

TROLLOS DIVING CLUB

---

Théorie du N2

PREPARATION

NIVEAU II

PREPARATION NIVEAU II

# Polycopié des cours

---

L'ensemble de ces cours est le  
résultat d'une concertation  
éthique de l'ensemble des  
encadrants.

S'il reste des erreurs c'est pour  
aiguiser l'attention du lecteur.  
Mais il n'est pas interdit de les  
signaler.

© 1999 Troll Corporation.  
Aucun droit réservé.

---

<b><u>PREROGATIVES / REGLEMENTATION .....</u></b>	<b><u>2</u></b>
INTRODUCTION.....	2
PREROGATIVE (ARRETE DE JUN 1998).....	2
MATERIEL OBLIGATOIRE (ARRETE DE JUN 1998) .....	4
RESPONSABILITE .....	4
LA PROTECTION DU MILIEU .....	4
L'EXAMEN DE NIVEAU 2 .....	5
<b><u>FLOTTABILITE .....</u></b>	<b><u>7</u></b>
INTRODUCTION.....	7
POUSSEE D'ARCHIMEDE .....	7
SITUATIONS EN PLONGEE.....	9
SECURITE .....	9
<b><u>BAROTRAUMATISMES.....</u></b>	<b><u>10</u></b>
NOTION DE PRESSIONS .....	10
COMPRESSIBILITE DES GAZ .....	12
APPLICATION A LA FLOTTABILITE .....	12
LES BAROTRAUMATISMES.....	13
SURPRESSION PULMONAIRE.....	15
AUTRES BAROTRAUMATISMES.....	17
<b><u>TOXICITE DES GAZ.....</u></b>	<b><u>23</u></b>
NOTION DE PRESSION PARTIELLE .....	23
MECANISME RESPIRATOIRE .....	23
ESOUFFLEMENT (HYPERCAPNIE).....	24
NARCOSE.....	25
AUTRES ACCIDENTS TOXIQUES .....	26
INFORMATION SUR LES MELANGES (POUR INFORMATION) .....	28
<b><u>APNEE, NOYADE .....</u></b>	<b><u>30</u></b>
APNEE.....	30
NOYADE.....	32
<b><u>ACCIDENTS DUS AU MILIEU ET LE FROID.....</u></b>	<b><u>34</u></b>
ACCIDENTS DUS AU MILIEU.....	34
ACCIDENTS DUS AU FROID .....	35

---

<b><u>MATERIEL.....</u></b>	<b>38</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>38</b>
<b>LA BOUTEILLE.....</b>	<b>38</b>
<b>LE DETENDEUR.....</b>	<b>40</b>
<b><u>ACCIDENTS DE DECOMPRESSION.....</u></b>	<b>42</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>42</b>
<b>LA CIRCULATION.....</b>	<b>43</b>
<b>LA DISSOLUTION DES GAZ DANS LES LIQUIDES.....</b>	<b>43</b>
<b>MECANISME DES ACCIDENTS DE DECOMPRESSION.....</b>	<b>46</b>
<b>PREVENTION.....</b>	<b>49</b>
<b>CONDUITE A TENIR.....</b>	<b>50</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>52</b>
<b><u>TABLE DE PLONGEE 1<sup>ERE</sup> PARTIE.....</u></b>	<b>53</b>
<b>RAPPELS SUR LES A.D.D.....</b>	<b>53</b>
<b>HISTORIQUE.....</b>	<b>53</b>
<b>LES PARAMETRES DE LA PLONGEE.....</b>	<b>54</b>
<b>REMONTE NORMALE.....</b>	<b>54</b>
<b>REMONTE ANORMALE.....</b>	<b>56</b>
<b>PALIER INTERROMPU.....</b>	<b>57</b>
<b>LA PLANIFICATION D'UNE PLONGEE.....</b>	<b>58</b>
<b><u>TABLE DE PLONGEE 2<sup>EME</sup> PARTIE.....</u></b>	<b>62</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>62</b>
<b>CONSECUTIVES.....</b>	<b>62</b>
<b>PLONGEES SUCCESSIVES.....</b>	<b>63</b>
<b>PLONGEE A L'ORDINATEUR.....</b>	<b>64</b>

---

# Avertissement

Un bon plongeur n'est pas forcément un grand théoricien. Ce poly est parfois un peu trop détaillé. Il ne faut donc pas apprendre tout par cœur. Sache que nous avons essayé de mettre en avant quelques points importants (souligné ou en gras). Ce sont ces points qu'il faudra retenir.

Par exemple, il n'est pas nécessaire de connaître tous les accidents dans leurs moindres détails. Mais d'avoir compris leurs causes afin de les prévenir durant les plongés. Ce qui est le but de ta formation. Pour que tu cerne mieux ces points importants à savoir, un petit résumé est placé à chaque fin de chapitre.

Certains paragraphes sont intitulés "pour information", ils ne font pas partis du programme de l'examen.

---

# Prérogatives / Réglementation

Semaine du 13,14 Octobre

## Introduction

Avec le niveau 1 tu peux évoluer, en exploration, en milieu naturel, dans l'espace médian (20 m) sous la direction d'un plongeur de niveau 4 minimum.

En tant que N 1 :

- Tu as appris à t'équiper et te déséquiper.
- Tu sais expliquer les difficultés que tu rencontres en plongée (communiquer).
- Tu sais faire le relais jusqu'au chef de palanquée lorsqu'un autre plongeur est en difficulté.

Le N 2 donne des prérogatives beaucoup plus importantes, ce qui implique certaines règles à respecter.

Nous allons donc voir les prérogatives du N2, puis la réglementation qui intéresse directement le N2.

## Prérogative (Arrêté de juin 1998)

L'arrêté du 22 juin 1998 est relatif aux règles techniques et de sécurité dans les établissements organisant la pratique et l'enseignement des activités sportives et de loisir en plongée autonome à l'air. En cas d'accident, les juges se basent sur cet arrêté pour rechercher si une faute ou une négligence a été commise et si la responsabilité d'un participant peut être engagée.

Cette arrêté contient les prérogatives de tous les niveaux de plongeurs. Il en existe deux types :

- Les niveaux de plongeur (de N1 à N5)
- Les niveaux d'encadrement (de E1 à E5)

Niveau de plongeur	FFESSM	CMAS
N1	N1	*
N2	N2	**
N3	N3	***
N4	N4	***
N5	N5	

Niveau d'encadrement	FFESSM	CMAS
E1	N2+ initiateur	
E2	N4+Initiateur	*
E3	MF1	**
E4	MF2	***
E5	(BEES3)	

**Remarque:** Avec ton diplôme de la fédération française de plongée, il est possible d'obtenir une équivalence internationale CMAS bien mieux reconnu à l'étranger.

Il est donc défini deux types de plongées :

- La plongée d'exploration ou aucun enseignement n'est donné,
- La plongée d'enseignement contenant des formations.

Ces deux types de plongées répondent à des cadres différents. La composition de la palanquée, ainsi que la profondeur limite sont définies précisément par l'arrêté.

Cas du Niveau II :

#### Exploration

AUTONOMIE dans la zone des 20 mètres : 2 à 3 Niveaux II **ayant plus de 18 ANS**

ENCADRE dans la zone des 40 mètres : Jusqu'à 4 Niveaux II **avec 1 à 2 Niveau IV**

#### Enseignement

**Remarque:** Les plongeurs de N2 autorisés à plonger en situation d'autonomie doivent respecter les paramètres de plongée fixés par le directeur de plongée (N5 minimum) **Présent sur le cite. Dans cette hypothèse, il n'y a pas de guide de palanquée responsable (art.7 alinéa 3).**

Dans la zone des 20 mètres : 4 Niveaux II **avec 1 E2 + 1P4 éventuellement**

Dans la zone des 40 mètres : 2 Niveaux II **avec 1 E3 + 1P4 éventuellement**

**Il est très important de connaître ses prérogatives et il est conseiller de veiller à ce que votre encadrement soit qualifié ! Tu peux demander à consulter les diplômes des encadrants.**

**Tu ne peux donc pas :**

- Plonger sans l'autorisation d'un directeur de plongée,
- en situation d'autonomie avec un(e) mineur(e),

**Remarque:** Dans une palanquée composée de N2 et N3, les N3 ont les mêmes prérogatives que les N2.

- sans l'équipement requis,
- Faire des baptêmes sans l'initiateur même en piscine.

## Matériel obligatoire (Arrêté de juin 1998)

Ensuite, pour plonger les N2 doivent être équipés (art.10) :

- D'un système permettant **d'alimenter en air un autre plongeur** sans partager d'embout (deux 2<sup>ème</sup> étages de détendeur, R2, 2 détenteurs) ;
- D'un **système gonflable** au moyen de gaz comprimé leur permettant de regagner la surface et de s'y maintenir (stab, fenzy) ;
- De moyens de **contrôler** personnellement **les caractéristiques de la plongée** et de la remontée (profondimètre, montre, timer, tables de plongée, ordinateur de plongée).

Parallèlement du matériel d'assistance et de secours doit être présent sur le site de plongée mais ce n'est pas à vous de gérer cette partie (pavillon alpha, trousse de secours, oxygène, eau, aspirine, une bouteille équipée, pétards de rappel, tables de plongée, feuille de palanquée, de quoi écrire...).

### **Obligation d'assurance en responsabilité civile:**

Ta **licence** de plongée atteste de ton adhésion à la fédération (FFESSM). Par la même, elle te permet de passer les diplômes fédéraux. Elle est aussi une attestation d'assurance en responsabilité civile (réparation du dommage causé à autrui), elle vaut permis de chasse sous-marine pour les plus de 16 ans et permet de participer aux compétitions. La licence est valable du 1<sup>er</sup> octobre au 31 décembre.

Les papiers d'assurance et autres matériels obligatoires peuvent être demandés à tout moment par un contrôle de police (j'ai déjà vu faire et ils brillent pas par leur gentillesse et leur intelligence).

La possession de la licence n'est pas suffisant pour pratiquer la plongée il faut également un **certificat médical** de non contre indication à la plongée subaquatique (validité 1 an). Pour passer le N2 ce certificat doit être établi par un médecin fédéral ou un médecin du sport.

## Responsabilité

**EXEMPLE REEL :** Lors d'un accident mortel en Bretagne, la personne jugée responsable était un niveau II. Tout simplement parce qu'il n'y avait pas de directeur de plongée qualifié sur le site ! Et qu'il était le plus vieux N2 présent. Il n'était même pas dans la palanquée où a eu lieu l'accident... A méditer non ?

Tu dois faire attention au cadre dans lequel tu plonges. C'est pour cela que parfois certains encadrants refusent de faire tel ou tel chose, n'oublie pas qu'ils sont responsables encore plus que toi...

CONCLUSION => Respectons la loi et protégeons-nous des avatars de la justice.

## La protection du milieu

Tout bon niveau 2 doit savoir qu'on ne casse pas tout sur son passage...

- Il est **interdit de remonter des objets du fond** (animaux vivants, archéologique, etc.)

- **Pas de chasse sous-marine en bouteille.** Il est d'ailleurs interdit d'avoir des bouteilles et du matériel de chasse sur la même embarcation.
- Pas de chasse sous-marine près d'un filet.

Pour chasser, il faut un permis. Il peut être obtenu par deux voies :

- Licence fédérale
- Affaire Maritime + assurance au tiers

Dans tous les cas, il faut avoir plus de 16 ans.

## L'examen de niveau 2

Mais avant de disposer de toutes ces prérogatives, il faut passer le N2. Cet examen n'ayant pas pour but le diplôme, mais bien un niveau de plongeur permettant d'accéder aux prérogatives citées ci-dessus. Ce qui nécessite de maîtriser les exercices et non de les réaliser une fois correctement...

### **Conditions de candidature :**

- être licencié à la FFESSM
- être âgé de 16 ans au moins
- être titulaire du N1
- Avoir un certificat médical de non contre indication de moins de 1 an délivré par un médecin fédéral ou un médecin du sport.

### **Les compétences :**

Lorsqu'elles sont jugées satisfaisantes, chacune des compétences de 1 à 6 seront signés. Elles constituent le brevet NII.

C'est donc un contrôle continu laissé à l'appréciation des moniteurs.

### **Compétence 1a: UTILISER SON MATERIEL**

Gréer/ dégréer son bloc

Entretien courant

### **Compétence 1b: COMPORTEMENT ET GESTE TECHNIQUE EN SURFACE**

Mise à l'eau

Capelé

Echange de scaphandre en surface

### **Compétence 2: IMMERSION ET RETOUR EN SURFACE**

Immersion et descente dans le bleu (20m)

Maîtrise de la remonté

Maintien d'un palier (parachute)

### **Compétence 3: MAITRISE DE LA VENTILATION EN PLONGEE**

Maîtrise de la ventilation

Remonté sur expiration de 10m

Maîtrise du vidage de masque

Maîtrise du poumon ballast

Apnée (nager 10m à l'horizontal à 5m de fond TRANQUILLEMENT)

### **Compétence 4: REACTIONS AUX SITUATIONS USUELLES**

Communication (signes)

Réaction panne d'air

Assistance ou sauvetage bouée

### **Compétence 5: AUTONOMIE DE PLONGEE DANS L'ESPACE MEDIAN**

Vérification et contrôle avant départ

Organisation et conduite de la palanquée

Orientation au cours de la plongée

### **Compétence 6: CONNAISSANCES THEORIQUES**

ACCIDENTS

REGLEMENTATION

UTILISATION DES TABLES

NOTION DE PHYSIQUE

MATERIEL

C'est de cette compétence numéro 6 qu'il est traité dans ce poly...

## **A RETENIR**

- **Niveau II a le droit d'aller à:**
  - 20m en autonome sous la responsabilité d'un directeur de plongée
  - 40m encadré
- **Les papiers à avoir pour plonger:**
  - La licence
  - Le certificat médical
  - Ton diplôme
- **La protection du milieu:**
  - Il ne faut rien remonter ni détruire au fond

# Flottabilité

Semaine du 20,27 Octobre

## Introduction

En temps que futur N II, tu dois maîtriser ta profondeur dans toutes les situations de plongée : Palier, surface, au fond, etc. En connaissant les mécanismes liés à la flottabilité, le bon plongeur (que tu es bien sur) sait adapter son comportement.

## Poussée d'Archimède

**Poids à sec :** C'est le poids que tu fais tous les jours sur ta balance.

**Poids apparent :** C'est le poids que tu fais dans l'eau. Et oui! Ce n'est pas le même que le précédent.

**Démonstration :** dans l'eau nous flottons, sur le sol nous sommes scotchés par terre par notre poids. Il y a donc bien quelque chose qui nous pousse vers la surface pour que dans l'eau notre poids soit plus faible. Pour être à l'équilibre, il faut que notre poids apparent soit nul.

Ainsi, il existe une force dans l'eau qui te pousse vers la surface. Mais quelle est cette force ? En comprenant comment elle agit cette force il nous sera facile de nous équilibrer dans l'eau.

**Poussée d'Archimède:** Un ancien troll a défini cette poussée. Comme c'était un grec, il aimait les math, alors il l'a écrit comme ça:

$$\text{Poids Apparent} = \text{Poids à sec} - \text{poussée d'Archimède}$$

*Exemple:* Si un troll de 90kg est équilibré dans l'eau, c'est qu'une force identique (90kg) le pousse vers la surface. Cette force c'est la poussée d'Archimède. On peut vérifier à l'aide de l'équation ce résultat:

$$\text{Poids Apparent} = \text{Poids à sec} - \text{Poussée d'Archimède}$$

$$0 = 90 - 90$$

⇒ **Le poids apparent est nul.**

Mais à quoi correspond cette poussée d'Archimède?

Archimède, qui était loin d'être un couillon a démontré que sa **poussée correspond** au **poids de l'eau déplacé** par l'objet.

*Exemple:* On recherche la poussée d'Archimède qui s'exerce sur une bouteille de plongée de 12 litres immergée. Rappelons que le poids de l'eau est de 1kg par litre.

**La poussée d'Archimède est donc de 12 kg** (poids du volume d'eau déplacé).

Poussons notre exemple un peu plus loin. Il se trouve que la bouteille de plongée pèse 15Kg. Utilisons alors notre équation précédente:

$$\text{Poids Apparent} = \text{Poids à sec} - \text{Poussée d'Archimède}$$

$$3 = 15 - 12$$

⇒ **Le poids apparent vaut 3kg.**

La bouteille est bien moins lourde dans l'eau que dans l'air. Mais il lui reste un **poids apparent positif**, qui l'entraîne vers le fond.

⇒ **La bouteille coule!**

Ajoutons maintenant un gilet gonflable à cette bouteille. Le gilet gonflable pèse 2Kg et j'ajuste son volume à 5 litres en gonflant d'air le gilet. Appliquons encore notre équation:

$$\text{Poids Apparent} = \text{Poids à sec} - \text{Poussée d'Archimède}$$

$$0 = (15 + 2) - (12 + 5)$$

⇒ **Le poids apparent est nul, la bouteille est équilibrée!**

En utilisant la stab nous avons équilibré la bouteille. Cet exemple démontre qu'en augmentant les volumes immergés (stab, poumons, etc.), cela permet de s'équilibrer dans l'eau grâce à la poussée d'Archimède.

Si tu continues à mettre de l'air dans ta stab, tu augmentes encore son volume, et donc la poussée d'Archimède. Cette poussée devient supérieure au poids de la bouteille+Stab. L'ensemble est poussé vers la surface: **La bouteille flotte (poids apparent négatif)!**

Pour conclure cette petite page de théorie, on voit que l'augmentation de la masse ou l'augmentation du volume du plongeur interviennent sur sa flottabilité. Tu apprendras à utiliser cette propriété de la flottabilité, afin de réagir à différentes situations de plongée.

**Résumé:**

**Poids apparent positif** => ça coule

**Poids apparent nul** => c'est équilibré

**Poids apparent négatif** => ça remonte

## Situations en plongée

Situations	Poids Apparents	Moyens de réglage
Maintient en surface	0	Bon lestage, Palmage
Immersion	>0	Expiration
En cours de plongée	0	Gilet, ventilation
Remonté	<0	Gilet, ventilation
Palier	0	Bon lestage

## Sécurité

Pour finir cet exposé, fais attention à l'utilisation trop régulière des gilets gonflables. En effet, si tu prends l'habitude de t'équilibrer uniquement avec ton gilet plusieurs problèmes surviennent immédiatement :

- Consommation d'air du fait de l'ajustement régulier du volume du gilet
- Lestage souvent trop important pour "réussir à couler".

Le lestage est quelque chose de primordial. Un lestage trop important déséquilibre ce qui déclenche fatigue et pire encore, nécessite de mettre plus d'air dans son gilet gonflable. Cette quantité d'air rend le gilet gonflable plus difficile à l'usage. **Le lestage** doit être calculé pour réaliser son **palier à 3 mètres en fin de plongée** sans avoir ni à gonfler son gilet, ni à palmer pour maintenir sa profondeur.

Un autre moyen simple de déterminer son plombage au début de la plongée:

Tu vide complètement ton gilet (si tu en as un) et tu arrête tout mouvement en respirant normalement. Si tu t'enfonces, tu es beaucoup trop lourd.

Si tu restes en surface, vide alors complètement tes poumons, attends un instant, puis reprend une grande inspiration. Si dès le début de l'expiration tu coules, le lestage est encore trop lourd. Si l'enfoncement est plus progressif et arrêté par l'inspiration, alors c'est parfait. Si malgré une expiration complète-tu ne coules pas, tu n'es pas assez plombé.

### A RETENIR

**Poids Apparent = Poids à sec - Poussée d'Archimède**  
**Poussée d'archimède est égale au poids de l'eau déplacé**

**Les diverses méthodes pour s'équilibrer durant la plongée.**

**Une méthode pour mesurer son lestage**

# Barotraumatismes

Semaine du 17,18 Novembre

Les **barotraumatismes** sont des accidents (traumatismes) dus aux variations de pression. Au cours de la plongée, le plongeur subit des variations de pression qui, dans certaines circonstances, peuvent causer des accidents graves. Ces accidents, parfois également appelés **accidents mécaniques**, sont la conséquence de l'application de la **loi de Mariotte** que nous verrons ci-dessous.

## Notion de pressions

Mais qu'est ce qu'une pression ?

Si tu te fais marcher sur le pied par une personne qui a des talons aiguilles, ça fait beaucoup plus mal que si la personne a des talons plats...

La seule chose qui a varié entre ces deux situations c'est la surface de contact entre le talon et ton pied, la force liée au poids du troll au-dessus du talon étant la même. Si la surface de contact est faible (talon aiguille) on dira qu'il exerce une pression élevée sur ton pied. Quand cette surface est importante (talon plat), la pression exercée par le talon sur ton pied est plus faible. De la une superbe mise en équation, pour les matheux qui nous suivent:

$$\text{Pression} = \frac{\text{Force}}{\text{surface}}$$

**Pour une même force, la pression exercée est grande si la surface est petite, et petite si la surface est grande.**

Exemple: je pèse 100kg et j'ai des talons aiguille de 2cm<sup>2</sup> et des chaussures plates de 100cm<sup>2</sup>.

**Pression talon aiguille = 50kg/cm<sup>2</sup> (50 Bars)**

**Pression talon = 1 kg/cm<sup>2</sup> (1 Bar)**

Je voie bien qu'avec des talons aiguille ça va faire mal!

La pression s'exprime plutôt en **Bar** , ou pour les puristes en **pascal**.

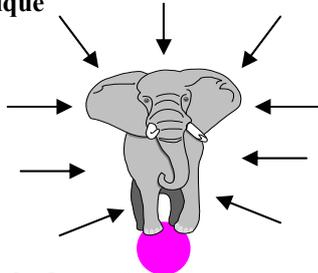
$$1\text{kg/cm}^2 = 1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ pascals}$$

En plongée on utilise le **bar**, Je me demande pourquoi ?

