



# ON PLONGE DANS LA THEORIE

Fascicule 1

## CAP DIVE

école de plongée

Thierry Moulin

Poids, Force, Pressions	Les Tables de plongée	le bloc
Archimède	Les plongées en altitude	Le detendeur
Loi de Mariotte	les plongées aux melanges	les signes
Loi de Henry		
Loi de Dalton	L'appareil respiratoire	
Les accidents de décompression		
Les accidents toxiques	l'acoustique	
Le froid		
La noyade		

## MASSE, FORCE, POIDS, PRESSIONS

### PARLONS TOUS LE MEME LANGAGE

Pour cela, il est nécessaire de savoir ce que signifient les termes que l'on va employer, et quelles sont les unités correspondante.

- **LE POIDS** : est exprimé en kilogramme force, que l'on a l'habitude de simplifier en KILOGRAMME.
- **LE METRE** : pour le nageur en surface, le mètre est l'unité de longueur. Pour le plongeur, le METRE est l'unité de profondeur
- **LE METRE CARRE** : est l'unité de surface
- **LE METRE CUBE** : est l'unité de volume :  $1 \text{ m}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3 = 1\,000 \text{ l}$  |  $1 \text{ L} = 1000 \text{ cm}^3$ . (rappel un litre d'eau pèse 1 kg).

## PRESSION

La pression se définit comme étant une FORCE appliquée sur une surface.

$$\text{PRESSION} = \frac{\text{FORCE}}{\text{SURFACE}}$$

L'UNITE DE PRESSION UTILISEE PAR LES PLONGEURS EST LE BAR ou LE kg/cm<sup>2</sup>

nous exprimerons toujours :

- LES POIDS EN KILOGRAMMES (kg)
- LES VOLUMES EN LITRES (l)
- LES PRESSIONS EN BARS (b)
- LES PROFONDEURS EN METRES (m)
- LES ALTITUDES EN METRES (m)

## LE PRINCIPE D'ARCHIMEDE

Il m' a paru logique de commencer cette révision des principales lois physiques régissant la plongée par le principe d'Archimède, car avant même d'intéresser le plongeur, il trouve une première application dans la natation. Le fait de pouvoir nager dans l'eau, chose impossible à réaliser dans l'air, pourrait suffire pour prendre conscience de la réalité de la "poussée" d'Archimède. On peut aussi vérifier l'existence de cette poussée en constatant que si l'on porte une bouteille de plongée par les sangles sur une plage et que, rentrant dans l'eau, on immerge cette bouteille, elle devient instantanément plus légère. Le principe d'Archimède s'énonce :

**Tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de ce fluide une poussée verticale dirigée de bas en haut égale au poids du volume du fluide déplacé.**

De toute évidence, le fluide qui nous intéresse, nous plongeurs, est l'eau, mais il est plus normal d'énoncer ce principe en employant le mot *fluide* à la place du mot *liquide*, trop restrictif, car le principe d'Archimède s'applique également aux gaz, témoin les ballons atmosphériques, montgolfières et autres aérostats. En plongée, nous constaterons les incidences du principe d'Archimède appliqué aux gaz, incidences dans lesquelles intervient également la loi de **Boyle-Mariotte**.

On peut vérifier le principe d'Archimède à l'aide d'une balance hydrostatique. Sur l'un des plateaux, on pose un cylindre creux c dont le volume intérieur est égal à celui d'un cylindre C (solide indéformable de densité supérieur à celle de l'eau).

On équilibre la balance avec des poids posés sur l'autre plateau. On immerge le cylindre C dans un récipient R rempli d'eau à ras bord et on recueille l'eau déversée par l'immersion du cylindre dans un autre récipient r. L'équilibre de la balance est rompu, le poids du cylindre a diminué. En versant dans le cylindre c l'eau recueillie, on constate que l'équilibre de la balance se rétablit et que le volume de cette eau correspond au volume du cylindre immergé.

## POIDS APPARENT

Le poids apparent d'un objet immergé est la différence entre son poids réel et la poussée d'Archimède à laquelle il est soumis.

En pratique, nous négligerons en parlant du poids réel d'un corps dans l'air la poussée d'Archimède qu'il subit de la part de l'air (égale à 1,293 g/cm<sup>3</sup> par dm<sup>3</sup> de volume). De même nous considérerons ultérieurement que 1 dm<sup>3</sup> (1l) d'air équivaut, dans l'eau, à une poussée d'Archimède de 1 kg alors qu'en réalité elle n'est que de 0,9987 kg.

Supposons, pour illustrer cette notion de poids apparent, un plongeur équipé -vêtement isothermique, scaphandre, accessoires divers. Considérons ce plongeur équipé comme un corps indéformable (ce qui n'est pas exact comme nous le constaterons plus loin) ayant un poids réel de 80 kg et que nous immergeons dans l'eau.

**Pr = poids réel**

**Par = poussée d'Archimède**

**Pap = poids apparent**

**1<sup>er</sup> cas** : ce plongeur déplace un volume d'eau de 80 l. nous aurons la relation :

$$Pr (80 \text{ kg}) - Par (80 \text{ kg}) = Pap (0 \text{ kg})$$

Le poids apparent du plongeur est nul, sa flottabilité (qualité de ce qui flotte) est également nulle. Le plongeur est en équilibre entre deux eaux.

**2<sup>e</sup> cas** : ce plongeur déplace un volume d'eau de 78 l :

$$Pr (80\text{kg}) - Par (78\text{kg}) = Pap (+2 \text{ kg})$$

Le poids apparent du plongeur est positif, sa flottabilité est négative, il a tendance à couler.

**3<sup>e</sup> cas** : ce plongeur déplace un volume d'eau de 82 l :

$$Pr (80 \text{ kl}) - Par (82 \text{ kg}) = Pap (- 2 \text{ kg})$$

Le poids apparent du plongeur est négatif, sa flottabilité est positive, il a tendance à remonter vers la surface.

## CONSEQUENCES DANS LE DOMAINE DE LA PLONGEE

Le lestage, qui permet de modifier le poids apparent d'un plongeur, c'est à dire de modifier sa densité sans changer (pratiquement) son volume ;

- les variations du lestage ;
- la bouée de sécurité ;
- les engins de relevage ;
- les accidents de scaphandriers à casque.

N.B. En plongée, les incidences du principe d'Archimède sont très souvent liées aux incidences de la loi de Boyle-Mariotte.

# LOI DE BOYLE-MARIOTTE

## Préliminaire

Cette loi définit la relation existante entre volume et pression pour un gaz à température constante.

C'est grâce à l'application de cette loi que l'on peut, par exemple, comprimer de l'air dans les bouteilles.

*Enoncé de la loi:*

**"A température constante, le volume d'une masse gazeuse est inversement proportionnel à la pression."**

## Démonstration de la loi

Prenons un verre gradué en quatre divisions égales sur sa hauteur. On le retourne et on le plonge dans l'eau jusqu'à la première graduation qui se trouve au bord du verre. La pression interne de l'air est de 1 bar comme à l'extérieur.

Si on enfonce le verre jusqu'à la graduation qui se trouve sur la moitié de la hauteur du verre, le volume interne a diminué de moitié. Comme l'air n'a pas pu s'échapper, la pression interne a doublé soit 2 bars.

Si on enfonce le verre jusqu'à la graduation qui se trouve au quart inférieur du verre, le volume a encore diminué de moitié et la pression est de 4 bars.

## Formulation de la loi

$$P1 \times V1 = P2 \times V2$$

Avec:

- P1= Pression de départ
- P2 = Pression d'arrivée
- V1 = Volume de départ
- V2 = Volume d'arrivée

On peut également dire que La pression multipliée par le volume est une constante =>

PV = Cste

### Utilisation en plongée

- **Tissus** Base du fonctionnement des compresseurs.
- Calcul d'autonomie.
- Capacité des bouées et gilets.
- Profondimètres capillaires.
- Vêtements étanches.
- Participe au fonctionnement des décompressimètres (ne pas confondre avec les ordinateurs).
- Tous les accidents barotraumatiques sont dûs à la loi de Mariotte.
- Influence sur les accidents de décompression et toxiques.

### Exemples :

#### a) Calcul de volume:

Une bouée d'un volume de 20 litres est remplie au quart à 20 m. Quel sera son volume en surface ?

- Volume à 20 m :  $20 / 4 = 5$  litres ; Pression à 20 m = 3 bars
- Pression en surface = 1 bar ; Volume en surface  $P1 \times V1 = P2 \times V2$ .  $5 \times 3 = 1 \times V2$  soit  $(5 \times 3) / 1 = 15$  litres

#### b) Calcul d'autonomie:

Un plongeur dispose d'un bloc de 12 litres gonflé à 200 bars, réserve 30 bars, et consomme 20 l/mn en surface. 1°) Autonomie à 20 m sans tenir compte de la réserve. 2°) Autonomie à 30 m avec réserve,

1°) Pression à 20 m = 3 b ; Volume respirable à 20 l/mn

$$P1 \times V1 = P2 \times V2 \Rightarrow 200 \times 12 = 3 \times V2 \Rightarrow V2 = (200 \times 12) / 3 = 800 \text{ l.}$$

Consommation :  $800 / 20 = 40$  mn.

2°) Pression à 30 m = 4b ; pression disponible  $200 - 30 = 170$  b ;

Volume respirable à 20 l/mn

$$P1 \times V1 = P2 \times V2 \Rightarrow 170 \times 12 = 4 \times V2 \Rightarrow V2 = (170 \times 12) / 4 = 510 \text{ l.}$$

Consommation :  $510 / 20 = 25\text{mn } 30'$

# Loi de Henry

## Préliminaires

La loi de Henry régit tous les phénomènes de dissolution des gaz dans les liquides et les tissus vivants en fonction des conditions de température, pression, surface exposée, nature du gaz etc..

## Définition de la loi de HENRY

**"A température constante et à saturation, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par ce gaz sur le liquide"**

## APPLICATION A LA PLONGEE

Paramètres influants de la loi de HENRY	Correspondance en plongée
1) Type de gaz	Air , mélanges O <sub>2</sub> N <sub>2</sub> , Hélio <sub>x</sub> , Hydro <sub>x</sub> .
2) Type de liquide	Liquides et tissus du corps humain
3) Surface exposée	Surface des alvéoles pulmonaires
4) Temps d'exposition	Durée de la plongée
5) Température	Constante ; celle du corps
6) Pression	Variable ; celle de la plongée

**NOTA :** si la température AUGMENTE, la dissolution DIMINUE et inversement.

## Notion de TENSION.

Lorsque un gaz est en contact avec un liquide (ex : l'atmosphère et l'océan) il se produit des échanges gazeux de l'un vers l'autre pour atteindre un état d'équilibre appelé **SATURATION**.

A saturation, les échanges sont identiques ; c'est à dire que le liquide dissout autant de gaz qu'il en élimine.

A saturation la pression exercée par le gaz sur le liquide est égale à la pression exercée par le liquide sur le gaz.

La pression exercée par le gaz sur le liquide est appelée : **PRESSION**

La pression exercée par le liquide sur le gaz est appelée : **TENSION**

### Les différents états de saturation

#### **Sous saturation : $P > T$**

La pression du gaz est supérieure à la tension du liquide ou tissus, celui-ci dissout une partie de ce gaz de façon à rétablir l'équilibre.

**Exemple** : Le plongeur qui descend.

#### **Saturation : $P = T$**

La pression du gaz est égale à la tension du liquide ; c'est l'état d'équilibre.

**Exemple** : Le plongeur qui a séjourné longtemps à la même profondeur.

#### **Sursaturation : $P < T$**

C'est l'inverse de la sous saturation, la pression du gaz est inférieure à la tension du liquide et celui-ci élimine l'excédent de gaz dissous pour obtenir la saturation.

**Exemple** : le plongeur qui remonte.

#### **Sursaturation critique : $P \ll T$**

Lorsqu'un tissu désature, il se forme de petites bulles dont le diamètre est proportionnel à la différence de pression entre P et T.

Ces bulles, lors d'une désaturation normale en plongée sont microscopiques et normalement évacuées par la respiration. (Ne pas la bloquer au palier). Au contraire, si la chute de pression est trop rapide il se produit une désaturation anarchique, matérialisée par des bulles de gros diamètre.

Chaque tissu du fait de sa composition, possède un seuil au delà duquel se produit le phénomène précité.

Ce seuil, est appelé : **SURSATURATION CRITIQUE**

### **Désaturation anarchique : $P \lll T$**

Le seuil de sursaturation critique est dépassé, les bulles atteignent un diamètre suffisant pour boucher certains vaisseaux sanguins. Des bulles peuvent également apparaître partout dans le corps (sous la peau, muscles, articulation, moelle épinière, cerveau, etc..)

**Exemple** : accident de décompression ; puces, Bends, embolies, etc..

### **Principe de la dissolution tissulaire.**

Le corps humain est constitué d'une multitude de **TISSUS** (osseux, sanguins, nerveux etc.). Tout comme les liquides, chacun de ces tissus met un temps différent pour dissoudre (ou éliminer) l'air que nous respirons. Ce temps est variable selon les paramètres exposés au paragraphe II.

Pour un environnement donné, il est possible de mesurer la quantité de gaz dissous (ou éliminer) pour chaque tissu. Cette quantité de gaz dissous (ou éliminé) est mesurée grâce à la **PÉRIODE** et est exprimée en bar.

Pour le calcul des tables de plongée on utilise un certain nombre de "tissus" dont les périodes forment une sorte de "courbe enveloppe" autour de la réalité physiologique.

### **Période**

#### **DEFINITION**

**"La période est le temps nécessaire à un liquide pour dissoudre (ou éliminer) la moitié de la quantité de gaz qu'il pourrait dissoudre à saturation pour une pression donnée"**

Plus simplement, la période est le temps nécessaire pour atteindre la 1/2 saturation.

à la première période, le tissu dissout 50% de ce qu'il peut assimiler

à la deuxième période, le tissu dissout 50% des 50% restant soit 75% au total.

à la troisième période, le tissu dissout 50% des 50% restant soit 87,5% au total

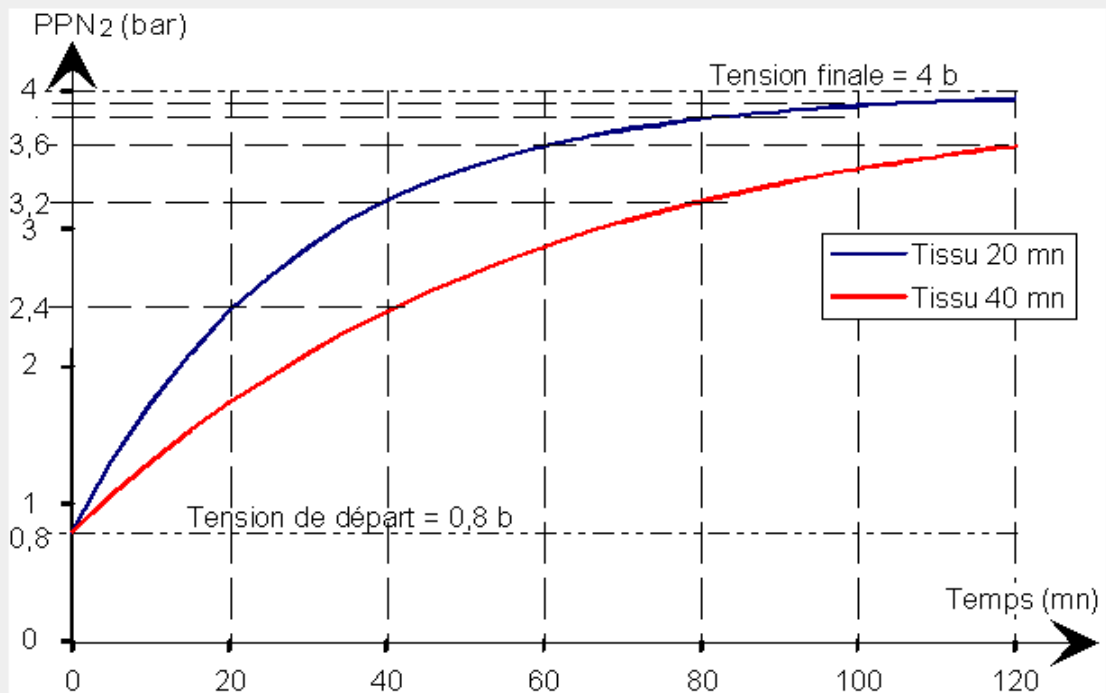
à la quatrième période, le tissu dissout 50% des 50% restant soit 93,75% au total.

et ainsi de suite jusqu'à complète dissolution de ce qu'il peut absorber.



