du verre...

Un nouvel élément entre depuis peu en ligne de compte et vient compliquer un peu l'affaire; c'est une couche de surfactant qui enveloppe la bulle... Ce sont des molécules bi-polaires dont une extrémité aime l'eau, l'autre pas...

Elles vont s'opposer à toutes réductions de surfaces pour rester en place. Le noyau gazeux peut donc résister à la dilatation et à la compression et dans certains cas, la couche de surfactant peut devenir imperméable aux gaz...

Ce modèle de calcul deviendra plus tard le « **Varying Permeability Model** » VPM du Dr Yount. Le noyau gazeux devient pratiquement indestructible et son principe est maintenant intégré dans le calcul moderne des décompressions. Si vous raisonnez en termes de gaz dissout et du modèle Haldane, il faut avoir entamé une remontée significative pour « accrocher » un tissu et son gradient de sursaturation pour le faire décompresser. Alors que si vous parlez en termes de noyaux gazeux, on obtient un contrôle des remontées beaucoup plus lent et les fameux paliers profonds que tout le monde attend.

Par la suite, de nouvelles notions ont été intégrées et des modèles de simplification ont donné les RGBM « **Reduced Gradient Bubble Model** » avec Bruce Wienke et un autre modèle très utilisé en décompression, le V-Planner de Yougblood.



## ***b) Les phases dissoutes et libres.***

Tous les gaz sont solubles dans les liquides; mais le degré de solubilité est extrêmement variable et implique donc de nombreuses possibilités de dissolution dans les tissus.

La pression partielle d'un gaz dissout à saturation dans un liquide et la relativité de sa concentration est donnée par la *loi de Henry*.

Par convention, la pression partielle d'un gaz fait référence à sa ***phase libre*** alors que sa tension réfère à sa ***phase dissoute***.

Quand on observe une différence ou « ***gradient*** » entre la phase libre et la phase dissoute -selon la variation de concentration et de solubilité du gaz considéré- il y a « ***transfert*** » des gaz vers les parties les moins saturées. Ce mouvement est en fait la pierre angulaire des problèmes de décompression. De plus, le transfert se faisant par la circulation sanguine, il est continuellement altéré par des variations de flux, de température, de vascularité et de différence de concentration osmotique déjà présente dans les tissus...

Certains algorithmes considèrent les phases dissoutes et la quantité et taille des bulles circulantes pour élaborer leurs tables en y intégrant des facteurs de conservatisme alors que d'autres utilisent la concentration des noyaux gazeux et leurs perméabilités. Le nombre de compartiments à lui aussi largement augmenté et les modèles de calcul les plus utilisés sont ceux de Bühlmann avec 16 compartiments. Considérant maintenant les innombrables possibilités de décompression comme, les modèles E-E, les pires! Ceux qui gèrent la remontée comme un « accident contrôlé » et mènent les tissus à 2 fois leurs gradients; les modèles E-L avec un facteur de conservatisme travaillé par Workman et la USN; les VPM du Dr Yount qui ont ouvert la porte à Becker et Pyle pour sortir le Z-Plan et par la suite le V-Plan de Yougblood.

Nombreuses sont les tables qui travaillent sur des modèles modifiés de la ZHL-16 A ou B de Bühlmann et y intègrent des principes de « paliers profonds » comme GAP, Abyss, Deco-Planner afin de réduire le plus possible la concentration de noyaux gazeux.

### **Mécanisme de l'accident de décompression :**

Pendant la plongée, la quantité de gaz dissous  $N_2$  augmente + ou - selon les tissus. Les accidents sont dû à une vitesse de remontée excessive ou au non-respect des procédures de décompression lors d'une saturation critique des tissus.

Les facteurs favorisants sont, une adiposité prononcée, une fatigue nerveuse ou physique, des efforts violents ou une augmentation du  $CO_2$ .

- $N_2$  reprend sa forme gazeuse dès qu'il y a sursaturation : petites bulles éliminées par la circulation dans le filtre pulmonaire (bulles circulantes)
- Si la remontée est trop rapide, les bulles grossissent avant l'échange pulmonaire et bloquent la circulation : embolie
- Si pendant une remontée il y a une manœuvre de Valsalva ou un gonflage à la bouche de la bouée, il peut se produire une hyper-pression pulmonaire supérieure à la pression des micro-bulles qui ne peuvent traverser la paroi alvéolaire et être ainsi éliminées. Les micro-bulles repartent dans la circulation artérielle, grossissent avec la pression ambiante qui diminue et provoquent une embolie.
- S'il se produit un dépassement de la sursaturation critique, il y a un dégazage incontrôlé et une formation de grosses bulles qui bloquent rapidement la circulation.

## SYMPTÔMES :

**a) Apparition des symptômes :** Ils dépendent des tissus atteints.

50% des probabilités d'accidents surviennent dans les 30mn	
25%	60mn
15%	03hrs
05%	06hrs

**b) Les accidents cutanés :**

- Les puces : sensations de démangeaison sur la peau
- Les moutons : déformation des tissus par gonflements < des vaisseaux à cause de la présence de gaz dissous dans la circulation. Formation de micro-hématomes sous la peau. Accident bénin mais souvent annonciateur d'un accident neurologique. Plus fréquent chez les scaphandriers ou en combinaison étanche dans un environnement gazeux différent (argon) ou dans un milieu à saturation différent du gaz dans la respiration.

**c) Les accidents ostéo-articulaires ou « bends » :**

- Douleur aiguë à un membre et sensation d'arrachement à une articulation devenant de plus en plus vive.
- Risque d'immobilisation des articulations dû à la fréquence des « bends »

**d) Accidents neurologiques et atteinte des centres nerveux :**

- Asthénie ou fatigue générale : pâleur, angoisse, malaise à la sortie de l'eau (ne pas confondre avec le mal de mer...) c'est un signe précurseur d'accident plus grave avec complication, donc à surveiller de très près...
- Paresthésie ou troubles sensitifs : douleur violente dans le canal médullaire ou les vertèbres, fourmillements dans les membres (souvent les jambes) impossibilité d'uriner. Faire des tests neurologiques simples (Babinsky) sur les extrémités et la sensibilité des membres.
- Paralysie :
  - i. monoplégie (un membre)
  - ii. hémiplegie (une moitié du corps)
  - iii. quadriplégie ou tétraplégie (quatre membres)
  - iv. paraplégie (dégazage au niveau de la moelle épinière)

**e) Troubles cardiaques et pulmonaires :**

- Infarctus du Myocarde (muscle cardiaque) par la présence de bulles dans l'artère Coronaire.
- Insuffisance respiratoire dû au dégazage dans l'artère pulmonaire ou une de ses branches.

**f) Accidents de l'oreille interne : ne pas confondre avec un barotraumatisme.**

- Vertiges, nausées, audition difficile ou impossible dû à un dégazage dans l'oreille interne.

**g) Décompression explosive :**

- Remontée très rapide ou baisse subite de la pression dans un caisson
- Défaillance cardiaque
- Surpression pulmonaire associée

### **Principe de « Diffusion » *pénétration des gaz par transfert.***

Le passage alvéolo-capillaire est un phénomène de diffusion régit par un processus physique qui veut que les molécules passent d'un environnement hautement concentré vers un de moindre concentration (principe opposé à l'osmose) à travers une membrane perméable. Le poids moléculaire de chaque gaz lié à sa concentration entre l'alvéole et le vaisseau capillaire autorise les gaz les moins denses à *diffuser* plus vite que d'autres.

### **Concept de « Perfusion » *distribution par le flux sanguin.***

À pression ambiante stabilisée, il persiste toujours une légère différence de pression externe et de tension interne dû à la présence des forces osmotiques. La tension interne est *inférieure* à la pression externe. Cela provient également des tensions osmotiques. Ce mécanisme permet de façon « normale » la dé-saturation des gaz présents dans l'organisme par les voies respiratoires et l'oxygénation des tissus. Le mécanisme de la perfusion est fonction principalement de la différence de P ambiante. et de T interne. Plus l'écart entre P amb. Et T int. est important, plus la perfusion est rapide.

En terme de plongée, cela veut dire un état de saturation; la descente; et un état de sursaturation; la remontée. Cet échange se fait au niveau tissulaire et capillaire. La difficulté en décompression moderne est de calculer les vitesses de perfusion et la vitesse du flux sanguin en fonction de la densité moléculaire de chaque gaz.

Les meilleures tables de plongée calculent chaque profile avec chaque gaz individuellement et en déduisent un gradient de dé-saturation plus conservateur; les RGBM...

### **Osmose : *transfert moléculaire par action chimique.***

L'osmose est un phénomène de diffusion entre deux solutions de concentrations différentes et entre des membranes perméables ou semi-perméables. Le passage s'effectue de la solution la moins concentrée (hypotonique) vers la plus concentrée (hypertonique)



Le liquide va du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré à travers une membrane osmotique (comme une membrane alvéolaire pour l'exemple) Ce phénomène permet l'échange des molécules gazeuses au niveau intra-tissulaire.