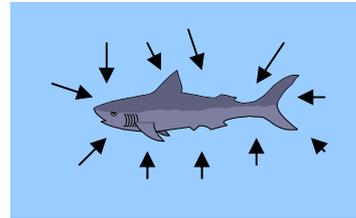
Au-dessus de nous, je parle en plongée, il y a une couche d'eau. Cette couche d'eau exerce une pression sur nous. De même, en surface, il y a une couche d'air au-dessus de nous qui exerce une pression. Sachez que la **pression atmosphérique** liée à la colonne d'air qui surplombe notre pauvre petit corps est d'environ **1 BAR**.

Pourquoi nous ne sentons pas cette pression? C'est que cette pression, à la différence du poids, s'exerce dans toutes les directions il y a donc **équilibre**.

Dans l'atmosphère, c'est l'air qui transmet la pression. Cette pression s'appelle la **pression atmosphérique**



Dans l'eau c'est l'eau qui transmet la pression, mais le principe est le même. Cette pression s'appelle la **pression hydrostatique**.



La **pression hydrostatique** augmente avec la quantité d'eau qui est au-dessus du plongeur. Il faut retenir que la pression gagne **1 BAR par 10 mètres**. Par exemple:

- A 10m la **pression hydrostatique** est de **1 BAR**
- A 25m la **pression hydrostatique** est de **2.5 BAR**

Pour finir le chapitre sur les pressions, il faut remarquer qu'au-dessus de la mer il y a habituellement une atmosphère. Pour les stages de paques sur la Lune on n'est pas au point. Bref, la pression qui s'exerce réellement sur le plongeur., appelée **pression absolue**, est l'addition des **pressions hydrostatiques** (aussi appelé **pression relative**) et **atmosphérique**..

### **Pression Absolue = Pression hydrostatique + Pression Atmosphérique**

Un tableau ci-joint montre l'évolution de ces pressions avec la profondeur. Remarquons tout de suite, que la pression absolue double dans les 10 premiers mètres. Mais il faut attendre 30m pour qu'elle double à nouveau, et 70m pour qu'elle double encore.

Ainsi, la variation de pression est bien plus importante dans les petites profondeurs. C'est pour cela que les barotraumatismes ont surtout lieu dans les 10 premiers mètres. Il est donc important de les connaître.

Profondeur	Pression atmosphérique	Pression Hydrostatique	Pression absolue
Surface	1 BAR	0BAR	1 BAR
10m	1 BAR	1 BAR	2 BAR
20m	1 BAR	2 BAR	3 BAR
30m	1 BAR	3 BAR	4 BAR
40m	1 BAR	4 BAR	5 BAR
50m	1 BAR	5 BAR	6 BAR
60m	1 BAR	6 BAR	7 BAR
70m	1 BAR	7 BAR	8 BAR

## Compressibilité des gaz

Comment ces pressions interviennent-elles sur nos corps ? Voilà une question très importante.

Saches d'abords que nous sommes fait en grande partie de liquide. Et que ces liquides ne subissent pas la pression. **LES LIQUIDES** sont dits **INCOMPRESSIBLES**. Au contraire **DES GAZ** qui sont **COMPRESSIBLES**. Un ch'ti gars appelé Mariotte a découvert une loi physique qui décrit la variation de volume des gaz (**V**), en fonction de la pression qui est exercée sur ce gaz (**P = Pression absolue**). Sa loi dit que:

$$P.V = \text{Constante}$$

Exemple concret, le verre de bière dans la piscine. Le volume de gaz contenu par un verre retourné va petit à petit se comprimer en fonction de la pression qu'exerce l'eau sur ce gaz. Le volume d'air est alors décrit par la loi de Mariotte, que nous connaissons tous déjà par cœur. On peut faire de même avec un ballon (Voir schéma).

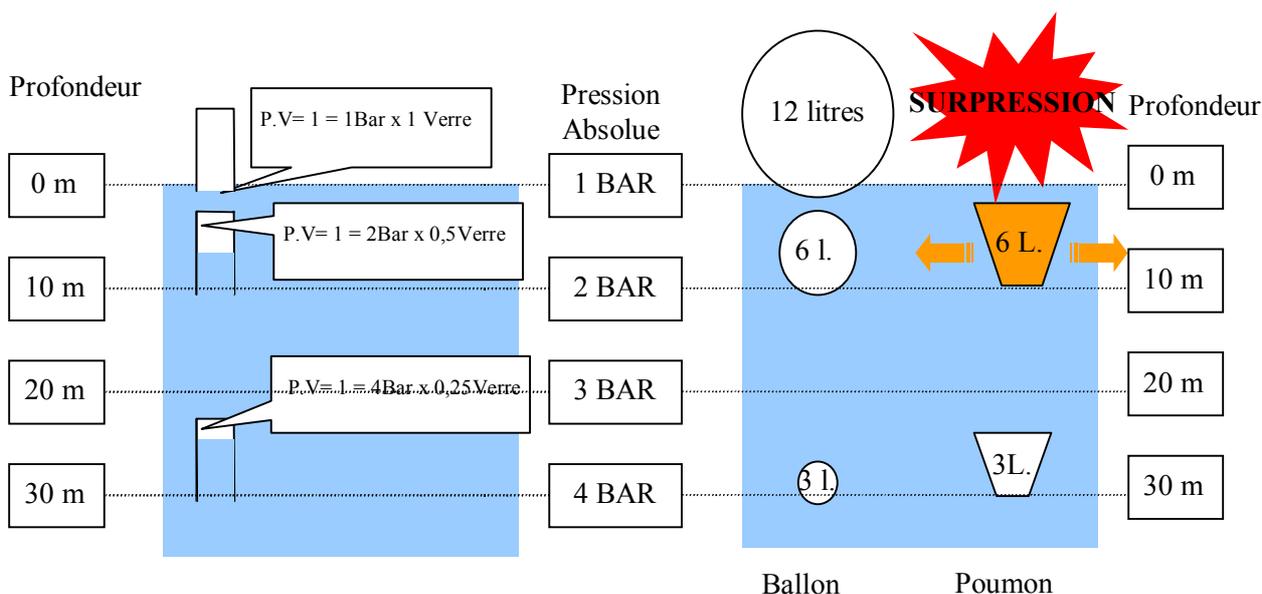
Si un verre de bière est immergé avec 1 litre d'air, alors  $P.V = 1\text{BAR} \cdot 1\text{l} = 1$  en surface. A 10m,  $P.V = 2\text{BARS} \cdot V_{10\text{m}} = 1$  d'après la loi de Mariotte. Ce qui nous donne un volume  $V_{10\text{m}} = 0,5$  litres d'air.

Reprenons notre exemple avec un ballon gonflé à 10m avec 5 litres d'air, dont j'aimerais connaître le volume en surface:

**Volume initial V=5 litres à 10m**, Pression à 10m  $P=2\text{b}$ . On sait qu'en surface il y a  $P'=1\text{ bar}$  de pression dès lors, si l'on **recherche le volume V' en surface** :  $5 \times 2 = V' \times 1 \Rightarrow 5 \times 2 = 10$  donc  $V' = 10\text{l}$

## Application à la flottabilité

L'utilisation de la stab est une des grandes nouveautés du niveau II. Elle représente un exemple vivant



de Mariotte.

Petit exemple, une jeune recrue prépa NII aime se surplomber. Disons 2 kilos de trop. Ses encadrants lui dise de ne pas le faire. Argand qu'il a une stab, il n'a pas de problème de stabilisation. Il est vrai qu'il n'arrive pas bien à faire des remontés avec sa stab, mais ça va venir...

Pourtant tout le monde lui dit que son raisonnement est faux, pourquoi?

Il calcul combien d'air il doit insuffler en plus dans sa stab pour se stabiliser avec 2 kilos de trop. Il faut qu'il gonfle alors sa stab avec 2 litres d'air (voir Archimède). Seulement, ces mêmes 2 litres à 20 m, s'il ne dégonfle pas sa stab feront en surface?

$$P_{20m} \cdot V_{20m} = 3\text{BAR} \times 2\text{L} = 6$$

$$P_{0m} \cdot V_{0m} = 1\text{BAR} \times V_{0m} = 6 \text{ (d'après la loi de Mariotte)}$$

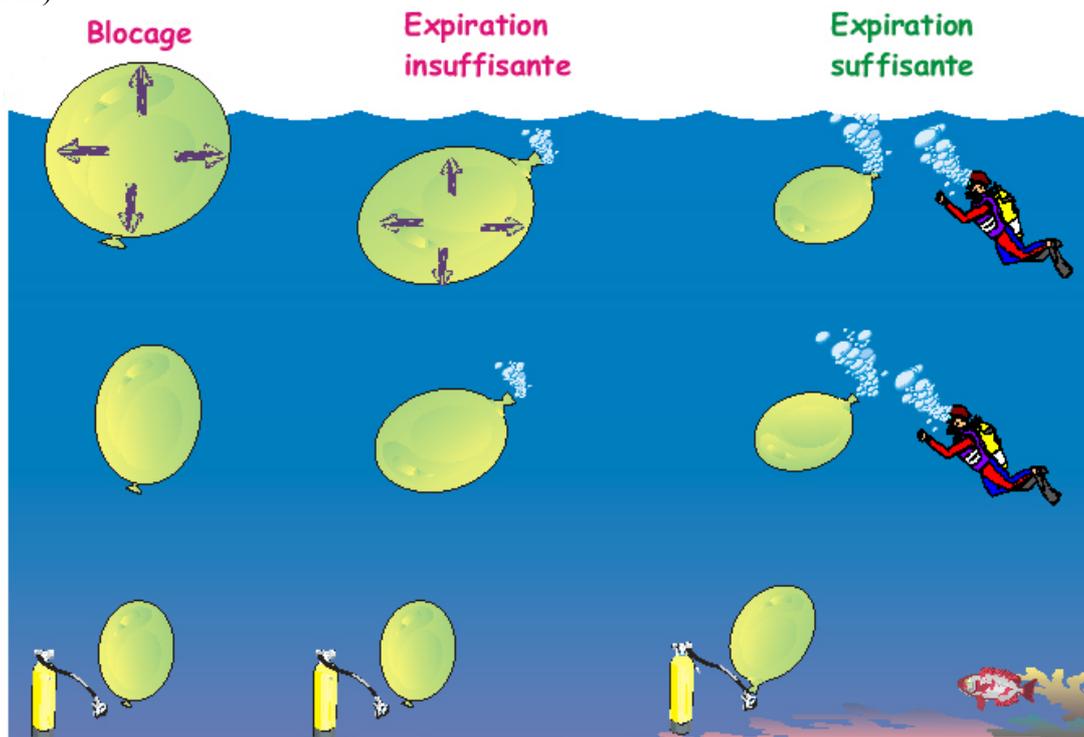
$$\text{D'ou } V_{0m} = 6\text{L}$$

S'il gonfle sa stab avec 2 litres d'air supplémentaire, il devra gérer 6 litres d'air en plus pendant sa remonté... ce qui décuple la difficulté.

Conclusion, être bien plombé c'est aussi réussir ses remontées.

## Les Barotraumatismes

Lorsque la pression ambiante diminue, les gaz contenus dans un volume ouvert peuvent, en se détendant, s'échapper par l'ouverture. Dans un volume fermé la différence de pression avec l'extérieur de ce volume peut atteindre une valeur dépassant le degré de résistance de ses parois et, dans le cas d'un organisme, entraîner des lésions. (Voir schéma ci-dessous).



Les Barotraumatismes sont donc des accidents qui provoquent des lésions sur les parties du plongeur contenant des gaz.

BAROTRAUMATISMES	A LA DESCENTE	A LA REMONTEE
SURPRESSION PULMONAIRE	NON	OUI
OREILLES	OUI	OUI
SINUS	OUI	OUI
INTESTIN - ESTOMAC	NON	OUI
DENTS	OUI	OUI
PLACAGE DE MASQUE	OUI	NON
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

Nous étudierons pour chaque barotraumatisme :

- Les causes et mécanismes entraînant l'accident
- Les symptômes
- La prévention
- La conduite à tenir en cas d'accident

# Surpression pulmonaire

## LA SURPRESSION PULMONAIRE

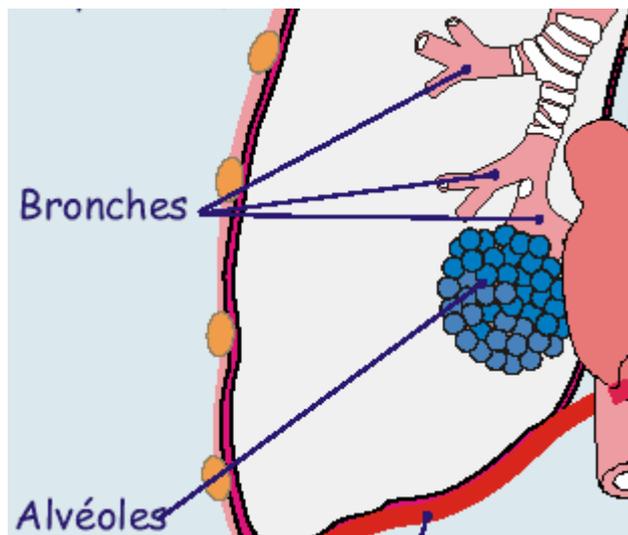
Cet accident est, par ses conséquences possibles, le plus grave des barotraumatismes.

Il est d'autant plus à redouter :

- Que le plongeur est près de la surface dans une zone où les variations de pression et de volume sont les plus importantes
- Que le volume d'air contenu dans les poumons est plus important au moment où l'obstruction se produit
- Que la vitesse de remontée est plus grande

De plus, les risques de surpression pulmonaire sont plus grands pour les plongeurs débutants, d'une part, parce qu'ils n'ont pas encore acquis une bonne maîtrise de leur respiration, d'autre part, parce qu'ils évoluent durant leur apprentissage dans la zone la plus dangereuse. Une profondeur de 3m pouvant suffire à provoquer cet accident (ex: **EN PISCINE**).

### Cause



Lorsque, en remontant, le plongeur bloque sa respiration, l'air contenu dans les poumons se dilate. Comme les poumons ne sont pas très extensibles (moins de 10%), l'augmentation du volume de l'air entraîne une rupture des alvéoles pulmonaires

Le blocage partiel ou total de l'expiration peut avoir diverses origines :

- Blocage de la glotte, spasme (anxiété, tasse, effort, ...)
- Malformations anatomiques (bronches ou alvéoles à clapets)
- Crise d'asthme, bronchite
- **Blocage de la respiration** au cours d'une remontée panique
- **ESSOUFFLEMENT** (attention à la vitesse pendant les assistances)
- Blocage du détendeur à l'expiration (expirer par le nez)
- **Apnéiste respirant au fond** sur un embout

Les conséquences d'une surpression pulmonaire sont toujours des embolies gazeuses  
On distingue deux formes cliniques de surpression pulmonaire :

- **La forme pulmonaire pure** : Il y a rupture de la paroi alvéolaire. L'air pénètre dans la cavité placée entre les côtes et les poumons ("pneumothorax"). La mécanique ventilatoire ne fonctionne plus. L'air peut aussi s'infiltrer sous la peau. C'est l'emphysème sous-cutané : Cela se traduit au touché par le " syndrome neigeux " (crissement sous les doigts comme lorsqu'on tasse de la neige au niveau du cou et des épaules)
- **La forme encéphalique** : L'irruption d'air ne se fait pas au niveau des tissus avoisinants mais dans les vaisseaux sanguins du poumon. Il passe par la veine pulmonaire, puis s'engouffre dans les artères carotides jusqu'au cerveau. Il s'ensuit une obstruction des vaisseaux sanguins irriguant le cerveau (embolie gazeuse cérébrale). Ce qui bloque la circulation et asphyxie le cerveau (voir détails sur les embolies dans le cours sur les accidents de décompression).

## Symptômes

### Dans la **forme pulmonaire pure** :

- Une oppression thoracique très douloureuse, isolée dans les cas peu graves (distension alvéolaire).
- Une sensation de manque d'air avec inspiration difficile
- Une toux sèche au début, puis avec salive saumonée appelée "spume" (salive et sang) qui signe la rupture alvéolaire.
- Une accélération du pouls à 150 ou 200 par minute
- Une chute de tension
- L'explosion des poumons est la forme suraiguë (rare)

### Dans la **forme encéphalique** :

- Une perte de connaissance
- Une cécité
- Une surdité brutale et totale
- Une monoplégie (paralysie d'un membre)
- Une hémiplégie (paralysie d'une moitié du corps, celle opposée au côté du cerveau atteint)
- Une quadriplégie
- Une crise convulsive
- Un arrêt de la respiration et du cœur

## Prévention

- **Ne jamais bloquer sa respiration à la remontée**
- S'entraîner à la remontée sans embout ou à deux sur un embout
- **Ne jamais alimenter en air comprimé un plongeur en apnée**
- **Ne jamais remonter trop vite une personne essoufflée**

## Conduite à tenir

- Oxygène normobare (15 l/mn)
- Aspirine (500 mg)
- Réanimation cardio-respiratoire si nécessaire

- Transfert urgent en milieu médical
- Caisson de recompression

Le plongeur victime d'une surpression pulmonaire doit être mis sous oxygénothérapie puis évacué vers un centre hyperbare. Il faut donc ne pas hésiter à **PREVENIR LE DIRECTEUR DE PLONGE** si en sortant de plongé, tu te sens pas bien, ou un des membres de ta palanqué ne te sent pas bien. Que ce soit une surpression pulmonaire ou un autre accident, l'absence de séquelles est liée à la rapidité des soins.

**Il vaut mieux 1000 fois donner de l'oxygène par abus de zèle que de ne pas soigner une surpression.**

## Autres Barotraumatismes

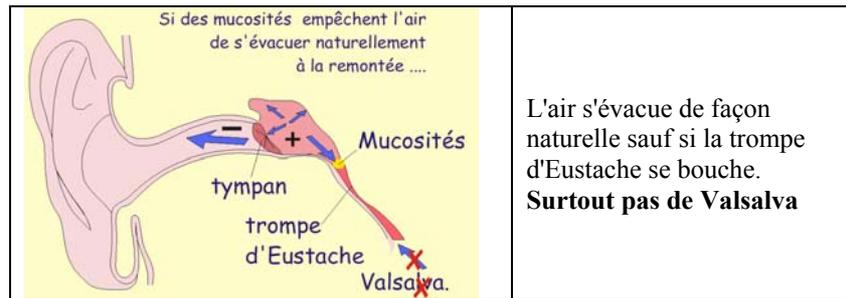
### L'oreille

#### Causes

A la descente :

	<p>A la surface, la pression ambiante est égale à la pression dans l'oreille interne</p>
	<p>En descendant, la trompe d'eustache se bouche. La pression dans l'oreille ne peut plus monter mais la pression extérieure augmente. Le tympan se déforme: douleur.</p>
	<p>Rééquilibrage par une technique de Valsalva. Sans rééquilibrage, la différence de pression devient trop importante : déchirure du tympan</p>

### A la remontée :

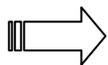


### **Symptômes**

Douleur légère puis de plus en plus violente

En cas de rupture :

- "coup de poignard" et sensation de froid et de crépitation dans l'oreille
- hémorragie
- Vertiges (déséquilibre de pression agissant sur les canaux semi-circulaires)



**Impossible de remonter tout seul en surface !**

- Syncope
- surdité

### **Prévention**

Bien équilibrer et ne jamais forcer

#### **A la descente :**

- Pratiquer la manœuvre dite de "Valsalva" qui consiste à insuffler de l'air par le biais de la trompe d'eustache en se pinçant le nez et en faisant comme si l'on se mouchait. Attention il ne faut pas insuffler trop fort. D'autres méthodes sont possibles pour équilibrer les pressions comme déglutir, la BTV...
- Quelle que soit la méthode choisie elle doit être exécutée avant d'avoir mal et tout au long de la descente surtout dans les 10 premiers mètres (la ou les variations de pression sont les plus importantes) afin d'éviter d'abîmer les tympans.
- Au besoin, remonter un peu et se mettre tête en haut
- Si difficultés fréquentes, descendre lentement, tête en haut
- Si impossible d'équilibrer : Remonter
- Il ne faut surtout pas obturer le conduit auditif (canal qui va du pavillon au tympan) par quelque chose (ex. Coton).

#### **A la remontée**

- Si douleur : redescendre et remonter très doucement
- A la remontée, en cas de douleur, **jamais de Valsalva** car cela augmenterait le déséquilibre, par contre la méthode inverse doit être réalisée (Toynbee). Elle consiste à se pincer le nez et à inspirer.
- D glutir ou mastiquer

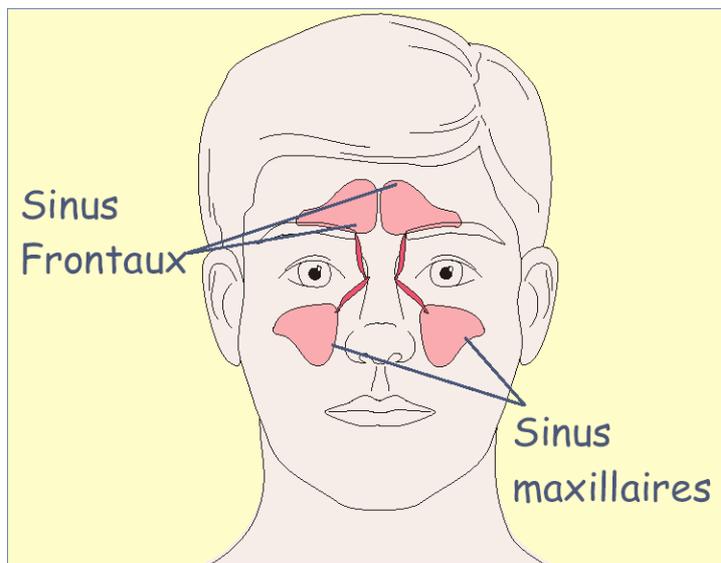
## Conduite à tenir

### Prévenir les autres membres de la palanquée

En cas de douleur prononcée, persistante ou d'écoulement du conduit auditif, consulter un ORL.

## ACCIDENT DES SINUS

### Causes



Obstruction des communications entre les sinus et les fosses nasales. Les facteurs d'obstruction peuvent être d'origine sinusienne (sinusite) ou d'origine nasale (rhume, malformation anatomique). Si le déséquilibre de pression a lieu à la descente, l'air contenu dans les sinus est en dépression. Il se produit un phénomène de ventouse sur les muqueuses.