**Exemple :** Un plongeur s'immerge à 40m et y reste 2 heures.

La courbe suivante représente les dissolutions pour les tissus P= 20 mn et P= 60 mn



**NOTA :** Ces courbes sont établies pour l'Azote ; l'Oxygène étant consommé par l'organisme.

## Loi de Dalton

### Préliminaire

La loi de Dalton régit la pression de chaque constituant d'un mélange gazeux.

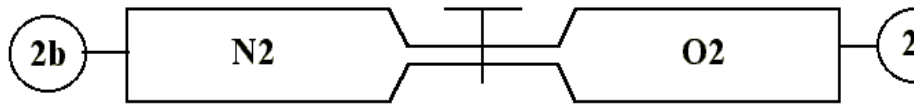
### Rappels :

- *Loi de Boyle-Mariotte* :  $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$
- *Composition atmosphérique* : Oxygène (O<sub>2</sub>) 20,9 %, Azote (N<sub>2</sub>) 79 %, Gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) 0,03 % + traces d'autres gaz rares.

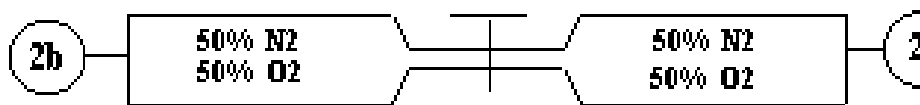
**Enoncé et mise en évidence :** (expérience de Berthollet)

**"La pression partielle d'un constituant d'un mélange gazeux est égale à la pression qu'il aurait s'il remplissait seul le volume occupé par le mélange."**

Prenons deux bouteilles identiques, contenant respectivement de l'Azote (N<sub>2</sub>) et de l'Oxygène (O<sub>2</sub>), gonflées à 2 bars. Mettons les en communication à l'aide d'un tuyau équipé d'un robinet.



Si l'on ouvre le robinet, et qu'on le referme au bout d'un moment, on s'aperçoit que la pression n'a pas varié et que la composition du gaz dans chaque bouteille est de : 50 % O<sub>2</sub> et 50 % N<sub>2</sub>.



Donc, chacun des gaz occupe la moitié du volume de la bouteille et par conséquent la moitié de la pression soit : 1 bar.

La pression de chaque gaz est appelée pression partielle et est fonction du pourcentage de ce gaz dans le mélange d'où la formule suivante :

$$P_p = P_{abs.} \times \text{Pourcentage du Gaz dans le Mélange}$$

### Exemples :

soit un mélange dans les proportions suivantes : O<sub>2</sub> = 30% N<sub>2</sub> = 70% .Pression du mélange = 3 bars.

Calculer PPO<sub>2</sub> et PPN<sub>2</sub>

$$PPO_2 = 3 \times (30/100) = 0,9 \text{ bars} \quad (PPN_2 = 3 \times (70/100) = 2,1 \text{ bars})$$

### Utilisation en plongée

Calcul de la profondeur limite de plongée en fonction de la toxicité des gaz d'un mélange en milieu hyperbare.

Mélanges respiratoires.

Elaboration des tables de plongée

### Conséquences sur la plongée

Accidents toxiques

Oxygénothérapie

Correction des tables de plongées pour l'altitude

## Applications chiffrées

Soit un mélange composé de :  $O_2 = 30\%$ ,  $N_2 = 70\%$  :

Calculer les pressions partielles  $PPO_2$  ET  $PPN_2$  à 1 Bar ?

Un plongeur s'immerge à 43 m : Calculer les pressions partielles  $PPO_2$  et  $PPN_2$  ?

A quelle profondeur  $PPO_2 = 1,2$  bars ?

**L'oxygène est toxique à 1,8 bars de pression partielle**

Quelle est la profondeur limite de plongée à l'air ?

Même question pour une pression atmosphérique de 0,75 bars ? (altitude 2500 m).

**Soit un mélange  $O_2 = 40\%$  et  $N_2 = 60\%$  à 40 mètres**

A quelle profondeur aurait-on la même  $PPN_2$  avec de l'air ?

Quel mélange  $O_2$   $N_2$  doit-on confectionner pour avoir à 30 m une  $PPN_2$  égale à la  $PPN_2$  de l'air à 15 m ?

**Réponses :** (à vous de travailler...!!!!!!)

# LES ACCIDENTS BIOPHYSIQUES

## (OU DE DECOMPRESSION)

### Préliminaires

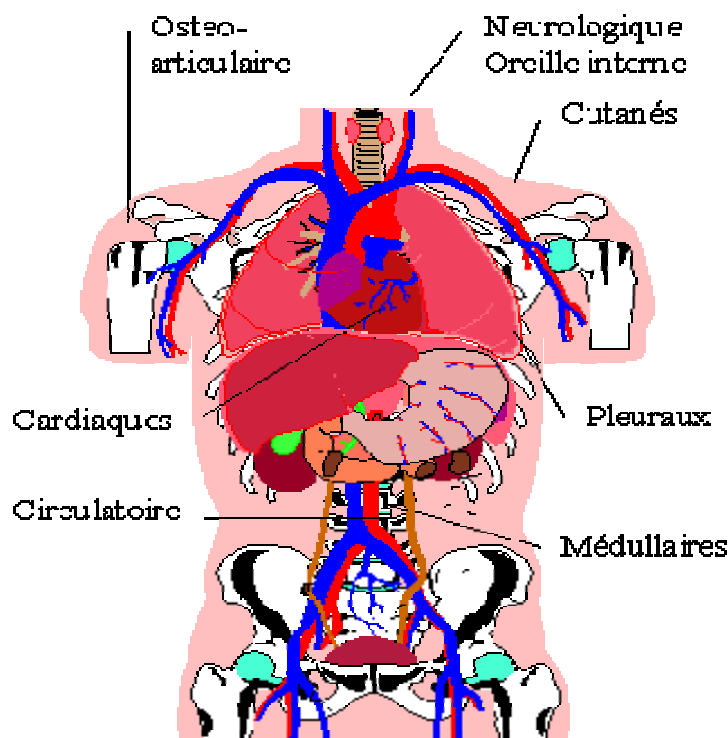
Les accidents biophysiques dits "de décompression" résultent de l'application de la loi de Henry. Cela se produit lorsque, au cours d'une remontée, la pression ambiante devient très inférieure à la tension dans les tissus et que l'état de sursaturation critique est atteint puis dépassé (voir cours loi de Henry). Le gaz responsable est l'azote car il est inutilisé par l'organisme. Toutes les parties du corps sont susceptibles d'être touchées par ce phénomène, tout dépend du tissu dans lequel le dégazage se produit.

## Mécanismes

Durant la remontée, l'azote dissous pendant la plongée reprend sa forme gazeuse sous forme de micro-bulles évacuées par la respiration au fur et à mesure de leur apparition. Si l'une de ces bulles atteint un diamètre suffisant pour boucher un vaisseau sanguin, la circulation est bloquée localement (embolie gazeuse) et la zone non irriguée nécrose (meurt) petit à petit. En plus du blocage de la circulation, il se produit un agrégat plaquettaire, en amont de la bulle d'azote, qui finit par créer un bouchon. Les bulles peuvent également se développer hors du système sanguin et provoquer des gênes fonctionnelles, paralysies et fortes douleurs. Un dégazage excessif entraîne, outre les phénomènes précités, des perturbations biologiques. Les bulles agissent de façon mécanique en abrasant la face interne des vaisseaux sanguins, elles entraînent également une augmentation du nombre de plaquettes. Les micro-blessures, les plaquettes en supplément, l'activation des facteurs coagulants, concourent à un épaississement du sang (appelé Sludge qui signifie boue). Cela a pour conséquence une circulation difficile par diminution de la masse sanguine ainsi qu'une aggravation de l'hypoxie cellulaire.

Ces phénomènes portent le nom de Maladie de la Décompression par opposition au terme d'accident de décompression qui n'évoque pas les conséquences à longue échéance.

Fig. 1 : Localisation des accidents de décompression



## SYMPTOMES

### **Accidents Cutanés** (*puces et moutons*)

Il s'agit d'accident bénin mais susceptible d'annoncer un accident plus grave. Les puces et les moutons sont le résultat d'un dégazage sous-cutané plus ou moins important. A surveiller de près.

Les puces donnent une sensation de démangeaison très importante et la peau ressemble, au toucher, à de la "peau d'orange". Les montons présentent des gonflements, boursouffures et marbrures rouges.

### **Accident Musculaire & Ostéo-articulaire** (*bends*)

Il s'agit des bends (maladie des caissons). Ils sont dus au dégazage dans les muscles, les os, les surfaces articulaires et dans les articulations. Cela provoque des douleurs dont l'intensité peut être insupportable, une gêne fonctionnelle sans paralysie, des lésions dans les tissus touchés.

### **Accident Neurologique**

Il s'agit d'un dégazage dans un centre nerveux (cerveaux ou moelle épinière) qui provoque, par gravité croissante : fatigue anormale, pâleur, angoisse, douleur violente au niveau des omoplates et lombaires, fourmillements dans les membres, impossibilité d'uriner, perte des sens (vue, ouïe, parole), paralysies (monoplégie, hémiparésie, tétraparésie, paraparésie), syncope et mort.

### **Accident Cardiaque et Pulmonaire**

Il s'agit d'un infarctus du myocarde par dégazage dans l'artère coronaire et d'une insuffisance respiratoire par dégazage dans l'artère pulmonaire.

Sans intervention immédiate, cela provoque la mort.

### **Accident de l'oreille interne**

Il s'agit d'un dégazage dans le limaçon ou les canaux semi-circulaires.

Cela provoque une surdité plus ou moins intense, des vertiges, des nausées.

Attention à la confusion avec un barotraumatisme de l'oreille.

### **Décompression explosive**

Cela concerne plutôt les scaphandriers professionnels mais cela peut arriver lors d'une remontée ultra rapide (perte de contrôle de la bouée) ou d'une chute brutale de pression dans un caisson de recompression.

Il se produit une défaillance cardiaque et une surpression pulmonaire ainsi qu'un dégazage généralisé.

Cet accident est malheureusement sans appel.

## CONDUITE A TENIR

- Faire le bilan pour définir le type d'accident devant lequel on se trouve.
- Se renseigner auprès de sa palanquée des paramètres de plongée.
- Faire prévenir les secours par V.H.F.
- Auto-surveillance des autres membres de sa palanquée.
- Oter la combinaison de l'accidenté sans lui imposer d'effort (au besoin la couper), le sécher, le couvrir et lui parler sans cesse d'une part pour le rassurer d'autre part pour le maintenir conscient.
- En cas d'inconscience placer en P.L.S. (Position Latérale de Sécurité) et vérifier sans cesse pouls et ventilation..
- Position déclinée à 30°, tête en bas, pour éviter que les bulles libres ne se fixent dans le cerveau.
- Oxygène normobar 8 à 12 l/mn selon la capacité et la pression restante dans la bouteille d'oxygène.
  - **Ex** : Les secours arrivent dans 30 mn. Votre bouteille d'oxygène contient 6 litres et il ne reste que 50 b. Vous ne pouvez donner que :
  - $6 \times 50 / 30 = 10$  l/mn.
- Donner 1 cachet d'aspirine (sauf si allergie) de 500 mg non effervescente, puis un autre plus tard si les secours tardent. La quantité d'aspirine (qui aide à dissoudre l'agrégat plaquettaire) à administrer est sujette à controverse entre les médecins par conséquent ne dépassez pas 1 g.
- Faire boire de l'eau plate ; pas de café, de chocolat, de thé, d'eau ou boisson pétillante ou à manger. En bref ne pas solliciter le système digestif.
- Ne jamais tenter une recompression dans l'eau ni en caisson monoplace.
- Lors de leur arrivée, les sauveteurs vous demanderont de fournir les paramètres de plongée et les soins administrés à l'accidenté.

## PREVENTION

Respecter scrupuleusement les paramètres des tables ou ordinateurs de plongée. La vitesse de remontée doit être freinée à l'approche du premier palier et le passage de l'un à l'autre puis à la surface doit se faire très lentement. Ventiler largement et essayer d'être statique au palier, si possible faites les au bout ou au parachute en maintenant la profondeur instruments au niveau des poumons.

Ne jamais changer de table entre deux plongées consécutives ou successives.

Si les aléas de la plongée vous amène à faire des efforts anormaux (courant, travaux sous marin)s vous pouvez prendre les paramètres de table immédiatement supérieurs (de temps seulement).

**Ex** : pour une plongée de 20 mn à 30 m faire les paliers pour 25 mn à 30 m

Si vous n'avez pas de tables (Ordinateur + oubli des tables) majorez le palier de 3 mètres et seulement celui-ci de 1 à 3 mn.

Si vous faites souvent des efforts anormaux en plongée, utilisez de préférence une table de travail comme les COMEX-PRO.

Après la plongée ; ne pas faire d'efforts importants, ne pas faire d'apnée, ne pas monter en altitude (avion, montagne)

Ne jamais plonger si l'on se sent fatigué ou si l'on n'en a pas envie.

## CONCLUSION

Comme pour les accidents barotraumatiques, l'issue est souvent heureuse pour les puces et les bends. Malheureusement, les accidents graves de décompression finissent souvent dans une chaise roulante.

Donc, prudence dans les procédures de remontée, rester calme en toutes circonstances et s'efforcer de maîtriser la plongée avant, pendant et après.

# LES ACCIDENTS BIOCHIMIQUES

## Préliminaires

Les accidents biochimiques dits "toxiques" sont le résultat de l'augmentation de la pression partielle des différents gaz que l'on respire. Il s'agit donc d'une application de la loi de Dalton

Les gaz constituant notre mélange respiratoire (l'air) ont un effet différent sur l'organisme de part leur nature et selon leurs pressions.

## Accidents dûs à l'Oxygène (O<sub>2</sub>)

Gaz indispensable à la vie, il nous soumet à 2 effets selon qu'il est respiré pur ou en mélange.

Ce sont les effets Lorrain Smith et Paul Bert.

- **Effet Lorrain Smith** : (oxygène en mélange ; ex : l'air)

Cet effet apparaît lorsque la pression partielle de l'oxygène dépasse 0,5 bar (PPO<sub>2</sub> > 0,5b) pendant plus de 2 heures.

o

**Exemple** : plongée de 2 h 30 mn à 15 m !! assez rare en plongée sportive.

Cela se traduit par les symptômes suivants : face rosâtre, difficultés respiratoires, toux, brûlures alvéolaires, oedème pulmonaire (lésions pulmonaires).

La conduite à tenir est de ramener la PPO<sub>2</sub> à la normale 0,2 b (arrêter la plongée) et de consulter un médecin si les symptômes sont apparus.

La prévention est bien évidemment de ne jamais se soumettre à de telles contraintes qui, heureusement, tiennent plus de l'activité professionnelle ou médicale que sportive.

- **Effet Paul Bert :** (oxygène pur et mélange)

Cet effet apparaît lorsque l'oxygène est respiré pur à plus de 1,7 bar (7 m) et à une pression partielle supérieure à 2 bars en mélange (PPO<sub>2</sub> > 1,8 bar soit 80 m à l'air).

Cela se traduit par les symptômes suivants : face rosâtre, vision double, réduction du champ visuel (effet tunnel), contractions musculaires, crises de type épileptique, perte de connaissance sans signes préalables, mort par noyade.

La conduite à tenir est de ramener la PPO<sub>2</sub> à la normale 0,2 b (arrêter la plongée) et de consulter un médecin si les symptômes sont apparus.

La prévention est, comme ci-dessus, de ne pas se soumettre à ces conditions, qui peuvent se présenter lorsque l'on effectue un palier à l'oxygène (en pratique, jamais en plongée sportive) et lorsque l'on effectue des plongées très profondes (au delà de 70 m), à aborder avec les 2 pieds sur le frein !!!

### **Accidents dûs à L'Azote : (N<sub>2</sub>)**

Gaz servant de diluant et neutre à la pression atmosphérique, il devient petit à petit toxique lorsque sa pression partielle augmente ; cela se nomme une **narcose**.

#### **La NARCOSE** (ivresse des profondeurs)

Cet effet apparaît avec l'augmentation de la profondeur, donc de la PPN<sub>2</sub>, et disparaît lorsque l'on remonte. En elle même, la narcose n'est pas dangereuse en ce sens qu'elle ne provoque pas de lésions neurologiques et que ses effets sont totalement réversibles. Néanmoins comme elle provoque un amoindrissement de la vigilance voire une perte de contrôle de soi, elle peut être mortelle par ses conséquences.