### **La concentration en sel :**

- de l'eau de mer : 30 à 35g/L
- de l'eau douce : 0g/L
- du sang : 9g/L

Les forces osmotiques sont les causes des déplacements des cellules dans l'organisme ainsi que toutes les matières se trouvant dans les fluides et les tissus. Ces échanges entraînent des différences de pression osmotique dans les tissus et donc de saturation.

### III- Métabolisme de la décompression

HYPEROXIE :

**Effet Lorrain-Smith :**

Cause : lors d'une exposition au-delà de 2 heures à une  $PpO_2$  supérieure à 0.5b, il survient des altérations de la surface alvéolaire diminuant les échanges gazeux respiratoires.

**Effet Paul Bert :**

Causes : 100%  $O_2$  ( $PpO_2$  supérieure à 1.6b), valeur  $PpO_2$  des mélanges respiratoires trop élevés. Effet narcotique de l' $O_2$  à grande profondeur.

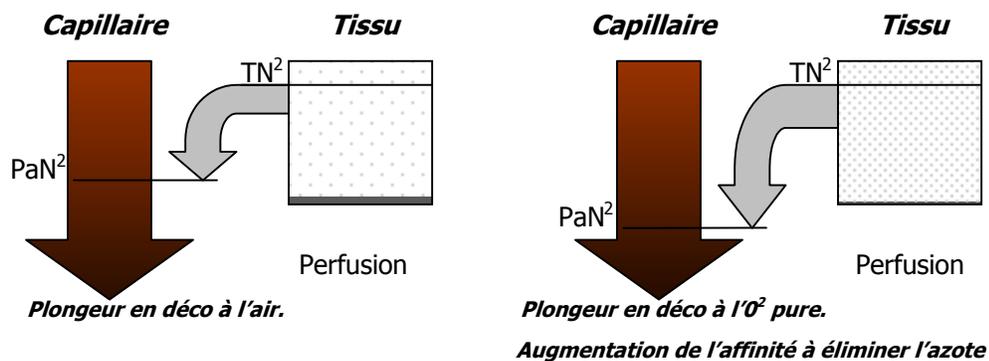
#### 1) **Décompression : le rôle exact de l'Oxygène.**

Il est facile de se donner bonne raison en modifiant des tables de décompression en y ajoutant de l'oxygène à tous les étages, mais encore faut-il bien comprendre le rôle exact et en doser les effets... La façon la plus simple de raisonner est d'utiliser le model de Haldane. Dans sa version canonique, le respect du critère de saturation est sensé éviter toutes formations de phases gazeuses. Cette façon de voir les choses simplifie énormément le problème car l'oxygène n'intervient plus dans le processus de sursaturation. On le néglige parce que le niveau d' $O_2$  tissulaire est très faible et pratiquement constant dû au métabolisme.

Dans l'hypothèse de l'échange par perfusion, le débit d'azote quittant le tissu est proportionnel au débit sanguin, mais aussi à la différence entre le gaz dissous dans le tissu et le gaz dissous dans le sang. Lorsque le plongeur respire de l'oxygène pur ou un mélange enrichi, le sang artériel ne véhicule plus d'azote -par augmentation de la concentration en  $O_2$  dans le sang- donc les tissus éliminent plus vite l'excédent de gaz par différence *osmotique* et de *concentration*. L'azote sort *plus vite* en quelques sortes.

Les échanges gazeux ressemblent aux écoulements de l'eau dans une rivière et vous savez que la vitesse de l'eau dépend de la pente de cette rivière. L'inclinaison de la pente dépend ici de la quantité de gaz dissous véhiculé. Si votre sang artériel ne contient plus -ou presque- d'azote, la pente va augmenter et entraîner avec elle les gaz dissous dans les tissus.

➔ Voilà pourquoi on utilise de l'Oxygène pour « **accélérer** » les décompressions. Le terme est ici employé pour désigner une modification significative du processus de dé-saturation par un ajout d'oxygène.



Les concepteurs de tables ont eu largement le temps de développer des méthodes douteuses et des principes de paliers modifiés. Confusion et approximation sont les deux ressources des tables dépassées, mais maintenant pour bien faire les choses, il faut réfléchir en terme de bulles et non de gaz dissout... Si le critère de remontée s'applique à la phase gazeuse et qu'il s'agit de contrôler son volume et sa pression, il faut considérer maintenant la totalité des gaz en présence dans la bulle.

Si on considère un critère d'ascension appliqué à une bulle, il faut prendre en compte l'oxygène qui a diffusé dedans. Si on se tourne du côté sanguin, les échanges d'oxygène ne participent pas vraiment à la perfusion. La tension d'oxygène dissout dans le versant artériel est constante. Si on se tourne du côté tissulaire, l'oxygène est consommé sur place par les cellules et le niveau est pratiquement constant aussi. Entre les deux, on peut imaginer un gradient de diffusion linéaire. Selon ce gradient, la pression partielle d'oxygène dans la bulle sera plus ou moins élevée et voilà comment l'oxygène devient un gaz gênant dans la décompression... Plus question de l'ignorer et de « raccourcir » de façon drastique la durée des paliers comme on faisait auparavant, il faut calculer au plus exact sa valeur.

## 2) Décompression : la « fenêtre » oxygène.

C'est le Dr. Behnke qui a forgé l'expression « *oxygen window* » que nous traduisons sans trop de conviction par « *fenêtre oxygène* ». Ce qu'il faut voir à travers cette fenêtre, c'est la découverte d'une sous-saturation naturelle des tissus liée au métabolisme.

Pour se jeter dans la fenêtre oxygène, il faut suivre le cheminement des gaz du poumon jusqu'à la cellule et raisonner sur un seul gaz : l'oxygène. Les services fournis aux cellules par l'organisme incluent l'apport de nutriment et d'oxygène et l'élimination du CO<sup>2</sup> et de la chaleur. Pour l'oxygène, le voyage se déroule en plusieurs phases.

Le premier passage est celui de la fine membrane alvéolaire (diffusion) qui permet l'embarquement pour le transport sanguin.

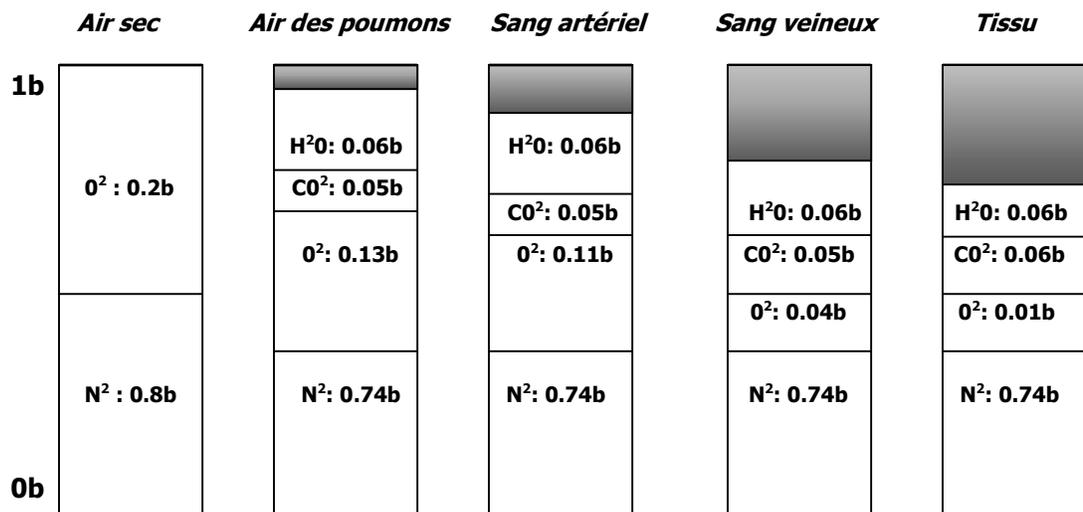
Les molécules de gaz qui ont franchi la membrane se dissolvent ensuite dans le liquide du sang et sont transportées vers les différents tissus (perfusions). La quantité de molécules transportée dépend d'abord du débit sanguin, un facteur lié au métabolisme du moment. Elle dépend ensuite de la capacité des molécules à se dissoudre dans le liquide sanguin. La relation est linéaire, plus la pression partielle du gaz est élevée, plus la quantité de molécules dissoute est grande.

Certains passagers bénéficient d'un statut privilégié. Ainsi, l'oxygène et le CO<sup>2</sup> ont-ils droit à un transport en *classe hémoglobine*, alors que l'azote – rappelons-le – est dissout dans le plasma. L'hémoglobine est une protéine spécialisée du globule rouge qui établit des liaisons avec l'oxygène. C'est toute la différence entre aller au travail à pied ou en autobus! On véhicule beaucoup de molécules d'oxygène avec l'hémoglobine que le sang ne pourrait en dissoudre dans son plasma.