Si le déséquilibre a lieu à la remontée, la dilatation de l'air comprime la muqueuse contre la paroi.

### Symptômes

- Hypersécrétion
- Violente douleur (coup de poignard)
- Saignement de nez
- Sensation de rage de dents (sinus maxillaire)
- Risque de décollement des muqueuses et d'infection

### Prévention

Ne jamais forcer sur les sinus, interrompre la plongée dès l'apparition de la douleur. Si le blocage se produit à la remontée, s'arrêter, redescendre de quelques mètres, remonter le plus lentement possible en faisant des manœuvres de déglutition ou de mastication pour tenter de favoriser le passage de l'air.

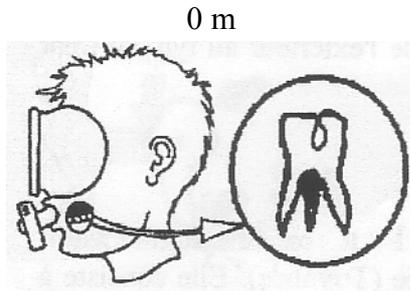
## Conduite à tenir

### Prévenir les autres membres de la palanquée : remonter doucement

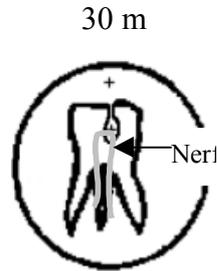
Consulter un ORL.

## ACCIDENTS DENTAIRES

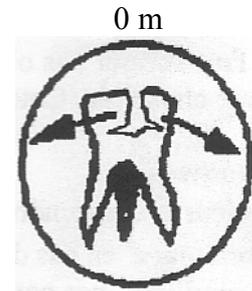
### Cause



Des fissures de l'émail ( une carie non soignée ou mal obturée) peuvent permettre la pénétration d'air à l'intérieur de la dent



Au fond, les pressions vont lentement s'équilibrer. Le flux d'air sur les nerfs a vif des dents peut parfois être douloureux à la descente.



A la remontée, l'air de la cavité se dilate plus vite qu'il ne peut s'échapper. La pression sur la paroi interne peut faire éclater la dent.

### Symptômes

Violente douleur dentaire due à la pression qui s'exerce sur le nerf.

### Prévention

- Hygiène et soins dentaires
- Consulter régulièrement un dentiste en spécifiant que l'on plonge

### Conduite à tenir

- Prévenir les autres membres de la palanquée
- Remonter très lentement pour permettre à l'air de s'échapper
- Redescendre si nécessaire (et si possible)

## ACCIDENTS DE L'ESTOMAC ET DE L'INTESTIN

### Cause

Ces accidents traditionnellement appelés "coliques des scaphandriers" ont deux origines possibles :

- L'aérophagie : le plongeur avale de l'air en pression, cet air peut rester dans la poche stomacale ou passer dans l'intestin (aérocolie)
- La fermentation alimentaire

A la remontée, ces gaz vont se dilater et créer une distension de l'estomac ou d'un segment intestinal.

### Symptômes

- Douleurs à l'abdomen (très forte douleur, y'a pas du tout de quoi rire)
- Sensation de gêne respiratoire
- Envie d'évacuer ces gaz sans le pouvoir

### Prévention

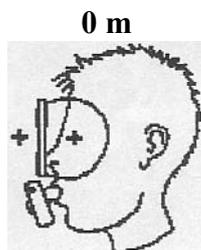
Alimentation appropriée (pas de féculents ou boissons gazeuses: BIERES !!!). Putain on va pas se marrer...

### Conduite à tenir

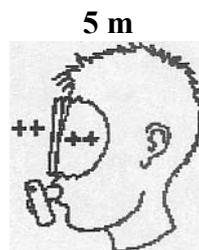
- Prévenir les autres membres de la palanquée
- Essayer d'évacuer les gaz par voie buccale ou rectale (voir aidé avec un tuba)
- Consulter un médecin
- Eventuellement recompression

## LE PLACAGE DU MASQUE

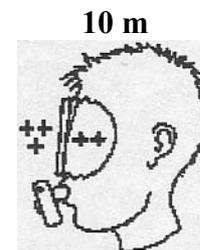
### Cause



En surface, la pression dans le masque est en équilibre avec la pression extérieure.



En descendant, sous l'effet de la pression, la jupe du masque se déforme et la vitre du masque se rapproche du visage. Le volume intérieur du masque diminue.



Lorsque le masque ne peut plus se déformer, la pression extérieure augmentant, l'air contenu dans le masque est à une pression inférieure à la pression extérieure. Le masque se comporte alors comme une ventouse.

### Symptômes

Dans l'eau :

- troubles de la vision
- Douleur
- hémorragie oculaire ou nasale

Au retour :

- œil au "beurre noir", œil rouge
- troubles de la vue
- saignement du nez

### Prévention

- **Souffler par le nez dans le masque au fur et à mesure de la descente**
- Si on constate en immersion un plaquage de masque chez un plongeur, **ne pas lui décoller le masque** mais provoquer **une entrée d'eau en passant un doigt** entre la jupe et la peau près de la tempe. Stopper la descente tant que l'équilibrage du masque n'est pas rétabli

### Conduite à tenir

- Prévenir les autres membres de la palanquée
- Arrêter le saignement de nez : compression ou tampon de coton

- Instillations de gouttes ou bains des yeux
- Consulter un médecin (généraliste, ORL, ophtalmologue) .

## **A RETENIR**

**Pression Atmosphérique = 1 Bar**

**Pression Hydrostatique = 1 Bar par 10m**

**Pression Absolue = Pression hydrostatique + Pression Atmosphérique**

**Un plongeur respire de l'air à pression ambiante**

**Mariotte : P.V = Constante**

**MECANISME SUPPRESSION PULMONAIRE:  
PREVENTION = SOUFFLER A LA REMONTEE**

**Mécanismes et Préventions des barotraumatismes:**

**Oreilles**

**Sinus**

**Dents**

**Intestins**

**Prévenir le reste de la palanquée au moindre problème**

# Toxicité des gaz

Semaine du 24,25 Novembre

## Notion de pression partielle

L'air que nous respirons est un mélange. Ce mélange est constitué comme suit:

- 79 % d'azote (noté N<sub>2</sub>)
  - 20 % d'oxygène (noté O<sub>2</sub>)
  - 1 % de divers gaz (par exemple Dioxyde de carbone C O<sub>2</sub> à 0,003%)
- Comment décrire les pressions des gaz indépendamment?

Et bien la réponse a été donné par Dalton (pas les bandits un vrai physicien). Il donne une définition de la pression partielle d'un gaz contenue dans un mélange comme suit:

$$\text{Pression Partielle} = \text{Pourcentage}/100 \cdot \text{Pression du mélange}$$

Par exemple, à pression atmosphérique la pression partielle de N<sub>2</sub> vaut:

$$P_{pN_2} = 80/100 \cdot 1 \text{ BAR} = 0.8 \text{ BAR}$$

Allez trouvons qu'elle est la pression partielle d'oxygène à 10m ? ( voir en bas de la page)

La notion de pression partielle est très utile pour comprendre les effets d'un gaz particulier du mélange. Il ne faut surtout pas y voir quelque chose de sorcier comme cela est souvent présenté dans les livres. C'est une simple définition à connaître.

A partir d'une certaine pression partielle, les gaz que nous respirons peuvent devenir toxiques, ces accidents sont appelés accident toxique ou aussi biochimique. Bien connaître ces phénomènes permet de prévenir et traiter les accidents qui en découlent.

## Mécanisme respiratoire

Notre corps a besoin d'énergie. Pour cela nous brûlons de l'O<sub>2</sub> pour le transformer en CO<sub>2</sub>. C'est grâce à la mécanique ventilatoire que l'O<sub>2</sub> venue de l'extérieur de notre corps est mis en contact avec notre organisme.

Le mécanisme ventilatoire consiste à l'activation de certains muscles du torse, afin de remplir les poumons (inspiration) et de les vider (expiration). Cette mécanique ventilatoire est dirigée par des capteurs reliés au système nerveux. Par exemple l'**inspiration** est déclenchée par la présence trop élevée de CO<sub>2</sub>.

Parfois, ce système automatique s'enraille, notamment en présence de fort taux de CO<sub>2</sub>. On verra quel accident peuvent être provoqué par ce mauvais fonctionnement en apnée et aujourd'hui en cas d'intoxication.

Réponse : 0,4 BAR

Les gaz rentre dans le sang en traversant la membrane qui tapisse les poumons. Le sang est transporté vers les organes. Comme la quantité de gaz qui traverse les parois du poumon est proportionnelle à la pression de ce gaz.

La quantité de gaz transporté par le sang dans l'organisme est proportionnelle à la pression de ce gaz dans les poumons. Ainsi, plus la pression partielle d'un gaz est élevée, plus l'organisme, via la respiration, subira les effets de ce gaz.

Les accidents toxiques sont donc amplifiés par la pression à laquelle est inhalé un gaz. Ce qui en plongée est particulièrement important à connaître.

## Essoufflement (hypercapnie)

**Hypercapnie:** excès de gaz carbonique dans le sang

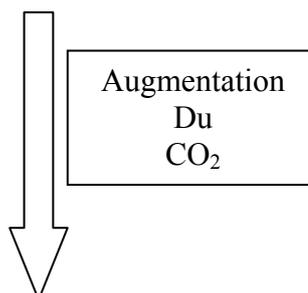
- C'est l'accident toxique le plus fréquent en plongée
- C'est la concentration de gaz carbonique dans notre sang qui "régule" notre respiration
- L'intoxication au gaz carbonique (Dioxyde de carbone – CO<sub>2</sub>) apparaît dès que la PPCO<sub>2</sub> dans le sang artériel dépasse 20mb (0,02Bar)

### Deux origines possibles

- **Pollution de l'air** de gonflage  
Augmentation de l'espace mort : tuba
- **Production excessive de CO<sub>2</sub> par l'organisme: froid, effort, etc.**

### Symptômes en plongée

- **ESSOUFFLEMENT**
- Accélération du rythme respiratoire
- Maux de tête
- Sueurs, bourdonnements, nausées
- Anxiété
- Conduite irraisonnée (lâcher de l'embout!)
- Syncope



### Prévention

- **BIEN EXPIRER**
- Bon air dans la bouteille
- Détendeur bien réglé
- Combinaison pas trop serrée
- Tuba pas trop long. Expire en soufflant par le nez pour les nages
- Pas d'effort excessif (**Attention au lestage**)
- Bonne condition physique
- Pas d'effort avant la plongée

### Conduite à tenir

En plongée:

- Cesser tout effort
- Prévenir le chef de palanquée
- **Expirer à fond, se raisonner**

- Remonter sans palmer (stab) et doucement (danger de surpression)

Au retour:

- Au besoin: O<sub>2</sub> normobar
- Eviter le soleil, le froid

### Les effets de l'hypercapnie à différentes concentrations (Pour information)

Pression partielle CO <sub>2</sub> (mbar)	Signes cliniques
10	Insensibles
20	Légère hyperventilation: Augmentation de la fréquence et le l'amplitude respiratoire
40	Essoufflement net – maux de tête
60	Essoufflement incontrôlable Apnée volontaire impossible maux de tête – désorientation spatiale
70	Ventilation incontrôlable maux de tête violentes, congestion du visage – sueurs – vertiges – vomissements – narcose grave avec sensation ébrieuses Excitation
90 à 100	Etat syncopal avec perte de connaissance rapide

### Autres effets du gaz carbonique

Effets amplificateurs de la plupart des autres causes d'accidents de plongée

- Augmente l'action toxique de l'O<sub>2</sub>
- Augmente l'action narcotique de N<sub>2</sub>
- Favorise la naissance et la croissance des bulles: ADD

### Conclusion

Il n'y pas de honte à stopper une plongée que l'on trouve trop sportive. Si le chef de palanquée va trop vite arrêtes toi, c'est à lui de se calquer sur ton rythme. Inversement si tu es chef de palanquée ne va pas trop vite, en gros n'avance quasiment pas. De toute façon, c'est en allant doucement que l'on voit le plus de poissons. De plus, on se perd moins si on fait un plus petit parcours.

NE JAMAIS PRENDRE A LA LEGERE UN ESSOUFLEMENT. C'est un réel accident qui peut-être mortel et qui en entraîne d'autres s'il n'est pas secouru, la vigilance est donc de mise entre membre d'une même palanquée.

### Narcose

Au-delà de 40m, les plongeurs à l'air décrivent des troubles psychophysiologiques qui s'accroissent avec la profondeur. Cette affection est due à l'azote. La narcose provoquée par

l'augmentation de la pression partielle d' $N_2$ , dangereuse mais pas déplaisante, ressemble à l'ivresse due à l'alcool .

## Constat

- La narcose apparaît à des profondeurs variables selon les individus et selon le contexte (à partir de 30m...)
- Pour un plongeur donné:
- Selon son accoutumance
- Selon sa forme physique
- L'augmentation de la pression partielle de  $CO_2$  est un facteur aggravant de même que l'alcool, la fatigue, l'anxiété ou l'inexpérience

Souvent, les plongeurs inexpérimentés ne savent pas qu'ils sont en état de narcose. Plusieurs méthodes existent pour connaître son état:

- Compte les nombres impairs (1,3,5,...). Ce qui peut se révéler très dur à 40m.
- Détermine les temps de réaction des autres au signe OK: ça peut-être très court (genre militaire énervé) ou très long (genre toxico dans son trip).

## Symptômes

- Sentiments d'euphorie ou d'anxiété
- Accentuation du dialogue intérieur
- Comportement irraisonné
- Difficile ou impossible de lire montre et profondimètre (ça m'es arrivé à 30m et on ne rit pas c'est un peu chiant)
- Perte de connaissance

## Prévention

- Bonne forme physique
- Ne pas dépasser les 40m pour un jeune plongeur
- Ne pas dépasser les 60m pour un plongeur expérimenté
- **Surveiller ses coéquipiers et soi même**
- Pas d'alcool avant la plongée  
Putain on va vraiment pas se marrer

## Conduite à Tenir

- Remonter d'une dizaine de mètres dès l'apparition des premiers symptômes car l'ensemble des troubles est parfaitement et immédiatement réversible.

## Autres accidents toxiques

### Intoxication au CO

## **Cause**

Si le gonflage a été mal réalisé, par exemple près d'échappement de moteur thermique. Le mélange respiré en plongée peut contenir du CO, la quantité de CO respiré étant augmentée par l'augmentation de pression du mélange inhalé. Cette intoxication est très dangereuse.

## **Symptômes**

- Maux de tête,
- Trouble de la vue,
- Bourdonnements,
- Respiration difficile,
- Paralysie des jambes,
- Perte de connaissance,
- Syncope,
- Mort.

## **Prévention**

FAIRE TRES ATTENTION A LA PRISE D'AIR DU COMPRESSEUR.

## **Conduite à tenir**

- Remonté en surface dès l'apparition des premiers symptômes,
- Oxygénothérapie normobar,
- Evacuation d'urgence.

## **Hyperoxie**

Respiré sous une pression élevée, l'oxygène est un gaz toxique dont les effets se manifestent après un certain temps de latence, inversement proportionnel à la pression à laquelle il est respiré.

### **PPO<sub>2</sub> < 0,6 bar**

Pas d'effet toxique, quel que soit le temps.

### **Pour information: cas des plongées très longues (professionnel)**

### **0,6 bar < PPO<sub>2</sub> < 1,7 bars**

Apparition d'effet toxique après plusieurs heures appelé effet **Lorrain Smith**.

### **Symptômes**

- Face rose
- Gène respiratoire
- Toux
- Brûlures alvéolaires
- Œdème pulmonaire

### **Prévention**

Jamais PPO<sub>2</sub> > 0,5 pendant plus de 2 heures.

### **CAT**

- Baisser PPO<sub>2</sub>

- Traitements médicaux

#### Remarques

- Ne concerne pas la plongée sportive car temps trop court.
- Concerne la plongée professionnelle et les traitements en caisson hyperbare

#### **PPO<sub>2</sub> > 1,7 bars**

Apparition rapide d'effets toxiques appelé effet **Paul Bert**.

#### Symptômes

- Face rose
- Troubles de la vision
- Crampes
- Crise épileptique
- Perte de connaissance

#### Prévention

Jamais PPO<sub>2</sub> > 1,7 bars soit 75 mètres en plongée.

#### Conduite à Tenir

- Baisser PPO<sub>2</sub>
- Traitements médicaux

### Information sur les mélanges (pour information)

Bien que ce dernier point ne soit pas au programme du N<sub>2</sub>, il est intéressant de savoir que les mélanges sont fréquemment utilisés par les **plongeurs professionnels** (scaphandriers) et les **spéléologues**.

Cependant depuis quelques années de plus en plus de plongeurs loisirs utilisent également des mélanges, afin de :

- Raccourcir la durée des paliers,
- Rester plus longtemps sous l'eau,
- Accéder à des profondeurs plus importantes,
- Réduire les risques de narcose
- Réduire les risques d'hyperoxie

### Trois types de mélanges sont utilisés :

- **Nitrox** qui vient des termes nitrogène (qui n'est autre que de l'azote) et oxygène. C'est un mélange d' $N_2$  et de  $O_2$  dans une proportion différente que celle que l'on trouve dans l'air, ce mélange est enrichi en  $O_2$ .

Ex : 40% de  $O_2$  et 60% de  $N_2$ , ce mélange permet de saturer moins vite en  $N_2$ . La quantité d'azote dissoute est moindre, les paliers sont donc réduits d'autant. Mais attention, l' $O_2$  devient toxique au-delà d'une certaine pression partielle. Il existe une formation de plongeurs NITROX à la fédération accessible à partir du niveau 2 (très chère actuellement).

- **Trimix** qui signifie mélange de trois gaz :  $N_2 + O_2 +$  hélium. Le pourcentage de  $O_2$  reste le même mais une partie de  $N_2$  est substituée par de l'hélium qui pose moins de problème en matière de décompression et de narcose (gaz très léger). Ce mélange est donc particulièrement adapté aux plongées profondes et longues.

- Il existe également l'**Héliox** un peu moins connu qui est en fait un mélange binaire Hélium et  $O_2$ .

## A RETENIR

### ESSOUFFLEMENT

#### Le mécanisme:

Réflexe d'inspiration =  $CO_2$

En plongée l'expiration est plus difficile

#### Prévention

BIEN EXPIRER pendant la plongée

Ne pas faire d'effort

#### Conduite à tenir

Se calmer

BIEN EXPIRER

Remonter immédiatement l'essoufflé

### NARCOSE

Remonté de quelques mètres en cas de sensation de narcose

Savoir reconnaître la narcose

**Attention a la qualité de l'air**

# Apnée, Noyade

Semaine du 1,2 Décembre

## Apnée

Le plongeur, même si il se destine surtout à une plongée en bouteille, doit connaître les risques de la plongée en apnée. L'apnée étant parfois nécessaire (panne d'air). De plus, il est très agréable de se balader sur de jolis fonds en apnée. Il vaut mieux connaître les risques de cette activités pour se protéger des accidents éventuels

## Accidents communs avec la bouteille

### Les Barotraumatismes

Les barotraumatismes sont fréquents en apnée. Le problème étant souvent amplifié par la nécessité évidente de remonter plus vite qu'en bouteille. Ce n'est pas parce que l'on ne respire pas qu'il ne faut pas équilibrer ses oreilles et souffler dans son masque.

### Accidents toxiques

ESSOUFLEMENT: attention au tuba trop long.

Pour la narcose, elle existe, mais il faut commencer à être un bonne apnéiste (>30m de fond).

### Accidents de décompression

- Rares pour le plongeur en apnée mais peut se produire dans des cas de plongées répétés à grande profondeur (cas des ramasseurs de perles).
- ATTENTION: Jamais d'apnée après une plongée en bouteille!

**Le froid**

**La noyade**

**Dangers du milieu**

} Idem plongée bouteille

## La Syncope

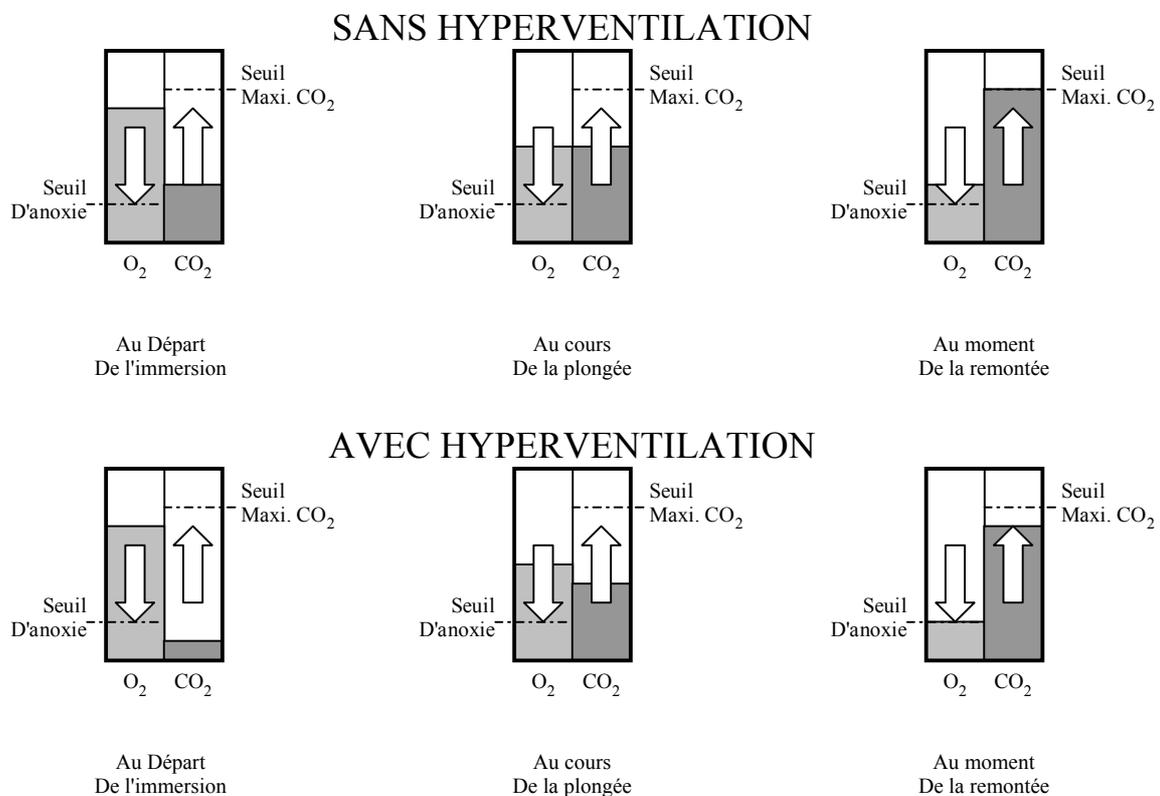
**Causes**

La syncope est un accident malheureusement courant chez l'apnéiste peut enclin à se fixer des limites. C'est une importante cause de mortalité. C'est donc un accident qu'il faut éviter à tout prix. Ca peut-être aussi un simple incident si il y a intervention rapide. Il est donc très important de connaître et de comprendre cette accident qui se produit aussi fréquemment en piscine.