La narcose est un phénomène qui touche tout le monde mais de façon très inégale (certains sont narcosés dès 30 m, d'autres en ressentent les effets à seulement 55 ou 60 m). On peut se rendre compte, avec l'habitude de son état et le contrôler. Il existe également un phénomène d'accoutumance qui permet de repousser ses limites (aspect compétition extrêmement dangereux), accoutumance amoindrie par une longue inactivité de plongée.

La narcose atteint le système nerveux central (cerveau) et provoque les symptômes suivants : sentiment d'euphorie ou d'anxiété, accentuation du dialogue intérieur, difficulté de lire et interpréter les instruments de plongée et les signes, comportement anormal, perte de connaissance.

La conduite à tenir est de remonter de 10 à 20 m dès l'apparition des symptômes sans attendre qu'ils s'aggravent et stopper la plongée s'il n'y a pas d'amélioration complète ; ne surtout pas redescendre.

Etre très vigilant à l'application de la procédure de remontée.



La prévention est de ne pas effectuer de plongée profonde en dehors de la pleine possession de ses moyens, ne pas plonger seul et pratiquer l'auto-surveillance, connaître ses limites et ne les dépasser que progressivement et avec quelqu'un d'aguerré.

Limite pratique de plongée : 40 m.

### **Accidents dûs au gaz carbonique (CO<sub>2</sub>)**

Gaz résultant de l'utilisation de l'oxygène par l'organisme, bien qu'étant un déchet devant être évacué, il a le rôle important de provoquer le réflexe respiratoire lorsque sa pression partielle augmente dans le sang. L'augmentation anormale de la PPCO<sub>2</sub> est appelée **hypercapnie**.

**L'HYPERCAPNIE** (essoufflement).

Cet effet apparaît lorsque le CO<sub>2</sub> n'est plus évacué normalement par la respiration. L'augmentation de la PPCO<sub>2</sub> peut être due à un air vicié dans la bouteille, à un détendeur mal réglé (trop dur), à l'augmentation de l'espace mort (tuba), à un effort excessif, au froid, à l'anxiété etc.

Cela provoque un essoufflement qui est le début du cycle infernal du besoin croissant d'air et d'un rythme respiratoire rapide et inefficace incapable d'évacuer le trop plein de CO<sub>2</sub>.

D'autre part, l'essoufflement favorise la narcose, les accidents de décompression, et la surpression pulmonaire. Il se traduit par les symptômes suivants :

- accélération du rythme respiratoire,
- ventilation superficielle et inefficace,
- maux de tête,
- sueurs, bourdonnements et nausées,
- syncope.

La conduite à tenir est à l'apparition des symptômes :

- cesser tout effort,
- alerter un coéquipier,
- baisser sa réserve,
- essayer de forcer l'expiration,
- remonter lentement à l'aide du gilet.

Cela n'est possible seul que sur un tout petit essoufflement sinon l'assistance par un camarade est rendue nécessaire par la perte de contrôle rapide de soi.

Il est impératif pour l'intervenant de respecter la procédure de remontée, et de remonter lentement pour éliminer les risques de surpression pulmonaire.

Sur le bateau, en cas de maux de tête persistants, bien se ventiler (oxygène normobar au besoin), éviter le soleil, se couvrir une fois déséquipé, faire l'objet d'une surveillance.

La prévention passe par un air correct dans les bouteilles celles ci bien ouvertes, un détendeur bien réglé, une réserve baissée en temps voulu, une combinaison chaude et un tuba pas trop long. Ne pas plonger seul, un lestage correct, pas d'effort intensif, une bonne condition physique et technique et éviter une immersion avec un essoufflement de surface.

## CONCLUSION :

Comme toujours, il vaut mieux prévenir que guérir. Intervenir sur un accident de plongée à 30 ou 40 m n'est pas une partie de plaisir et est extrêmement difficile à réaliser proprement tout en maîtrisant les paramètres de plongée ainsi que soi-même.

Il est nécessaire de s'entraîner à réagir devant toutes les situations, car on n'est jamais à l'abri de l'impondérable, mais il est intelligent d'agir avec conscience de ce que l'on fait et de prendre ses précautions. Méditez sur les peurs que vous vous êtes certainement faites et n'oubliez pas que la plongée est un loisir qui ne mérite pas que l'on y sacrifie sa santé.

**Bref, soyez "cool" et bonnes plongées !!!.....**

# LE FROID

## Les échanges thermiques :

L'homme est homéotherme, Il maintient sa température centrale à un niveau constant et donc qu'il produit ce qu'il perd.

### *Production calorique de l'homme :*

- métabolisme de base : oxydation tissulaire  $O_2$  + énergie.
- production moyenne 1600 à 1800 kcal/jour.
- activité musculaire.
- protection extérieure.

### *Déperdition calorique de l'homme :*

- cutanée (convection, conduction).
- pulmonaire (respiration).
- aliments froids ingérés.

### *Echanges par rayonnement ou radiation :*

- réchauffement par rayonnement (soleil, lampe U.V. ou infrarouge).

### *Echanges par conduction :*

- transmission calorique dans un corps solide (casserole d'eau).

### *Echanges par convection :*

- transmission calorique entre les molécules d'un corps gazeux ou liquide (chauffage par convection)

### *Echanges par évaporation :*

- l'évaporation consomme des calories (ex : linge mouillé autour d'un pot d'eau ; l'eau du linge s'évapore, l'eau du pot refroidit)

### *Equilibre chez l'homme nu :*

- air à 25°C
- eau à 33-34°C
- température du corps : 37°C
- température cutanée : 33 à 34°C
- Le corps se refroidit 25 fois plus vite dans l'eau que dans l'air.

## Hypothermie : mécanisme de défense

Symptômes	Réaction
<ul style="list-style-type: none"> <li>• attaque du froid, frissons,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vasodilatation périphérique,</li> <li>• travail musculaire spontané (tremblements),</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• chair de poule,</li> <li>• augmentation du rythme respiratoire,</li> <li>• envie d'uriner,</li> <li>• abandon des extrémités,</li> <li>• crampes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vasodilatation périphérique,</li> <li>• la peau se durcit, les poils se redressent,</li> <li>• consommation d'O<sub>2</sub> accrue, circulation accrue,</li> <li>• hémoco-concentration (abandon de l'eau du sang),</li> <li>• épuisement du métabolisme de base, circulation limitée aux organes vitaux,</li> <li>• stock en train de s'épuiser.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• augmentation du rythme respiratoire,</li> <li>• frissons profonds,</li> <li>• état de torpeur,</li> <li>• perte de connaissance,</li> <li>• ralentissement des rythmes respiratoire et cardiaque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• surconsommation d'O<sub>2</sub> pour accélérer l'oxydation tissulaire,</li> <li>• début de l'atteinte profonde du froid,</li> <li>• début de l'hypothermie, thermorégulation défailante.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• mort.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• survient entre 31°C et 29°C</li> <li>• au dessous de 30°C, le métabolisme est considérablement ralenti. Ceci a pour conséquence une bradycardie et une hypovolémie (ralentissement du coeur et diminution de la masse sanguine),</li> <li>• elle survient vers 25°C.</li> </ul>

### Conduite à tenir

- sortir de l'eau,
- retirer les vêtements mouillés □ vêtements secs + couverture et à l'abri du vent,
- boisson sucrée et chaude □ pas trop,
- chauffage s'il y en a,

le réchauffement doit être progressif (penser à une main froide plongée brutalement dans l'eau chaude).

## Prévention

- nourriture appropriée environ 4500 kcal/jour surtout si l'on plonge en eau froide,
- combinaison ajustée sans plis ni poches, d'une épaisseur adaptée voire étanche dans de l'eau très froide.

## Conclusion

L'attaque du froid est très insidieuse, on essaye toujours de résister par crainte de gêner les autres membres de la palanquée ou bien par "gloriole". Néanmoins outre le fait que c'est très désagréable, c'est extrêmement dangereux.

Il faut donc TOUJOURS signaler le froid.

Pour mémoire, voici les épaisseurs moyennes de combinaison néoprène humide à utiliser :

<b>eaux tropicales entre 25°C et 30°C</b>	<b>ép. : 3 mm ou Licra ou bas de combine.</b>
<b>Méditerranée ou Atlantique l'été</b>	<b>ép. : 5 à 7 mm</b>
<b>Méditerranée ou Atlantique l'automne et début hiver</b>	<b>ép. : 7 mm</b>
<b>plongées mer en hiver</b>	<b>ép. : 7-8 mm, semi-étanche, vêtement sec.</b>
<b>plongées carrières</b>	<b>idem ci-dessus.</b>

Il est évident que la résistance de chacun, la qualité de la combinaison, et la température de l'eau influent beaucoup sur l'épaisseur de vêtement.

# LA NOYADE

## DEFINITION

Arrêt respiratoire par inondation des voies aériennes pouvant entraîner la mort.

## CONSEQUENCES

L'irruption d'un liquide dans les poumons a pour conséquences :

- l'asphyxie par impossibilité partielle ou totale de l'hématose (échanges gazeux entre le sang et l'air contenu dans les alvéoles),
- la lésion de la membrane alvéolo-capillaire,
- des déséquilibres hydrominéreaux,
- un état de choc.

On peut distinguer 2 types de noyade :

**a) La noyade primaire** ou "noyade asphyxique" par inhalation de liquide.

**b) La noyade secondaire** ou la noyade est une conséquence d'une perte de connaissance ou d'une syncope primitive.

## CAUSES

### ***Noyade primaire***

- "tasse" bue par maladresse, défectuosité du matériel, fatigue, manque de technicité ou d'aquaticité,
- *inhibition psychique* (panique),
- *agitation* en surface,
- *apnée réflexe* en submersion,
- *inspirations* : (polypnées) pénétration d'eau et descente,
- *convulsions* asphyxiques,
- *grande inspiration*,
- *arrêt respiratoire* et accélération cardiaque,
- *arrêt cardiaque*.

### ***Noyade secondaire***

Dans le cas d'une perte de connaissance ou de syncope primitive, toutes les éventualités sont envisageables, néanmoins voici les causes les plus fréquentes rencontrées :

### ***Perturbation de l'activité des organes digestifs***

Déplacement de la masse sanguine vers la périphérie (réaction de défense à l'eau). Une vasodilatation importante et simultanée peut provoquer une syncope par effondrement de la tension artérielle.

### ***Choc thermo-différentiel***

Le sujet ayant une importante vasodilatation cutanée (exposition au soleil) compensée par une vasoconstriction musculaire, entre dans l'eau. Il se produit une vasoconstriction cutanée et une vasodilatation musculaire (réaction de la peau au froid).

Si un déphasage survient dans l'enchaînement des mécanismes de compensation circulatoire, il peut se produire une syncope due à la chute brutale de la tension artérielle. Le contact de l'eau froide sur la face favorise la syncope.

### ***Chocs d'origine traumatique***

Par exemple, une chute sur le bord d'une piscine, ces causes provoquent :

- perte de conscience et descente au fond,
- arrêt respiratoire et bradycardie,
- reprise inspiratoire,
- inhalation d'eau,
- arrêt respiratoire, accélération cardiaque,
- arrêt cardiaque.

Selon le temps passé entre la noyade et l'intervention des secours, on distingue les 3 cas suivants :

**Trois états successifs**

Mort apparente	Mort clinique	Mort réelle
<ul style="list-style-type: none"> <li>• plus de ventilation.</li> <li>• le coeur bat, mais la tension artérielle est faible.</li> <li>• Grave mais réversible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fibrillation cardiaque suivie d'un arrêt du coeur.</li> <li>• Très grave, réversible, mais séquelles neurologiques si l'arrêt circulatoire excède 3 minutes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• arrêt cardiaque depuis plusieurs minutes</li> <li>• abaissement de la température centrale,</li> <li>• anoxie du tronc cérébral.</li> <li>• Irréversible sauf exception, mais séquelles.</li> </ul>

**NOYADES EN EAU DE MER ET EN EAU DOUCE**

Les désordres biochimiques causés par l'inondation pulmonaire sont différents selon qu'il s'agit d'eau de mer ou d'eau douce.

**L'osmose**

C'est un phénomène qui se produit lorsque 2 liquides de concentrations différentes sont mis en contact par l'intermédiaire d'une membrane osmotique (perméable).

**Expérience** : Une cuve séparée par une membrane osmotique ; à droite de l'eau douce, à gauche de l'eau salée. On remarque que le niveau droit baisse alors que le gauche monte.

On en déduit que l'eau va du milieu le moins concentré (eau douce, hypotonique) vers le plus concentré (eau salée, hypertonique) jusqu'à atteindre l'équilibre.

Dans notre cas, le sang est l'un des liquides, la membrane alvéolaire est une membrane osmotique et l'eau extérieure (de mer, ou douce) est l'autre liquide.

**Concentrations en sel**

**Eau de mer : 30 à 35 g/l. Eau douce : 0 g/l. Sang : 9 g/l.**

### ***Noyade en eau de mer***

L'eau étant hypertonique par rapport au sang, il va se produire un passage du sérum sanguin vers les alvéoles provoquant leur distension et un oedème pulmonaire important pouvant se manifester extérieurement par du spume. Intérieurement, on remarque une diminution de la masse sanguine.

### ***Noyade en eau douce***

L'eau étant hypotonique par rapport au sang, sa présence dans les alvéoles entraîne les phénomènes suivants :

- perturbation des propriétés des surfactants (substance tapissant les alvéoles). Ces surfactants sont lavés par l'eau douce.
- désorganisation de la paroi alvéolo-capillaire qui devient plus perméable,
- passage de l'eau douce dans la circulation, donc augmentation de la masse sanguine,
- destruction d'une partie des hématies (globules rouges).

### **CONDUITE A TENIR**

Il faut en premier lieu, soustraire la victime à la cause soit, la sortir de l'eau :

- faire un bilan rapide,
- faire alerter les secours (ne pas hésiter à envoyer plusieurs personnes pour plus de sûreté).

Pour secourir, il est nécessaire de connaître les techniques de réanimation. Comme elles ne sont pas vues cette année, nous passons directement à la prévention.

### **PREVENTION**

Comme d'habitude, mieux vaut prévenir la noyade qu'avoir à la secourir. Pour cela il faut :

- savoir nager,
- ne pas présumer de ses capacités,
- ne pas plonger en mauvaise forme physique,
- ne pas plonger en eau très froide ou alors bien se préparer,
- avoir son matériel en bon état,
- porter une ceinture largable rapidement,
- porter un gilet de sécurité,
- avoir une bonne aquaticité et une bonne technicité,
- ne jamais plonger seul,

attention aux facteurs à risques (essoufflement, narcose, panique).

### **CONCLUSION**

Malheureusement, les conditions de noyade en plongée ne favorisent pas une intervention éclair, d'où peu de chance de s'en tirer.

Par conséquent, il est préférable de compter sur une prévention rigoureuse, une bonne préparation physique et psychique.

Bref faites gaffe !!!!

# ELEMENTS DE CALCULS DE TABLES

## 1. PRELIMINAIRES

Dans le cours sur la [Loi de Henry](#) nous avons vu ce que représentaient les notions de Saturation, Tension, Tissu et Période. Nous avons également défini ce que sont les 3 états de saturation.

Rappel de ces notions :

- **SATURATION** : c'est l'équilibre entre la Tension et Pression (Pabs)
- **TENSION** : c'est la " pression " interne exercée par les gaz dissous par opposition à la pression.
- **TISSUS** : c'est la représentation des parties du corps possédant la même Période et le même coefficient de Sursaturation Critique. La courbe enveloppe formée par ces tissus est sensée représenter la réalité.
- **PERIODE** : c'est le temps mis par un tissu pour atteindre la ½ saturation et ce à chaque période. Autrement dit c'est le temps nécessaire pour saturer la moitié du gradient.
- **ETATS** : ce sont les différents états de saturation par lesquels passe un tissu lors d'une plongée. Le dernier est lui même subdivisé en 3 parties ce qui forme 5 états au total.