L'oxygène existe toujours en phase dissoute dans le sang et les tissus mais le nombre de molécules dissoutes est très faible comparé à celles combinées à l'hémoglobine.



À cause de ce double transport, la relation entre la quantité totale de molécules d'oxygène transportée par le sang et la PpO<sup>2</sup> sanguine n'est plus linéaire.

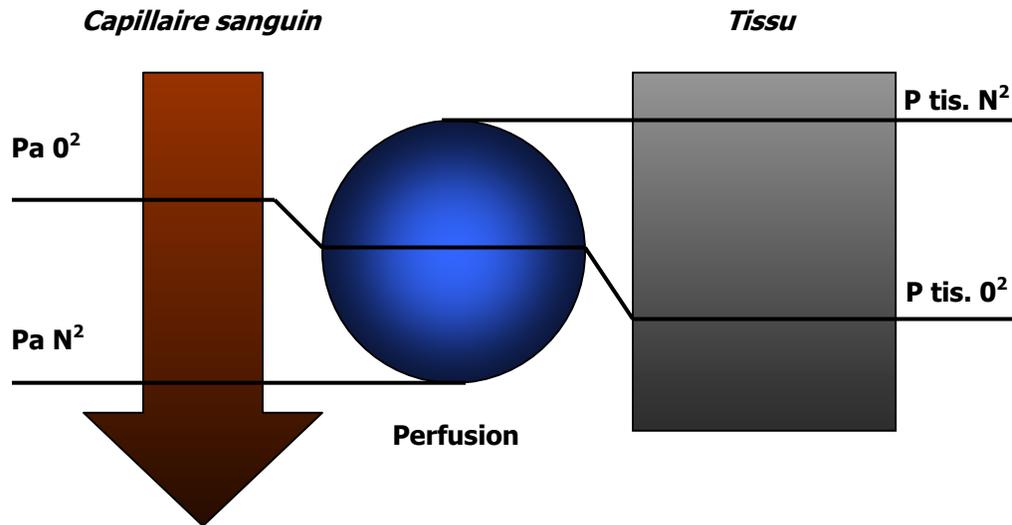


La sous-saturation des tissus varie entre 8 et 13% de la pression ambiante totale

Enfin arrive la dernière étape du voyage, la diffusion des molécules d'oxygène à travers les membranes des capillaires vers les tissus avoisinants. Une partie de l'oxygène consommée est convertie en  $\text{CO}_2$ . À cause de cette demande, la  $\text{PpO}_2$  chute dans les tissus. Pendant ce temps-là, la  $\text{PpCO}_2$ , elle, augmente dû au métabolisme. On observe donc un déficit entre le versant artériel et veineux. Il y a 2 raisons à cela; d'abord tout l'oxygène consommé n'est pas transformé en  $\text{CO}_2$  et ensuite le  $\text{CO}_2$  est 20 fois plus soluble que l'oxygène.



*Ainsi au niveau tissulaire, à cause des différences de solubilité, la consommation d'oxygène entraîne des baisses de  $\text{PpO}_2$  plus grande que l'augmentation de la  $\text{PpCO}_2$ . Le résultat est une pression totale tissulaire inférieure à la pression ambiante ou encore une sous-saturation latente, appelée aussi « **inherent unsaturation** »*



*Le critère d'ascension s'applique à une phase gazeuse. Il doit prendre en compte tous les gaz présents dans la bulle et en particulier l'oxygène. Le profil d'équilibre de l'oxygène doit s'approcher de celui dessiné. En fonction de l'oxygène inspiré, la pression partielle d'oxygène dans la bulle influence la durée du palier... Plus question maintenant d'extrapoler la durée du palier à l' $\text{O}_2$ ...*

Pour le plongeur, cette « fenêtre » est un facteur important dans le processus d'absorption et d'élimination des gaz inertes lors de la décompression.



*Que se passe-t-il lors d'un changement de pression ambiante ou d'un changement de fraction (de %) d'oxygène? (Lorsque le plongeur respire un mélange plus riche en  $\text{O}_2$ ) :*

Le transport en *classe hémoglobine* est plein! La différence de tension entre les gaz dissous dans le phénomène de sous-saturation latente entraîne une modification dans les phases de transferts vers le versant veineux. Si le mélange reste constant, tout comme la pression, les valeurs de sous-saturations le restent aussi.

On observe une variation importante de la *pente* du versant artériel/veineux dans des valeurs alentours à 2b de  $\text{PpO}_2$ . Une raison de plus pour avoir aussi limité les  $\text{PpO}_2$  en dessous de cette valeur excessive.

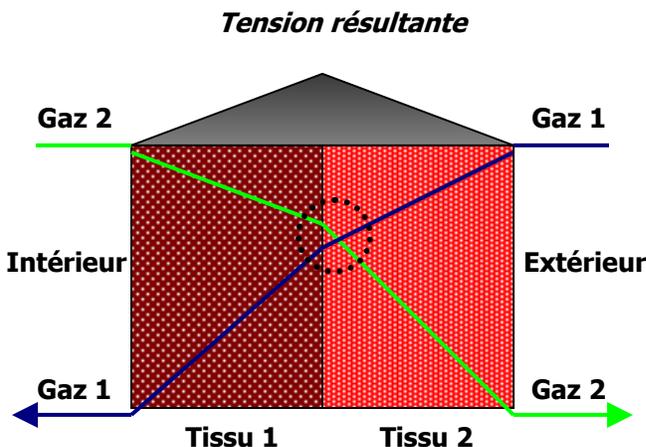
En résumé, cette fenêtre est nécessaire pour faciliter le transfert d'oxygène « frais » dans les tissus et l'élimination du  $\text{CO}_2$ .

### 3) La contre-diffusion isobare.

Une des difficultés en plongée avec des mélanges ternaire est d'essayer d'optimiser le plus possible la fraction  $O_2$  pour limiter la durée de la décompression tout en restant dans les protocoles sécuritaires des effets hypoxiques et hyperoxiques. Le problème devient plus complexe dans le choix des fractions des gaz de décompression après une plongée relativement profonde avec des mélanges de plus de 50% d'hélium.

→ **Les effets de la contre-diffusion se produisent sans changement de pression (profondeur) ils sont donc isobares et ils mettent en œuvre deux gaz qui diffusent en sens inverse.**

La CDI est donc liée aux changements de gaz inertes. Un gaz doit entrer, l'autre doit sortir de l'organisme. Suivant les gaz, suivant la profondeur et suivant le sens des échanges, certaines des situations peuvent provoquer des surpressions locales : il y a possibilité d'accident de décompression et dans une situation très critique car elle intervient sous l'eau... aux paliers... Par contre, si on inverse le sens des gaz, la CDI peut entraîner des sous-saturations locales qui sont utiles lors de traitements d'accident de décompression aux mélanges. Par facile donc de doser sa CDI!



Pour le plongeur technique qui respire un mélange contenant de l'hélium et de l'azote à grande profondeur, le dilemme est de trouver des valeurs de fractions et de Pp des mélanges de palier avec une proportion d'azote -ou d'hélium- qui ne provoquera pas de CDI. La contre-diffusion implique essentiellement les gaz qui diffusent les plus rapidement et ceux qui sont les plus solubles.

Une plongée avec un mélange Trimix de 16%  $O_2$  et 50% h<sup>e</sup>, contient encore 34% d'azote. Le choix des gaz de décompression et des gradients  $O_2$  pour accélérer le transfert doit absolument prendre en compte la valeur de l'azote et la Pp à laquelle il va être utilisé afin de prévenir un risque d'accident *vestibulaire*.

Certaines plongées Trimix profondes vont nécessiter soit un troisième gaz de décompression qui contient aussi de l'hélium, soit de faire une *Héliox* afin d'éliminer toute trace d'azote.

Dans une proportion quasi infime mais existante, l'Argon contenu dans les vêtements étanches lors de l'isolation provoque des phénomènes de contre-diffusion si le plongeur respire un mélange Trimix.