- Nous avons déjà dit que le réflexe inspiratoire est lié à la quantité de  $\text{CO}_2$  dans le sang. Dans une apnée, c'est donc l'augmentation anormale de la quantité de  $\text{CO}_2$  dus à l'arrêt ventilatoire qui va nous pousser à remonter.
- Afin de sauver les organes nobles (cerveau, cœur, poumons, etc.), en cas de chute de la quantité d'  $\text{O}_2$  dans le sang en dessous d'un certain seuil (anoxie), nous tombons en syncope. Ainsi, le peu d'  $\text{O}_2$  restant est utilisé par les quelques organes vraiment vitaux. Il y a alors perte de conscience.

## Mécanismes

Le mécanisme de cet accident est résumé sur le schéma ci-dessous.



L'hyperventilation consiste à accélérer le rythme respiratoire pour faire baisser la quantité de  $\text{CO}_2$  et retarde l'envie de respirer. On améliore ainsi la durée de ses apnée. Mais on risque d'atteindre dangereusement le seuil d'anoxie. C'est donc une façon de "leurrer" ses réflexes vitaux!

Si l'on ajoute l'augmentation de pression due à la profondeur (la pression partiel d'  $\text{O}_2$  croit comme la pression ambiante). Il se produit une sensation de bien être à la descente et durant la plus grande partie de l'apnée.

Le phénomène s'inverse à la remontée où la brusque chute de la pression partiel d'  $\text{O}_2$  provoque une syncope. C'est ce qui est décrit comme le rendez-vous syncopal des 7m du Docteur Sciarli. En fait, c'est la zone de plus forte probabilité, mais ce n'est pas aussi précis. J'ai déjà vu des syncopes se produire au moment d'arriver en surface.

## Symptômes

Il n'y a aucun signe annonciateur de cette perte de connaissance, d'où son danger.

## Prévention

Il existe plusieurs types de prévention:

- **EVITER L'HYPERVENTILATION,**
- **NE JAMAIS FAIRE DE L'APNEE SEUL (ce faire surveiller par quelqu'un capable d'aller te chercher au fond),**
- Préférer, pour prolonger l'apnée, d'autres techniques que l'hyperventilation (Typiquement à base somatique car le mental a une grande influence sur la durée de l'apnée),
- Bonne forme physique,
- Pas de compétition, il faut savoir remonter à temps!!

## Conduite à tenir

Cette état n'est pas irréversible. Bien souvent, il suffit de réveiller la personne pour qu'elle reprenne son souffle. Le tout c'est qu'elle reprenne son souffle dans l'air et pas dans l'eau, ce qui se traduira par une noyade.

## Noyade

La noyade peut-être définie comme l'absorption d'eau par les voies respiratoires.

### Causes

- Arrachement du masque ou de l'embout + panique
- Malaise avec perte de l'embout buccal
- Avarie du matériel
- Accident d'apnée

### Symptômes

**On note 2 mécanismes :**

- noyade par asphyxie due à l'inspiration d'eau (la plus fréquente)
- noyade syncopale par inhibition cardio-respiratoire puis inondation des voies pulmonaires à la reprise respiratoire

Les effets de la noyade sont différents en eau douce et en eau de mer

Eau douce : l'eau pénètre par osmose dans le milieu sanguin, ce qui provoque une dilution du sang, des lésions du foie et des reins

Eau de Mer : c'est le milieu sanguin qui est attiré par l'eau de mer dans les alvéoles pulmonaires provoquant un œdème du poumon.

La noyade en plongée s'accompagne presque toujours d'un accident de décompression car les gaz dissous ne peuvent être éliminés par la respiration.

### Prévention

- Savoir nager correctement

- Ne plonger qu'en bonne forme physique
- Entreprendre un entraînement progressif
- Ne jamais plonger sans être accompagné par un moniteur ou un plongeur expérimenté
- Ne jamais plonger sans emporter son tuba
- Eviter de laisser le bateau sur le lieu de plongée sans surveillance
- Ne jamais essayer de sortir de l'eau dans un endroit battu par les vagues. Nager vers un endroit plus calme est moins risqué

### **Conduite à tenir**

- sortir le noyé le plus rapidement possible
- Débarrasser ses voies aériennes de l'eau et des mucosités en le mettant en position décline (pieds plus hauts que la tête)
- Ne jamais mettre ses doigts dans la bouche, le noyé pouvant dans un réflexe vous mordre
- Pour maintenir ses mâchoires écartées, utiliser un morceau de caoutchouc ou de cordage (jamais de bois ou de métal)
- Pratiquer la respiration artificielle et si le cœur est arrêté, alterner avec un massage cardiaque externe suivant le rythme de 2 insufflations et 15 massages cardiaques (1 seul sauveteur) ou 1 insufflation et 5 massages (2 sauveteurs)
- Si possible, remplacer le bouche à bouche par une inhalation d'oxygène pur
- Après réanimation, emmener le noyé dans un centre hospitalier

ATTENTION : si le cœur s'arrête plus de 3 minutes, le cerveau n'est plus suffisamment irrigué et il y a mort quasi certaine ou du moins des lésions cérébrales très graves

## **A RETENIR**

### **APNEE**

**Pas d'hyperventilation:**  
Se surveiller

### **NOYADE**

**Sortir la personne de l'eau et prévenir les secours**

# Accidents dus au Milieu et le Froid

Semaine du 8,9 Décembre

## Accidents dus au milieu

Dès que tu seras plongeur de niveau tu auras le droit d'aller plonger en autonome dans la zone des 20 mètres. Ce milieu qui est vachement beau, recèle quelques pièges qu'il est important de connaître.

### En surface

#### Les vagues:

- Attention à ne pas s'approcher trop près des rochers avec de grosses vagues
- Ne pas se perdre: rester groupé

#### Le courant:

- Suivre le mouillage pour descendre et remonter
- Bien revenir au mouillage (parcours au fond très réduit)

#### Les bateaux:

- Bien faire son tour d'horizon avant la surface , écouter.
- Rester groupé en surface (plus visible)
- Utilisation d'un parachute de palier si l'on est loin du bateau de plongée
- Faire ces paliers aux mouillages

### Au fond

#### Le courant:

- Partir à contre courant
- Rester près du fond (c'est normalement là où il y a moins de courant)
- Rester bien groupé
- Si il est trop fort ne pas lutter, remonter et attendre le bateau.

#### La visibilité:

- Ne pas remuer le fond

- Rester très groupé, se tenir la main par binôme.

### **Le froid (voir plus loin):**

#### **Les grottes:**

- Ne pas entrer dans les grottes. Cela nécessite un matériel et une formation spécifiques de plongeur spéléo.

#### **Les morsures et pincements:**

**Les requins:** se plaquer au fond (j'aimerais savoir si ça marche)

**Les congres, baudroies, etc. :** Morsure bénignes, NE PAS LES PROVOQUER.

**La murène:** La plaie s'infecte, même remarque.

**Le poulpe:** peut pincer avec son bec de perroquet => venin, douloureux mais peu dangereux.

**Le homard:** a une pince très puissante qui peut écraser une main. NE PAS LES PROVOQUER. Sinon utilise un couteau pour ouvrir la pince.

#### **Les piqûres:**

**Attention où on met ses mains. La houle est aussi très efficace pour nous jeter sur un banc d'oursins.**

**La vive:** Attention au fond de sable où elle se cache.

**Les raies armés:** attention à leur queue en fouet. Ne pas s'en approcher.

**La rascasse:** se confond avec le rocher

**Les anémones:** peu dangereuse pour l'homme. Attention de ne pas s'en mettre sur la bouche car les pointes restent accrochées à la peau.

**Les méduses:** Peuvent occasionner des grandes douleurs => syncope. Porter une combinaison. Les contourner de très loin.

## **Les dangers artificiels**

#### **Les épaves:**

même problèmes que pour les grottes, NE JAMAIS Y ENTRER.

Attention aux éboulements: partir au moindre craquement

Attention aux tôles coupantes

#### **Les filets:**

Ne jamais plonger près d'un filet. Avoir un couteau, où mieux, des ciseaux, et les utiliser calmement.

#### **Les lignes:**

Si il y a un asticot, la ligne est reliée à un pêcheur. Tirer le fil en amont de l'hameçon pour éviter qu'il ne s'enfonce encore plus quand le pêcheur tire.

S'en dégager calmement.

#### **Les explosifs:**

NE JAMAIS TOUCHER NI APPROCHER

Signaler aux affaires maritime.

C'est un peu exhaustif, mais ça donne une idée de quelques règles à connaître.

Ne pas oublier tout de même que ce milieu est très beau et que je connais peu de plongeur qui se sont fait mordre, piquer, harponner à toutes les plongées.

## **Accidents dus au froid**

Le refroidissement du corps peut-être cause d'accidents. En connaître les raisons permet de mieux les prévenir et les traiter.

### Quelques chiffres:

Température centrale du corps: 37°C

Température cutanée: 33 à 34°C

Equilibre assuré pour un homme nu :

- Dans l'air à 25°C
- Dans l'eau à 33-34°C

**Le corps se refroidit 25 fois plus vite dans l'eau que dans l'air.**

De plus la ventilation de l'air détendu refroidit encore le corps. Exemple: en ouvrant une bouteille en grand on fait givrer la robinetterie.

Il existe deux sortes d'accidents:

## Déperdition calorifique: Hypothermie

### Cause

Déperdition de chaleur importante due à l'eau froide, à une mauvaise combinaison, fatigue, etc.

### Symptômes

- Chair de poule
- Crampes, tremblements, diminution de l'habileté
- **Augmentation du rythme cardiaque et respiratoire => risque d'essoufflement et d'accident de décompression**
- Arythmie cardiaque
- Rigidité musculaire
- Syncope
- Mort

### Conduite à Tenir

#### Dans l'eau:

Faire signe de **remonter en surface**. C'est un incident qu'il ne faut pas du tout prendre à la légère. Le froid est le début de bien d'autres complications...

#### Dans l'air:

- Sécher et réchauffer sans frictionner (couverture, à l'abri du vent, etc.)
- Boisson chaude sucrée. **JAMAIS D'ALCOOL**
- Inhalation O<sub>2</sub>
- Douche chaude ou bain chaud

## Le choc thermo différentiel

### Cause

Passage brusque de la température terrestre à celle de l'eau, nettement plus froide. Cette incident est souvent aggravé par une exposition prolongé au soleil. Cela produit un brusque reflux du sang vers le cœur. D'où une vasoconstriction=> chute de tension=>syncope.

### Symptômes

## SYNCOPE ENTRAINANT LA NOYADE

Signes avertisseurs:

- Malaise général
- Sensation d'étouffement autour de la tête
- Bourdonnements
- Marbrure rouge de la peau
- Paralysie des membres.

### Conduite à Tenir

Sortir de l'eau puis ranimer si nécessaire.

### Prévention

- Pas d'exposition prolongé au soleil avant la plongée
- S'asperger la nuque, la poitrine et l'abdomen avant immersion
- Pas de saut dans de l'eau très froide: immersion lente
- Evitez de manger une grosse choucroute avant une plongée dans l'eau froide

## Conclusion

Le froid est un problème quotidien du plongeur. Il faut savoir qu'il peut entraîner un grand nombre d'autres accidents et qu'il est nécessaire de prêter attention à tous les signes d'avertissements. Il ne faut pas hésiter à dire que l'on a froid ni à remonter.

## **A RETENIR**

**Faut pas faire chier les petites bêtes, elles sont naturellement gentilles**

**Si tu as froid: dit-le!!!**

**Implique un grand nombre d'autres accidents:  
ESSOUFFLEMENT**

# Matériel

Semaine du 15,16 Décembre

## Introduction

Un plongeur utilise un large éventail de matériel. Il n'est pas question ici d'apprendre tous les détails de fonctionnement du matériel, mais de connaître des principes de fonctionnement afin d'entretenir et d'utiliser au mieux tout ce matériel.

## La bouteille

Tout utilisateur d'une bouteille de plongée doit, pour sa sécurité, connaître certains principes et règlements.

### **Le corps de la bouteille:**

#### **Matière:**

Le fut de la bouteille peut-être en acier, alu, voir fibre de carbone. L'acier présente l'avantage d'un vieillissement mieux maîtrisé.

#### **Capacité:**

C'est le volume de la bouteille en litre, il est très variable selon les modèles. Les plus courant étant les 12 et les 15 litres.

#### **Inscriptions:**

Si on observe un bloc, on constate que de nombreuses inscriptions y sont gravées, elles nous permettent de connaître les informations suivantes :

- nom du fabricant
- nature du gaz
- n° d'identification
- nature du métal
- pression d'épreuve (1.5 fois la pression de service)
- pression de services (ex : 200 bars)
- poinçon du service des mines
- date de l'épreuve initiale, voire celles des épreuves successives

#### **Entretien:**

Une bouteille doit être examinée régulièrement. Il faut effectuer une réépreuve (test à la pression) . Tous les 5 ans avec un bloc Alu et tous les 2 ans avec un bloc acier, sauf si une inspection visuel est faite tous les ans. D'où l'utilité d'avoir plein de TIV dans un club. Cette

compétence de Technicien d'Inspection Visuel s'obtient suite à une courte formation auprès de la fédé.

De plus :

- Il faut éviter les chocs.
- Ne pas les transportés gonflés (risque d'explosion en cas d'accident)
- Eviter de l'ouvrir en grand (condensation dans la robinetterie et givrage)
- Ne pas l'ouvrir dans l'eau (risque de corrosion)

## La robinetterie:

La robinetterie comprend trois parties:

### Le robinet de conservation

C'est le robinet qui ouvre et qui ferme la bouteille. Pour ouvrir, dévisse à fond et referme d'un quart de tour pour ne pas "marquer" la mécanique.

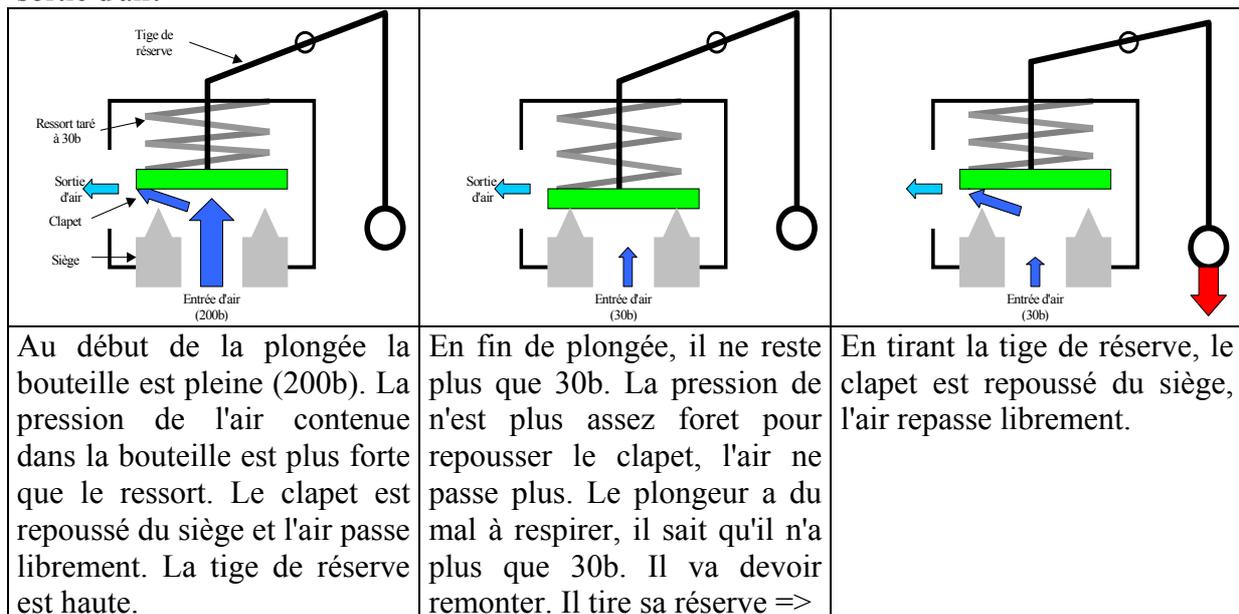
### La sortie d'air

Contrôle le joint torique avant de gréer le bloc.

### La réserve

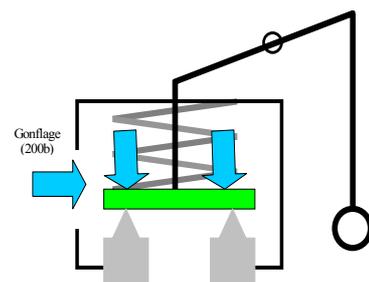
de plus en plus souvent remplacé par un manomètre sur le détendeur.

Le principe d'une réserve est qu'un clapet, poussé par un ressort taré, peut obstruer la sortie d'air.



La réserve doit donc être haute au début de la plongée sauf si l'on a un manomètre .

Il faut aussi penser à baisser sa réserve en sortant de l'eau, même si l'on n'a pas eu à le faire. C'est un bon moyen pour prévenir qu'un bloc est vide. De plus il faut toujours baisser la réserve pour gonfler un bloc, sinon l'air ne passe pas le clapet:



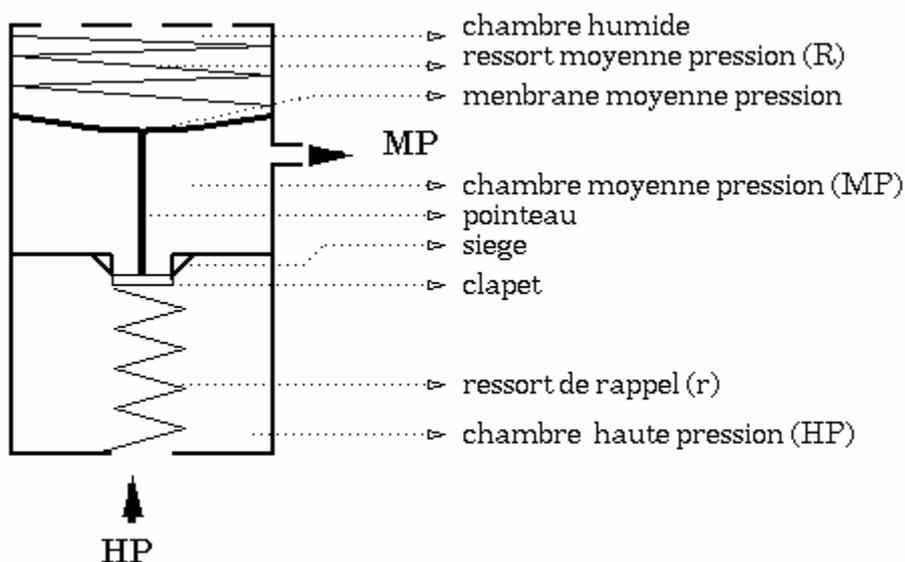
## Le détendeur

Un détendeur c'est ce machin que l'on fixe sur la robinetterie de la bouteille et avec lequel on respire. Le détendeur fournit de l'air sur demande (inspiration) à pression ambiante, ceci permettant de respirer normalement à toute profondeur. Il en existe plusieurs types et plusieurs marques dans chaque type.

Le détendeur à deux étages est constitué de deux parties : les premier et deuxième étages (jusque là ça reste compréhensible). Les deux étages sont reliés par un tube flexible résistant à la pression. La haute pression de l'air (dans la bouteille) est ramenée à la pression ambiante (celle de l'eau) en deux temps : Le premier étage transforme la haute pression en moyenne pression (7-12 bars + Pression ambiante selon les modèles) qui est ramenée à la pression ambiante par le deuxième étage. La valeur de la moyenne pression permet de maintenir le tube flexible bien ouvert, et donne un débit important au deuxième étage.

Il existe plusieurs sortes de premiers étages : à pistons, à membranes, compensés ... Les marques commerciales offrent toute une gamme de produits à des prix variables. Pour une utilisation en plongée loisir, achètes un détendeur simple à prix moyen (tu ne sentiras pas la différence entre un détendeur à 5000 fr. et un à 1500 fr.).

Voici le schéma de principe d'un premier étage de détendeur:



*1er étage d'un détendeur à deux étages.*

Quand la bouteille est fermée, le ressort de la moyenne pression repousse le clapet du siège. Quand la haute pression s'ouvre, l'air rentre dans la chambre HP et la chambre MP. La pression appuie alors sur la membrane et le clapet. Quand cette force est supérieure à celle qu'exerce la pression dans la chambre humide (pression absolue + ressort de moyenne pression), le clapet se ferme. La chambre haute pression continue de se remplir jusqu'à l'équilibre avec la bouteille. Et la chambre moyenne pression contient de l'air à la pression ambiante + la pression du ressort R.

Quand le plongeur respire, cela entraîne une chute de pression dans la chambre MP. L'air dans la chambre moyenne pression a une pression trop faible pour équilibrer la pression dans la chambre humide. La membrane pousse alors le pointeau, qui pousse le clapet. Ceci ouvre le clapet entre la chambre MP et HP, de l'air rentre alors dans la chambre moyenne pression.