## 2. NOTION DE GRADIENT ET COURBE DE SATURATION D'UN TISSU

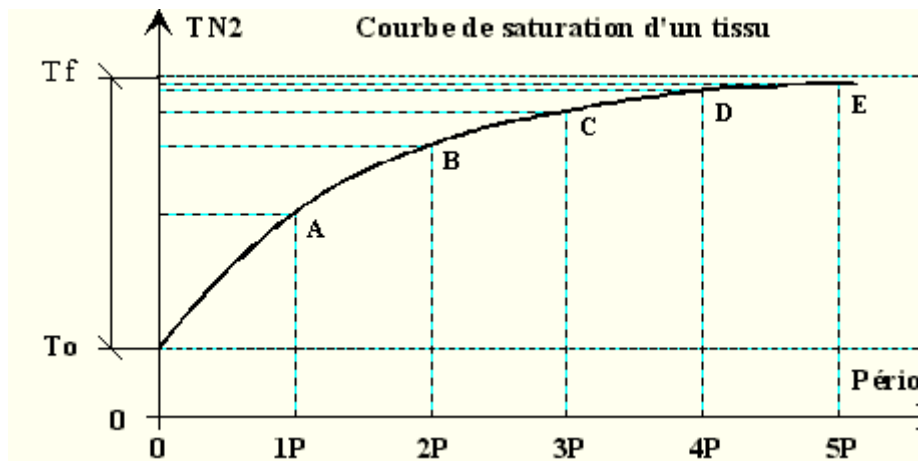
Le gradient représente la différence entre la tension Origine (To) et la tension Finale (Tf).

- Tension Origine (To) : c'est la tension à partir de laquelle le processus de saturation (ou désaturation) commence ; c'est la valeur de départ puis les différentes valeurs suivantes.
- Tension Finale (Tf) : c'est la tension vers laquelle tend le processus de saturation (ou de désaturation) ; c'est la valeur butoir.

Lors de la saturation ou de la désaturation, le tissu met plusieurs " périodes " à couvrir toute la valeur du " gradient " (voir schémas ci dessous).

Le schéma ci-dessous, mieux qu'un long exposé, regroupe l'ensemble de ces explications.





Le schéma ci dessus montre la courbe de saturation d'un tissu dans la condition suivante :

Le tissu est plongé instantanément à la profondeur maximum de plongée

Avant toutes choses, les processus de saturation/désaturation ne concernent QUE l'azote dissous dans les tissus (l'oxygène est consommé par l'organisme).

- En abscisse nous avons le temps, représenté par les périodes du tissu : 1P = 1 période ; 2P = 2 périodes etc..
- En ordonnée nous avons la pression partielle du gaz dissous soit PPN2.

Le " tissu " tend à dissoudre le N2 jusqu'à atteindre Tf. Au bout de 1 période, il a dissous la moitié du gradient soit :  $Tf - To / 2$  , à laquelle il faut ajouter To qui existe à l'origine (saturation en surface !!). Donc après 1 période, la tension sera  $To + Tf - To / 2 \times 0,5$  C'est à dire . Elle est représentée par le point A.

Après une seconde période (point B) le tissu va dissoudre 50% de ce qui reste soit 75% du gradient ; la tension sera donc :  $To + (Tf - To) \times 0,75$  Donc la TN2 de l'azote dissous dans un tissu est :

$$TN2 = To + (Tf - To) \times X$$

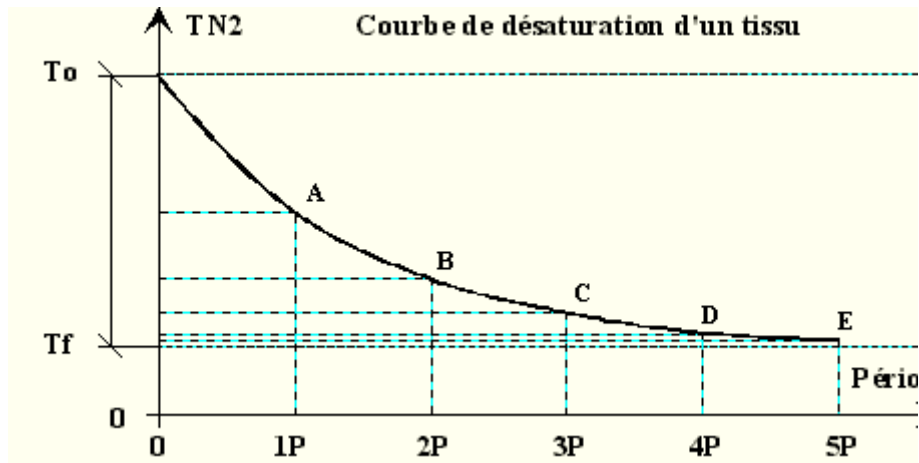
Avec :

- TN2 = Tension d'azote à un instant donné
- To = Tension d'origine d'azote (PPN2 en surface)
- Tf = Tension finale d'azote (PPN2 à la profondeur max.)
- X = 0,5 pour 1 période ; 0,75 pour 2P ; 0,875 pour 3P etc

### 3. COURBE DE DESATURATION DANS UN TISSU

La courbe, est symétrique à la précédente. Elle démarre à la dernière valeur de TN2 du tissu au moment où l'on entame la remontée. On utilise exactement la même formule que ci-dessus avec les valeurs suivantes :

- $T_{N2}$  = Tension d'azote à un instant donné
- $T_0$  = Tension d'origine d'azote (PPN2 en début de remontée)
- $T_f$  = Tension finale d'azote (PPN2 régnant en surface)
- $X = 0,5$  pour 1 période ;  $0,75$  pour 2P ;  $0,875$  pour 3P etc.



Il faut remarquer que  $T_0$  de la remontée n'est pas forcément égal à  $T_f$  de la descente et cela d'autant plus que la période du tissu est longue !!

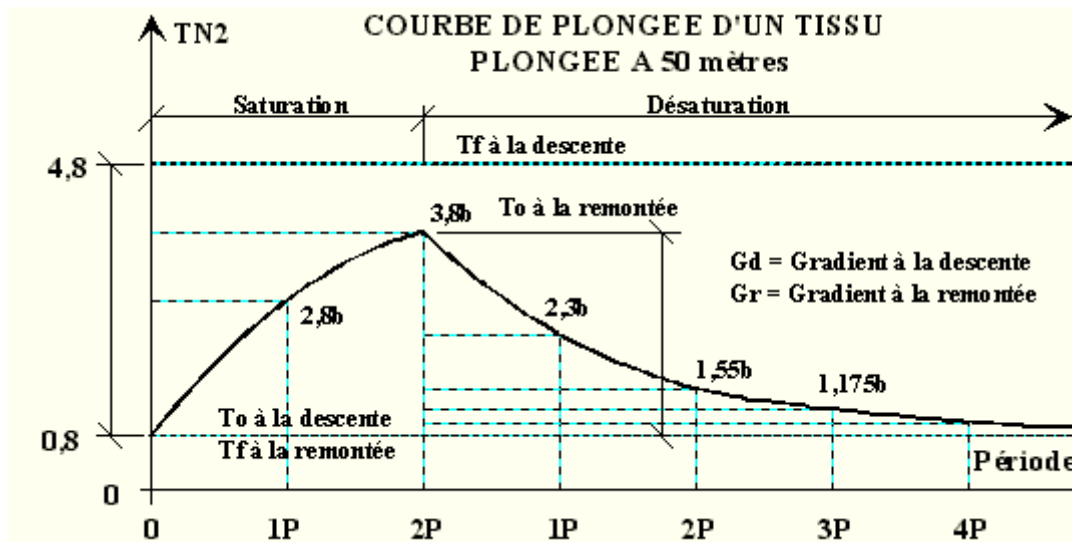
#### 4. COURBE DE PLONGÉE D'UN TISSU :

Maintenant que nous avons tous les éléments en main, étudions dans un exemple chiffré :

Les conditions de cet exemple sont les suivantes :

- Le tissu est descendu instantanément à 50 m.
- Au bout de 2 périodes il est remonté instantanément en surface.
- Avant la plongée le tissu est saturé à la pression régnant en surface (pas de plongée successive).

Le schéma suivant regroupe ces explications :



### 1) Saturation (2 périodes à 50 m)

- Tension origine (To) égale PPN2 en surface soit  $1 b \times 80 \% = 0,8 b$
- Tension finale (Tf) égale PPN2 à 50m soit  $6 b \times 80 \% = 4,86 b$

A la fin de la 2ème période, la tension du tissu est  $TN2 = 0,8 + (4,8 - 0,8) \times 0,75 = 3,8 b$

### 2) Désaturation (en surface)

Le tissu est remonté brutalement en surface à l'issue de la 2ème période.

- Tension origine (To) égale TN2 du tissu avant de remonter soit 3,8 b
- Tension finale (Tf) égale PPN2 en surface soit  $1 b \times 80 \% = 0,8 b$

A la fin de la 1ère période passée en surface est :

$$TN2 = 3,8 + (0,8 - 3,8) \times 0,5 = 2,3 b$$

A la fin de la 2ème période passée en surface est :

$$TN2 = 3,8 + (0,8 - 3,8) \times 0,75 = 1,55 b$$

On remarque qu'il faudra un temps très long pour que le tissu revienne à saturation en surface.

### 3. COEFFICIENT DE SATURATION CRITIQUE :

Lorsque l'on entame la remontée, nous plaçons nos différents tissus en état de sursaturation. C'est inévitable car la Tension diminue plus lentement que la Pression de l'eau. Le tout est de ne jamais dépasser la résistance mécanique de chacun des tissus matérialisée par le coefficient de Sursaturation Critique ( $Sc$ ) au delà duquel le tissu est lésé et le dégazage incontrôlé (bulles de gros diamètre).

Pour atteindre ce but, il faut remonter à une vitesse donnée et observer des paliers de décompression si nécessaire. L'analogie suivante permet de comprendre aisément le processus de remontée.

- Prenez un élastique et tenez le entre vos deux mains.
- Déplacez les deux mains dans le même sens en faisant en sorte que la droite progresse plus vite que la gauche.
- L'élastique se tend progressivement jusqu'à atteindre sa limite élastique.
- Le déplacement lent de la main gauche représente la diminution de la Tension des tissus.
- Le déplacement plus rapide de la main droite représente la diminution de la pression de l'eau.
- La longueur de l'élastique représente la différence grandissante entre  $T$  et  $P_{abs}$ .
- Lorsque l'élastique est tendu au maximum cela signifie que le tissu a atteint son  $Sc$ .
- Il faut stopper la progression de la main droite afin de permettre à la gauche de se rapprocher. Cela correspond à l'observation d'un palier dont la durée sera suffisante pour permettre une nouvelle progression de la main droite et ainsi de suite jusqu'en surface.
- A la surface, l'élastique est tendu mais pas au maximum ce qui signifie que le tissu est sursaturé mais pas au delà de son  $Sc$ . Il n'y a pas d'accident et la remontée était correcte.

Accessoirement, cet exemple permet de bien saisir pourquoi il ne faut pas prendre l'avion ou monter rapidement en altitude avant la désaturation suffisante des tissus.

<b>PERIODE (T)</b>	<b>7</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>120</b>
<b>Sc</b>	<b>2.56</b>	<b>1.84.</b>	<b>1.60</b>	<b>1.60</b>

Le tableau ci dessus donne les valeurs de  $Sc$  pour 4 tissus de période 7, 30, 60, 120 mn.

Maintenant, nous pouvons subdivisé en 3 parties le 3ème état de saturation. Voici donc les 5 états de saturation.

- 1<sup>er</sup> état :  $T < P_{abs}$  Sous saturation Descente
- 2<sup>ème</sup> état :  $T = P_{abs}$  Saturation Déroulement de la plongée
- 3<sup>ème</sup> état :  $T > P_{abs}$  Sursaturation Remontée à vitesse contrôlée (15 m/mn)
- 4<sup>ème</sup> état :  $T = Sc \times P_{abs}$  Palier nécessaire (Rappel :  $S = TN^2 / P_{abs}$  d'où  $Sc = TN^2 / P_{abs}$ )
- 5<sup>ème</sup> état :  $T > Sc \times P_{abs}$  Palier non respecté accident de décompression.

Nous sommes maintenant en possession de tous les éléments nécessaires au calcul de la profondeur et de la durée des paliers.

#### 4. PROFONDEUR ET DUREE DES PALIERS.

La saturation est matérialisée par un coefficient sans dimension issu de la division de la TN2 par la Pabs soit :

$$S = TN2/Pabs$$

S ne doit en aucun cas être supérieur à Sc pour un tissu donné. On peut donc écrire que à la profondeur du palier

$$Pabs = TN2/Sc$$

Pabs est la Pression absolue minimale que peut supporter le tissu avant dégazage incontrôlé. TN2 est la Tension d'azote initiale du tissu. Sc le coefficient de sursaturation critique de ce même tissu.

Si l'on veut calculer la durée de ce palier, on utilise encore la même formule :

$$TN2 = To + (Tf - To) \times X$$

à part que dans ce cas, c'est X que nous cherchons. On transforme donc la formule pour isoler X soit :

$$X = (TN2 - To) / (Tf - To) \text{ dans laquelle :}$$

- TN2 = Tension du tissu à la fin du palier. Elle doit permettre la passage au palier suivant (ou la surface) sans dépasser Sc.
- To = Tension origine du tissu au début du palier
- Tf = Tension finale au palier soit PPN2 au palier

Il est à noter qu'il n'est pas question de vitesse de remontée. Cela est volontairement occulté afin d'alléger les calculs et faciliter la compréhension. Néanmoins, dans une décompression réelle elle est bien sûr incontournable.

#### 5. EXEMPLE CHIFFRE.

Calculons la remontée d'un tissu, normalement saturé en surface, de période 60 mn (T60) plongé 1 heure à 44 mètres. Dans cet exemple, la vitesse de remontée est considérée comme instantanée et il n'est pas tenu compte de l'abaissement de la TN2 lié à celle-ci.

##### 1) Saturation :

$$\text{à 44 m, } Pabs = 5,4 \text{ b } PPN2 = 5,4 \times (80 / 100) = 4,32 \text{ donc } Tf = 4,32 \text{ bar}$$

$$\text{Le tissu est saturé en surface } Pabs = 1 \text{ b } PPN2 = 0,8 \text{ b donc } To = 0,8 \text{ bar}$$

$$\text{Au bout de 1 heure (1 période) à 44m, } TN2 = 0,8 + (4,32 - 0,8) \times 0,5 = 2,56 \text{ bar}$$

## 2) Désaturation :

Profondeur du palier ? il faut que  $Sc = TN2 / Pabs$  d'où  $Pabs$  au palier =  $TN2 / Sc$  donc pour ce tissu de T60,  $Pabs = 2,56 / 1,6 = 1,6$  b soit un palier à  $(1,6 - 1) \times 10 = 6$  mètres

Durée du palier ? Au palier,  $To = 2,56$  b et  $Tf = 1,6 \times (80 / 100) = 1,28$  b A la fin du palier on veut remonter en surface, il faut donc que  $TN2 = Pabs \times Sc$  soit :  $TN2 = 1 \times 1,6 = 1,6$  b. donc : X INCORPORER Equation.2 0,75 ce qui correspond à 2 périodes.

La durée du palier est de 120 mn

## 6. CONCLUSION.

Les éléments vus jusqu'à présent permettent de programmer une remontée d'un seul tissu à condition que le temps de plongée soit un multiple de la période et que la remontée au(x) palier(s) puis en surface soit instantanée.

Cela est suffisant pour bien comprendre " le pourquoi du comment " mais largement insuffisant pour une plongée réelle. Des calculs plus complexes et surtout plus complets sont nécessaires mais ce n'est pas le but de ce cours. Néanmoins, voici la liste de ce qui manque :

- Nombres de tissus pris en compte (6 ?, 8 ?, 12 ?)
- Formule complète permettant le calcul de la TN2 à tout instant et non pas seulement à chaque période.
- Calcul de la profondeur des paliers pour CHAQUE tissu et faire le choix du plus profond ce qui donne le tissu directeur pour le palier considéré.
- Calcul de la TN2 exacte en début de palier ce qui tient compte de la vitesse de remontée.

N'oubliez pas que tout ce que nous venons de voir est un MODELE mathématique qui doit être vérifié par l'expérimentation (cobaye). Il colle au mieux à la réalité mais ne la représente pas exactement (les spécialistes cherchent encore).

Ce que nous avons vu, est le modèle du physiologiste John Scott Haldane. Il est à la base de tous les calculs de table de plongée.

Néanmoins ce modèle est régulièrement amélioré notamment pour les ordinateurs qui permettent un calcul complexe et rapide en temps réel. En voici quelques exemples :

- Modèle : Base Haldane modifié Buhlmann : UWATEC (Aladin), SPIRO (Monitor), MARES (Génius) etc.
- Modèle : Base Haldane modifié Spencer : ORCA (Edge, Phoenix etc.), SUUNTO (Solution, Eon etc.) etc.
- Modèle : Base Haldane modifié Roger-Powell : P.P.S (Datamax sport, Scan 4 US etc.) etc..