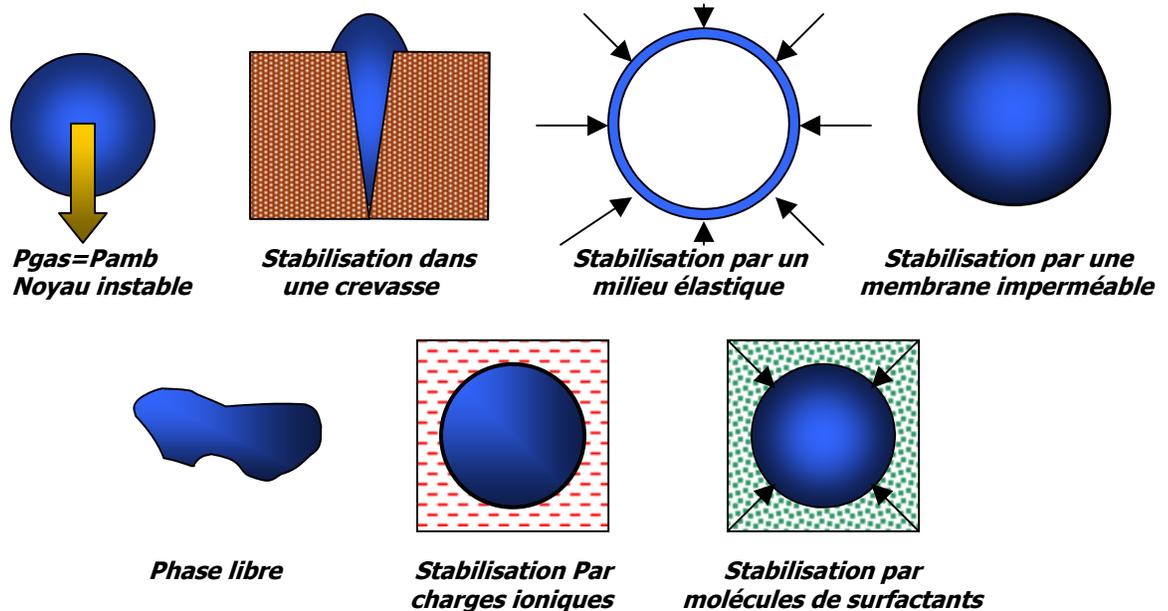
L'autre gros soucis en ce qui concerne la CDI est l'apparition des symptômes d'accident *durant* la décompression... Relativement facile à traiter quand vous êtes dans un système de sat. commercial mais très ennuyant en plongée sportive aux paliers...

Les moments de changements de gaz demandent beaucoup d'attention... Le traitement des accidents de décompression, surtout vestibulaires, aux mélanges est un véritable casse-tête pour les spécialistes en hyperbarie qui doivent faire très attention à la CDI. Les tables de traitements sont souvent avec des mélanges Nitrox ou Air et  $O_2$  au masque et contiennent donc plus d'azote que le mélange que respirait le plongeur avant l'accident...

#### IV- Introduction aux différentes tables de plongée et logiciels de décompression

##### a) Notions de modélisation des différentes phases : libres, gazeuses, dissoutes.

Comme nous l'avons vu plus haut, les gaz transférés ont plusieurs phases. Au niveau alvéolaire, la molécule est **libre** et dès son passage à travers la membrane perméable elle devient **gazeuse**. À ce stade de son état, le gaz a une forme de **bulle**. La phase dissoute commence au moment du transport et elle est reliée proportionnellement à la pression, la nature du gaz et la solubilité des liquides. Certaines tables de plongée ont basées leur modélisation sur une saturation et dé-saturation d'un état **Libre-Libre** de la bulle et d'autres se sont basés sur les phases **Libres-Dissoutes** des bulles.



##### b) Notions de facteurs de conservatismes : par gradient; par M-value.

Les bulles se forment dans l'organisme par des phénomènes particuliers dont le plus connu est la différence de tension et de pression ambiante dans les tissus. Nous avons déjà vu que cette différence peu être calculée et maîtrisée par un facteur nommé **gradient**. Certaines tables considèrent le gradient –ou le *coefficient*  $S_c$  vu plus haut- comme étant la phase critique à laquelle un tissu *accroche* et commence sa décompression et que ce gradient doit être d'au moins 2 fois la valeur de la tension de  $N^2$ . La notion de **conservatisme** apparaît sur la valeur du gradient qui tend à diminuer pour atteindre 1.45 sur les dernières modélisations des tables comme les RDP Padi. Ce qui revient en fait à la différence des NDL des tables, de la durée et la profondeur des paliers pour un même profil mais sur des tables différentes.

Alors que le gradient représente une valeur de pression, un autre facteur appelé **M-value** (M pour maximum) détermine le seuil critique de saturation d'un tissu avant que celui-ci ne provoque des problèmes lors de ça dé-saturation. En fait, la modification des *M-values* revient à gérer le pourcentage qu'un tissu peu se saturer. D'après le travail du Dr Workman, ce type de modélisation se réfère plus au concept de la *tension critique* et a permis le développement des tables modernes d'aujourd'hui. Si vous continuez à raisonner en terme de *Noyaux gazeux dissous* et non de *bulles en circulation*, vous obtiendrez des tables de décompression moins *agressives* pour l'organisme et qui vous font décompresser plus tôt que des tables à *gradients*.



**Comprendre le principe de modélisation des tables que vous utilisez vous permettra d'adapter votre facteur de conservatisme aux types de plongées que vous entreprenez.**

**c) Notions de paliers profonds [www.cisatlantic.com/trimix/abysmal/tech-articles.html](http://www.cisatlantic.com/trimix/abysmal/tech-articles.html)**

La notion de « **paliers profonds** » peu paraître paradoxale au premier abord. Pour le néophyte en plongée avec décompression, le principe est de remonter en faisant des paliers le plus proche possible de la surface, en respectant des protocoles de tables. Rappelez-vous, il faut maintenant réfléchir en terme de noyaux gazeux et non de simples bulles! Même quand vous n'êtes pas en pression, la cavitation des flux sanguins dans votre corps provoque les « bulles » et il faut les considérer dans votre décompression. Les plongées longues mais peu profondesaturent tous vos tissus lents alors que les plongées courtes et profondes,aturent les tissus rapides et aussi les lents... Le principe est de commencer à dé-saturer dès le gradient idéal atteint du tissu le plus lent. Souvent à mi-profondeur ou plus profond lors de plongées multi-gaz.

Ce principe permet de ralentir considérablement la vitesse de remontée (car la déco idéale est la remontée constante) mais aussi de **décharger** certains tissus et passer moins de temps dans les derniers paliers. On commence à observer des protocoles de paliers profonds même dans des situations de plongée « récréative »

**d) Les tables :**

**- USN [www.coralsspringsscuba.com/miscellaneous/usn\\_manual.htm](http://www.coralsspringsscuba.com/miscellaneous/usn_manual.htm)**

Toutes les tables actuelles sont basées sur le model de Haldane et le principe de la compartimentation hypothétique des tissus du corps humain. Bien plus tard, Bühlmann et Workman ont repris ce model dont sont issues les tables de la US Navy. Leur principe est E-L avec un facteur de gradient pour mathématiser le seuil critique de dé-saturation. Les USN sont peu adaptées à la plongée profonde à l'air et dans un environnement « récréatif » moderne dont la population de plongeur d'aujourd'hui à bien changée depuis les premiers essais avec les militaires...

**- DCIEM [www.dciem.dnd.ca/publications/factsheets/t14\\_e.pdf](http://www.dciem.dnd.ca/publications/factsheets/t14_e.pdf)**

Peut-être les tables les mieux adaptées à notre environnement de plongée... la seule qui prend en considération la température de l'eau et le fait que la *charge* d'un tissu est fortement modifiée en eau froide. On observe un temps de NDL plus court que dans les autres tables qui résulte en des décompressions plus longues. Malheureusement, les longues déco en eau froide sont mal perçues par les plongeurs techniques...

**- RDP Padi [www.padi.com](http://www.padi.com)**

Une des tables les plus connue par les plongeurs « loisirs » Sûrement grâce à Padi... Pour limiter les risques d'accidents de décompression, il a fallu sortir des tables modifiées et très conservatrices pour une pratique « récréative » La sortie du principe des NDL (No Decompression Limits) des tables Padi est extraite des USN qui ont été retravaillés par *Rogers* et *Hamilton*. La modification aussi des vitesses de remontée à contribué à l'élaboration de tables plus « populaires » et pédagogiquement plus pratique à manier.

**- RGBM [www.rgbmdiving.com](http://www.rgbmdiving.com)**

**Reduced Gradient Bubble model** est une combinaison la plus récente des meilleures modélisations en terme de décompression moderne. Les RGBM, créés par Bruce Weinke, sont une réponse à une demande pressente de la communauté de plongeurs techniques qui désiraient avoir des profils de plongée intégrant les variations de mélanges et les grandes profondeurs. Ce model compile les deux phases du gaz –libres et dissoutes- pour générer, avec des vitesses de remontée de 9m/mn (30ft/mn) des paliers profonds et des décompressions à l'O<sup>2</sup> pur basées sur la valeur « Oxygen Window » La communauté « récréative » à elle aussi bénéficiée de l'avancement scientifique des RGBM pour répondre aux nouveaux comportements des plongeurs face aux profils inversés, au Nitrox, aux intervalles de surfaces courts et à la plongée intensive sur plusieurs jours.