Le deuxième étage fonctionne sur le même principe.

**Entretien:**

- Au moment d'ouvrir un bloc, faire fuser le détendeur pour éviter que le clapet ne se ferme trop vite
- Fermer le bouchons du détendeur pour éviter que de l'eau rentre à l'intérieur du mécanisme
- Bien rincer un détendeur après chaque plongée dans de l'eau douce

**A RETENIR**

**Schéma de principe du détendeur: pouvoir le commenter  
Indication et réglementation liée à la bouteille de plongé**

**Entretien courant**

# Accidents de décompression

Semaine du 5,6 Janvier et 12,13 Janvier

## Introduction

En plongée, nous respirons de l'air composé principalement d'azote et d'oxygène. L'oxygène est consommé par l'organisme. Au contraire de l'azote qui n'est pas utilisé par nos organes. Ceux-ci, en stocke une petite partie (nous allons voir sous quelle forme) et en rejete le surplus par la respiration.

Nous avons vu que la quantité de gaz contenu dans le sang, et donc dans l'organisme, dépend de la pression partielle de ce gaz. Ainsi, pendant la plongée, la quantité d'azote stockée par les organes augmente.

Lors de la remontée, la pression d'azote dans les poumons diminue. L'azote stocké pendant la plongée dans les organes est rejeté. Seulement, ces échanges prennent un certain temps. En remontant trop vite, l'azote qui est rejeté par les organes, n'arrive pas à s'échapper librement du corps par la respiration. Il y a alors formation de bulles dans le corps, ce qui provoque l'accident de décompression.

Pour mieux comprendre ce processus, il est nécessaire d'avoir quelques notions sur les échanges gazeux et la circulation sanguine. C'est pour cela que nous allons parler succinctement de physiologie.

Dans une deuxième étape, il faudra comprendre sous quelle forme est stocké l'azote dans l'organisme, c'est pour cela que nous décrirons le processus physique de dissolution des gaz dans les liquides. Les organes étant constitué majoritairement de liquides et sont donc physiquement parlant très proche.

Enfin, armé de ces nouvelles connaissances, il nous sera possible d'aborder en détail les problèmes liés à l'accident de décompression.

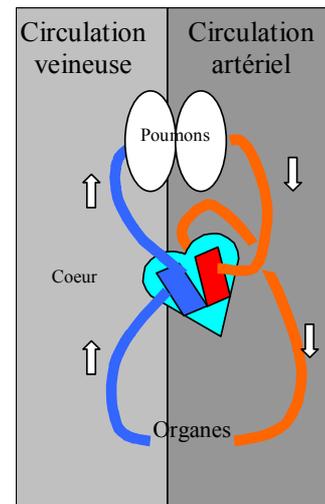
Le but de ce chapitre, comme les précédents sur les accidents, est bien de prévenir ces accidents. Nous verrons, que dans le cas de l'accident de décompression, cela demande de maîtriser l'utilisation des tables de plongée. Cette utilisation est abordée dans les cours suivants.

## La circulation

La circulation sanguine transporte différents éléments entre les organes. C'est en particulier le sang qui convoie l'O<sub>2</sub> des poumons aux organes et le CO<sub>2</sub> des organes aux poumons. Complétant ainsi la ventilation et permettant à l'ensemble du corps de respirer. La circulation sanguine se divise donc en deux parties:

**La circulation artérielle**, véhiculant du sang enrichi en oxygène, débarrassé des déchets de l'organisme, alimente tous les tissus et organes de l'être humain. L'oxygène, ainsi que l'azote, rentre dans le sang en traversant les parois des poumons.

**La circulation veineuse** permet d'apporter au système ventilatoire du sang chargé en CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, afin d'évacuer ces gaz vers l'extérieur à travers les parois des poumons.



Si la circulation sanguine ne fonctionne pas bien, les organes ne reçoivent plus d'oxygène et ne rejettent plus le CO<sub>2</sub>, ce qui les asphyxie. C'est ce qui peut se produire dans un accident de décompression, nous verrons comment. Cela peut avoir des conséquences très graves.

## La dissolution des gaz dans les liquides

Le corps humain est composé de liquide. Nous simplifierons donc notre exposé en considérant que physiquement les organes se comportent comme un liquide.

Que se passe-t-il lorsque qu'un gaz est mis en contact avec un liquide?

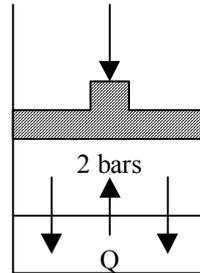
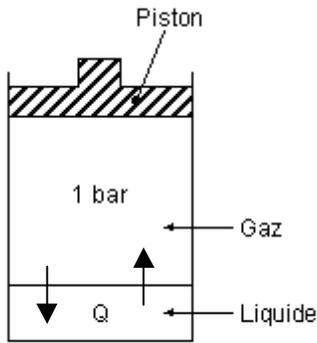
La pression qu'exerce le gaz sur le liquide, pousse une petite partie de ce gaz dans le liquide. On dit que le gaz se dissout. La meilleure preuve qu'il y a du gaz dissous dans les liquides est de déboucher une bouteille de bière. Les bulles sont du gaz dissous dans la bière qui est rejeté par celle-ci.

La quantité de gaz qui rentre dans le liquide est proportionnelle à la pression qu'exerce le gaz sur le liquide.

De même, l'expérience de la bouteille de bière, nous montre que le gaz dissout s'échappe du liquide.

De nouveau, la quantité de gaz dissout rejeté par le liquide est proportionnelle à la quantité de gaz dissout.

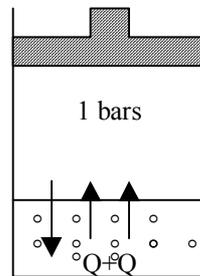
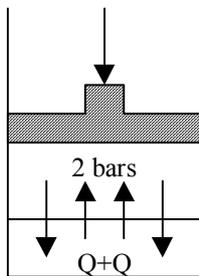
Reprenons avec un exemple: Que se passe-t-il lorsque l'on augmente la pression d'un gaz au-dessus d'un liquide ?



Q : quantité de gaz dissous

Le gaz et le liquide sont en contact depuis longtemps. Il y a autant de gaz qui rentre, que de gaz qui sort. Le système est à l'équilibre.

En augmentant la pression exercée par le gaz sur le liquide, la quantité de gaz qui rentre dans le liquide est plus importante. Cela augmente donc la quantité de gaz dissous. Ce processus est assez long (suivant les liquides et gaz de quelques minutes à des jours).



L'augmentation lente de la quantité de gaz dissous augmente aussi la quantité de gaz rejeté. Après un long moment, un nouvel équilibre est atteint. Mais, il y a alors plus de gaz dissout dans le liquide.

En diminuant la pression, il y a alors beaucoup plus de gaz qui est rejeté du liquide, que de gaz qui rentre. Il y a déséquilibre. Une grande quantité de gaz est rejeté du liquide. Cette quantité est si importante, que le gaz reprend sa forme gazeuse avant même d'avoir atteint la surface d'échange: il apparaît des bulles. Cela ressemble étrangement à notre bière

Cette petite expérience montre que la variation de pression va intervenir sur la quantité de gaz dissous dans un liquide. Il faut aussi retenir que se sont des équilibres qui sont long à obtenir et que les paramètres qui définissent l'échange seront très important pour comprendre le film des évènements.

Ainsi, nous allons décrire dans un premier temps une loi qui définit la quantité de gaz dissous à l'équilibre. Puis nous verrons que de nombreux paramètres peuvent influencer sur cette quantité.

La durée pour atteindre cet équilibre dépend de beaucoup de choses (type de liquide, agitation, température, etc.). Elle est importante pour modéliser les accidents de décompression. Même si ceci sort complètement du programme d'un niveau II, il y a une petite notice explicative à la fin de ce chapitre.

Ce qu'il faut savoir, c'est que cette durée répond à une modélisation complexe et que les tables de décompression ne sont pas du tout le résultat d'un simple calcul de proportion. Les tables sont issues de modélisations complexes que le plongeur ne va certainement pas refaire dans sa cave.

## LOI DE HENRY

Elle définit la quantité de gaz dissous dans un liquide quand il y a un équilibre entre les échanges. Cet équilibre s'appelle la saturation.

A température constante et à saturation la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnel à la pression exercée par ce gaz à la surface du liquide

## FACTEURS DE DISSOLUTION

Voici quelques facteurs intervenant sur la qualité des échanges et donc sur la quantité de gaz dissous. Même si la loi d'Henry est assez précise, il convient de savoir qu'elle n'explique pas complètement tout le phénomène.

Facteurs et tendances	Application à la plongée
La nature du gaz :	Azote non consommé Hélium non consommé (cas des mélanges)
La nature du liquide:	Graisses Muscles Sang, eau
La température : Si $T \downarrow$ alors $Q \nearrow$	Plongée en eau froide = danger $T^{\circ}C = 37^{\circ}C$ du plongeur
La pression : Si $P \nearrow$ alors $Q \nearrow$	Profondeur de la plongée
Le temps : Si $Tps \nearrow$ alors $Q \nearrow$	Durée de la plongée
La surface de contact : Si $S \nearrow$ alors $Q \nearrow$	Organes contenant + ou - de sang
L'agitation : Si $A \nearrow$ alors $Q \nearrow$	Effort en plongée = danger

## LES ETATS DE LA SATURATION

Voyons maintenant ce qui se passe lors d'une plongée. Nous parlerons alors d'état de saturation plutôt que d'équilibre. De plus, les temps de plongée n'étant pas assez long pour atteindre ces états d'équilibre décrit par la loi d'Henry, nous verrons que le plongeur n'est que très rarement en saturation.

### A la surface:

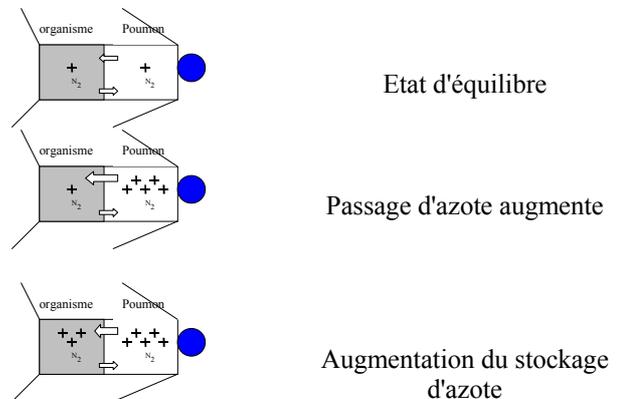
Il y a équilibre entre l'azote qui rentre et qui sort de l'organisme.

### A la descente:

La pression augmente. La quantité d'azote qui traverse la membrane pulmonaire est plus importante. L'organisme réagit en stockant de l'azote.

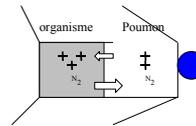
### Pendant la plongée:

Les phénomènes d'échange et de stockage d'azote sont lents. L'accumulation d'azote dépend de la pression (profondeur) mais aussi du temps resté au fond.



### A la remontée:

La pression diminue. L'azote se retrouve en quantité plus importante dans le sang que dans les poumons. Il traverse la membrane en sens inverse pour être évacué vers l'extérieur à chaque expiration du plongeur. Le stockage d'azote dans l'organisme diminue et va tendre à redevenir à l'identique à celui du départ. L'évacuation de cet azote en excédent dépend de la baisse de pression, donc de la remontée, mais ce phénomène est lent.

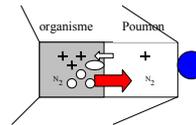


Diminution du stockage d'azote

---

### Si remontée trop rapide:

L'azote reprend sa forme de gaz alors qu'il est encore dans le sang. Les bulles ainsi formées vont se déplacer dans l'organisme et risquent de provoquer un accident grave dit de décompression.



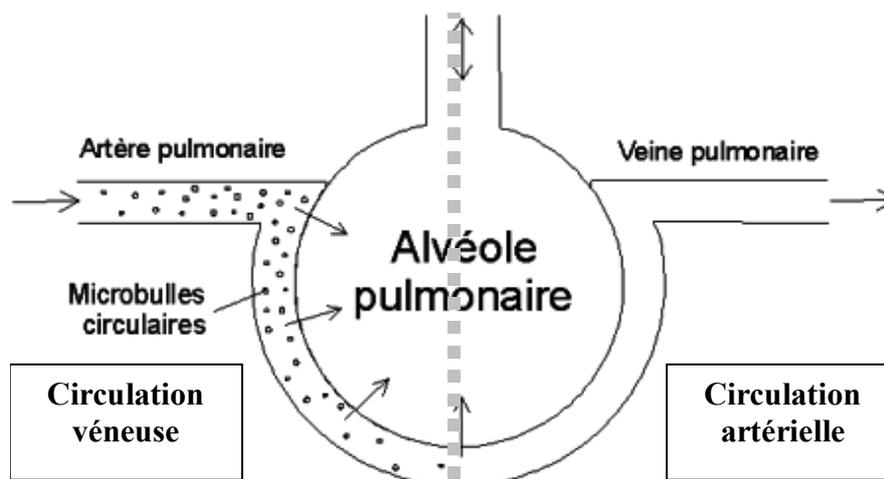
Diminution trop rapide du stockage d'azote  
**BULLES**

## Mécanisme des accidents de décompression

### Le filtre pulmonaire

Quand la pression des gaz dissous dans les tissus est supérieure à la pression extérieure, les tissus sont sursaturés: des bulles peuvent alors se former, comme lorsqu'on ouvre doucement une bouteille de boisson gazeuse. Ces petites bulles sont éliminées par le sang (circulation veineuse) puis la respiration.

=> **Tous se passent bien**

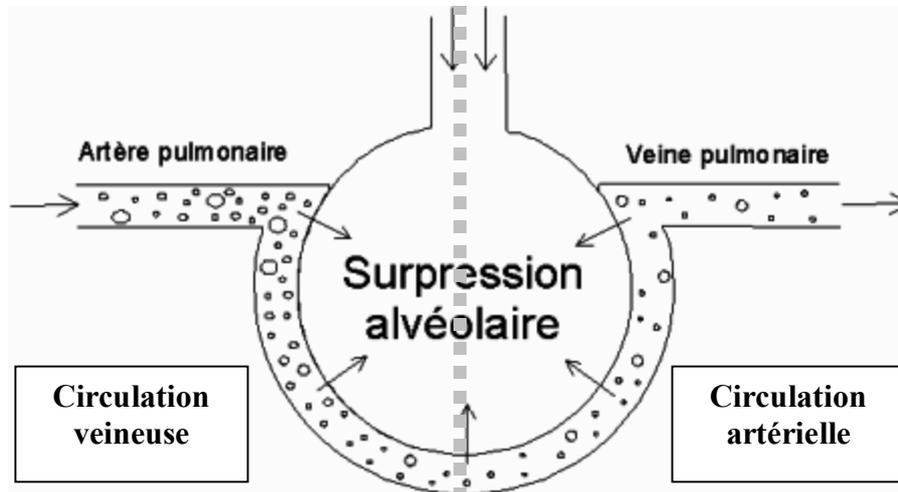


### Le shunt pulmonaire

Si pendant la remontée, on effectue une manœuvre de Valsalva ou un gonflage à la bouche du gilet, il peut y avoir hyperpression pulmonaire, supérieure à la pression des microbulles qui ne peuvent donc plus traverser la paroi alvéolaire. Elles repartent dans la circulation sanguine (circulation artérielle). Les bulles se propagent alors dans tout le corps!

De même une arrivée trop importante de bulles, due à une remonté trop rapide, ne peut plus être éliminée par le filtre pulmonaire.

⇒ **Accidents De Décompression**



**L'embolie Gazeuse**

S'il y a dépassement de la sursaturation critique donc dégazage incontrôlé et formation de grosses bulles : blocage de la circulation, aggravé par la loi de Mariotte qui grossit encore les bulles et les transforme en manchons gazeux.

⇒ **asphyxie des organes en aval = Accident De Décompression.**

**Cas particulier du shunt cardiaque: le FORAMEN OVALE**

**Pour information**

Une malformation cardiaque (Elle touche 10 à 20% de la population) est la persistance du foramen ovale, une petite ouverture entre l'oreillette gauche et l'oreillette droite du cœur. Cette ouverture permet donc le passage des bulles de l'oreillette droite vers l'oreillette gauche. Ces bulles vont donc rejoindre la grande circulation et aller vers le cerveau et divers organes, qu'elles peuvent endommager.

⇒ **Accident de décompression.**

**Cœur normal**

Les bulles formées par l'organisme sont pompées dans les poumons où elles sont éliminées par le filtre pulmonaire

**Cœur malformé**

Les bulles formées par l'organisme retournent dans l'organisme et ne peuvent être éliminées correctement

**Risque d'un ADD**

## Symptômes

Le plongeur ressent généralement une grande fatigue et une grande lassitude.

Il est classique de classer et de décrire les divers ADD selon leurs localisations :

- Les **puces** et les **moutons**, démangeaisons, petites boursouflures ou marbrures qui sont liés à un dégazage sous la peau.
- **Perte ou altération de fonction sensorielles** (ouïe, parole, touché...) une partie du système neurologique est touché.
- Fourmillement dans les jambes, motricité difficile (ne tiens plus debout), **paralysie** : monoplégie, hémiplégie, paraplégie, tétraplégie. C'est également un accident neurologique.
- Des bulles peuvent également se former au niveau des oreilles, dans l'oreille interne par exemple et entraîner des **vertiges vomissements, pertes d'équilibre, mauvaise latéralisation** (à ne pas confondre avec un barotraumatisme, dans le doute, traité comme un Accident de décompression: évacuation d'urgence vers centre hyperbare)
- Une bulle dans l'artère pulmonaire entraînera des difficultés de respiration.
- Le plongeur peut également décéder au cours de la remontée si des zones vitales sont touchées : **embolie** cérébrale-cardiaque-pulmonaire.

Les plus fréquents, et les plus graves sont les accidents neurologiques (70% des cas)  
Le délai d'apparition des symptômes après la sortie de l'eau peut varier dans de très larges limites

Les statistiques montrent :

- 60% des ADD débutent avant 15 minutes
- 80% des ADD débutent avant 1 heure
- 85% des ADD débutent avant 3 heures
- 2% des ADD débutent après 6 heures (Il a été observé des ADD se révélant après 20 heures)

**En temps que N2 tu dois savoir reconnaître un risque d'ADD pour pouvoir prévenir le directeur de plongée. Même remarque que pour la surpression: il n'y a pas de honte à se faire soigner pour rien. Il est très grave de ne rien faire.**

## Quelques détails pour informations

### Les accidents cutanés: puces et moutons

Considérés comme des accidents bénins, ils sont dus à la présence de bulles dans la couche cellulo-adipeuse du derme et de l'hypoderme.

Ils surviennent essentiellement en atmosphère sèche: combinaisons étanche, caisson

- Les puces: sensations de piqûres superficielles très vives
- Les moutons: œdèmes cutanés et sous cutanés souvent douloureux. Peuvent annoncer un accident plus grave

### Les accidents ostéo-articulaires:

Os, articulations, cartilages et muscles (BENDS des Anglais)

Douleur lancinante dont l'intensité augmente avec le temps, non calmée par les antalgiques

courants

### **Les accidents neurologiques**

#### **Médullaires**

Ils sont les plus fréquents et siègent au niveau de la moelle épinière. Les symptômes sont :

- Fourmillements dans les jambes
- Peuvent aller jusqu'à la paraplégie (paralysie des jambes)
- Impossibilité d'uriner

*Remarque :*

Cet accident est toujours d'origine ADD et jamais de surpression pulmonaire

#### **Vestibulaires**

Dégazage au niveau de l'organe de l'équilibre (oreille interne) avec apparition peu de temps après la sortie de l'eau d'un vertige intense, rotatoire accompagné de nausées et de vomissements.

#### **Cérébraux**

Issu d'un ADD, ils sont rares et ont pour origine le forçage du filtre pulmonaire ou le foramen ovale.