# LES TABLES DE PLONGEES

## GENERALITES ET UTILISATION

### PRELIMINAIRES

Une table de plongée, est un recueil de thèmes de plongée pour lesquels tous les paramètres de la plongée sont pris en compte dans le calcul. Les cours sur les lois et les accidents ont montré l'importance des phénomènes physiologiques et physiques qui régissent notre activité. La table permet de remonter d'une plongée en sécurité et garantit la bonne santé physique du plongeur. Le respect et une connaissance sans faille de l'utilisation des tables sont absolument indispensables pour quiconque plonge en autonome et encadré.

Les tables sont élaborées à partir d'un algorithme mathématique et d'expérimentation en conditions réelles. Elles ont évolués au cours du temps et sont devenues de plus en plus fiables grâce à l'expérience accumulée. Il en existe un grand nombre dans chaque pays. Les plus connues sont :

- les **G.E.R.S. 65** qui ont précédé les MN90 actuelles,
- les **COMEXPRO** qui sont des tables de travail,
- les **USNAVY** qui sont des tables américaines,
- les **MN 90** (Marine Nationale) utilisées aujourd'hui en plongée sportive.

### GENERALITES

Les tables de plongées sont conçues pour être utilisées au niveau de la mer et à saturation à ce niveau. Toute autre utilisation demande d'effectuer des corrections. C'est l'objet de ce cours qui permettra d'une part l'utilisation simple, d'autre part le calcul des corrections à effectuer.

#### *Définitions*

L'utilisation des tables implique la connaissance de certains termes qui doivent être sans ambiguïtés.

- **Heure de départ** : moment où le plongeur quitte la surface pour s'immerger.
- **Durée de la plongée** : temps compris entre le moment où le plongeur s'immerge et celui où il entame sa remontée jusqu'à la surface.
- **Profondeur** : profondeur maximale atteinte au cours de la plongée.
- **Remontée** : temps consacré pour remonter verticalement sans arrêt et à la vitesse de 15 m/mn, d'un niveau d'immersion au palier (ou surface),.
- **Palier** : séjour dont la durée et le niveau sont définis par la table de plongée en fonction d'un thème de plongée.
- **Durée totale de la remontée** : temps depuis le départ du fond jusqu'à l'arrivée en surface (c'est la durée de la remontée + celle des paliers).
- **Heure de sortie** : moment où le plongeur fait surface. C'est l'opposé de l'heure de départ.
- **Temps surface-surface** : temps compris entre l'heure de départ et l'heure de sortie.

- **Groupe de successives** (groupe de sortie) : Lettre donnée dans la table permettant de calculer l'azote résiduel dans le tissu T 120 mn au moment de l'heure de départ de la deuxième plongée.
- **Intervalle** : temps compris entre l'heure de sortie de la première plongée et l'heure de départ de la deuxième plongée (ne pas confondre avec le temps surface-surface)
- **Plongée successive** : plongée dont l'intervalle qui la sépare de la précédente est compris entre 15 mn et 8h.
- **Plongée consécutive** : plongée dont l'intervalle de qui la sépare de la précédente est inférieur à 15 mn.
- **Majoration** : traduit l'azote résiduel en une durée à une profondeur considérée. C'est à dire, pour une profondeur déterminée, la majoration s'exprime par le temps qu'il aurait fallu passer à cette profondeur pour atteindre (dans le tissu T 120 mn) la tension d'azote résiduel indiqué par la table.
- **Durée fictive** : somme de la durée de la plongée et de la majoration dans le cas d'une plongée successive.

### **Description de la table de plongée : (MN90)**

La table de plongée, est en fait composée d'une table de plongée simple et d'une table de plongées successives elle même composée d'un tableau de détermination de l'azote résiduel et d'un tableau de détermination de la majoration.

#### **Table de plongée simple :**

Elle comporte cinq colonnes qui, lues de gauche à droite, indiquent :

les profondeurs, les durées de plongées, les durées de paliers, les durées totales de remontées, les groupes de sortie

#### **Table de plongées successives :**

##### **- Tableau de détermination l'azote résiduel :**

Tableau permettant de déterminer l'azote résiduel en fonction du groupe de sortie et de l'intervalle entre deux plongées.

##### **- Tableau de détermination de la majoration :**

Tableau permettant de déterminer la majoration en fonction de la profondeur de la plongée successive et de l'azote résiduel.

### **UTILISATION : (tables MN90) se reporter aux tables**

#### **Table de plongée simple**

Cette table est un recueil de thèmes de plongée pour chacun desquels les conditions de remontées ont été calculées. On constate que ces thèmes ne sont pas décrits mètre par mètre et minute par minute.

Il en résulte que si nos paramètres de plongée ne coïncident pas exactement avec ceux indiqués dans la table, il faut les arrondir aux valeurs immédiatement supérieures portées sur la table.



## EXEMPLE :

soit une plongée de 27 mn à 26 m. Ces valeurs ne sont pas portées sur la table

Il faut prendre sur la table les valeurs immédiatement supérieures soit : 30 mn à 28 m.

*REGLE* d'utilisation de la table de plongée simple (en cas de non-concordance des valeurs)

MAJORATION de la profondeur et de la durée aux valeurs immédiatement supérieures.

Cette règle de majoration est en fait une sécurité, il suffit de lire les écarts de paliers. Si dans l'exemple précédent on avait pris 25 mn à 25 m ; 1 mn à 3 m au lieu de 6 ! soit un risque énorme d'accident. Il ne faut jamais déroger à cette règle, et ne jamais faire d'interpolation soit même.

### *Table de plongées successives*

Lorsqu'un plongeur effectue une plongée, la table "normale" lui permet de remonter en surface sans accident, mais avec cependant une tension de N<sub>2</sub> dans les tissus supérieure à la tension de N<sub>2</sub> correspondant à l'état de saturation en surface. Le plongeur remonte donc en état de sursaturation.

S'il effectue une nouvelle plongée avant 8 h d'intervalle, il faut en tenir compte en calculant une majoration qui permettra d'utiliser de nouveau la table "normale".

#### *- Tableau de détermination de l'azote résiduel*

Après la première plongée, on est en possession de l'heure de sortie et du groupe de sortie. Ces paramètres vont nous permettre de calculer l'intervalle et l'azote résiduel.

Il faut connaître (à quelques minutes près) l'heure de départ de la deuxième plongée afin de calculer l'intervalle. On peut lire (sur le tableau) en abscisse plusieurs valeurs d'intervalles (de 15 mn à 8 h) et en ordonnée les groupes de sortie lus en 5<sup>ème</sup> colonne de la table de plongée simple. L'intersection de l'intervalle et du groupe de sortie (de la première plongée) donne la valeur de l'azote résiduel.

Néanmoins, il est peu probable que l'intervalle entre les 2 plongées corresponde exactement avec une des valeurs inscrites, il faut donc en choisir une ! Nous avons vu que l'azote résiduel représente la tension de N<sub>2</sub> présente dans l'organisme au moment de l'immersion et que cette valeur tend à revenir à la normale avec le temps. Par conséquent, un intervalle de 6 h par exemple est plus défavorable qu'un de 8 h. Il faut donc prendre la valeur immédiatement inférieure lue si votre intervalle n'y est pas inscrit.

Reprenons l'exemple de tout à l'heure :

Nous avons 27 mn à 26 m ; nous prenons sur la table 30 mn à 28 m soit 6 mn de palier à 3 m et 8 mn de remontée au total. Le groupe de sortie est : H.

Pour une heure de départ égale à 8h, l'heure de sortie est : 8 h + 27' + 8' = 8 h 35'

Pour une heure de départ de la deuxième plongée égale à 15 h, on a un intervalle de 6 h 25' ce qui nous donne le choix entre 6 h et 8 h ; Pour se placer en sécurité il faut prendre 6 h soit un azote résiduel égal à 0,85. (Avec 8 h, on aurait obtenu 0,82 soit une saturation moindre et un risque certain d'accident).

### **- Tableau de détermination de la majoration**

Le travail n'est pas encore fini, il faut encore déterminer la majoration qui permettra de calculer la durée fictive utilisée pour entrer dans la table simple.

Il vous faut connaître la profondeur max. prévue pour la deuxième plongée.

On peut lire (sur le tableau) en abscisse la profondeur max. de la 2<sup>ème</sup> plongée et en ordonnée l'azote résiduel. Une fois encore, nos valeurs ont peu de chance de tomber pile sur les valeurs de la table, il va donc encore falloir choisir judicieusement dans ce qui nous est proposé.

- Entre 2 valeurs d'azote résiduel, il faut prendre la valeur immédiatement supérieure sinon cela équivaldrait à augmenter l'intervalle.
- Entre 2 profondeurs, il faut prendre la valeur immédiatement supérieure (contrairement à l'utilisation des tables GERS 65 précédemment utilisées). Cette règle bien qu'apparemment illogique, est dûe au calcul qui prend en compte 12 tissus au lieu de 6 pour les GERS 65.

Continuons l'exemple de tout à l'heure :

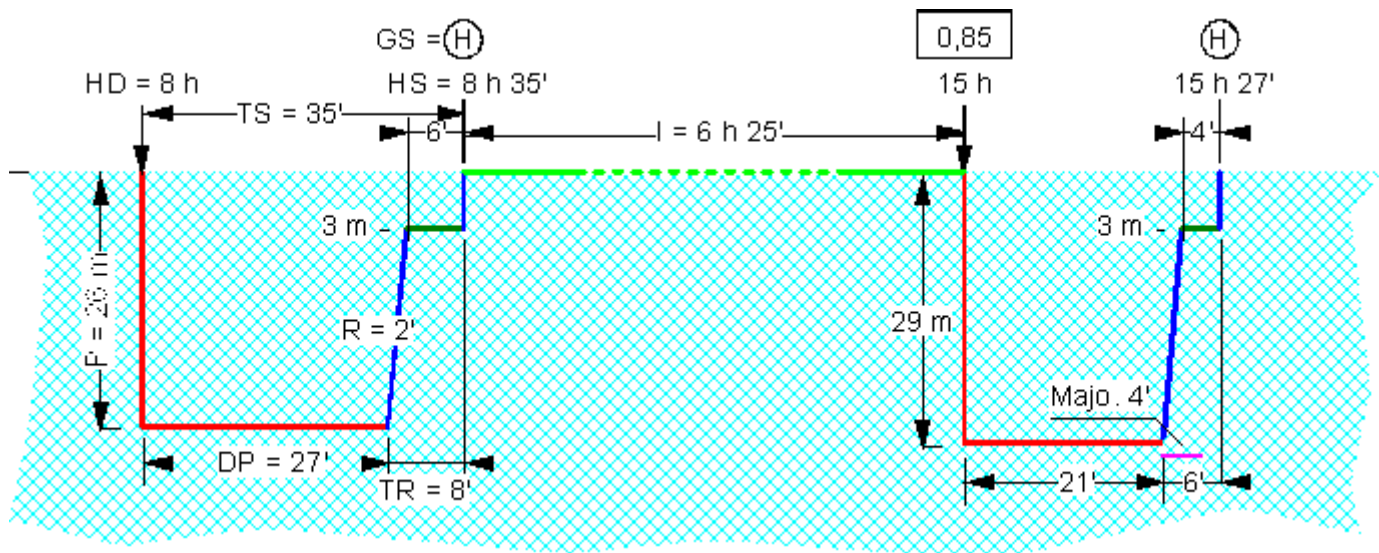
Prenons une 2<sup>ème</sup> plongée de 21 mn à 29 m, nous avons le choix entre 28 et 30 m il faut prendre 30 m. Nous avons le choix entre 0,84 et 0,86 il faut prendre 0,86. Ce qui nous donne une majoration de 4 mn. (Avec 30 m et 0,84 nous aurions eu une majoration de 3 mn soit un risque certain d'accident)

Nous obtenons une durée fictive de : 21 mn + 4 mn = 25 mn ; Valeur avec laquelle on entre dans la table simple. Soit 25 mn et 29 m

La lecture de la table donne 25 mn à 30 m soit 4 mn de palier à 3m et 6 mn de remontée au total.

D'où une heure de sortie égale à : 15h + 21 mn + 6 mn = 15h 27 groupe de sortie H.

Pour une bonne compréhension reportons ces valeurs sur le schéma suivant.



REGLES d'utilisation de la table de plongée successive (en cas de non-concordance des valeurs) :

- MINORATION de l'intervalle à la valeur immédiatement inférieure.
- MAJORATION de la profondeur de la deuxième plongée à la valeur immédiatement supérieure.
- MAJORATION de l'azote résiduel à la valeur immédiatement supérieure.

Comme pour la table simple, il est nécessaire de respecter les règles de majoration et minoration ; il suffit également de lire les écarts de paliers une fois reportés sur la table simple

### Plongées consécutives

Ce type de plongée est en fait une plongée successive avec un intervalle de moins de 15 minutes. Pour calculer les paliers d'une plongée consécutive, on entre dans la table simple avec les valeurs suivantes :

- **DUREE** : Somme des durées des 2 plongées.
- **PROFONDEUR** : Profondeur maximale atteinte au cours de l'une ou l'autre des plongées.

EXEMPLE :

1<sup>ère</sup> plongée 20 mn à 30 m. 2<sup>ème</sup> plongée 25 mn à 25 m, et ce avec 12 mn d'intervalle.

Il s'agit alors d'une seule plongée de 45 mn à 30 m. On utilise la table simple avec ces valeurs pour la remontée de la plongée.

## REMONTEES ANORMALES

### Remontée trop rapide

La vitesse de remontée est comprise entre 15 et 17 m/mn. Si une remontée se fait au delà de ces valeurs (mauvais contrôle de la bouée, défaillance matérielle etc.) il faut, dans un délai de 3 minutes :

- redescendre à la moitié de la profondeur maximum atteinte,
- effectuer un palier de sécurité de 5 mn à cette profondeur,
- calculer la remontée et les paliers avec les valeurs suivantes :
  - - **profondeur** : profondeur maximale atteinte au cours de la plongée.
  - - **durée** : durée plongée + durée remontée trop rapide + temps de surface (< 3 mn) + durée de descente à mi-profondeur + durée du palier de sécurité.

Pour obtenir ce temps, il suffit de lire sa montre!!!.

Si malgré l'incident, la plongée ne nécessite pas de palier, il est recommandé d'effectuer un palier de principe de 3 mn à 3 m.

EXEMPLE :

Un plongeur évolue à 28 m, au bout de 25 mn, il remonte en catastrophe à 28 m/mn. Il reste 2 mn en surface pour changer de bloc et met 1 mn pour descendre à 14 m. Il effectue un palier de sécurité de 5 mn à cette profondeur. A l'issue de celui-ci, il rentre dans la table simple avec les valeurs suivantes :

*Profondeur* : 28 m *durée* : 25 mn + 1 mn + 2 mn + 1 mn + 5 mn = 34 mn

Soit sur la table simple : 28 m et 35 mn : 12 mn de palier à 3 m et 13 mn de remontée au total. (pas 14 mn, on part de 14 m !!).

### Paliers interrompus

Si, en cas de panne d'air ou pour toute cause, hormis la remontée en catastrophe, le plongeur interrompt ses paliers, il doit redescendre et recommencer entièrement au niveau interrompu.

## COURBE DE SECURITE

PROFONDEURS	TEMPS SANS PALIER	PROFONDEURS	TEMPS SANS PALIER
Jusqu'à 9,25 m	Illimité	22 m	35 '
10 m	5h30	25 m	20'
12 m	2 h 15	28 m	15'
15 m	1h15	30 m	10'
18 m	50 '	32 m	10'
20 m	40'	35 m	10'

Ce sont les valeurs temps/profondeur pour lesquels il n'est pas nécessaire d'effectuer de paliers. Néanmoins, il existe une règle tacite qui préconise un palier de 3 mn à 3 m lorsque la table permet de ne pas en faire.

## CONCLUSION

Les procédures d'utilisation des tables de plongée doivent devenir un réflexe. On ne doit pas se tromper dans les calculs ou bien mélanger les règles. Pour cela il est nécessaire de bien comprendre le raisonnement qui a aboutit à ces règles.(une erreur peut entraîner un accident de plongée).

Depuis quelques années, les ordinateurs de plongée sont entrés en force dans notre petit monde. Beaucoup de plongeurs ont, malheureusement, une attitude peu prudente vis à vis de ces appareils. En effet, ces personnes s'imaginent être dispensé de l'apprentissage des tables puisque l'ordinateur se charge des calculs à leur place, en temps réel et de façon très précise. Cette approche est dangereuse car non seulement ils oublient la façon d'utiliser une table, mais en plus ils ignorent que les ordinateurs sont programmés, justement, à partir de tables de plongées. Ces lacunes les entraînent à sortir du domaine d'utilisation de l'ordinateur et surtout les empêchent de s'en rendre compte. En cas de panne, il faut avoir prévu un appareillage de secours (Tables, profondimètre et montre) et être capable de prendre le relais au pied levé. Cela dit, l'ordinateur apporte un confort indiscutable en nous affranchissant des calculs des paliers et de la majoration (lorsqu'on est capable de les faire). Il est également très utile pour ceux qui effectuent beaucoup de plongées en successive. Par exemple, l'encadrant qui plonge le matin qui fait de l'école l'après-midi et qui finit par 5 ou 6 baptêmes.