Ce model prend en compte également chaque gaz séparément dans son calcul de dé-saturation par implémentation des M-Value et leurs états de super-saturation critiques. Le résultat est une approche de la déco à *gradient constant*. Celle utilisée en plongée commerciale à saturation avec les USN Offshore et bientôt chez nous...

e) Les logiciels de décompression : [www.advanceddivermagazine.com/DecoA.asp](http://www.advanceddivermagazine.com/DecoA.asp)

L'utilisation de tels logiciels demande une formation en décompression et une pratique rigoureuse. Une erreur de programmation serait fatale... Pour plongeurs expérimentés...

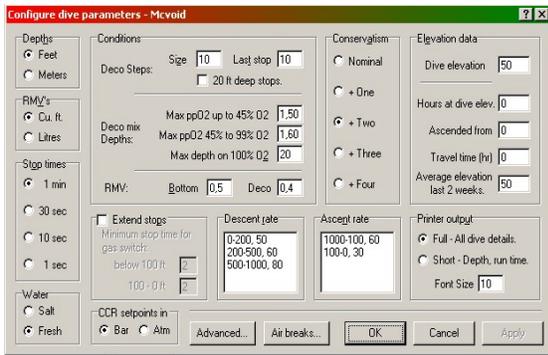
	Z-Planner	DecoPlanner	V-Planner	Gap	ProfilPlanner	DecoPlanner	Dplanner
Bühlmann	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pyle Stops	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gradient Factors	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
VPM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
RGBM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Graphical User Interface	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Grid Data Entry	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Closed Circuit mode	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Profile Graph	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bailout Tables	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Range Plan	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gas Mixer included	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Custom Deco mixes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Preformatted Table Generation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GWE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DCAP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
RB Bailout tables	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Multilevel Profiles	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Price	Free	\$89*	\$59	\$199	\$190	\$75	\$59

\* for version 2.049 without the VPM capability

Tous les logiciels de déco présentés ici ne représente qu'une petite partie de ce qui est sur le marché. Gardez à l'esprit que même le meilleur logiciel est juste une approximation des principes de déco. Ceux basés sur le principe de Bühlmann, qui a l'avantage d'être le plus vieux et le mieux compris, sont les plus utilisés. Cependant, les models VPM et RGBM apportent une nouvelle dimension dans cette modélisation. Ici, on parle aussi des « Pyle stops » qui sont des applications précises sur le concept des paliers profonds, Ceux qui permettent la dé-saturation des tissus rapides pendant la remontée sans perturber les tissus lents.

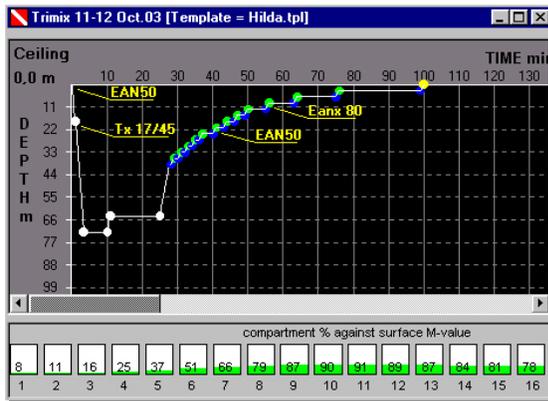
**À utiliser avec circonspection...**

- V-planner (VPM) <http://www.hhssoftware.com/v-planner/>



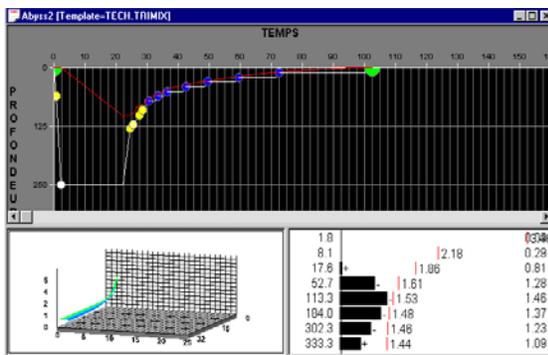
Crée par Ross Hemingway, V-Planner utilise le model VPM-B qui est une extension réalisée par Eric Backer. Le principe du model VPM est en relation avec la présence permanente de micro-bulles dont la tension critique et la vitesse de diffusion détermine le calcul de la décompression. La nouvelle plate-forme de V-Planner (Z-Planner amélioré) permet de nombreuses configurations mais les tables quelle génère restent un peu confuses à interpréter pour le néophyte.

- GAP (Gas Absorption Program) <http://www.gap-software.com/>



La nouvelle version du logiciel GAP est à l'heure actuelle une des meilleures sur le marché. La plate-forme est très facile à utiliser et ce logiciel génère beaucoup d'options comme des tables de contingences, des tables avec pertes de gaz de déco et les modes OC/CC en Pp0 constante. Les calculs se font soit en mode Bühlmann ZHL16 ou en mode RGBM avec une intervention possible sur le facteur de conservatismisme et les M-Value. Les informations sont convertibles en mode HTML ou Excel pour impression et chaque profil correspond à un utilisateur donné.

- Abyss <http://www.abysmal.com/web/products/demos/english.html>



Le logiciel Abyss a la particularité d'être visuellement bien travaillé. Cependant, il est néanmoins très complexe à utiliser. Le mode de calcul de ce sur-puissant logiciel de décompression est basé sur du Bühlmann avec « deep stops » et intègre les phases de modélisation RGBM. L'utilisateur peut comparer à tout moment son profil sur différentes plate-formes de calcul. Attention, Abyss vous donne aussi accès aux éléments de calcul des gradients et des M-Value... **Prudence avec cet outil...**

## VII- Procédures de décompression

### 1) *Principes et paramètres.*

Partez toujours du principe que le temps passé dans l'eau en décompression doit être le plus court possible. Cela peut paraître paradoxal à première vue mais dites-vous que l'environnement où se fait la décompression n'est pas toujours très *confortable*, voire *sécuritaire*... Le compromis est entre une déco *rondement* calculée et une sortie de l'eau sans séquelles! Passer des dizaines de minutes sous quelques mètres d'eau à zéro degrés, dans du courant de 4 nœuds et en sachant qu'il est hors de question de partir en dérive, de manquer de gaz, d'avoir un problème de flottabilité, de givrer ou d'avoir une envie pressante n'a pas besoin d'être trop long pour rien!

L'autre principe est de se rentrer dans le crâne que la surface n'est plus la solution de survie... Le problème doit être géré (sauf cas extrêmes) sous l'eau! Il faut donc toujours réfléchir en terme *d'autosuffisance* et de volume de gaz. La liste des principes de base pour faire de la plongée avec décompression est longue et souvent argumentable (concept DIR...) Certaines procédures sont contraires à tout ce que vous avez appris auparavant, comme la plongée solo et les profils inversés.

Les configurations d'équipements et le principe de *redondance* et aussi souvent contesté par les plongeurs *extérieurs* au cas de figures. Il faut avoir vécu des situations de perte de gaz de déco ou de « black out » total de son ordinateur pour comprendre pourquoi on doit penser *redondance* en plongée déco... Doubler les systèmes vitaux est une règle inaliénable et pensez que votre lumière est aussi vitale que votre gaz dans certaines situations...

Le choix d'une table ou d'un model de décompression est souvent établie sur la particularité de la plongée que vous allez faire et des conditions que vous risquez de rencontrer. Comprenez qu'une pénétration sur l'Empress pendant 50 mn de fond, dans zéro degrés et 10ft de visibilité avec un courant de marée sortante en déco sera plus stressante qu'un *tombant* aux Bahamas, même 2 fois plus profond... Et puis, n'oubliez jamais le facteur *humain*, à ce niveau de plongée vous devez être capable *d'écouter votre corps* et de connaître les effets d'une mauvaise remontée ou du choix d'un gradient trop fort...



***La règle d'or est de planifier sa plongée et de plonger sa planification...***

### 2) *Cas critiques.*

Notre organisme a la faculté de pouvoir encaisser pas mal d'erreur de notre part. Ce que vous faisiez avant n'est plus forcément bon maintenant, et puis vous avez vieilli aussi... Les situations de décompressions aléatoires, trop rapides ou carrément ratées peuvent à la longue être dramatiques.

Certains protocoles existent pour *retourner* dans l'eau après une omission, voire un début d'accident, mais ils demandent une bonne interprétation de la situation et une assistance en surface aussi compétente que le plongeur qui prie pour que tout ce passe bien sous l'eau...