La surpression pulmonaire peut avoir la même conséquence

Les symptômes sont :

- Fatigue générale, pâleur, angoisse
- Aphasie, crises convulsives
- Perte des sens (vue, ouïe, parole)
- Paralysie : monoplégie  
hémiplegie  
quadriplégie
- Syncope et mort

### **Les accidents cardiaques**

Infarctus du myocarde par dégazage dans une artère coronaire (Artère qui alimente le cœur)

### **Les accidents pulmonaires**

Insuffisance respiratoire aiguë due au dégazage dans l'artère pulmonaire ou dans l'une des ses branches

## Prévention

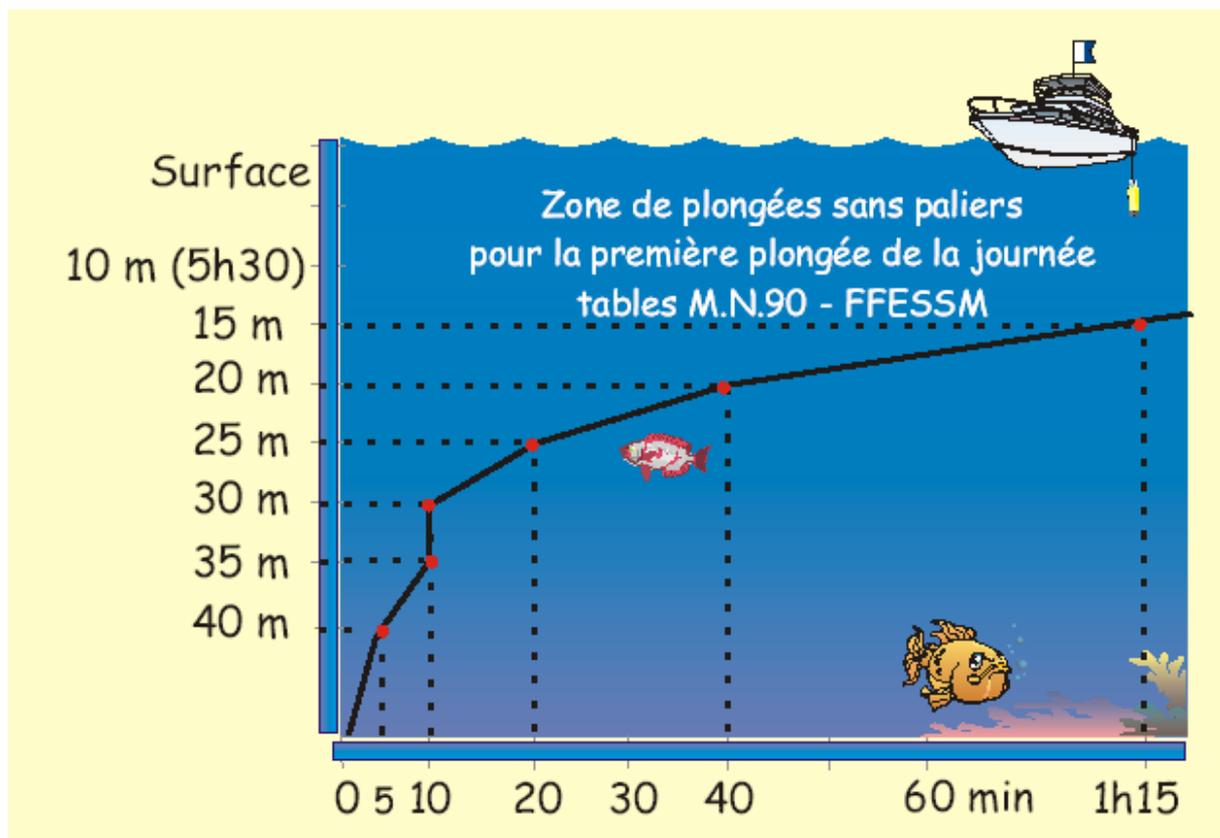
- Respect de la vitesse de remontée: 15 m/min max.
- Respect des paliers avec une bonne ventilation(toujours un palier de principe)
- Respect des règles des tables (consécutives, successives, etc.)
- Ne pas allonger les paliers au "pifomètre". Seul le palier de 3 mètres peut être allongé sans risque
- Pas de Valsalva en remontant (ni au palier)
- Pas d'effort pendant et après la plongée
- Pas d'altitude supérieure après la plongée (montagne, avion)

- Ne pas plonger en cas de fatigue physique ou morale, ou sous traitement médical
- Connaître le centre de recompression le plus proche
- Avoir à bord O<sub>2</sub>, aspirine, eau douce, VHF

**Aucune légèreté sur ces préventions n'est acceptable**

Plongée sans palier

### Courbe de sécurité



Conduite à tenir

Ce paragraphe t'est donné surtout pour information. Dans tous les cas il devrait y avoir un directeur de plongé pour réagir. Mais il peut être utile que tu connaites ces gestes pour aider.

- **Ne pas croire que ça va passer!**  
**D'où l'intérêt de bien prévenir au moindre soupçon.**
- Position déclive d'environ 30°; tête en bas (pour faire monter les bulles dans les jambes)

- Sécher, réchauffer, rassurer
- Oxygénothérapie normobare
- Augmentation du gradient de pression entre le gaz inerte intra bullaire et alvéolaire pour favoriser son rejet dans les gaz expirés
- Oxygénation des tissus en aval des manchons par passage d'O<sub>2</sub> dans celui ci
- Aspirine 500 mg
- Diminution par l'aspirine des agrégations des plaquettes sanguines qui se forment au contact des manchon gazeux
- Eau douce
- Rendre le sang plus fluide
- Favoriser l'envie d'uriner et éliminer de l'azote dissous dans l'urine
- Recompression en caisson multiplace
- Réduire le volume dans manchons (Mariotte)
- élévation PPO<sub>2</sub> et mieux oxygéner les tissus

**Remarques :**

**Recompression dans l'eau proscrite de même que le caisson monoplace car l'assistance est impossible (syncope) et il y a risque d'un 2<sup>ème</sup> ADD en cas de problème.**

## Conclusion

En voyant la complexité des mécanismes et le nombre de causes pouvant être à l'origine d'un ADD, l'on se doute que le risque zéro ne peut exister en plongée. Les nouvelles connaissances sur la maladie de la décompression ont permis de perfectionner les tables de plongée et les algorithmes informatiques. Mais cela ne suffit pas. Le progrès majeur est peut être d'avoir compris que la prévention repose sur les probabilités: la limite entre sécurité et danger n'est pas nette.

La crédibilité de la méthode probabiliste réside dans son approche réaliste de la sécurité. La sécurité est satisfaisante lorsque la probabilité d'accident est inférieure à une valeur acceptée par la plongeur. Un jour viendra où les ordinateurs de plongée fonctionneront sur des modèles probabilistes permettant de définir la probabilité qui convient et de mener sa plongée en conséquence.

### **A RETENIR**

#### **Le mécanisme:**

Comprendre Henry.

Etre capable d'expliquer le mécanisme dans ces grandes lignes

#### **Symptômes:**

*Grande fatigue*

*Fourmillement*

*Paralysie*

*Attention ces symptômes peuvent avoir lieu plusieurs heures après la plongée*

*Ce surveiller entre membre d'une même palanquée*

#### **Prévention:**

**Connaître les règles de sécurité écrites à la fin du chapitre**

# Table de plongée 1<sup>ère</sup> partie

Semaine du 19,20 Janvier

## Rappels sur les A.D.D

Pour éviter un accident de décompression il faut

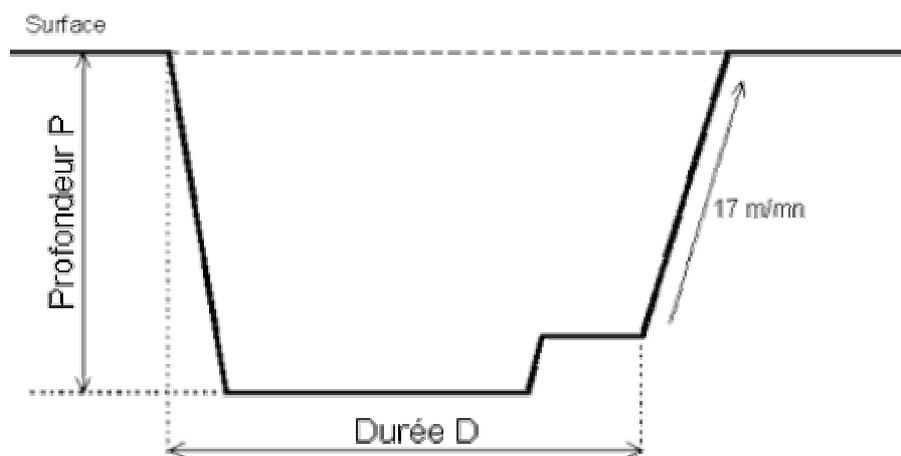
- remonter entre 15 et 17 m/mn max..
- effectuer des paliers

En tant que plongeur autonome, il est vital de maîtriser l'utilisation et la manipulation des tables de plongées.

## Historique

En 1990, la table GERS65 (Groupe d'Etudes et de Recherches Sous-marine) est remplacée par la nouvelle table de la Marine Nationale. Les modifications portent essentiellement sur le nombre de tissus pris en compte dans la méthode de calcul. En 1994, la Marine Nationale passe l'intervalle dans lequel une 2<sup>ème</sup> plongée est considérée comme successive de 8h30 à 12h00. En 1998, la CEPISMER (Commission d'Etudes Pratiques d'Intervention Sous La Mer) modifié le mode d'emploi des tables de plongée MN90. Les modifications interviennent seulement dans l'utilisation de la table.

## Les Paramètres de la plongée



P : Profondeur maximum de la plongée

D : Durée de la plongée sans le temps de remontée

## Remonté normale

Exemple :

Profondeur	Durée	Durée des paliers à				Groupe
		12 m	9 m	6 m	3 m	
42 m	5					C
	10				2	E
	15				5	G
	20			1	12	I
	25			3	22	J
	30			6	31	L
	35			11	37	M
	40		1	16	43	N
	45		3	21	47	*
	50		6	24	50	*
	55		8	29	55	*
	1h00		13	30	60	*

### Profondeur et durée

Si la profondeur exacte de notre plongée ne se trouve pas dans la table, prendre la profondeur immédiatement supérieure.

Si la durée exacte de la plongée ne se trouve pas dans la table, prendre la durée immédiatement supérieure.

## Groupe de Plongée successive

Cette lettre représente la tension d'azote résiduel que nous avons après la première plongée, quantité d'azote qu'il faudra prendre en compte dans le cas où nous effectuons une deuxième plongée.

### **Méthode de calcul**

La vitesse de remontée jusqu'au 1<sup>er</sup> palier est de 15 m/mn dans les problèmes  
La durée de remontée entre chaque paliers est de 30 secondes

Calcul de la durée totale de la remontée (DTR):

1. Calculer la distance depuis le fond jusqu'au 1<sup>er</sup> palier ou bien jusqu'à la surface
2. Calculer la durée de cette remontée (DR) par la formule :

$$\text{Distance en mètre} = \frac{\text{Durée en minute}}{15}$$

3. Ajouter la durée éventuels des paliers ainsi que les durées de passage d'un palier à un autre (0,5 minute).
4. Arrondir à l'entier supérieur à la somme obtenue.

Exemple :

1. soit une plongée à 20 mètres sans palier  
 $DTR = 20 / 15 = 1,33$  soit 2 minutes
2. soit une plongée à 28 mètres avec un palier de 12 minutes à 3 mètres  
 $Distance\ de\ remontée = 28 - 3 = 25\ mètres$   
 $DR = 25 / 15 = 1,66\ min$   
 $DTR = 1,66 + 12 + 0,5 = 14,16$  soit 15 minutes

### **Dans un problème**

Toujours faire un schéma très clair (cela permet d'éviter des erreurs d'inattentions)  
Y mettre le plus d'informations possible :

- Toutes les profondeurs
- Toutes les durées
- Toutes les heures
- Tous les groupes de plongées successives

### **Exercices**

*Les solutions seront données sans graphiques à la fin du chapitre.*

C'est la première plongée, ou la seule plongée de la journée ou d'une plongée après 8h30 de la sortie précédente.

Exercices 1 :

Ernest plonge à 9h00 à une profondeur max. de 22 mètres. Au bout de 35 minutes il remonte. Donner l'allure de la plongée et calculer l'heure de sortie ?

### Exercices 2 :

Jean-Marcel plonge à 11h00 à une profondeur de 26 mètres. Au bout de 26 minutes il remonte. Donner l'allure de la plongée et calculer l'heure de sortie ?

### Exercices 3:

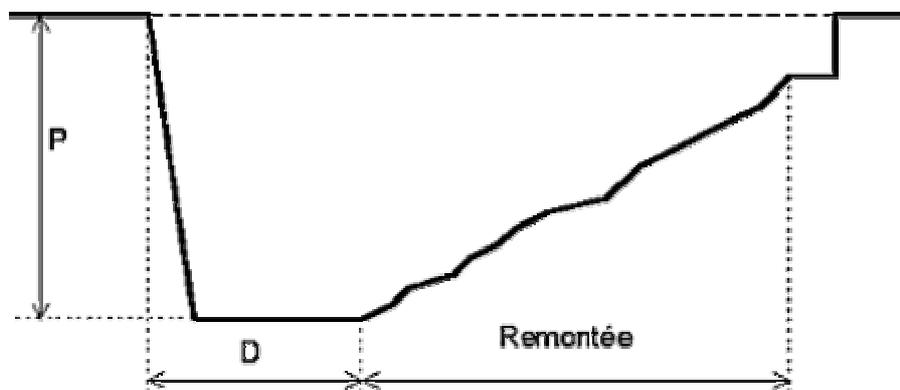
Patrick plonge à 8h00 à une profondeur de 41 mètres. A 8h15 il est à 19 mètres ou il reste encore 10 minutes, puis il remonte. Donner l'allure de la plongée et calculer l'heure de sortie ?

## Remonté anormale

### **Remontée lente :**

Il s'agit d'une plongée où la vitesse de remonter est inférieure à celle préconisée. Il faut donc prendre en compte la durée de la remontée

Exemple :



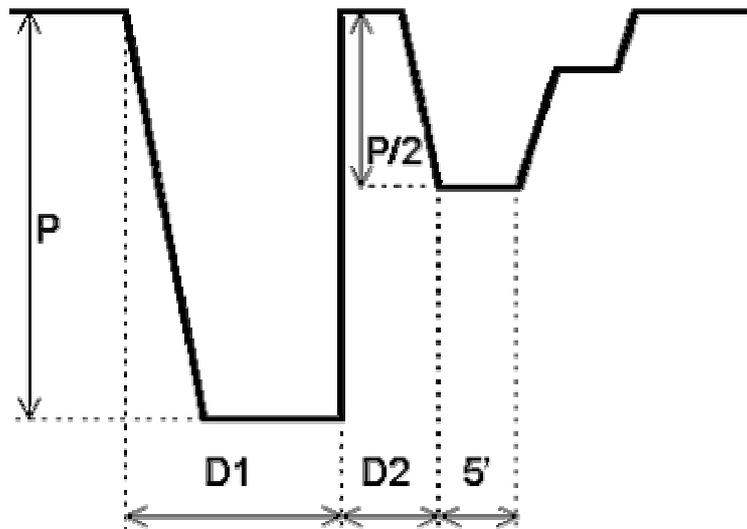
### Exercice 4:

Daniel plonge à 9h00 à une profondeur de 40 mètres. A 9h08 il commence une remontée lente de 10 mètres/minutes. A 9h10 il joue avec des poissons (ou une sirène ?) pendant 10 minutes. Donner l'allure de la plongée ainsi que l'heure de sortie ?

### **Remontée rapide :**

Suite à un incident il peut être nécessaire de faire une remontée rapide sans respecter les paliers et la vitesse de remonter.

Exemple :



La procédure préconisée dans ce cas est

- De résoudre le problème en surface en moins de 3 minutes
- De redescendre à la moitié de la profondeur maximum atteinte au cours de la plongée
- De séjourner 5 minutes à cette profondeur
- De prendre en compte comme durée de plongée, ( pour le calcul de la décompression ) le temps total depuis la première immersion jusqu'à la fin du palier de 5 minutes à demi profondeur.

#### Exercice 5:

*Fernand plonge à 10h00 à une profondeur de 20 mètres. A 10h10 il fait une fausse manipulation du gilet et ce retrouve en surface. Il lui faut 3 minutes pour vider le gilet... Donner l'allure de la plongée ainsi que ce qu'il doit faire, calculer l'heure de sortie ?*

#### Exercice 6:

*Léon plonge à 10h00 à une profondeur de 30 mètres. Au bout de 15', il a une panne de détendeur et remonte en 1 minute. Il lui faut 2 minutes pour replonger. Donner l'allure de la plongée ainsi que ce qu'il doit faire, calculer l'heure de sortie ?*

#### Exercice 7:

*Spirou et Fantasio plongent à 15h00 à une profondeur de 43 mètres. A 15h10, suite à une erreur de manipulation du gilet, Spirou est en surface ! Il faut 3 minutes à Fantasio pour trouver son copain et redescendre. Donner l'allure de la plongée ainsi que ce qu'ils doivent faire, calculer l'heure de sortie ?*

## Palier Interrompu

Si après une plongée nous avons des paliers à effectuer, et si au cours d'un de ces paliers, nous avons un ennui quelconque (panne d'air), et que nous sommes obligés d'interrompre ce palier nous devons recommencer le palier interrompu dans un délais de 3 minutes, et continuer la procédure.

#### Exercice 8:

*Christian plonge à 10h00 à une profondeur de 39 mètres. Après 20 minutes il remonte. A 10h27 il a une panne d'air, il remonte chercher une bouteille. Donner l'allure de la plongée ainsi que ce qu'il doit faire, calculer l'heure de sortie ?*

Exercice 9:

*Jessica plonge à 11h00 à une profondeur de 30 mètres. Elle remonte à 11h50. Son détendeur tombe en panne à 12h30. Donner l'allure de la plongée ainsi que ce qu'elle doit faire, calculer l'heure de sortie ?*

Exercice 10:

*Jean-Pierre part en plongée à 16h00. Il descend sur un tombant à 36 mètres puis entame en remontée lente en zigzag. Après 25 minutes il se retrouve à 3 mètres. Donner l'allure de la plongée ainsi que l'heure de sortie ?*

## La planification d'une plongée

Ce cours montre l'importance d'avoir de l'air à la fin de sa plongée pour réaliser ses paliers. Il faut donc avoir des notions qu'en au calcul de consommation d'air d'un plongeur.

Il est généralement admis qu'un plongeur respire environ 20 litres par minutes d'air à la pression absolue. C'est une valeur très relative qui dépend énormément de l'activité physique et psychique du plongeur.

Calculons par exemple le temps que peut rester un plongeur à 10m et à 30m, avec une bouteille de 12 l gonfler à 200b avant qu'il ne reste plus que 50b dans la bouteille. On négligera le temps de descente.

En utilisant Mariotte:  $P_{\text{bouteille}} \cdot V_{\text{bouteille}} = (200-50) \times 12 = 1800$

Le 200-50 correspond au fait que nous n'utilisons que 150b de cette bouteille, les 50 restant étant une réserve.

**A 10m:**

$P_{\text{abs}} = 2b.$

On a alors  $P' \cdot V' = 2 \cdot V' = 1800 \quad V' = 900/2$

D'où  $V' = 450$  litre d'air disponible à 10m.

On obtient enfin la durée en divisant par la consommation par minute:

$$T = V' / 20 = 900 / 20 = 45 \text{ minutes}$$

**A 30m:**

$P_{\text{abs}} = 4b.$

On a alors  $P' \cdot V' = 4 \cdot V' = 1800 \quad V' = 1800/4$

D'où  $V' = 450$  litre d'air disponible à 30m.

On obtient enfin la durée en divisant par la consommation par minute:

$$T = V' / 20 = 450 / 20 = 22,5 \text{ minutes}$$

**Comme l'air se comprime, plus nous respirons profond, plus nous consommons une grande quantité d'air. Ainsi, la durée de la plongée est bien plus courte à 30m qu'à 20m.**

Exercice 11:

*Partons plongé à 40m avec un 15 litres gonflé à 200b, combien de temps peut t'on rester à cette profondeur avant que la bouteille ne soit à 50b?*

Il faut donc savoir à l'avance si nous avons assez d'air à la fin de la plongée pour faire l'ensemble des paliers. Sachant que les manomètres sont assez peu précis, et que les détendeurs ne fonctionnent plus très bien lorsque la pression est trop basse dans la bouteille. Il est donc important de garder en tête quelques chiffres de durée MAXIMUM d'une plongée pour réaliser ses paliers en toute tranquillité. Ces chiffres sont éminemment variable suivant les capacités de chacun.

	12 litres 200b	15 litres 200b
10m	1h	1h15
20m	40min	1h
30m	20min	25min
40m	10min	15min

Il est du devoir du chef de palanqué d'avoir largement assez d'air pour ses paliers.