Il est très important de se rendre compte que la précision même du calcul en temps réel des ordinateurs diminue sensiblement la marge de sécurité apportée par les tables (temps de plongée plus long, paliers courts voire inexistant).

Cela implique une rigueur extrême dans le respect des indications de ces appareils.

Pour conclure, il est préférable de plonger quelque temps aux tables avant de s'offrir un ordinateur. Une fois celui-ci acheté, on ne plonge que très rarement aux tables et seule une longue habitude de l'utilisation de celles-ci permet de les remployer sans erreurs.

# PLONGEE EN ALTITUDE

## 1. PRELIMINAIRES

Les plongées en altitude sont, comme leur nom l'indique, effectuées en lac de montagne ou la pression atmosphérique est inférieure à celle du niveau de la mer

Cela impose d'utiliser soit des tables établies pour l'altitude du lieu de plongée, soit les tables " mer " dans lesquelles on entrera avec des paramètres fictifs afin de la rendre compatible avec la pression atmosphérique au niveau du lac; C'est le but de ce cours.

Les profondimètres sont étalonnés au niveau de la mer et leurs indications doivent être corrigées lors de l'utilisation; Il existe néanmoins des appareils réglables et bien évidemment les ordinateurs qui se règlent automatiquement, Ce cours passera en revue tous ces cas et les corrections éventuelles à appliquer.

## 2. PROFONDEUR FICTIVE

La profondeur fictive est la profondeur avec laquelle on entre dans la table " mer "; C'est la profondeur à laquelle il faudrait être en mer pour obtenir le même rapport de PAbs / Patm que celui de la plongée " lac ".

### 2. 1. Abaissement de la pression atmosphérique

La pression atmosphérique s'abaisse linéairement de 0.1 bar par 1000 m (jusqu'à 5000 m) ex. à 2000 m la Patm est de 0,8b.

La pression atmosphérique est notée soit en bar soit en millimètres de mercure (Hg) par exemple à 2000m la Patm est de 608 mm/Hg; Au niveau de la mer elle est de 760 mm/hg. Une simple règle de 3 permet la conversion d'une unité à l'autre. Par exemple, la Patm d'un lac est de 570 mm/Hg:

- Valeur en bar :  $570 / 760 = 0,75 \text{ b}$
- Altitude du lieu ;  $1 - 0,75 = 0,25$   $0,25 * 10000 = 2500 \text{ m}$

### 2. 2. Utilité de la profondeur fictive

On sait que la saturation S en plongée est exprimée par le rapport  $TN2 / P_{Abs}$  et qu'elle doit rester inférieure à la saturation critique Sc.

En sortie de plongée c'est le rapport  $TN2 / P_{Atm}$  qui est important; il faut donc trouver un rapport  $P_{Abs} / P_{Atm}$  en mer identique à celui trouvé en lac pour que les tables soient exploitables

Prenons un lac situé à 2000 m d'altitude ou l'on effectue une plongée à 40m.

<u>EN LAC</u>	<u>EQUIVALENCE EN MER</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>P_{Atm} = 0,8b</math></li> <li>• <math>P_{Abs} = 4,8b</math></li> <li>• <math>P_{Abs} / P_{Atm} = 4,8b / 0,8b = 6b</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>P_{Atm} = 1b</math></li> <li>• <math>P_{Abs} / P_{Atm} = 6b</math></li> <li>• <math>P_{Abs} = 6b/1b = 6b</math></li> </ul>
<b>Prof réelle = <math>(4,8 - 0,8) \times 10 = 40 \text{ m}</math></b>	<b>Prof fictive = <math>(6-1) \times 10 = 50\text{m}</math></b>

On remarque que pour obtenir en mer le même rapport  $P_{Abs} / P_{Atm}$  qu'en lac il faut entrer dans la table " mer " avec une profondeur de 50 m; Celle-ci est appelée " Profondeur fictive ".

En fait, une plongée à 40m dans un lac à 2000 m nous place dans les mêmes conditions de saturation et désaturation qu'une plongée mer à 50 m; D'ou l'utilisation de cette valeur fictive pour le calcul de la décompression avec la table " mer " .

### **2.3. Calcul de la profondeur fictive.**

Le tableau précédent démontre aisément que la profondeur fictive est TOUJOURS plus profonde que la profondeur réelle.

La profondeur fictive est donnée par la division de la profondeur réelle par la pression atmosphérique du lieu de plongée.

$$\text{PF} = \text{Prof. réelle} / \text{Patm. en bar}$$

## **3. CALCUL DE LA PROFONDEUR REELLE**

Dans le chapitre précédent, on se sert de la profondeur réelle pour le calcul de la profondeur fictive. mais les profondimètres, du fait de leur principe ou de leur étalonnage, n'indiquent pas la profondeur réelle.

### **3. 1. Profondimètre à tube capillaire (loi de Mariotte)**

Ce type de profondimètre est une application directe de la loi de Mariotte. De l'eau pénètre dans un tube capillaire et comprime l'air contenu dans le tube la lecture s'effectuant à la séparation air/eau. A la surface, quelle que soit la pression atmosphérique, il indique 0m.

Il indique :10 m lorsque la pression à doublé, 20 m lorsque la pression à triplé, 30 m lorsque la pression à quadruplé, etc ...

En mer la Patm est de 1 b, lorsque la pression à doublé, il indique 10 m.

Dans un lac à 2000 m la Patm est de 0,8 b, lorsque la pression à doublé il indique 10 m. alors que l'on se trouve en réalité à 8 m.(0,8 b de Patm + 0,8 b de Phyd ; 0,8 b de Phyd.= 8 m d'eau)

On en déduit que ce type de profondimètre indique la Profondeur Fictive.

$$\text{P.réelle} = \text{Prof. bathy} \times \text{Patm. en bar}$$

### 3. 2. Profondimètres à tube de bourdon et à membrane et bain d'huile

Ces profondimètres sont étalonnés au niveau de la mer, et indiquent 0m lorsque la Patm est de 1 b.

Lorsque, en lac, la Patm est plus faible, il indique 0m car l'aiguille est bloquée sur son butoir et n'en décollera que lorsque la Pabs. sera égale à un bar, donc une fois immergé. Ce retard correspond à la différence entre les 2 Patm. Exprimé en mètre ce retard est donné par la formule suivante.

$$R = 10 \times (1 - \text{Patm en bar})$$

Il faut ajouter à ce retard la profondeur indiquée par le profondimètre pour connaître la profondeur réelle.

$$P \text{ réelle} = \text{Prof. bathy} + R$$

### 3. 3. Exemples

Dans un lac, au dessus duquel la Patm est de 532 mm/Hg, un profondimètre à membrane indique 39m. Quelle est la profondeur réelle ? Profondeur fictive ?

Patm = 532 / 760 = **0,7 bar**, Retard = 10 x (1 - 0,7) = **3 mètres**, PR = 39 + 3 = **42 mètres**

PF = 42 m / 0,7 m = **60 mètres**

Dans un lac, au dessus duquel la Patm est de 646 mm/Hg, un profondimètre capillaire indique 40m. Quelle est la profondeur réelle ? Profondeur fictive ?

Patm = 646 / 760 = **0,85 bar**, PR = 40 x 0,85 = **34 mètres**.

PF = indiquée par le profondimètre soit **40mètres**.



### 3. 4. Timers électroniques ,Ordinateurs, Profondimètres réglables

Les appareils électroniques sont souvent étalonnés en eau douce!! (Aladin pro par exemple ce qui fait que la profondeur indiquée en mer est légèrement fausse). Les timers ne sont généralement pas pourvu d'un mode " Altitude " et sont à corriger comme un profondimètre à membrane. Les Ordinateurs (Aladin Pro, Monitor 2, DC12, Solution □ etc) ont un mode " Altitude " et effectuent leur calcul en fonction de la Patm du lieu. De toute façon, il faut lire la notice de ces appareils pour éviter toute surprise.

Quelques appareils à membrane ou à tube de bourdon ont un " 0 " réglable. Dans ce cas, il n'y a pas de corrections à effectuer on obtient la Profondeur Réelle par lecture directe

## 4. CALCUL DE LA PROFONDEUR REELLE DES PALIERS

Le chapitre 2 nous a montré la nécessité d'utiliser la profondeur réelle pour entrer dans la table mer. La lecture de cette table nous donne des paliers lorsque la plongée le justifie; Mais, ceux ci sont calculés pour la profondeur fictive ce qui fait que la profondeur des paliers est également fictive.

### 4.1 Utilité de la profondeur réelle au palier.

Nous avons besoin du rapport PAbs/PAtm pour le calcul de la profondeur fictive. Si l'on effectue le palier à la profondeur (fictive) indiquée sur la table, le rapport PAtm / Pabs (inverse) serait supérieur en lac qu'en mer.

Tout se passe comme si le palier était fait trop bas en regard de sa durée, et le tissu INSUFFISAMMENT désaturé pour permettre de passer au palier suivant ou à la surface (dépassement du Sc). D'ou la correction nécessaire.

Prenons un lac situé à 2000 m d'altitude ou l'on effectue les paliers

<u>PALIER A 3 METRES EN MER</u>	<u>EQUIVALENCE EN LAC</u>
<ul style="list-style-type: none"><li>• PAtm = 1 b</li><li>• PAbs = 1,3 b</li><li>• PAtm / PAbs = 1 b / 1,3 b = 0,77</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• PAtm = 0,8 b</li><li>• PAtm / PAbs = 0,77</li><li>• Pabs = 0,8 b / 0,77 = 1,038 b</li></ul>
<b>Prof fictive = 3 m</b>	<b>Prof Réelle = (1,038-0,8) x10 = 2,4m</b>

On remarque que pour obtenir en mer le même rapport  $P_{Atm} / P_{Abs}$  qu'en mer il faut effectuer le palier de 3 m " mer " à 2,4 m en lac (à 2000 m). Un calcul identique est à effectuer pour les autres paliers.

#### **4.2 Calcul de la profondeur réelle des paliers**

Le tableau précédent démontre aisément que la profondeur réelle des paliers est TOUJOURS moins profonde que la profondeur fictive des paliers.

La profondeur réelle est donné par la multiplication de la profondeur table au palier par la pression atmosphérique du lieu de plongée.

$$PRp = P_{palier\ table} \times P_{atm}.$$

### **5. CALCUL DE LA PROFONDEUR DU PALIER LUE AU PROFONDIMETRE**

#### **5.1. Profondimètre à tube capillaire (loi de Mariotte):**

Ce profondimètre indique la Profondeur Fictive. Donc la lecture directe nous place directement à la profondeur réelle du palier.

$$P_{bathy} = P_{palier\ table}$$

#### **5. 2. Profondimètres à tube de bourdon et à membrane et bain d'huile**

Ces profondimètres accusent un " retard " du à l'étalonnage du " o ".

Nous avons vu que  $P_{réelle} = P_{bathy} + R$  donc:

$$P_{bathy} = PR_{palier} - R$$

### 5. 3. Exemples:

Dans un lac, au dessus duquel la  $P_{atm}$  est de 532 mm/Hg, on effectue un palier à 6m "table". Quelle est la profondeur réelle du palier, la profondeur indiquée par un profondimètre à tube capillaire et celle indiquée par un profondimètre à membrane ?

- $P_{atm} = 532 / 760 = 0,7 \text{ bars}$   $PR = 6 \times 0,7 = 4,2 \text{ m}$
- $P_{bathy} = P_{table} = 6 \text{ m}$
- $Retard = 10 \times (1 - 0,7) = 3 \text{ m}$   $P_{bathy} = 4,2 - 3 = 1,2 \text{ m}$

On remarque que pour se trouver à 4,2m, on doit lire 6m sur un profondimètre capillaire et 1,2 m sur un profondimètre à membrane; Pour un palier à 3 m table ( $PR = 2,1 \text{ m}$ ), celui-ci indiquerait une valeur négative! (en butée en fait) donc inutilisable.

### 5. 4. Timers électroniques ,Ordinateurs.

Les ordinateurs du fait de leur mode " altitude " n'ont pas besoin d'être corrigés.

Les timers électroniques non pourvus de mode altitude sont à corriger comme les appareils à membrane ou à tube de bourdon.

## 6. CALCUL DE LA VITESSE DE REMONTEE.

La vitesse de remontée donnée à 15 m/mn, permet au tissu le plus rapide de la table (1,5 mn) de désaturer sans être lésé. Mais, comme le rapport  $P_{Abs} / P_{Atm}$  est plus important en lac qu'en mer pour une profondeur identique, il faut remonter plus lentement afin de ne pas dépasser la  $Sc$  du tissu 1,5 mn. La vitesse de remontée est donc:

$$VR = V_{table} \times P_{atm}$$

## 7. RESUME

- Profondeur fictive TOUJOURS > Profondeur réelle:  $PF = PR / P_{atm}$
- Profondeur réelle pour profondimètre tube capillaire:  $PR = P_{bathy} \times P_{atm}$
- Profondeur réelle pour profondimètre tube bourdon/membrane:  $R = 10 \times (1 - P_{atm})$   $PR = P_{bathy} + R$
  
- Profondeur palier TOUJOURS < Profondeur palier table:  $PR_{palier} = P_{palier\ table} \times P_{atm}$
  
- Profondeur palier pour profondimètre tube capillaire:  $P_{bathy} = P_{palier\ table}$
- Profondeur palier pour profondimètre tube bourdon/membrane:  $P_{bathy} = PR_{palier} - R$
  
- Vitesse de remontée:  $VR = V_{table} \times P_{atm}$ .

Ces calculs doivent **IMPERATIVEMENT** être effectués AVANT la plongée

# PLONGEE MELANGE

## 1. PRELIMINAIRES.

Les plongées mélange dans la plongée loisir sont des plongées dont le mélange respirable est composé des même constituants principaux que l'air mais avec des proportions différentes.

Le mélange respiratoire est composé d'Azote (N<sub>2</sub>) et d'Oxygène (O<sub>2</sub>) mais à des proportions telle que les paliers soient inexistantes ou réduits pour une profondeur donnée.

La proportion de N<sub>2</sub> est diminuée par rapport à l'air de façon à limiter les palier et la narcose.

La proportion d'O<sub>2</sub> est augmentée d'autant mais de façon à éviter les effets **Lorrain-Smith** et **Paul Bert** ce qui limite la profondeur maximum d'utilisation de ce mélange.

Les proportions des gaz étant changées, les tables "air" ne sont pas applicables telles quelles. Il faut y apporter une correction assez semblable à celles de la plongée altitude; C'est le but de ce cours que de la calculer.

Ce mélange respiratoire est appelé "NITROX". Il est possible de fabriquer autant de nitrox que l'on veut ; par exemple, un nitrox pour 20 m, pour 30 m, pour 40 m etc.

Ce cours traite uniquement les plongées nitrox en mer. Il n'y a donc aucune correction à apporter aux profondimètres.

## 2. PROFONDEUR EQUIVALENTE.

La profondeur équivalente représente la profondeur avec laquelle on entre dans la table "air". C'est la profondeur "plongée à l'air" avec laquelle la TN<sub>2</sub> est identique à celle de la "plongée Nitrox".

### 2.1. Abaissement de la Tension d'Azote (TN<sub>2</sub>) dans les tissus.

Le but du Nitrox est de supprimer si possible les paliers. Nous savons que les paliers permettent de maintenir le rapport  $TN_2 / P_{abs} \square Sc$ . Si on diminue le % d'azote, la TN<sub>2</sub> sera plus faible et la durée sans palier allongée par rapport à l'air.

Il faut donc trouver dans la table "air" une profondeur à laquelle on se place dans les mêmes conditions de TN<sub>2</sub> qu'avec le Nitrox.

## 2.2. Profondeur équivalente.

Nous savons que la Tension Finale (Tf) est égale à la PPN2 égale elle même à Pabs x X/100.