Ça pourrait vous faire rappeler une annotation médicale comme : « *ne pas dépasser la dose prescrite et pas d'utilisation prolongée sans avis médicale...* »

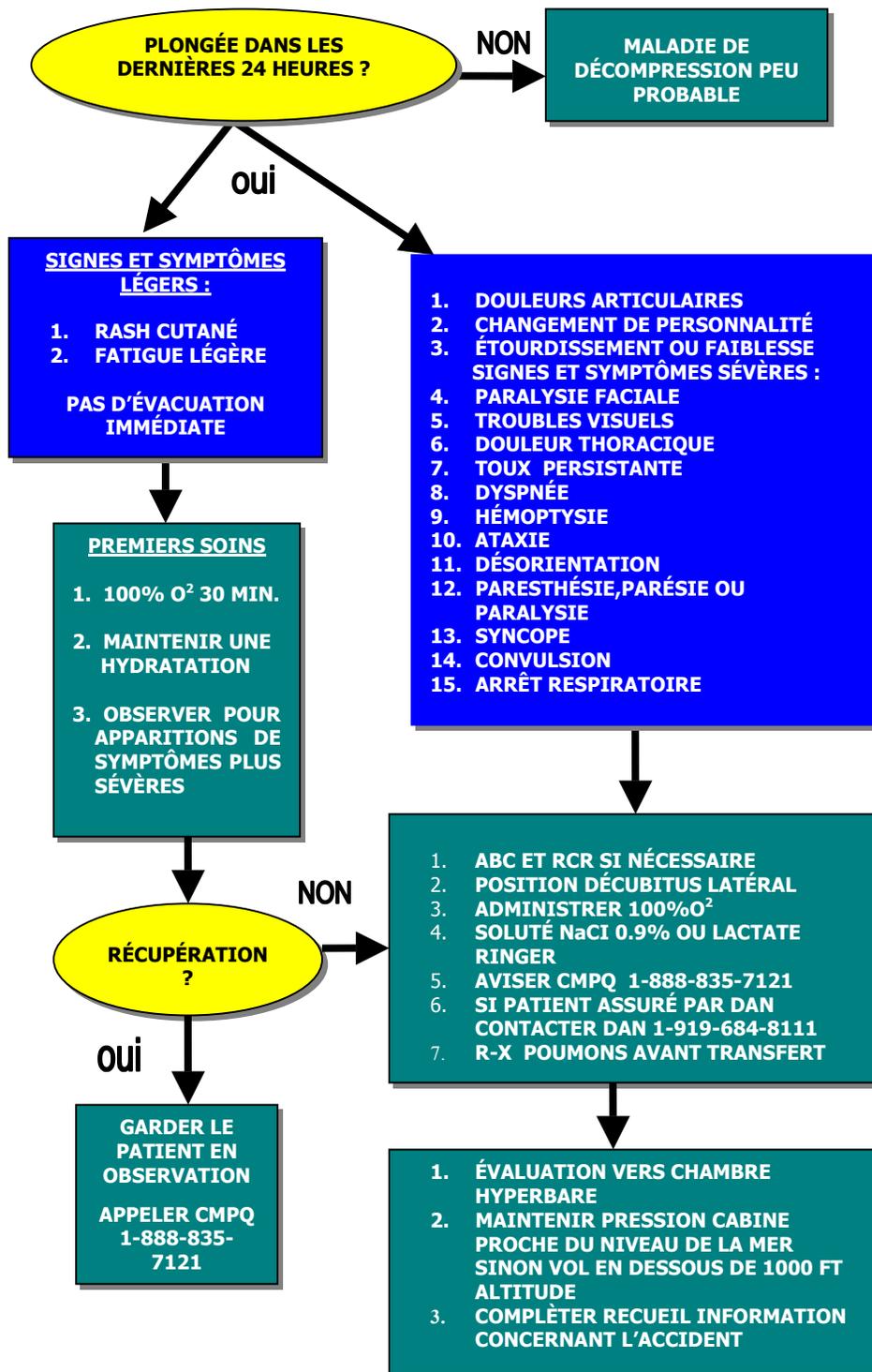
## VIII- Résumé sur la décompression

Science ou théorie ?... Planifier une décompression n'est pas facile, c'est un art plus qu'une application. Rien n'est établi de façon définitive. On pense avoir la solution quand la science découvre une autre théorie...

C'est un peu comme faire du vélo en ce disant :

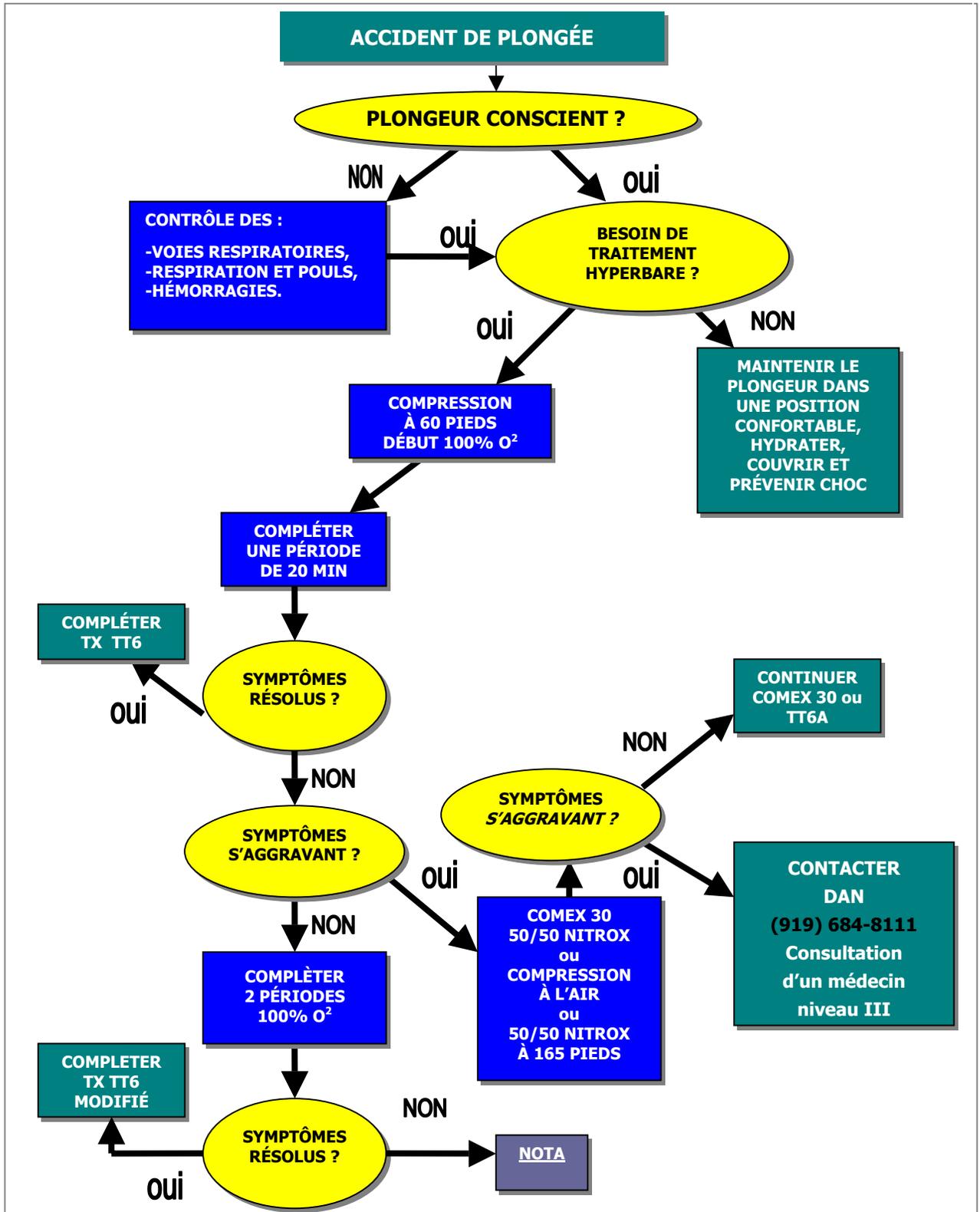
**« *plus tu pédales moins vite, moins tu avances plus vite...* »**