## **A RETENIR**

**Etre capable de refaire tous les exercices de ce chapitre**

Solution 1:

$P = 22$  mètres

$D = 35$  minutes

Pas de paliers

$DTR = 22/15 = 1,46$  soit 2 minutes

Heure de Sortie = 9h00 + 0h35 + 0h02 = 9h37

Solution 2:

$P = 26$  mètres

$D = 26$  minutes

Palier : 6 minutes à 3 mètres

$DR = (26-3)/15 = 1,53$

$DTR = 1,53 + 6 + 0,5 = 8,03$  soit 9 minutes

Heure de Sortie = 11h00 + 0h26 + 0h09 = 11h35

Solution 3:

$P = 41$  mètres

$D = 15+10 = 25$  minutes

Palier : 3 minutes à 6 mètres

22 minutes à 3 mètres  $DR = (19-6)/15 = 0,86$

$DTR = 0,86 + 3 + 0,5 + 22 + 0,5 = 26,86$  soit 27 minutes

Heure de Sortie = 8h00 + 0h25 + 0h27 = 8h52

Solution 4:

$P = 40$  mètres

$D = 10+10 = 20$  minutes

Palier : 1 minute à 6 mètres

9 minutes à 3 mètres

Au moment de la remontée il se trouve à  $40-2*10=20$  mètres

$DR = (20-6)/15 = 0,93$

$DTR = 0,93 + 1 + 0,5 + 8 + 0,5 = 10,93$  soit 11 minutes

Heure de Sortie = 9h00 + 0h20 + 0h11 = 9h31

Solution 5:

$P = 20$  mètres

$D = 10+3+5 = 18$  minutes

Pas de palier

Au moment de la remontée il se trouve à  $20/2 = 10$  mètres

$DTR = 10/15 = 0,66$  soit 1 minutes

Heure de Sortie = 10h00 + 0h18 + 0h01 = 10h18

Solution 6:

$P = 30$  mètres

$D = 15+1+2+5 = 23$  minutes

Palier : 4 minutes à 3 mètres

Au moment de la remontée il se trouve à  $30/2 = 15$  mètres

$DR = (15-3)/15 = 0,8$

$DTR = 0,8 + 4 + 0,5 = 5,3$  soit 6 minutes

Heure de Sortie = 10h00 + 0h23 + 0h06 = 10h29

Solution 7:

$P = 43$  mètres

$D = 10+3+5 = 18$  minutes

Palier : 3 minutes à 6 mètres

15 minutes à 3 mètres

Au moment de la remontée ils se trouvent à  $43/2 = 21,5$  mètres  
 $DR = (21,5-6)/15 = 1,03$   
 $DTR = 1,03 + 3 + 0,5 + 15 + 0,5 = 20,04$  soit 21 minutes  
Heure de Sortie = 15h00 + 0h18 + 0h21 = 15h39

Solution 8:

$P = 39$  mètres  
 $D = 20$  minutes  
Palier : 1 minute à 6 mètres  
9 minutes à 3 mètres, groupe H  
 $DR = (39-6)/15 = 2,2$  minutes  
Sur le graphique on constate que c'est le palier 3m qui est interrompu  
Il a 3 minutes en surface puis doit refaire 9 minutes à 3 mètres  
 $DTR$  de 3 mètres =  $9 + 0,5 = 9,5$  soit 10 minutes Heure de sortie : 10h27 + 0h03 + 0h10 = 10h40

Solution 9:

$P = 30$  mètres  
 $D = 50$  minutes  
Palier : 3 minutes à 6 mètres  
36 minutes à 3 mètres, groupe M  
 $DR = (30-6)/15 = 1,6$  minutes  
Sur le graphique on constate que c'est le palier 3m qui est interrompu  
Elle a 3 minutes en surface puis doit refaire 36 minutes à 3 mètres  
 $DTR$  de 3 mètres =  $36 + 0,5 = 36,5$  soit 37 minutes Heure de sortie : 12h30 + 0h03 + 0h37 = 13h10

Solution 10:

$P = 36$  mètres  
 $D = 25$  minutes  
Palier : 1 minute à 6 mètres  
16 minutes à 3 mètres, groupe J  
Il aurait du faire un palier à 6 mètres  
Il doit donc redescendre à 6 mètres et faire les paliers normalement (car la vitesse remontée est respectée)  
 $DTR$  de 6 mètres =  $1 + 0,5 + 16 + 0,5 = 18$  minutes  
Heure de sortie : 16h25 + 0h18 = 16h43

Solution 11:

En utilisant Mariotte:  
 $P_{bouteille} \cdot V_{bouteille} = (200-50) \times 15 = 2250$   
**A 40m:**  
 $P_{abs} = 5b$   
On a alors  $P' \cdot V' = 5 \cdot V' = 2250$        $V' = 2250/5$   
D'où  $V' = 450$  litre d'air disponible à 40m.  
 $T = V' / 20 = 450 / 20 = 22,5$  minutes  
**ATTENTION 50b DANS CE CAS N'EST PAS SUFFISANT POUR FAIRE LES PALIERS**  
**40m, 25min => 2min à 6m et 19min à 3m BEAUCOUP TROP LONG!!!!**

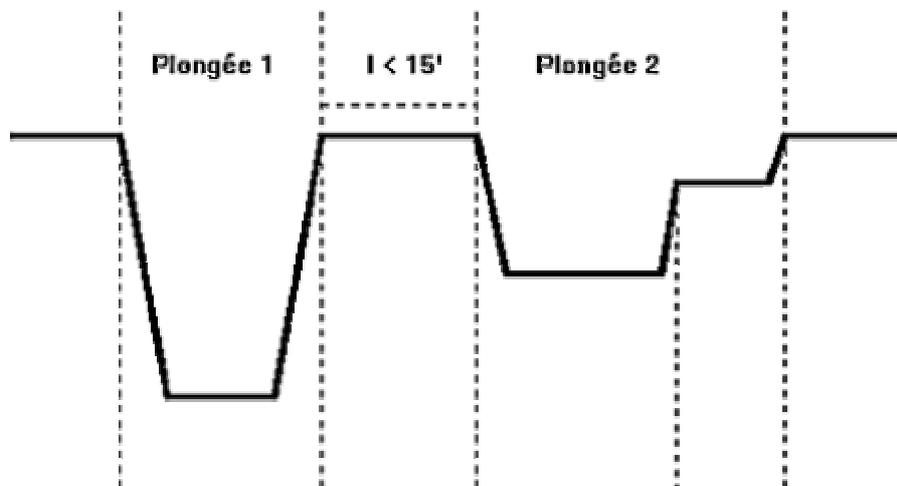
# Table de plongée 2<sup>ème</sup> partie

Semaine du 26,27 Janvier

## Introduction

Nous avons vu comment utiliser les tables pour une plongée simple, voyons maintenant comment calculer les paliers pour une deuxième plongée.

## Consécutives



Si l'intervalle I est inférieur à 15 minutes, on parle de plongée consécutive. Dans ce cas, on utilise la table comme si on avait fait une seule plongée avec les paramètres : P la profondeur maximum des 2 plongées, et on additionne les durées des 2 plongées...

*Solution en fin de chapitre*

Exercice 1:

*Hervé part pour une première plongée à 8h00: P = 40 mètres, durée 12 minutes*

*Puis il passe 14 minutes en surface*

*Il fait alors une deuxième plongée : P = 22 mètres, durée = 6 minutes*

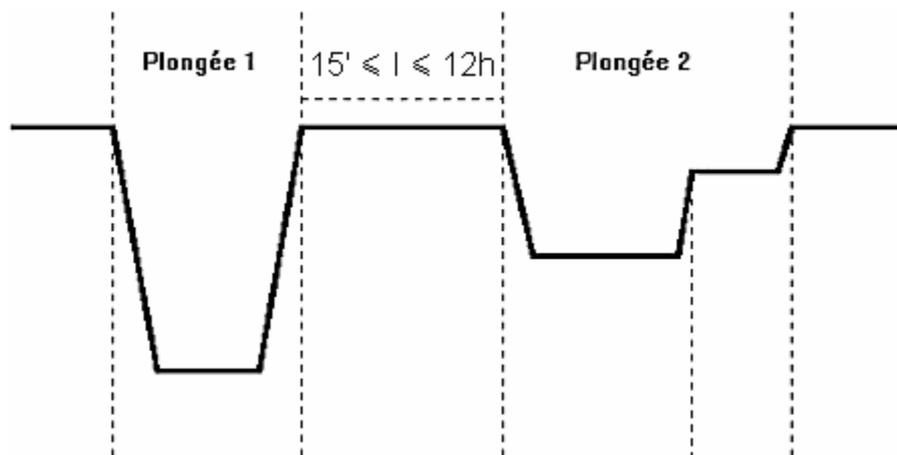
*Donner l'allure des plongées ainsi que l'heure de sortie ?*

Exercice 2:

Jean-Luc rencontre lors d'une plongée (départ 10h00, P = 15 mètres, durée 30 minutes) une sirène. Après le retour en surface il met 9 minutes pour changer de bouteille. Puis il repart chercher la sirène jusqu'à 34 mètres. Après 10 minutes de recherche vaine il décide de remonter. Donner l'allure des plongées ainsi que l'heure de sortie ?

## Plongées successives

Une 2ème plongée est considérée comme successive après 15 minutes et jusqu'à 12 heures



C'est lors de ce type de plongée qu'intervient le 'groupe de plongée successive'. Ce groupe (trouvé lors de la première plongée) et l'intervalle permettent de déterminer le taux d'azote résiduel. C'est à dire le reste d'azote encore saturé dans notre organisme suite à la 1ère plongée.

Groupe de plongée successive	Intervalles								
	15 min	30 min	45 min	1h00	.....	10h30	11h00	11h30	12h00
A	0,84	0,83	0,83	0,83	.....	0	0	0	0
B	0,88	0,88	0,87	0,86	.....				
C	0,92	0,91	0,90	0,89	.....				
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
K	1,41	1,36	1,32	1,27	.....	0,82	0,81	0,81	0,81
P	1,45	1,40	1,35	1,30	.....	0,82	0,82	0,81	0,81

Remarque

On prendra comme intervalle celui juste inférieur à l'intervalle réel. Puis on peut trouver d'après la profondeur de la deuxième plongée la majoration qu'il faut ajouter au temps de cette deuxième plongée. Cette majoration sert à tenir compte de la 1ère plongée.

Azote résiduel	Profondeur de la deuxième plongée								
	12 m	15 m	18 m	20 m	.....	25 m	55 m	58 m	60 m
0,82	4	3	2	2	.....	1	1	1	1
0,84	7	6	5	4	.....	2	2	1	1
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1,38	160	114	89	78	.....	26	24	23	22
1,42	180	126	97	85	.....	28	26	25	24
1,45	196	135	104	90	.....	29	28	26	25

### Remarque

- Pour le taux d'azote résiduel on prend celui juste supérieur ou égal
- Pour le profondeur il faut prendre celle prise en compte pour la décompression (donc la profondeur supérieure ou égale).

### Exercice 3:

Plongée 1 : Heure de départ=8h00 , P=40 mètres, durée 12 minutes

Intervalle = 2h00

Plongée 2 : P = 22 mètres, durée = 6 minutes

Donner l'allure des plongées ainsi que l'heure de sortie ?

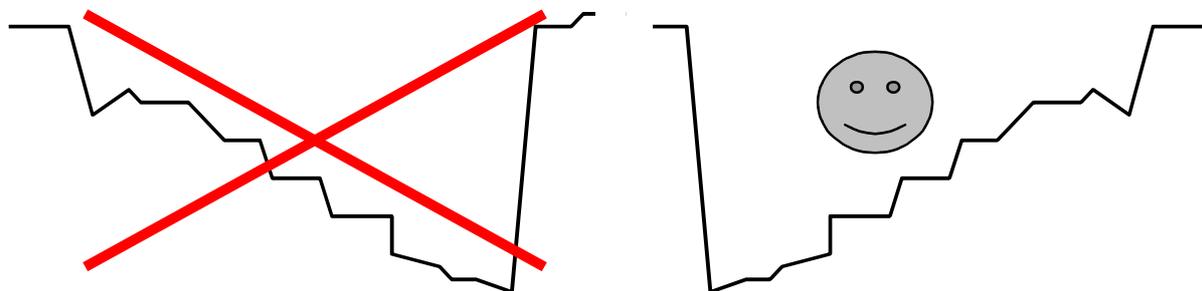
## Plongée à l'ordinateur

Il existe maintenant des ordinateurs qui calculent automatiquement les paramètres de remonter de la plongée. Ils sont généralement programmés à partir de tables plus contraignantes que les MN90.

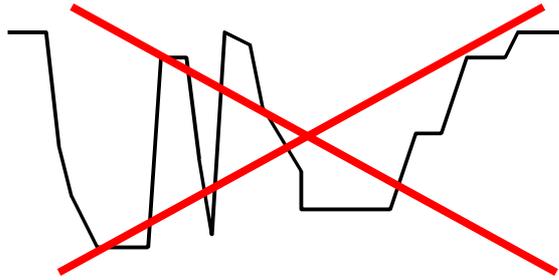
Le principe des ordinateur n'est pas de calculer de nouvelles tables qui ne considère que des plongée dite carré (une profondeur, un temps), mais d'ajuster en temps réel tous les paramètres qui sont introduit dans un modèle simplifié du corps humain. Ce modèle est lui calqué sur celui utilisé pour faire les tables. Ce procédé a l'avantage de gérer la plongée au mieux et de limiter les paliers au nécessaires.

Mais ces ordinateurs ont d'importante limitations:

- PAS DE PROFIL INVERSE



- PAS DE REMONTES RAPIDES OU REPETES (Exercices de stab)



Les chiffres alors donné par l'ordinateur ne sont que pure théorie, et il n'est pas rare qu'il n'est rien à voir avec l'état de santé du plongeur. Beaucoup de plongeurs parlent d'accidents immérité avec des ordinateurs à tort (même si cela existe aussi). Ils ont souvent dérogé à une de ces deux règles.

L'ordinateur est un outil agréable dont il faut connaître les limites.

## **A RETENIR**

**Etre capable de refaire tous les exercices de ce chapitre**

Solution 1:

$P1 = 40$  mètres

$D1 = 12$  minutes

Palier : 4 minutes à 3 mètres

$DR = (40-3)/15 = 2,46$

$DTR = 2,46 + 4 + 0,5 = 6,96$  soit 7 minutes

Heure de sortie 1ère plongée = 8h00 + 0h12 + 0h07 = 8h19

Heure de départ 2ème plongée = 8h19 + 0h14 = 8h33

$P2 = \max.(40,22) = 40$  mètres (fictifs)

$D2 = 12 + 6 = 18$  minutes (fictives)

Palier : 1 minute à 6 mètres

9 minutes à 3 mètres

$DR = (22-6)/16 = 1,06$  (on est à 22 mètres)

$DTR = 1,06 + 1 + 0,5 + 9 + 0,5 = 12,06$  soit 13 minutes

Heure de sortie 2ème plongée = 8h33 + 0h12 + 0h13 = 8h58

Solution 2:

$P1 = 15$  mètres

$D1 = 30$  minutes

Pas de palier

$DTR = 15/15 = 1$  minute

Heure de sortie 1ère plongée = 10h00 + 0h30 + 0h01 = 10h31

Heure de départ 2ème plongée = 10h31 + 0h09 = 10h40

$P2 = \max.(15,34) = 34$  mètres

$D2 = 30 + 10 = 40$  minutes (fictives)

Palier : 5 minutes à 6 mètres

34 minutes à 3 mètres

$DR = (34-6)/15 = 1,86$  minutes

$DTR = 1,86 + 5 + 0,5 + 34 + 0,5 = 41,86$  soit 42 minutes

Heure de sortie 2ème plongée = 10h40 + 0h10 + 0h42 = 11h32

Solution 3:

$P1 = 40$  mètres

$D1 = 12$  minutes

Palier : 4 minutes à 3 mètres, groupe G

$DR = (40-3)/15 = 2,46$

$DTR = 2,46 + 4 + 0,5 = 6,96$  soit 7 minutes

Heure de sortie 1ère plongée = 8h00 + 0h12 + 0h07 = 8h19

Heure de départ 2ème plongée = 8h19 + 2h00 = 10h19

Azote résiduel = 0,96

$P2 = 22$  mètres

Majoration = 20 minutes  $D2 = 6 + 20 = 26$  minutes (fictives)

pas de palier, groupe G

$DTR = 22/15 = 1,46$  soit 2 minutes

Heure de sortie 2ème plongée = 10h19 + 0h06 + 0h02 = 10h27

Plongée 1 à 9h00 :  $P = 40$  mètres, durée 15 minutes

Plongée 2 à 14h00 :  $P = 40$  mètres, durée 15 minutes

Donne l'allure des plongées ainsi que l'heure de sortie ? Solution :

$P1 = 40$  mètres

$D1 = 15$  minutes

Palier : 4 minutes à 3 mètres, groupe G

$DR = (40-3)/15 = 2,46$

$DTR = 2,46 + 4 + 0,5 = 6,96$  soit 7 minutes

Heure de sortie 1ère plongée = 9h00 + 0h15 + 0h07 = 9h22

Heure de départ 2ème plongée = 14h00

*Intervalle = 4h38 Azote résiduel = 0,87*

*P2 = 40 mètres*

*Majoration = 5 minutes D2 = 15 + 5 = 20 minutes (fictives)*

*Palier : 1 minutes à 6 mètres 9 minutes à 3 mètres, groupe H*

*DR = (40-6)/15 = 2,26 DTR = 2,26 + 1 + 0,5 + 9 + 0,5 = 13,26 soit 14 minutes*

*Heure de sortie 2ème plongée = 14h00 + 0h15 + 0h14 = 14h29*

**ANNEXE**  
**ARRETE JUIN 1998**  
**TABLE MN90**

**Arrêté du 22 juin 1998 relatif aux règles techniques et de sécurité dans les établissements organisant la pratique et l'enseignement des activités sportives et de loisir en plongée autonome à l'air.**

NOR : MJSK9870068A

Le ministre de l'équipement, des transports et du logement et le ministre de la jeunesse et des sports

VU la loi n°84-610 du 16 juillet 1984 modifiée relative à l'organisation et à la promotion des activités physiques et sportives ;

VU le décret n°93-1101 du 3 septembre 1993 concernant la déclaration des établissements dans lesquels sont pratiquées des activités physiques et sportives et la sécurité de ces activités ;

VU l'arrêté du 23 novembre 1987 modifié relatif à la sécurité des navires ;

VU l'arrêté du 13 janvier 1994 relatif à la déclaration d'ouverture prévue aux articles 1<sup>er</sup> et 2 du décret n°93-1101 du 3 septembre 1993 concernant la déclaration des établissements dans lesquels sont pratiquées des activités physiques et sportives et la sécurité de ces activités.

**ARRÊTENT :**

Art. 1 : Les établissements mentionnés à l'article 47 de la loi du 16 Juillet 84 modifiée susvisée, qui organisent la pratique ou dispensent l'enseignement de la plongée subaquatique autonome à l'air sont soumis aux règles de technique et de sécurité définies par le présent arrêté.

Art.2 : Les annexes I à IV du présent arrêté déterminent :

- Les niveaux de pratique des plongeurs et équivalences de prérogatives (Annexe I).
- Les niveaux d'encadrement (Annexe II).
- Les conditions de pratique de la plongée en milieu naturel (Annexe III a, III b).
- Le contenu de la trousse de secours (Annexe IV).

**Titre 1<sup>er</sup> : Le directeur de plongée**

Art.3 : La pratique de la plongée est placée sous la responsabilité d'un directeur de plongée présent sur le site qui fixe les caractéristiques de la plongée et organise l'activité. Il s'assure de l'application des règles définies par le présent arrêté.

Art.4 : Le directeur de plongée en milieu naturel est titulaire au minimum :

- du niveau 3 d'encadrement.
- ou du niveau 5 de plongeur uniquement en cas d'exploration.

Il faut entendre par exploration, la pratique de la plongée en dehors de toute action d'enseignement.

Art.5 : Lorsque la plongée se déroule en piscine ou fosse de plongée dont la profondeur n'excède pas six mètres, le directeur de plongée est titulaire au minimum du niveau 1 d'encadrement. Le directeur de plongée autorise les plongeurs de niveau I ayant reçu une formation adaptée à plonger entre eux et les plongeurs de niveau 4 à effectuer les baptêmes.

La plongée dans une piscine ou fosse de plongée dont la profondeur excède six mètres est soumise aux dispositions relatives à la plongée en milieu naturel.

#### Titre 2 : Le guide de palanquée

Art.6 : Plusieurs plongeurs qui effectuent ensemble une plongée présentant les mêmes caractéristiques de durée, de profondeur et de trajet constituent une palanquée.

Une équipe est une palanquée réduite à deux plongeurs.

Art.7 : Le guide de palanquée dirige la palanquée en immersion. Il est responsable du déroulement de la plongée et s'assure que les caractéristiques de celle-ci sont adaptées aux circonstances et aux compétences des participants.

L'encadrement de la palanquée est assuré par un guide de palanquée titulaire des qualifications mentionnées en annexe II du présent arrêté et selon les conditions de pratique définies en annexe III.

En situation d'autonomie, les plongeurs majeurs de niveau égal ou supérieur au niveau 2 peuvent évoluer en palanquée sans guide selon les conditions définies en annexe III.

#### Titre 3 : Matériel d'assistance et de secours

Art.8 : Les pratiquants ont à leur disposition sur les lieux de plongée, le matériel de secours suivant :

- un moyen de communication permettant de prévenir les secours;
- une trousse de secours dont le contenu minimum est fixé en annexe IV du présent arrêté;
- de l'eau douce potable non gazeuse;
- un ballon auto-remplisseur à valve unidirectionnelle (BAVU) avec sac de réserve d'oxygène;
- une bouteille d'oxygène gonflée d'une capacité suffisante pour permettre, en cas d'accident, un traitement adapté à la plongée, avec mano détendeur et tuyau de raccordement au BAVU;
- une bouteille d'air de secours équipée de son détendeur;
- une couverture isothermique;
- un moyen de rappeler un plongeur en immersion depuis la surface, lorsque la plongée se déroule en milieu naturel, au départ d'une embarcation; ainsi qu'éventuellement un aspirateur de mucosités.

Ils ont en outre le matériel d'assistance suivant : - une tablette de notation; – un jeu de tables permettant de vérifier ou recalculer les procédures de remontées des plongées réalisées au-delà de l'espace proche.

Les matériels et équipements nautiques des plongeurs sont conformes à la réglementation en vigueur et correctement entretenus.

Art.9 : L'activité de plongée est matérialisée selon la réglementation en vigueur.

#### Titre 4 - Equipement des plongeurs

Art.10 : Sauf dans les piscines ou fosses de plongée dont la profondeur n'excède pas six mètres, les plongeurs évoluant en autonomie et les guides de palanquée sont équipés chacun d'un système

gonflable au moyen de gaz comprimé leur permettant de regagner la surface et de s'y maintenir, ainsi que des moyens de contrôler personnellement les caractéristiques de la plongée et de la remontée de leur palanquée.

En milieu naturel, le guide de palanquée est équipé d'un équipement de plongée muni de deux sorties indépendantes et de deux détendeurs complets. Les plongeurs en autonomie sont munis d'un équipement de plongée permettant d'alimenter en gaz respirable un équipier sans partage d'embout.

#### Titre 5 : Espace d'évolution et conditions d'évolution

Art. 11 : Les plongeurs accèdent, selon leur compétence, à différents espaces d'évolution

- Espace proche : de 0 à 6 mètres
- Espace médian : de 6 mètres à 20 mètres.
- Espace lointain : de 20 mètres à 40 mètres.

Dans des conditions matérielles et techniques favorables, l'espace médian et l'espace lointain peuvent être étendus dans la limite de 5 mètres.

La plongée subaquatique autonome à l'air est limitée à 60 mètres. Un dépassement accidentel de cette profondeur de 60 mètres est autorisé dans la limite de 5 mètres.

En cas de réimmersion, tout plongeur en difficulté est accompagné d'un plongeur chargé de l'assister.

L'annexe III fixe les conditions d'évolution des plongeurs en fonction de leur niveau.

Art.12 : Une palanquée constituée de débutants ne peut évoluer que dans l'espace proche. En fin de formation technique conduisant au niveau 1 de plongeur, celle-ci peut évoluer dans l'espace médian sous la responsabilité d'un guide de palanquée.

Art. 13 : Une palanquée constituée de plongeurs de niveau 1 ne peut évoluer que dans l'espace médian et sous la responsabilité d'un guide de palanquée. En fin de formation technique conduisant au niveau 2, celle-ci peut évoluer dans l'espace lointain, sous la responsabilité d'un enseignant qualifié.