Il faut que PPN2 air soit égale à PPN2 nitrox soit : Pabs air x 79 / 100 = Pabs nitrox x X / 100

soit Pabs air = Pabs nitrox x X/79

La PAE est la Pression Absolue Equivalente à laquelle se trouverait le plongeur s'il respirait de l'air (N2 79% O2 21%) donc:

$$\text{PAE} = \text{Pabs nitrox} \times X / 79$$

De cette valeur, on déduit la Profondeur Equivalente PE

## 2.3 Exemple:

Un plongeur utilise un Nitrox à 60 % de N2 et 40 % d'O2. Il plonge à 30 m, quelle sera la PAE ?

$$\text{PAE} = (4 \times 60) / 79 = \mathbf{3,038 \text{ b}}$$
 PE = 20,38 m soit 21 m

On entre dans la table de plongée " air "(MN90) avec 22 m

## 3. VERIFICATION DE L'HYPEROXIE:

L'exemple précédent montre que la diminution du % d'N2 permet d'allonger le temps sans palier par rapport à l'air tout en diminuant le risque de narcose. Néanmoins, le % d'O2 qui augmente apporte la limite par le risque croissant d'hyperoxie (**effet Paul Bert**).

### 3.1 Limite d'utilisation du Nitrox.

Reprenons l'exemple de Nitrox précédent: 60 % N2 et 40 % O2.

Nous savons que la PPO2 ne doit jamais dépasser 1.8 b en mélange (effet Paul Bert) donc :

$$\text{Pabs} = (100 \times 1.8) / 40 = 4.5 \text{ b}$$
 soit **35 m**

La profondeur maxi d'utilisation de ce Nitrox est 35 mètres

L'effet Lorrain Smith limite à 2 heures l'exposition à plus de 0.5 b de PPO2. Cela est à prendre en compte pour les Nitrox calculés pour de faible profondeur et permettant de ce fait de longues exposition sans palier.

### 3.2 Exemple:

Un plongeur effectue une plongée à 40m avec un Nitrox 70 % N<sub>2</sub> et 30 % O<sub>2</sub> d'une durée de 25 mn. Quel seront les paliers ?

$$P_{abs} = 5b ; \text{Vérif hyperoxie: } 5 \times 30 / 100 = 1,5b < 1.8 b$$

$$P_{AE} = 5 \times 70 / 79 = 4,43b \text{ soit } 34,3 \text{ m}$$

Lecture table : 35 mètres 25 mn soit **11 mn à 3 m**

Si la plongée était effectuée à l'air nous aurions: **2 mn à 6 m et 19 mn à 3 m.**

### 4. UTILISATION DES TABLES:

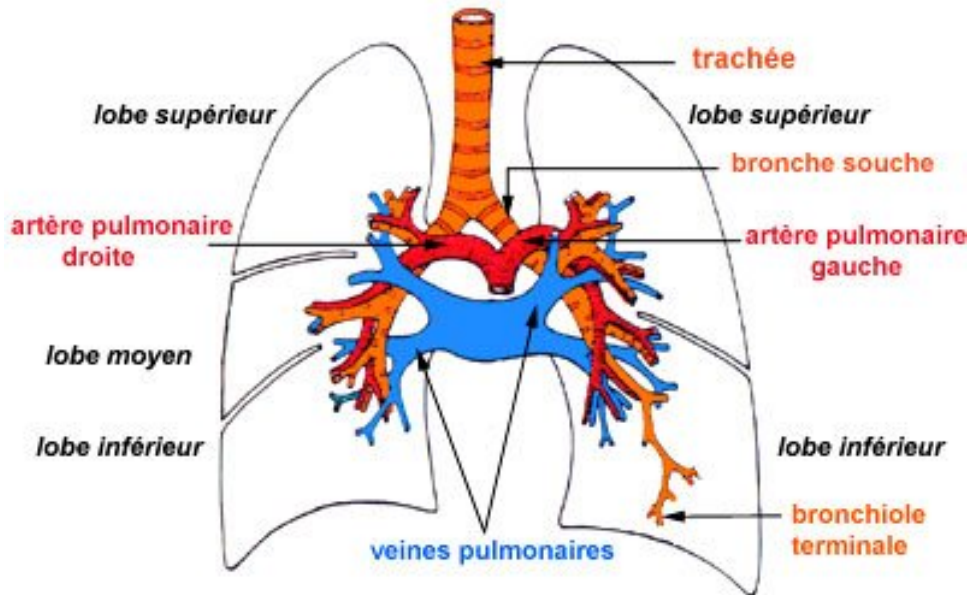
La remontée est programmée pour que:  $TN_2/P_{abs} \square Sc$ . Comme la  $P_{abs}$  est identique que l'on respire de l'air ou du Nitrox, la vitesse de remontée et la profondeur des paliers ne donnent pas lieu à des corrections.

Par contre, n'oubliez surtout pas que l'on **remonte de la profondeur réelle** et non de la profondeur équivalente. Pour le calcul de l'heure de sortie il faut prendre le temps de remontée de la profondeur réelle.

Il existe actuellement un ordinateur de plongée " Nitrox " avec gestion du nitrox. Il s'agit de l'ALADIN NITROX de UWATEC. Cet appareil gère la consommation de nitrox. Il est composé d'un émetteur vissé sur une sortie H.P et de l'ordinateur proprement dit dans lequel les pourcentages des gaz sont paramétrables. Sa présentation est identique à celle de l'ALADIN AIR X.

## L'APPAREIL RESPIRATOIRE

Avec les poumons, on a affaire à une pompe bien différente : C'est une pompe aspirante refoulante à un seul orifice (la trachée artère). Ils expulsent l'air chargé en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et aspirent l'air plus riche en oxygène (O<sub>2</sub>) pour assurer les besoins du métabolisme (centrale énergétique).



## Fonctionnement

Les muscles inter-costaux et surtout le diaphragme modifient, lors de leur contraction, la forme et le volume interne de la cage thoracique. Il y a extension latérale (côtes flottantes), frontale (sternum) et verticale (abaissement du diaphragme). La variation de volume de cette enveloppe entraîne une dépression intrathoracique et, par voie de conséquence, pénétration de l'air atmosphérique dans les poumons au travers des voies aériennes supérieures. C'est l'inspiration. Lors du relâchement de ces muscles, l'air contenu dans les poumons est rejeté à l'extérieur. C'est l'expiration.

## Les voies aériennes supérieures

Bouche : apport d'air en inspirant

Nez : fosse nasale, muqueuse, lubrification du fluide d'air, filtre d'air

## Variation des volumes

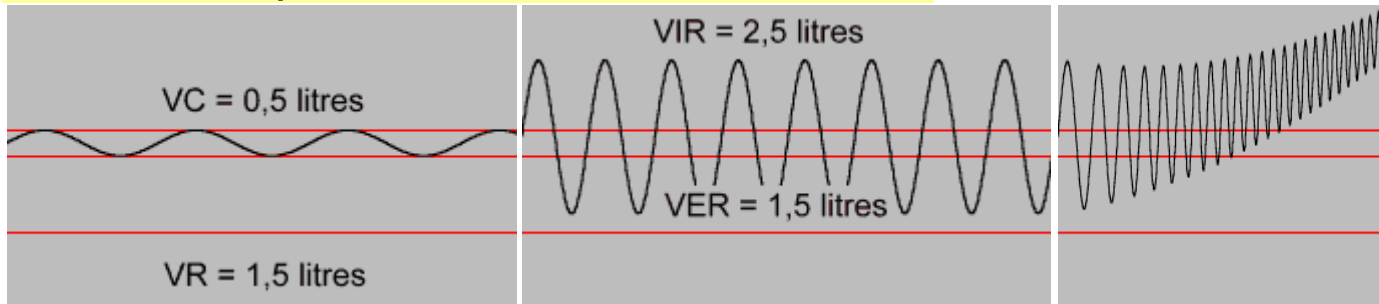
Les mouvements d'inspirations et d'expirations s'enchaînent pour former un cycle dont la cadence est, au repos chez l'adulte, d'environ 12 à 15 par minutes. Les variations de volumes engendrées au cours de ce cycle sont (en moyenne) :

Rythme moyen au repos :

**Adulte : 15 à 20 respirations / minutes**

**Enfant : 25 à 30 respirations / minutes**

**Bébé : 35 à 40 respirations / minutes**



#### - Le volume courant

Au cours de la respiration calme, un volume d'air d'environ 0,5 litres est aspiré et expiré à chaque mouvement : c'est le volume courant.

#### **Le volume courant (VC = 0,5 l)**

Nos poumons suivent sans cesse un cycle inspiration/expiration. En temps normal, au repos, ils brassent 0,5 litres par cycle. C'est-à-dire que le volume des poumons oscille entre deux valeurs distantes de 0,5 litres. Cette quantité d'air est suffisante pour alimenter notre corps en oxygène, en l'absence d'effort important. La courbe du schéma ci-contre symbolise la variation de volume des poumons en fonction du temps, au repos.

#### **Le volume de réserve (VR = 1,5 l)**

Lorsqu'on expire à fond, au maximum de ses possibilités, on a l'impression d'avoir "vidé" ses poumons. Heureusement il n'en est rien, on a simplement atteint des limites physiologiques : celles nos muscles du thorax et de l'abdomen (diaphragme). Il reste de l'air dans les poumons. Si ce n'était pas le cas, les parois des alvéoles se refermeraient à jamais... Il reste alors dans nos poumons un volume d'air important : 1,5 litres. C'est un volume suffisant pour tenir 30 secondes en apnée en cas de pépin. Si vous en doutez, entraînez-vous à l'apnée expiratoire progressivement (avec une surveillance, évidemment). Si vous ne l'avez jamais fait, vous serez surpris du résultat. Ce volume de réserve figure sur le schéma ci-dessus.

#### **Le volume inspiratoire de réserve (VIR = 2,5 l)**



A l'inverse, lorsqu'on "remplit" les poumons, on augmente leur volume de 2,5 litres de plus qu'après une inspiration normale. Ce volume supplémentaire est sollicité en cas d'effort : Le corps consommant plus d'énergie a besoin de plus d'oxygène. Il va falloir brasser plus d'air. Le schéma ci-contre représente la variation du volume pulmonaire pendant un effort. Il ne prend tout son sens que lorsqu'on le compare au précédent : Deux grands changements sont apparus. Premièrement, la fréquence ventilatoire (la "vitesse de respiration", FV pour les intimes) est augmentée. Deuxièmement, l'amplitude de la respiration est beaucoup plus importante qu'au repos.

On se rapproche du but de cette page...

### **Le volume expiratoire de réserve (VER = 1,5 l)**

Pour nous aider à bien vider les poumons, la nature nous a doté de la possibilité de vider les poumons au-delà d'une expiration normale (on en parlait plus haut). Il est ainsi possible de "forcer" l'expiration en expirant 1,5 litres de plus qu'après une expiration normale. La courbe du schéma ci-dessus montre que pendant l'effort, les poumons n'hésitent pas à empiéter sur ce volume d'expiration supplémentaire pour bien évacuer l'air chargé en gaz carbonique. Les poumons se rempliront d'autant mieux à la prochaine inspiration. On touche au but...

Il est temps de faire le total : **VIR + VC + VER + VR = 6 litres**. Cette valeur est purement indicative, c'est une moyenne. On ne me fera pas croire que le volume pulmonaire de **Umberto Pelizzari (8 litres)** est similaire à celui de Nathalie, petit format qui finit ses plongées avec près de 100 bars dans son bloc...

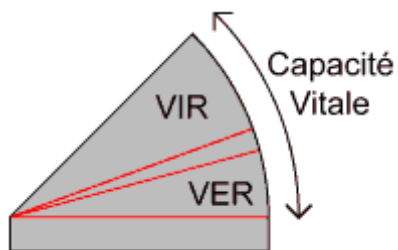
La courbe de l'essoufflement

Les choses étant ce qu'elles sont, l'expiration est passive. Lors d'un effort, si on "oublie" de forcer sur l'expiration, le corps ne sera pas satisfait : il réclamera plus d'oxygène, il se mettra à respirer de plus en plus vite, en continuant d'oublier d'expirer, inspirera de plus en plus, remplira les poumons, au point de nous faire suffoquer...

Un comble ! En effet, l'organisme réclame de l'air alors que les poumons sont pleins... pleins d'air chargé de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Regardez bien cette courbe, voyez comme elle est effrayante.

Pour rompre le cercle vicieux, c'est simple : cesser tout effort et expirer à fond (une fois peut suffire).

Un peu de vocabulaire



Ce dessin illustre le nom de "soufflet" pulmonaire en matérialisant la capacité vitale des poumons ( $CV = VIR + VC + VER$ ). La respiration peut alors s'assimiler à un mouvement cyclique de ce soufflet, sans qu'il soit possible d'intervenir sur le volume résiduel. Les proportions des différents volumes cités ont été respectées sur ce schéma.

Rythme de la respiration

- Inspiration / Apnée inspiratoire
- Expiration / Apnée expiratoire

### Applications à la plongée

#### Phénomènes mécaniques :

Poids volumique de l'air augmente = difficulté de respiration

Dilatation de l'air à la remontée = surpression pulmonaire

**Phénomènes biochimiques :** Augmentation des Pp

Accident O<sub>2</sub>

Accident N<sub>2</sub>

Accident CO<sub>2</sub>

#### Phénomènes biophysique :

Dissolution de N<sub>2</sub> augmente : Reprise de sa forme gazeuse = accident de décompression.

# L'acoustique

Un son est une sensation auditive engendrée par une vibration acoustique.

Un corps ne peut émettre un son que s'il vibre; ces vibrations sont transmises par les milieux matériels gaz, liquides, solides, mais ne sont pas transmises dans le vide.

Dans le cas de l'audition, les vibrations sont transmises par un milieu intermédiaire - gaz, liquide ou solide - et sont enregistrées par le nerf auditif. On peut, par conséquent, entendre dans l'eau.

Les sons se distinguent entre eux de trois manières:

- Par la **hauteur**, qualité qui distingue un son grave d'un son aigu. La hauteur d'un son est liée à la fréquence des vibrations de la source sonore (la fréquence est le nombre de vibrations sonores par unité de temps). L'oreille humaine peut percevoir les fréquences comprises entre 20 et 20 000 vibrations par seconde. Plus la fréquence est élevée plus le son est aigu, et plus la fréquence est basse plus le son est grave;
- Par l'**intensité**, qualité qui nous fait distinguer un son fort d'un son faible. L'intensité est liée à l'amplitude des vibrations sonores; elle augmente avec l'amplitude;
- Par le **timbre**, qualité qui nous permet de distinguer deux sons émis par deux instruments différents.

**Propagation** La vitesse de propagation du son dépend du milieu. Dans l'air, à température de 0 °C, elle est de 331 m/s; elle augmente de 0,6 m/s pour une élévation de température de 1 °C, Dans l'eau à une température de 8 °C, elle est de 1435 m/s. Dans les solides, la vitesse croît considérablement; Elle est de 5 km/s pour l'acier. La portée du son, c'est-à-dire la distance de la source sonore à laquelle il peut être perçu, est fonction de l'absorption des vibrations sonores par le milieu qui les transmet. L'amortissement des vibrations est dû à la viscosité et à la conductibilité thermique du milieu. L'absorption par viscosité et conductibilité est proportionnelle au carré de la fréquence du son; par conséquent les sons les plus graves seront transmis plus loin que les sons aigus. La propagation des sons et ultra-sons dans l'eau est utilisée comme moyen de détection sous-marine, dans le sonar par exemple. Un sonar est schématiquement constitué par un projecteur qui émet des faisceaux d'ultrasons. Si une impulsion rencontre un obstacle, les ultrasons sont réfléchis et enregistrés par un récepteur. La distance entre l'obstacle et le point d'émission est calculée en fonction de l'intervalle de temps entre l'émission et la réception du signal. En considérant que les ultra-sons se propagent à une vitesse de 1500 m/s, on obtiendra la distance de l'obstacle en multipliant 750 m par le temps en secondes (car le train d'onde fait l'aller-retour entre l'émetteur et l'obstacle). La direction de l'obstacle sera indiquée par l'orientation du projecteur.

## Conséquences dans le domaine de la plongée

- La possibilité pour des plongeurs en immersion de communiquer entre eux par sons;
- La possibilité de communication entre la surface et des plongeurs;

la possibilité pour les plongeurs de détecter et d'interpréter des bruits (hélices, moteurs)



## Le Bloc

Elément "passif" du scaphandre, il contient le stock d'air comprimé utilisé au cours de la plongée et qui, en fonction du débit du détendeur, en détermine la durée. Il se compose :

- de la bouteille elle-même;
- de la robinetterie sur laquelle se raccorde le détendeur;

### LA BOUTEILLE

Si on excepte des réalisations encore expérimentales, les bouteilles d'utilisation courante sont en acier ou en alliage d'aluminium (AG 5 en France). Elles sont soumises à une réglementation particulière aux récipients de gaz comprimés. Ce contrôle, qui, en France, appartient au Service des mines comprend notamment le respect de normes de fabrication, une épreuve hydraulique avant la mise en service et une ré épreuve tous les cinq ans. Le respect de la réglementation et les nécessités du contrôle entraînent une série d'indications poinçonnées sur la bouteille qui constituent sa "carte d'identité" en mentionnant le nom du fabricant, la nature du gaz, la nature du métal, un numéro d'identification, la pression d'épreuve, la pression de service, le poinçon du Service des mines, la date d'épreuve initiale et celles, éventuelles, des épreuves successives.