## ALGORITHME DE CONDUITE INITIALE



Sources CMPQ

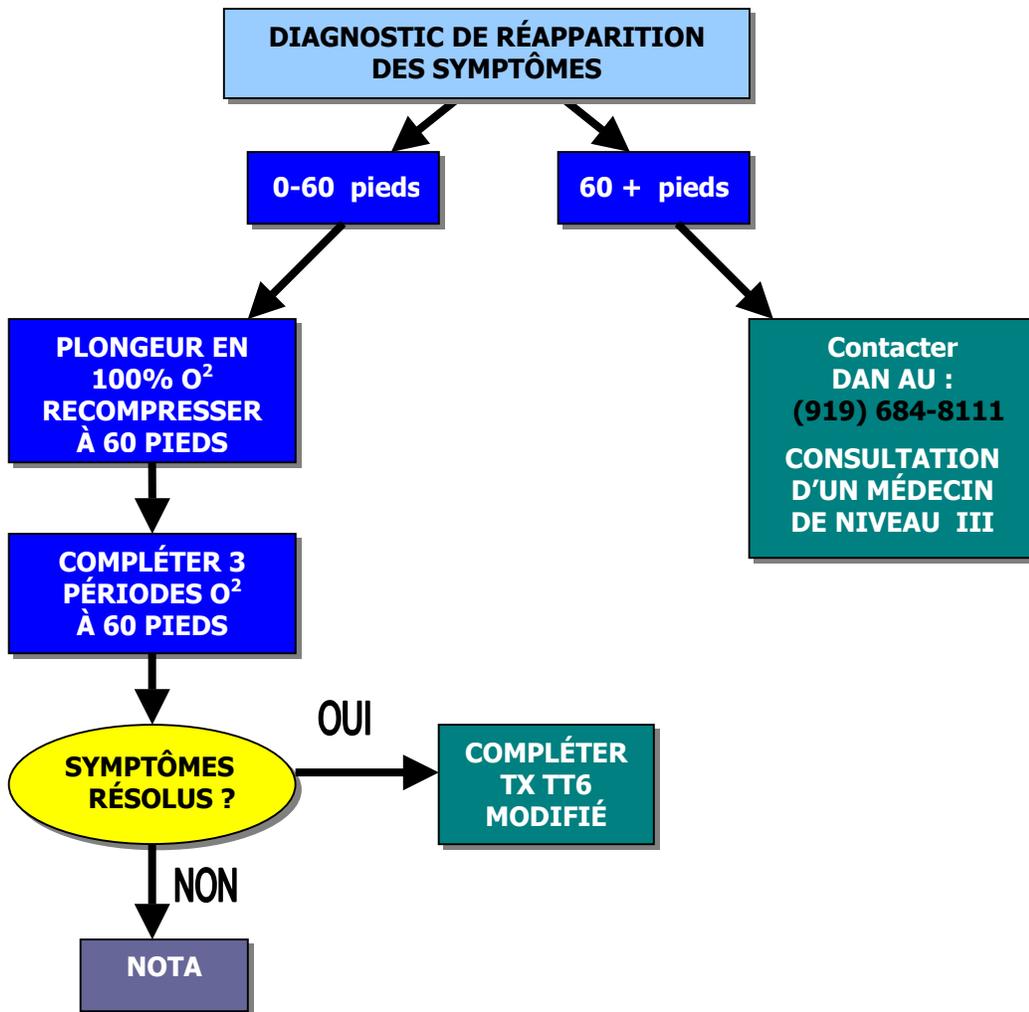
**ALGORITHME D'URGENCE DE PLONGÉE  
ACCIDENT DÉCOMPRESSION/ EMBOLIE GAZEUSE**



NOTA : Seulement face à des symptômes sérieux (comme paralysie des membres) doit-on considérer une TT7. Si possible utiliser 50/50, 80/20, 84/16 H<sup>e</sup>/O<sup>2</sup> au lieu de l'air. Autres options : tables COMEX 30 ou Tables Catalina peuvent être utilisées.

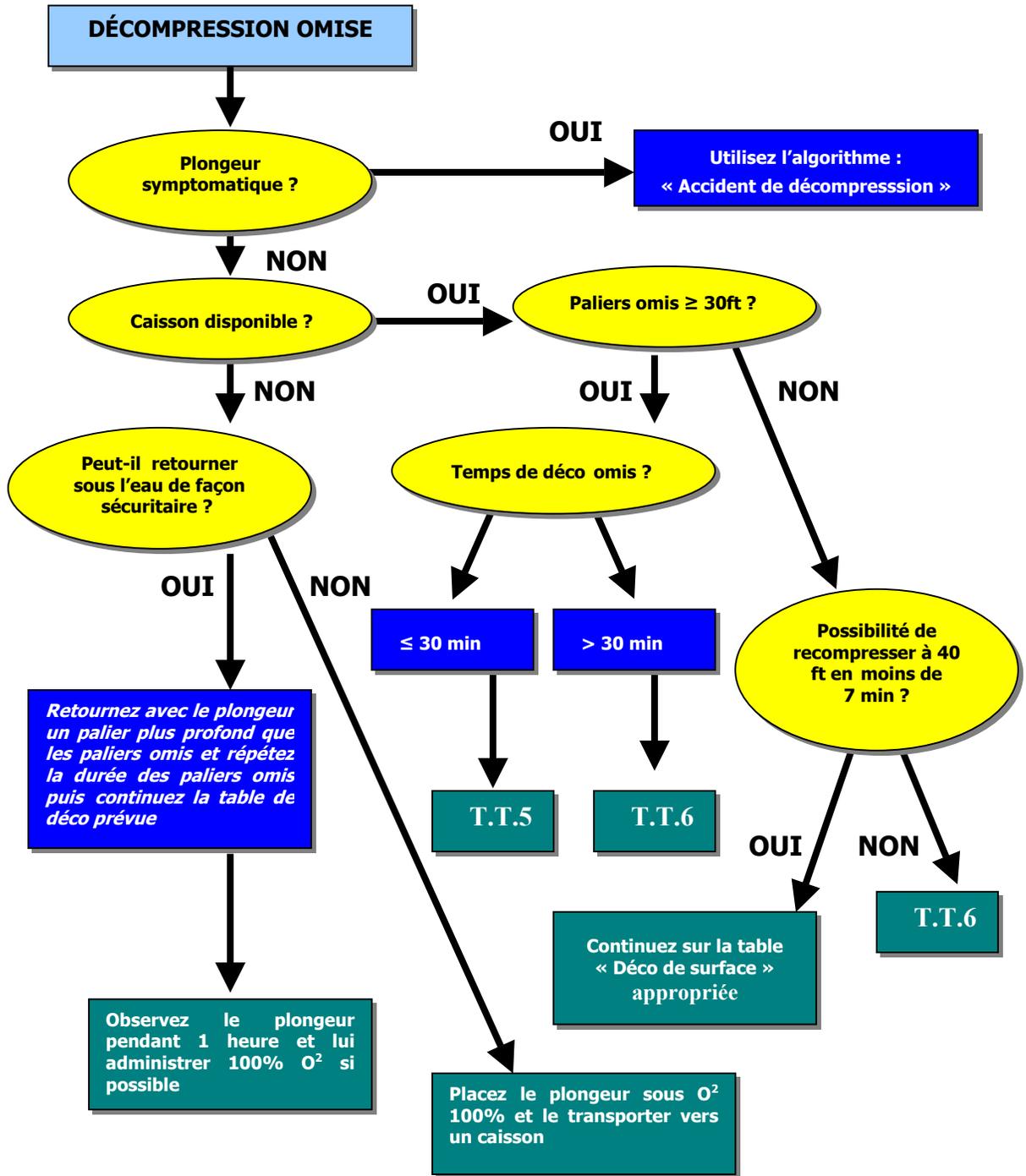
Sources CMPQ

**ALGORITHME  
RÉAPPARITION DES SYMPTÔMES DURANT LE TRAITEMENT**



**NOTA.** Seulement face à des symptômes sérieux (comme paralysie des membres) doit-on considérer une TT7. Si possible utiliser 50/50,80/20,84/16 HeO2 au lieu de l'air. Autre option : une tables COMEX 30 ou tables Catalina peuvent être utilisées.

# ALGORITHME POUR OMISSION DE DÉCOMPRESSION



Sources CMPQ

**PROCÉDURES D'ÉVACUATION  
POUR UN ACCIDENT DE PLONGÉE  
(CMPQ)**

***Chaque entreprise de plongée doit entreprendre un plan d'évacuation en cas d'urgence en plongée et faire connaître ses intentions lors d'une urgence.***

**PLONGEUR CONSCIENT et ALERTE**

1. Évaluer la victime, ses voies respiratoires, sa respiration et sa circulation. Mettre la victime sous 100% oxygène.
2. Appeler le 911 donnez-leur votre nom, informez-les de votre emplacement, qu'il s'agit d'un accident de plongée, l'état du plongeur et qu'il doit recevoir des soins hyperbares. Dites-leur de contacter le Centre de médecine de plongée du Québec au **1-888-835-7121**
3. Si le transport par voie terrestre n'est pas possible, contactez le Centre de médecine de plongée au **1-888-835-7121** et informez le médecin de garde de votre situation pour coordonner une évacuation aérienne.
4. Évaluer la victime et noter l'information requise, faire un examen neurologique rapide, prendre le plus d'informations possibles sur la plongée, garder l'ordinateur (s'il y en a un) avec le plongeur, récupérer tout l'équipement du plongeur (bouteille, détendeur, veste de flottaison...) Noter l'état de l'équipement, questionner le partenaire de la victime pour avoir plus d'informations sur les événements ayant causés l'événement.
5. Si on présume un accident de décompression ou toute autre maladie reliée à la plongée, garder la victime sur le dos ( ne pas élever les pieds) Couvrir et hydrater la victime. S'il y a nausée ou possibilité de vomissement retourner la victime sur le côté pour permettre le dégagement des voies respiratoires.
6. Lorsque le transport est disponible transférer la victime aux ambulanciers avec toutes les informations pertinentes. La personne en charge de la plongée doit accompagner la victime pour transmettre les informations nécessaires à l'équipe médicale.