Art.14 : A l'issue d'une formation adaptée, le directeur de plongée peut autoriser les plongeurs majeurs de niveau 1 à plonger en équipe dans une zone n'excédant pas dix mètres, dans les conditions suivantes :

- Cette zone de plongée est dépourvue de courant et présente une visibilité verticale égale à la profondeur;
- Aucun point de cette zone ne doit être éloigné de plus de trente mètres d'un point fixe d'appui;
- Cette zone est surveillée, en surface, par deux personnes possédant au minimum l'une, le niveau 3 d'encadrement et l'autre le niveau 4 de plongeur, prêtes à intervenir à tout moment à l'aide d'une embarcation;
- Un des surveillants se tient en permanence prêt à plonger;
- L'obligation d'embarcation n'est pas applicable aux fosses de plongée;
- Un même groupe de deux surveillants ne peut prendre en charge plus de cinq équipes.

Art.15 : Les plongeurs majeurs de niveau 2 sont, sur décision du directeur de plongée, autorisés à plonger entre eux dans l'espace médian.

Si la palanquée est constituée de plongeurs majeurs de niveaux 2 et 3, celle-ci n'est autorisée à évoluer que dans l'espace médian.

Art. 16 : Les plongeurs de niveau égal ou supérieur au niveau 2 sont, sur décision du directeur de plongée, autorisés à plonger en autonomie.

En l'absence du directeur de plongée, les plongeurs de niveau 3 et supérieurs peuvent plonger entre eux et choisir le lieu, l'organisation et les paramètres de leur plongée.

Titre 6 : Dispositions générales

Art.17 : Les dispositions du présent arrêté ne sont pas applicables à l'apnée, à la plongée archéologique, souterraine ainsi qu'aux parcours balisés d'entraînement et de compétition d'orientation subaquatique.

Art.18 : L'arrêté du 20 Septembre 1991 modifié relatif aux conditions de garanties de techniques et de sécurité dans les établissements organisant la pratique et l'enseignement des activités subaquatiques sportives et de loisirs autonome à l'air est abrogé.

Art.19 : Le directeur des sports et le directeur du transport maritime, des ports et du littoral et les préfets sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal Officiel de La République Française.

## ANNEXE I

### NIVEAUX DE PRATIQUE DES PLONGEURS ET ÉQUIVALENCES OE PRÉROGATIVES

Cette annexe concerne les niveaux de pratique des plongeurs et équivalences de prérogatives entre les différents brevets de plongeurs délivrés par la FFESSM (Fédération française d'études et de sports sous-marins) et la FSGT (Fédération sportive et gymnique du travail), les attestations de niveaux délivrées par les autres organismes membres de droit du Comité Consultatif de l'enseignement sportif de la plongée subaquatique et les brevets CMAS (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques).

Les attestations de niveaux et brevets doivent justifier que leurs titulaires ont démontré un niveau technique au moins équivalent à celui des brevets de même niveau de la FFESSM (Fédération française d'études et de sports sous-marins) et organisés dans des conditions similaires de certification et de jury.

Les moniteurs titulaires du niveau 3 d'encadrement, adhérents d'un des organismes membre de droit du Comité Consultatif, peuvent obtenir de celui-ci l'autorisation de délivrer une attestation de niveau à l'issue d'une ou plusieurs plongées d'évaluation organisées dans le respect du présent arrêté. Les plongeurs bénéficiaires de cette attestation obtiennent des prérogatives identiques à celles référencées dans le tableau figurant à la présente annexe, mais ne dépassant pas celles du niveau 3 (P3).

Niveau de prérogatives de plongeurs	BREVETS			ATTESTATION DE NIVEAU	
	FFESSM <small>Fédération française d'études et de sports sous-marins</small>	CMAS <small>Confédération mondiale des activités subaquatiques</small>	FSGT <small>Fédération sportive et gymnique du travail</small>	ANMP <small>Association nationale des moniteurs de plongée</small>	SNMP <small>Syndicat national des moniteurs de plongée</small>
Niveau 1 P1	Plongeur N1	Plongeur 1 étoile	Plongeur N1	Plongeur	Plongeur
Niveau 2 P2	Plongeur N2	Plongeur 2 étoiles	Plongeur N2	Equipier	Plongeur confirmé
Niveau 3 P3	Plongeur N3	Plongeur 3 étoiles	Plongeur N3	Autonome	Plongeur autonome
Niveau 4 P4	Plongeur N4 capacitaire	Plongeur 3 étoiles (*)	Guide de palanquée	Guide de palanquée	Guide de palanquée
Niveau 5 P5	Qualification de Directeur de plongée (**)		Qualification de Directeur de plongée (**)		Directeur de plongée (**)

(\*) Certifié à l'étranger

(\*\*) La qualification Directeur de plongée (Niveau 5) ne pourra être exercée qu'à titre bénévole

## ANNEXE II

Niveau de l'encadrement	ENSEIGNEMENT BENEVOLE			ENSEIGNEMENT REMUNERE
	FFESSM Fédération française d'études et de sports sous-marins	CMAS Confédération mondiale des activités subaquatiques	FSGT Fédération sportive et gymnique du travail	BREVETS D'ETAT
Niveau 1 E1	Initiateur			
Niveau 2 E2	Initiateur + P4 ou P4 stagiaire pédagogique (*)	Moniteur 1 étoile	Aspirant Fédéral	Stagiaire pédagogique (**)
Niveau 3 E3	Fédéral 1er degré	Moniteur 2 étoiles	Fédéral 1er degré	Brevet d'Etat d'éducateur sportif du 1er degré (BEES 1)
Niveau 4 E4	Fédéral 2ème degré	Moniteur 3 étoiles	Fédéral 2ème degré	Brevet d'Etat d'éducateur sportif du 2ème degré (BEES 2)
Niveau 5 E5				Brevet d'Etat d'éducateur sportif du 3ème degré (BEES 3)

(\*) Pour obtenir les prérogatives attachées au niveau 2 d'encadrement (E2), le P4 en formation pédagogique est assujéti à la présence sur le site de plongée d'un cadre formateur E3 minimum

(\*\*) stagiaire pédagogique dans le cadre d'une formation reconnue par le Ministère de la Jeunesse et des Sports, conduisant au BEES1 de plongée subaquatique

## ANNEXE IIIa et IIIb

IIIa	CONDITIONS DE PRATIQUE DE LA PLONGEE EN MILEU NATUREL "EN ENSEIGNEMENT"		
Espaces d'évolution	Niveaux de pratique des plongeurs	Compétence minimum de l'encadrant de palanquée	Effectif maximum de la palanquée encadrement non
Espace proche 0 - 6 mètres	Baptême	E1	1
	Débutant	E1	4 + 1 P4
Espace médian (*) 6 - 20 mètres	Débutant en fin de formation	E2	4 + 1 P4 éventuellement
	Niveau P1	E2	4 + 1 P4
	Niveau P2	E2	4 + 1 P4
Espace lointain (*) 20 - 40 mètres	Niveau P1 en fin de formation	E3	2 + 1 P4 éventuellement
	Niveau P2	E3	2 + 1 P4
Au delà des 40 mètres et dans le limite des 60	Niveau P3, P4 et P5	E4	3 + 1 E4 éventuellement

IIIb	CONDITIONS DE PRATIQUE DE LA PLONGEE EN MILEU NATUREL "EN EXPLORATION"		
Espaces d'évolution	Niveaux de pratique des plongeurs	Compétence minimum de l'encadrant de palanquée	Effectif maximum de la palanquée encadrement non
Espace proche 0 - 6 mètres	Débutant	P4	4 + 1 P4 éventuellement
Espace médian (*) 6 - 20 mètres	Débutant en fin de formation	P4	4 + 1 P4 éventuellement
	Niveau P1	P4	4 + 1 P4
	Niveau P1	En surface : E3 + P4 quand autonomie dans la zone des 10 mètres	5 équipes
	Niveau P2	Autonomie	3
Espace lointain (*) 20 - 40 mètres	Niveau P2	P4	4
Au delà des 40 mètres et dans le limite des 60 mètres (*)	Niveau P3, P4 et P5	Autonomie	3

E1, E2, E3, E4 = Niveaux d'encadrement  
 P1, P2, P3, P4, P5 = Niveaux de pratique

(\*) dans des conditions favorables, les espaces médian et lointain peuvent être étendus dans la limite des 5 mètres. La plongée est limitée à 6 mètres avec possibilité de dépassement accidentel de 5 mètres.

## ANNEXE IV

### CONTENU DE LA TROUSSE DE SECOURS

**La trousse de secours comprend au minimum :**

- Des pansements compressifs tout préparés (grand et petit modèles : 1 boîte de chaque) ;
- Un antiseptique local de type Ammonium quaternaire (1 tube) ;
- Une crème antiactinique (1 tube) ;
- Une bande de type Velpeau de 5 cm de large ;
- De l'aspirine en poudre non effervescente.

TABLE MN90

Prof.	Durée	Durée des paliers				Gr.
		12 m	9 m	6 m	3 m	
6	15					A
	30					B
	45					C
	1h15					D
	1h45					E
	2h15					F
	3h00					G
	4h00					H
	5h15					I
6h00					J	
8	15					B
	30					C
	45					D
	1h00					E
	1h30					F
	1h45					G
	2h15					H
	2h45					I
	3h15					J
	4h15					K
	5h00					L
	6h00					M
	10	15				
30						C
45						D
1h00						F
1h15						G
1h45						H
2h00						I
2h15						J
2h45						K
3h00						L
4h00						M
4h15						N
5h15						O
5h30						P
6h00					1	P
12	5					A
	15					B
	25					C
	35					D
	45					E
	55					F
	1h05					G
	1h20					H
	1h30					I
	1h45					J
	2h00					K
	2h15					L
	2h20				2	L
	2h30				4	M
	2h40				6	M
	2h50				7	N
	3h00				9	N
	3h10				11	N
	3h20				13	O
	3h30				14	O
	3h40				15	O
	3h30				16	O
	4h00				17	O
	4h10				18	P
	4h15				19	P
	4h30				22	P
4h45				24	P	
5h00				26	P	

Prof.	Durée	Durée des paliers				Gr.
		12 m	9 m	6 m	3 m	
15	5					A
	10					B
	15					C
	20					C
	25					D
	30					E
	35					E
	40					F
	45					G
	50					G
	55					H
	1h00					H
	1h05					I
	1h10					I
	1h15					J
	1h20				2	J
	1h25				4	K
	1h30				6	K
	1h35				8	L
	1h40				11	L
	1h45				13	L
1h50				15	M	
1h55				17	M	
2h00				18	M	
2h10				22	*	
2h20				25	*	
2h30				28	*	
18	5					B
	10					B
	15					C
	20					D
	25					E
	30					F
	35					F
	40					G
	45					H
	50					H
	55				1	I
	1h00				5	J
	1h05				8	J
	1h10				11	K
	1h15				14	K
	1h20				17	L
	1h25				21	L
	1h30				23	M
	1h35				26	M
	1h40				28	M
	1h45				31	N
1h50				34	N	
1h55				36	N	
2h00				28	O	
2h10				42	*	
2h20				46	*	
2h30				38	*	

Prof.	Durée	Durée des paliers				Gr.
		12 m	9 m	6 m	3 m	
20	5					B
	10					B
	15					D
	20					D
	25					E
	30					F
	35					G
	40					H
	45				1	I
	50				4	I
	55				9	J
	1h00				13	K
	1h05				16	K
	1h10				20	L
	1h15				24	L
	1h20				27	M
	1h25				30	M
	1h30				34	M
	1h35				37	*
1h40				40	*	
1h45				43	*	
1h50				45	*	
22	5					B
	10					C
	15					D
	20					E
	25					F
	30					G
	35					H
	40				2	I
	45				7	I
	50				12	J
	55				16	K
	1h00				20	K
	1h05				25	L
	1h10				29	L
	1h15				33	M
1h20				37	M	
1h25				41	N	
1h30				44	N	
1h35			2	46	*	
1h40			4	47	*	
1h45			5	49	*	
1h50			7	51	*	
25	5					B
	10					C
	15					D
	20					E
	25				1	F
	30				2	H
	35				5	I
	40				10	J
	45				16	J
	50				21	K
	55				27	L
	1h00				32	L
	1h05				37	M
	1h10			1	41	M
	1h15			4	43	N
	1h20			7	45	N
	1h25			9	48	O
	1h30			11	50	O
	1h35			14	51	*
1h40			16	54	*	
1h45			19	56	*	

Annexes

Prof.	Durée	Durée des paliers				Gr.		
		12 m	9 m	6 m	3 m			
28	5					B		
	10					D		
	15					E		
	20				1	F		
	25			2	2	G		
	30				6	H		
	35			12	1	I		
	40			19	1	J		
	45				25	K		
	50				32	L		
	55			2	36	M		
	1h00			4	40	M		
	1h05			8	43	N		
	1h10			11	46	N		
	1h15			14	48	O		
	1h20			17	50	O		
	1h25			20	53	O		
1h30			23	56	P			
1h35			26	58	*			
1h40			28	61	*			
1h45			30	64	*			
1h50			1	32	67	*		
30	5					B		
	10					D		
	15				1	E		
	20				2	F		
	25				4	H		
	30				9	I		
	35				17	J		
	40				24	K		
	45			1	31	L		
	50			3	36	M		
	55			6	39	M		
	1h00			10	43	N		
	1h05			14	46	N		
	1h10			17	48	O		
	1h15			20	50	*		
	1h20			24	54	*		
	1h25			27	57	*		
1h30			30	60	*			
32	5					B		
	10					D		
	15				1	E		
	20				3	G		
	25				6	H		
	30				14	I		
	35				22	K		
	40			1	29	K		
	45			4	34	L		
	50			7	39	M		
	55			11	43	N		
	1h00			15	46	N		
	1h05			19	48	O		
	1h10			23	50	O		
	1h15			27	54	*		
	1h20			2	29	58	*	
	1h25			4	30	61	*	
35	5					C		
	10					D		
	15				2	F		
	20				5	H		
	25				11	I		
	30				1	20	J	
	35				2	27	K	
	40				5	34	L	
	45				9	39	M	
	50				14	43	N	
	55				18	47	N	
	1h00				22	50	O	
	1h05				2	26	52	*
	1h10				4	28	57	*

Prof.	Durée	Durée des paliers				Gr.			
		12 m	9 m	6 m	3 m				
38	5					C			
	10				1	E			
	15				4	F			
	20				8	H			
	25			1	16	J			
	30			3	24	K			
	35			5	33	L			
	40			10	38	M			
	45			15	43	N			
	50			20	47	N			
	55			2	23	50	O		
	1h00			5	27	53	P		
	1h05			8	29	58	*		
	1h10			11	31	62	*		
	1h15			14	33	66	*		
	1h20			17	35	71	*		
	40	5					C		
10					2	E			
15					4	G			
20					1	9	H		
25					2	19	J		
30					4	28	K		
35					8	35	L		
40					13	40	M		
45				1	18	45	N		
50				2	23	48	O		
55				5	26	52	O		
1h00				8	29	57	P		
1h05				12	31	61	*		
1h10				15	33	66	*		
1h15				18	35	71	*		
1h20				1	21	37	75	*	
1h25				3	23	38	82	*	
1h30			5	24	39	88	*		
42	5					C			
	10				2	E			
	15				5	G			
	20				1	12	I		
	25				3	22	J		
	30				6	31	L		
	35				11	37	M		
	40				1	16	43	N	
	45				3	21	47	*	
	50				6	24	50	*	
	55				8	29	55	*	
	1h00				13	30	60	*	
	45	5					C		
		10				3	F		
		15				1	6	H	
		20				3	15	I	
		25				5	25	K	
30					9	35	L		
35					1	15	40	M	
40					3	20	46	N	
45					6	24	50	*	
50					10	28	54	*	
55					14	30	60	*	
1h00					1	18	32	65	*
48		5					D		
		10				4	F		
		15				2	7	H	
		20				4	19	J	
		25					7	30	K
	30				1	12	37	M	
	35				3	18	44	N	
	40				6	23	48	O	
	45				10	27	53	*	
	50				1	14	30	59	*
	55				2	18	32	64	*
	1h00				5	19	36	70	*

Prof.	Durée	Durée des paliers				Gr.				
		12 m	9 m	6 m	3 m					
50	5					D				
	10				4	F				
	15				2	9	H			
	20				4	22	J			
	25			1	8	32	L			
	30			2	14	39	M			
	35			5	20	45	N			
	40			9	24	50	O			
	45			1	12	29	55	*		
	50			2	17	30	62	*		
	55			5	19	34	67	*		
	1h00			8	21	37	74	*		
	52	5					D			
		10				1	4	F		
		15				3	10	I		
		20				1	5	23	K	
		25				2	9	34	L	
30					4	15	41	M		
35					6	22	47	O		
40					1	10	26	52	O	
45					2	15	29	59	*	
50					5	17	32	64	*	
55					8	19	36	71	*	
1h00					11	22	38	78	*	
55		5					D			
		10				1	5	G		
		15				4	13	I		
		20				1	6	27	K	
		25				3	11	37	M	
	30				6	18	44	N		
	35				1	9	23	50	O	
	40				3	12	29	55	P	
	45				5	17	31	62	*	
	50				8	19	35	69	*	
	55				12	22	37	76	*	
	58	5					D			
		10				2	5	G		
		15				1	4	16	J	
		20				2	7	30	K	
		25				4	13	40	M	
		30				1	7	21	46	N
35					2	11	26	52	O	
40					5	15	30	59	P	
45					8	18	33	66	*	
60		5					D			
		10				2	6	G		
		15				1	4	19	J	
		20				3	8	32	L	
		25				5	15	41	M	
		30				1	8	22	48	O
		35				4	11	28	54	P
		40				6	17	30	62	P
	62	5					D			
		10				2	7	*		
		15				1	5	21	*	
		65	5					D		
			10				3	8	*	
			15				2	5	24	*

\* successive interdite : délai 12h00

### Détermination de l'Azote résiduel

Groupe de plongée successive	Intervalles																										
	15 min	30 min	45 min	1h00	1h30	2h00	2h30	3h00	3h30	4h00	4h30	5h00	5h30	6h00	6h30	7h00	7h30	8h00	8h30	9h00	9h30	10h00	10h30	11h00	11h30	12h00	
A	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81													
B	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81							
C	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81							
D	0,97	0,95	0,94	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81				
E	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81			
F	1,05	1,03	1,01	0,99	0,96	0,94	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
G	1,08	1,06	1,04	1,02	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
H	1,13	1,10	1,08	1,05	1,01	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
I	1,17	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
J	1,20	1,17	1,14	1,11	1,06	1,02	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
K	1,25	1,21	1,18	1,15	1,09	1,04	1,01	0,97	0,95	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
L	1,29	1,25	1,21	1,17	1,12	1,07	1,02	0,99	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
M	1,33	1,29	1,25	1,21	1,14	1,09	1,04	1,01	0,97	0,94	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81
N	1,37	1,32	1,28	1,24	1,17	1,11	1,06	1,02	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81
O	1,41	1,36	1,32	1,27	1,20	1,13	1,08	1,04	1,00	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81
P	1,45	1,40	1,35	1,30	1,22	1,15	1,10	1,05	1,01	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81

### Détermination de la Majoration

Azote résiduel	Profondeur de la deuxième plongée																			
	12 m	15 m	18 m	20 m	22 m	25 m	28 m	30 m	32 m	35 m	38 m	40 m	42 m	45 m	48 m	50 m	52 m	55 m	58 m	60 m
0,82	4	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,84	7	6	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
0,86	11	9	7	7	6	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2
0,89	17	13	11	10	9	8	7	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3
0,92	23	18	15	13	12	11	10	9	8	8	7	7	6	6	5	5	5	5	5	4
0,95	29	23	19	17	15	13	12	11	10	10	9	8	8	7	7	7	6	6	6	5
0,99	38	30	24	22	20	17	15	14	13	12	11	11	10	9	9	8	8	8	7	7
1,03	47	37	30	27	24	21	19	17	16	15	14	13	12	11	11	10	10	9	9	9
1,07	57	44	36	32	29	25	22	21	19	18	16	15	15	13	13	12	12	11	10	10
1,11	68	52	42	37	34	29	26	24	22	20	19	18	17	16	15	14	13	13	12	12
1,16	81	62	50	44	40	34	30	28	26	24	22	21	20	18	17	16	16	15	14	13
1,20	93	70	56	50	45	39	34	32	29	27	24	23	22	20	19	18	18	17	16	15
1,24	106	79	63	56	50	43	38	35	33	30	27	26	24	23	21	20	19	18	17	17
1,29	124	91	72	63	56	49	43	40	37	33	30	29	27	25	24	23	22	20	19	19
1,33	139	101	79	70	62	53	47	43	40	36	33	31	30	28	26	25	24	22	21	20
1,38	160	114	89	78	69	59	52	48	44	40	37	35	33	30	28	27	26	24	23	22
1,42	180	126	97	85	75	64	56	52	48	43	39	37	35	33	30	29	28	26	25	24
1,45	196	135	104	90	80	68	59	55	51	46	42	39	37	34	32	31	29	28	26	25

### Diminution de l'Azote résiduel par respiration d'Oxygène pur en surface

Groupe	Equivalent Azote résiduel	Durée de respiration d'oxygène								
		15 min	30 min	45 min	1h00	1h30	2h00	2h30	3h00	3h30
A	0,84									
B	0,89	0,85	0,82							
C	0,93	0,89	0,85	0,82						
D	0,98	0,94	0,90	0,86	0,82					
E	1,02	0,98	0,94	0,90	0,86					
F	1,07	1,02	0,98	0,94	0,90	0,83				
G	1,11	1,06	1,02	0,97	0,93	0,86				
H	1,16	1,11	1,06	1,02	0,98	0,89	0,82			
I	1,2	1,15	1,1	1,05	1,01	0,93	0,85			
J	1,24	1,19	1,14	1,09	1,04	0,96	0,88			
K	1,29	1,24	1,18	1,13	1,08	0,99	0,91	0,84		
L	1,33	1,27	1,22	1,17	1,12	1,03	0,94	0,86		
M	1,38	1,32	1,27	1,21	1,16	1,06	0,98	0,89	0,82	
N	1,42	1,36	1,30	1,25	1,19	1,09	1,00	0,92	0,84	
O	1,47	1,41	1,35	1,29	1,24	1,13	1,04	0,95	0,87	
P	1,51	1,45	1,38	1,33	1,27	1,16	1,07	0,98	0,90	0,82