

# THEORIE PLONGEE



## NIVEAU IV CAPACITAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>	5. L'APPAREIL RESPIRATOIRE.....	32
<b>CHAPITRE 1 : CONTENU DE L'EXAMEN xxxPasAJour .....</b>	<b>4</b>	6. LE SYSTEME NERVEUX.....	35
1. CONDITIONS DE CANDIDATURE.....	4	7. LES SINUS.....	36
2. CONTROLE DES ACQUIS.....	4	8. LA DENT.....	36
3. EXEMPLE DE PREPARATION AU NIVEAU IV.....	5	9. L'ESTOMAC.....	36
<b>CHAPITRE 2 : LES PRESSIONS.....</b>	<b>7</b>	10. LES INTESTINS.....	36
1. JUSTIFICATION.....	7	11. L'OREILLE.....	37
2. NOTION DE PRESSION.....	7	<b>CHAPITRE 10 : PREMIERS SOINS ET PETITS "BOBOS" .....</b>	<b>39</b>
3. DEFINITION.....	7	1. JUSTIFICATION.....	39
4. LA PRESSION ATMOSPHERIQUE.....	7	2. L'OREILLE.....	39
5. PRESSION RELATIVE.....	7	3. LES PROBLEMES DIGESTIFS.....	39
6. PRESSION ABSOLUE.....	8	4. LES BLESSURES ET PETITES PLAIES.....	40
7. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	8	5. LE MAL AU DOS.....	40
<b>CHAPITRE 3 : LOI DE MARIOTTE.....</b>	<b>9</b>	6. LES PROBLEMES FEMININS.....	40
1. JUSTIFICATION.....	9	7. DIVERS.....	41
2. RAPPELS.....	9	<b>CHAPITRE 11 : LES ACCIDENTS DE PLONGEE .....</b>	<b>43</b>
3. MISE EN EVIDENCE.....	9	1. DES STATISTIQUES.....	43
4. LOI ET FORMULE.....	9	<b>CHAPITRE 12 : LES ACCIDENTS MECANIQUES.....</b>	<b>45</b>
5. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	10	1. JUSTIFICATION.....	45
6. POIDS DE L'AIR.....	10	2. RAPPELS.....	45
7. CALCULS DE CONSOMMATION.....	10	3. LE PLACAGE DU MASQUE.....	45
8. APPLICATIONS CHIFFREES.....	11	4. LES SINUS.....	45
<b>CHAPITRE 4 : LE PRINCIPE D'ARCHIMEDE.....</b>	<b>12</b>	5. LES OREILLES.....	47
1. JUSTIFICATION.....	12	6. LES DENTS.....	49
2. RAPPELS.....	12	7. LES INTESTINS ET L'ESTOMAC.....	49
3. MISE EN EVIDENCE.....	12	8. LA SURPRESSION PULMONAIRE.....	50
4. LOI ET FORMULE.....	12	9. AUTRES ACCIDENTS.....	52
5. APPLICATIONS CHIFFREES.....	13	<b>CHAPITRE 13 : LES ACCIDENTS BIOCHIMIQUES .....</b>	<b>53</b>
6. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	14	1. JUSTIFICATION.....	53
<b>CHAPITRE 5 : LOI DE DALTON.....</b>	<b>15</b>	2. RAPPELS.....	53
1. JUSTIFICATION.....	15	3. L'OXYGENE.....	53
2. RAPPELS.....	15	4. L'AZOTE : LA NARCOSE.....	55
3. MISE EN EVIDENCE.....	15	5. LE GAZ CARBONIQUE : L'HYPERCAPNIE.....	56
4. LOI ET FORMULE.....	15	6. LE MONOXYDE DE CARBONE (CO).....	58
5. APPLICATIONS CHIFFREES.....	16	<b>CHAPITRE 14 : L'ACCIDENT BIOPHYSIQUE .....</b>	<b>59</b>
6. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	16	1. JUSTIFICATION.....	59
<b>CHAPITRE 6 : LOI DE HENRY.....</b>	<b>16</b>	2. RAPPELS.....	59
1. JUSTIFICATION.....	16	3. CAUSES ET MECANISME.....	59
2. RAPPELS.....	16	4. SYMPTOMES.....	60
3. MISE EN EVIDENCE.....	16	5. CONDUITE A TENIR.....	61
4. LOI DE HENRY.....	17	6. PREVENTION.....	62
5. DEFINITIONS ET NOTIONS.....	17	7. FACTEURS CONTRIBUTIFS OU FAVORISANTS L'ACCIDENT.....	62
6. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	19	<b>CHAPITRE 15 : LE FROID.....</b>	<b>64</b>
7. APPLICATIONS CHIFFREES.....	21	1. JUSTIFICATION.....	64
<b>CHAPITRE 7 : LA VISION DANS L'EAU.....</b>	<b>22</b>	2. LA TEMPERATURE.....	64
1. JUSTIFICATION.....	22	3. MECANISME.....	64
2. LES 4 EFFETS.....	22	4. DEPERDITION CALORIFIQUE : L'HYPOTHERMIE.....	65
3. APPLICATION A LA PLONGEE.....	23	5. LE CHOC THERMO-DIFFERENTIEL : L'HYDROCUTION.....	66
4. EXERCICES D'APPLICATION.....	24	6. CONSEQUENCES DU FROID.....	66
<b>CHAPITRE 8 : L'ACOUSTIQUE DANS L'EAU.....</b>	<b>25</b>	7. LA CHALEUR !.....	66
1. JUSTIFICATION.....	25	<b>CHAPITRE 16 : LA NOYADE.....</b>	<b>67</b>
2. DIFFERENCE DE MILIEU.....	25	1. JUSTIFICATION.....	67
3. EXERCICES D'APPLICATION.....	25	2. CAUSES.....	67
4. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	25	3. TYPES DE NOYADES.....	67
<b>CHAPITRE 9 : PHYSIOLOGIE ELEMENTAIRE.....</b>	<b>27</b>	4. SYMPTOMES.....	67
1. JUSTIFICATION.....	27	5. CONDUITE A TENIR.....	68
2. CONDITION POUR PLONGER.....	27	6. LA PREVENTION.....	68
3. CONTRE-INDICATIONS PRINCIPALES.....	27	<b>CHAPITRE 17 : LES DANGERS DU MILIEU.....</b>	<b>69</b>
4. L'APPAREIL CIRCULATOIRE.....	29	1. JUSTIFICATION.....	69