**N.B. Durant le transport, l'altitude doit toujours être gardée sous les 1000 pieds.**

## **PLONGEUR INCONSCIENT**

- 1. Évaluer la victime, ses voies respiratoires, sa respiration et sa circulation. Mettre la victime sous 100% oxygène avec un débit de 15 litres par minute.**
- 2. Appeler le 911 ou {VHF CH 16 (PAN PAN PAN) si en mer} donner leur votre nom, informez-les de votre emplacement, qu'il s'agit d'un accident de plongée, l'état du plongeur et qu'il doit recevoir des soins hyperbares. Dites-leur de contacter le Centre de médecine de plongée du Québec au 1-888-835-7121.**
- 3. Si le transport par voie terrestre n'est pas possible, contacter le Centre de médecine en plongée au 1-888-835-7121 et informer le médecin de garde de votre situation pour coordonner un évacuation par voie aérienne.**
- 4. Continuer à évaluer et surveiller la victime.**
- 5. Amasser le plus d'informations possibles sur les événements de l'accident, garder l'ordinateur (s'il y en a un) avec le plongeur, récupérer tout l'équipement du plongeur (bouteille, détendeur, veste de flottabilité...) et noter l'état de chaque item; questionner le partenaire (s'il y en a un ) de la victime pour avoir plus d'information sur les événements ayant causés l'accident.**
- 6. Lorsque le transport est disponible transférer la victime aux ambulanciers avec toutes les informations pertinentes. La personne en charge de la plongée doit accompagner la victime pour transmettre les informations nécessaires à l'équipe médicale.**

**N.B. Durant le transport, l'altitude doit toujours être gardée sous les 1000 pieds.**

Sources CMPQ

## EXAMEN NEUROLOGIQUE RAPIDE

Nom du patient : \_\_\_\_\_

Endroit : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_ Heure : \_\_\_\_\_

Normal    Anormal

### TÊTE ET COU

_____	_____	Orientation (heure,nom, lieu)
_____	_____	Acuité visuelle ( compter les doigts, demander s'il y a diplopie)
_____	_____	Champ visuel ( ramener le doigt de derrière la tête du patient)
_____	_____	Pupilles égales et réactives à la lumière
_____	_____	Mouvements oculaires ( mouvement irrégulier; H-pattern)
_____	_____	Sensation du front, des joues, de la mâchoire inférieure
_____	_____	Serrement des dents ( observer les muscles de la mâchoire )
_____	_____	Front ridé
_____	_____	Yeux fermés bien fort (observer les muscles au-dessus et au-dessous des yeux)
_____	_____	Sourire ou grimace
_____	_____	Examiner l'ouïe / bruits
_____	_____	Déglutition
_____	_____	Tirer la langue ( noter si dérivation sur un coté)
_____	_____	Haussement des épaules ( appliquer une force sur les deux épaules)

### SENSATION

_____	_____	Demander s'il y a sensation inhabituelle
_____	_____	Examiner sensation des bras, du dos, du tronc, des jambes
_____	_____	Demander si la sensation est la même des deux cotés

### FONCTION MOTRICE

_____	_____	Doigt serre bilatéralement
_____	_____	Pouces vers le bas, résistance à séparer les bras
_____	_____	Examiner flexion et extension des hanches, genoux et chevilles
_____	_____	Réflexe cutanée plantaire ( orteils vers le bas = normal)

**NOTA :** Ajouter notes explicatives sur toutes les anomalies.

---

---

---

---

## **PLAN D'URGENCE ET D'ÉVACUATION SANITAIRE**

**URGENCES EN MER** : 1 (800) 371-5857

**VHF** : 16

**CELLULAIRE** : \* 16

**URGENCES MÉDICALES** : 911

**URGENCES HYPERBAR** : 1 (888) 835-7121

**AIR MÉDIC** : 1(877) 963-3322

**RECHERCHES MARITIMES** : 1 (418) 648-4366 ou 1 (800) 371-5857

**CAISSON HYPERBAR** : Montréal : 1 (514) 338-2000 # 0

Québec : 1 (418) 835-7121

**MÉDECINS HYPERBAR** : Dr Robert Doucet : 1 (418) 833-4977

Dr Mario Côté : 1 (418) 833-4977

Dr Stéphane Tremblay : 1 (418) 563-2542

**HÔPITAUX** : Québec : 1 (418) 525-4444 Lévis : 1 (418) 835-7122

Rimouski : 1 (418) 724-8574 ou 911

**POLICE** : SQ : 1(800) 461-2131 Cell. \* 4141 ou **911**

**CENTRE ANTI-POISON** : 1 (418) 656-8090

**BASE DE PLONGÉE LOCALE** :

**TÉLÉPHONES PERSONNELS** :

-  
-  
-

**DAN** : 1(919) 684-8111 (en Anglais) ou 1 (800) 446-2671

**AUTRES** :

## **SUIVRE ET RESPECTER LES INSTRUCTIONS DU PLAN D'URGENCE ET D'ÉVACUATION EN CAS D'ACCIDENT DE PLONGÉE**

### **AGIR VITE :**

- INTERVENEZ LE PLUS VITE POSSIBLE AUPRÈS DE LA VICTIME, SORTIR DE L'EAU ET FAIRE UN BILAN PRIMAIRE.
- PRÉVENEZ ET RÉPARTISSEZ LES TÂCHES SI POSSIBLE.
- IDENTIFIEZ LE PROBLÈME ET ORGANISEZ L'ÉVACUATION EN CONSÉQUENCE.
- SURVEILLEZ EN PERMANENCE ET APPROFONDISSEZ VOTRE BILAN.
- FOURNIR LES DOCUMENTS NÉCESSAIRES POUR LES TRAITEMENTS EN CHAMBRE HYPERBAR OU AUX SERVICES MÉDICALISÉS.
- FACILITEZ LA RAPIDITÉ DE L'ÉVACUATION.

### **EN CAS D'ACCIDENT DE PLONGÉE :**

- IL EST *INDISPENSABLE* DE PRÉVENIR LES SERVICES D'URGENCE DE LA *NATURE* DU PROBLÈME.
- ORGANISEZ LES SECOURS ET L'ÉVACUATION EN FONCTION DU TYPE D'ACCIDENT SURVENU :  
***ACCIDENT DE DÉCOMPRESSION OU SURPRESSION PULMONAIRE, NOYADE ou autres...***
- DEMANDEZ UNE ÉVACUATION PAR VOIE AÉRIENNE SI NÉCESSAIRE.
- VOUS DEVEZ UTILISER LES DOCUMENTS ET PROTOCOLES DE 1<sup>ER</sup> SECOURS MIS À VOTRE DISPOSITION POUR INFORMER DE L'ÉTAT ET DES SOINS DÉJÀ PRODIGUÉS SUR LA VICTIME, AUX SERVICES D'URGENCES.
- REMPLISSEZ LES RAPPORTS D'ACCIDENTS DE PLONGÉE PROPOSÉS PAR LES AGENCES DE PLONGÉE (PADI, NAUI)
- CONTACTEZ LES ASSURANCES ET LES PROCHES.

### **POUR APPELER LES SECOURS :**

1. COMPOSEZ LE NUMÉRO DU SERVICE REQUIS OU APPELEZ SUR LE CANAL 16 DE LA VHF PUIS SUIVEZ LES PROCÉDURES.
2. DITES CLAIREMENT : « ICI....., NOUS AVONS UNE URGENCE MÉDICALE, OU UN ACCIDENT DE PLONGÉE DE TELLE NATURE, NOUS SOMMES À....., DEMANDONS UNE ÉVACUATION.
3. INDIQUEZ PRÉCISEMENT L'ENDROIT OÙ VOUS ÊTES ET LA MANIÈRE LA PLUS FACILE POUR VOUS Y TROUVER.
4. DONNEZ AUX SERVICES D'URGENCES UN NUMÉRO POUR VOUS JOINDRE OU RESTEZ À L'ÉCOUTE SUR LA VHF.
5. SUIVEZ ATTENTIVEMENT LES INSTRUCTIONS QUE L'ON PEUT VOUS FOURNIR POUR VOUS DIRRIGER VERS UNE AUTRE ZONE D'ÉVACUATION.

**SOYEZ EFFICACE ET PROFESSIONNEL!**