### PROTECTION

Les bouteilles sont protégées de la corrosion par une protection intérieure et une protection extérieure qui sont généralement :

- bouteilles en acier : à l'intérieur, soit une phosphatation ou une galvanisation ; à l'extérieur, une galvanisation ou un shoopage au zinc et une peinture.
- Bouteille en alliage léger : un vernissage pour l'intérieur, une oxydation anodique et une peinture à l'extérieur.

### ASPECT EXTERIEUR

Pour des raisons de sécurité, le revêtement extérieur des blocs-bouteilles présente des couleurs leur assurant un maximum de visibilité sous l'eau comme en surface. A part certaines fabrications respectant des codes de couleurs correspondant aux gaz contenus ou des scaphandres à destination militaire exigeant une certaine discrétion, la majorité des modèles commercialisés est jaune, orangée, blanche ou gris clair métallisé. Le rôle de ces couleurs dans le repérage d'un plongeur est certain et confirmé par le soin pris par des " marginaux " de la plongée de repeindre de couleurs plus discrètes leurs scaphandres en vue d'utilisations peu avouables.

### PRESSIONS DE SERVICE

En France, les pressions de service autorisées sont successivement passées de 150 bars à 177 bars et récemment à 200 bars. L'emploi dans l'industrie et à l'étranger de bouteilles chargées à des pressions de service supérieures peut faire penser que cette augmentation continuera avec, comme corollaire, une diminution de volume à capacité égale. Toutefois, des pressions de chargement beaucoup plus élevées posent plus de problèmes techniques pour les robinetteries et les compresseurs que pour la fabrication des bouteilles.

## CAPACITES

Le développement de la plongée et l'augmentation des pressions de service utilisées ont amené une gamme de bouteilles dont l'accouplement à deux et même à trois bouteilles offre un vaste choix. Les modèles courants sont définis dans le tableau ci-dessous, ainsi que leurs caractéristiques.

A côté de ces modèles répondant aux besoins de la plongée formelle, on trouve des bouteilles de petite capacité (3 l à 6 l) destinées à une brève intervention à faible profondeur, à l'initiation des jeunes ou à l'utilisation comme bouteilles complémentaires de secours ou de sécurité dans certaines activités .

## L'INSTALLATION ET LA FIXATION DU DETENDEUR

Ce dernier peut être fixé sur la robinetterie de deux façons. Dans la première, la plus répandue, le détendeur se fixe à l'aide d'un étrier enserrant la tête du siège percée en son centre par l'orifice de sortie d'air. Cet étrier comporte une vis de serrage axiale dont l'extrémité vient se placer dans une cupule de centrage de la face du siège opposée à l'orifice de sortie d'air. Dans la seconde, le système allemand DIN, le siège présente un filetage femelle dans lequel vient se visser un filetage mâle du détendeur. Dans les deux systèmes, l'étanchéité est assurée par un joint (O ring), qui s'est substitué aux joints plats de la "protohistoire" de la plongée.

Certaines robinetteries permettent l'emploi des deux systèmes au moyen d'un obturateur central démontable fileté au pas du filetage DIN qui, en place, permet le montage avec étrier et, ôté, le vissage du système DIN.

## RÉÉPREUVE

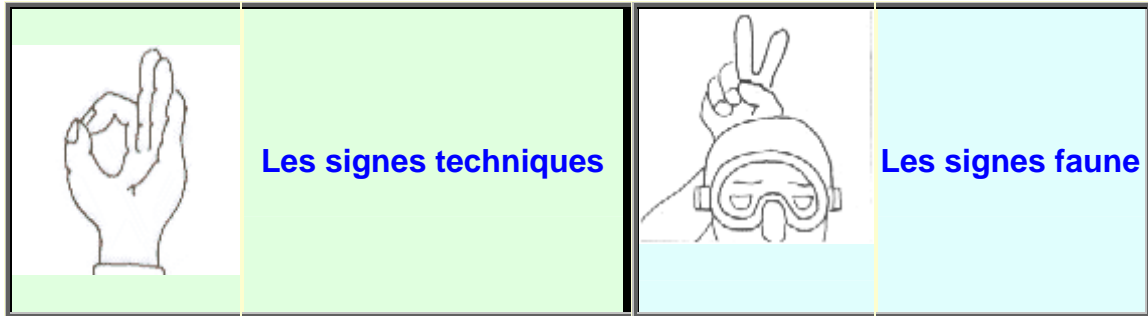
Bloc acier

<b>Particulier</b>	<b>Tous les deux ans</b>
<b>Club</b>	<b>Tous les cinq ans avec visite annuelle par le T.I.V.</b>

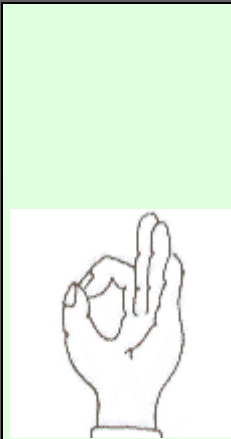
## INSCRIPTIONS OBLIGATOIRES SUR LE BLOC

**Nom du constructeur**  
**N° de série**  
**Volume intérieur dit volume en eau (capacité)**  
**Pression de la dernière épreuve en bars**  
**Date de la dernière épreuve et poinçon du service des mines (tête de cheval)**  
**Désignation du gaz contenu**  
**Pression de chargement**  
**Poids à vide en Kg**

# LES SIGNES EN PLONGEE



## Les signes conventionnels

	<b>TOUT VA BIEN</b> Le pouce et l'index d'une main se touchent par leur extrémité, formant un cercle et les trois autres doigts sont tendus et serrés. Effectué par le moniteur ou le guide de plongée, c'est une question impliquant une réponse obligatoire qui ne peut être que "CA VA" ou "CA NE VA PAS". Ce signe signifie aussi OK, j'ai compris.	<b>J'AI FROID</b> Une main à plat frotte à plusieurs reprises l'autre avant-bras. Il ne doit pas être effectué seul. Suivi du signe "TOUT VA BIEN", il veut dire qu'il ne fait pas chaud mais que la plongée peut continuer. Précédé ou suivi du signe "CA NE VA PAS", il implique une remontée immédiate, soit jusqu'à la surface, soit à une profondeur où l'eau est plus chaude.
---	---	--



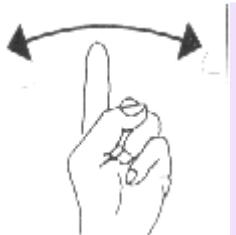
### EQUILIBREZ LES OREILLES

L'index et le pouce pincent le nez.  
Rappelle à l'élève qu'il doit équilibrer ses oreilles.



### EQUILBRE LE MASQUE

L'index tendu frappe plusieurs fois la vitre du masque.  
Rappelle au plongeur qu'il doit souffler par le nez dans son masque en descendant pour en équilibrer le volume intérieur



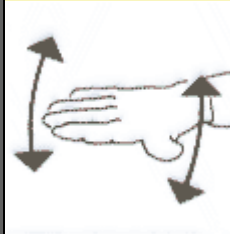
### NON

L'index tendu vers le haut, la main et l'avant-bras font plusieurs mouvements de droite à gauche et vice-versa.  
Il signifie "NON", "NE FAITES PAS CELA".  
Il doit être précédé d'une explication claire.

### CA NE VA PAS






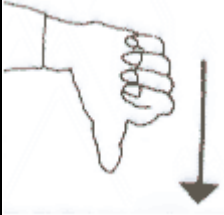


Une main est à plat, pouce écarté, autres doigts tendus, paume vers le fond et fait des oscillations alternatives autour de l'axe horizontal (comme pour dire "couci-couça").  
Ce signe doit être si possible suivi d'une explication, par exemple, ça ne va pas:

- à cause des oreilles : l'index désigne une oreille,
- à cause des sinus : l'index désigne un sinus...



Celui à qui ce signe est destiné doit impérativement agir pour aider son auteur:

- en se rapprochant aussitôt de lui,
- en le tenant par une sangle, par le gilet ou par la main,
- en l'aidant à résoudre son problème,
- en l'aidant à remonter si aucune aide n'est possible ou s'il est impossible de comprendre la cause de l'appel.

	<p><b>STOP</b></p> <p>La main est immobile, à plat, verticale, paume orientée vers le destinataire. Il implique l'arrêt immédiat et l'attente.</p>		<p><b>NOUS</b></p> <p>L'index décrit un cercle en terminant par l'auteur du signe.</p>	
	<p><b>MOI</b></p> <p>Index désignant l'auteur du signe.</p>		<p><b>TOI</b></p> <p>Index tendu vers la personne désignée. Doit être suivi d'un ordre tel que monte, descends, etc. Signifie aussi "à ton tour" pour faire un exercice.</p>	
	<p><b>MONTE</b></p> <p>Le pouce désigne la surface. Il doit être précédé du signe "TOI", "MOI" ou "NOUS".</p>		<p><b>DESCENDS</b></p> <p>Le pouce désigne le fond. Il doit être précédé du signe "TOI", "MOI" ou "NOUS".</p>	
	<p><b>REGARDE</b></p> <p>L'index et le majeur tendus désignent la vitre du masque à hauteur des yeux. Il doit être suivi d'un signe fait avec l'index désignant la direction.</p>			<p><b>EXPIRE</b></p> <p>L'index horizontal, près de l'embout, effectue des cercles verticaux. Il rappelle au destinataire qu'il faut expirer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• en remontant,</li> <li>• pour descendre tête en haut,</li> <li>• suivi de l'index qui désigne le nez, il signifie "SOUFFLEZ PAR LE NEZ POUR VIDER LE MASQUE".</li> </ul>





### VIENS

La main fait plusieurs mouvements en direction de l'auteur du signe.



### RASSEMBLEMENT

Les deux index désignent le sol devant l'auteur. Les destinataires doivent se regrouper face à l'auteur en demi-cercle, de telle sorte que chacun soit bien vu et voit bien les autres.



### OUVRE DAVANTAGE LES JAMBES

L'index et le majeur tendus miment le mouvement du palmage. Ce signe explique au destinataire que, pour palmer correctement, il doit faire avec ses jambes un ciseau plus ample.



### NE PLIE PAS LES JAMBES

L'index désigne le genou d'une jambe pliée. Il doit être suivi du signe "NON". Il explique au destinataire que, pour bien palmer, il ne doit pas plier les jambes.



### MONTREZ VOTRE MANOMETRE

L'auteur du signe saisit son manomètre et le montre aux plongeurs. Ceux-ci doivent montrer le leur à l'auteur du signe.



### TOUT VA BIEN (en surface)

Le bras est tendu verticalement, complètement hors de l'eau, la main faisant le signe "OK".

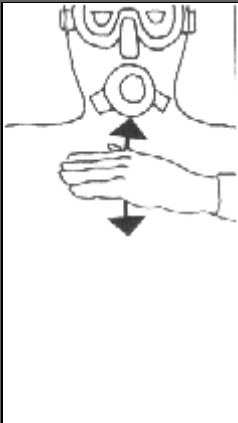


### JE SUIS SUR RESERVE

Un poing est fermé, collé contre la tempe dès que le manomètre est dans la zone rouge (**50 bars**) Ceci implique un retour immédiat vers le bateau (ou le ponton).

### JE SUIS A MI PRESSION

Les 2 mains présentées perpendiculaires indiquent la pression à moitié du bloc (**100 bars**) ceci implique de commencer le retour.



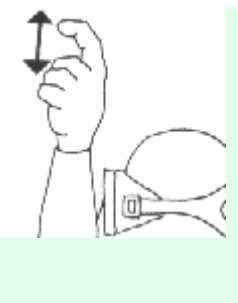
**JE N'AI PLUS D'AIR**

La main est à plat à hauteur du cou et l'avant-bras effectue des translations alternatives faisant un angle de 45° avec la ligne du corps. Ce signe est appliqué par la F.F.E.S.S.M. et par la C.M.A.S.



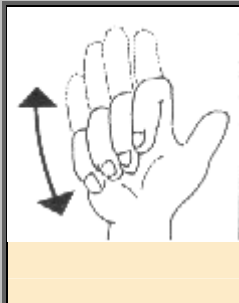
**JE N'AI PLUS D'AIR (BIS)**

La main est horizontale à plat devant le cou et effectue des translations latérales de grandes amplitudes. Ce signe est pratiqué dans de nombreux pays étrangers.



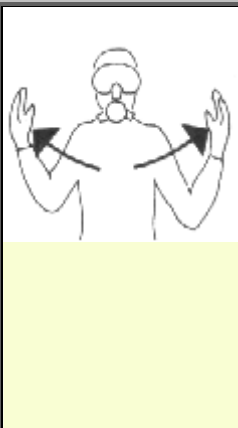
**PURGE TA BOUEE**

L'avant-bras est tendu verticalement vers le haut, l'index replié faisant des mouvements de bas en haut.




**GONFLE TA BOUEE**

La main effectue plusieurs mouvements comme si elle pressait une poire.



**REMP LIS TES POU MONS**

Ce signe, comme le suivant, est utilisé pendant l'apprentissage du "poumon-ballast". Il explique à l'élève qu'en inspirant il s'allège et ve donc amorcer une montée.



**VIDE TES POU MONS**

Ce signe, comme le précédent, sert à l'enseignement du "poumon-ballast". Il explique à l'élève qu'en expirant à fond il devient plus lourd et donc amorce une descente.

## Les signes Faune



### MEROU

Les deux bras sont repliés, poings sous les aisselles, les coudes écartés font des mouvements comme des nageoires latérales.



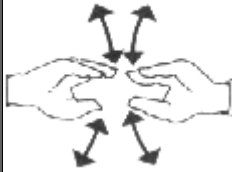
### SAR OU CORB OU AUTRE POISSON DE ROCHE

Une main à plat, verticale, avance horizontalement en oscillant, comme un poisson qui nage.



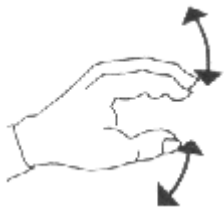
### LANGOUSTE

L'index et le majeur d'une main sont écarté et tendus au-dessus de la tête, pour simuler les antennes.



### HOMARD

Le pouce et les 4 autres doigts serrés de chaque main font des mouvements de pinces.



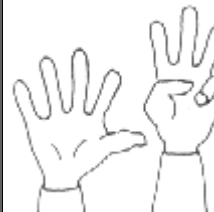
### MURENE

Le bras est tendu, le pouce et les 4 autres doigts écartés font des mouvements de morsure.



### CONGRE

Le bras est souple et avance en ondulant, comme un serpent.



### POULPE

Indiquer le chiffre 8, pour rappeler les 8 tentacules. (En anglais, poulpe se dit octopus, qui vient de huit en latin.)



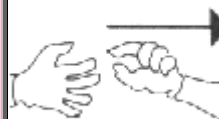
### RAIE

Les deux bras sont écartés, tendus et font des mouvements d'ailes.



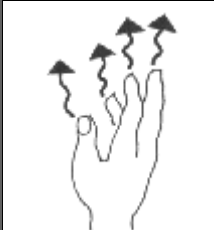
### CORAIL ROUGE (EN MEDITERRANEE SEULEMENT)

Les cinq doigts d'une main sont écartés et tendus vers le bas.



### MEDUSE

Une main est placée comme si elle tenait une boule, l'autre avec le pouce et l'index fait le mouvement de glisser le long d'un filament.



### ANEMONE

Les cinq doigts d'une main sont orientés vers le haut et ondulent comme les tentacules d'une anémone.



### POISSON CLOWN

Les deux mains sont verticales de part et d'autre de la tête, pouces tendus sur les oreilles, les autres doigts s'étendent et se replient comme quelqu'un qui fait le pitre.



### POISSON PIERRE OU RASCASSE

Le poing est fermé, pouce sortant vers le haut entre l'index



### PTEROIS VOLITANS OU RADIATA

Les deux mains se tiennent par les pouces, paumes vers le

**Contact :**

**[www.capdive.com](http://www.capdive.com)**

**[thierrymoulin@capdive.com](mailto:thierrymoulin@capdive.com)**