2. AVANT LA PLONGEE .....	69	8. LA CONDUITE DE PALANQUEE .....	137
3. L'ETAT DE LA MER .....	69	9. LE SAVOIR-VIVRE .....	139
4. AU FOND .....	70	10. LA CHARTE DU PLONGEUR RESPONSABLE .....	139
5. LA FAUNE .....	70	<b>CHAPITRE 25 : LA PLONGEE EN FRANCE ET DANS LE MONDE .....</b>	<b>141</b>
6. LA FLORE .....	72	1. ORGANISMES .....	141
7. LES INTERVENTIONS DE L'HOMME .....	72	2. HISTORIQUE DE LA PLONGEE ET DE SES TECHNIQUES .....	144
8. LES QUALITES DU MILIEU .....	72	<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>146</b>
<b>CHAPITRE 18 : LES ACCIDENTS DE PLONGEE LIBRE.....</b>	<b>74</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>150</b>
1. JUSTIFICATION .....	74		
2. ACCIDENTS COMMUNS AVEC LA PLONGEE BOUTEILLE .....	74		
3. ACCIDENTS SPECIFIQUES .....	74		
4. LES RECORDS xxxPasAJour .....	77		
<b>CHAPITRE 19 : UTILISATION DES TABLES M.N. 90.....</b>	<b>80</b>		
1. JUSTIFICATION .....	80		
2. HISTORIQUE .....	80		
3. DEFINITIONS DANS LE CADRE DE LA PLONGEE SOUS-MARINE .....	80		
4. LES TABLES ET LEURS CHAMPS D'APPLICATIONS .....	81		
5. LES ORDINATEURS DE PLONGEE .....	81		
6. Les tables M.N.90 .....	83		
7. COURBE DE SECURITE .....	84		
8. PLONGEES SIMPLES .....	84		
9. REMONTEES LENTES (Vitesse < 15 m/mn) .....	85		
10. REMONTEES RAPIDES (V>17 m/mn) .....	86		
11. DEUXIEME PLONGEE .....	86		
12. UTILISATION D'OXYGENE PENDANT LA DESATURATION .....	88		
13. PLONGEES EN ALTITUDE .....	89		
14. EXERCICES A FAIRE .....	93		
15. SOLUTIONS DES EXERCICES .....	94		
16. TABLES DE PLONGEES M.N. 90 .....	96		
<b>CHAPITRE 20 : LA PLONGEE AUX MELANGES.....</b>	<b>98</b>		
1. JUSTIFICATION .....	98		
2. PRINCIPAL INTERET .....	98		
3. LES DIFFERENTS MELANGES .....	98		
4. NITROX .....	98		
<b>CHAPITRE 21 : LE MATERIEL.....</b>	<b>102</b>		
1. JUSTIFICATION .....	102		
2. LA BOUTEILLE DE PLONGEE .....	102		
3. LA BOUTEILLE DE BOUEE .....	107		
4. LE DETENDEUR .....	107		
5. LES MANOMETRES ET PROFONDIMETRES .....	115		
6. LES JOINTS TORIQUES .....	117		
7. LE COMPRESSEUR .....	117		
<b>CHAPITRE 22 : MATELOTAGE .....</b>	<b>120</b>		
1. JUSTIFICATION .....	120		
2. TERMINOLOGIE ET DEFINITIONS .....	120		
3. LES NOEUDS .....	121		
4. LE BATEAU DE PLONGEE xxxPasAJour .....	125		
5. REGLEMENTATION .....	127		
<b>CHAPITRE 23 : RANIMATION ET OXYGENOTHERAPIE .....</b>	<b>129</b>		
1. VIGILANCE - ETAT DE CHOC .....	129		
2. INTERVENTION DU SECOURISTE .....	130		
3. METHODE DE RANIMATION .....	131		
<b>CHAPITRE 24 : REGLEMENTATION ET ORGANISATION DES PLONGEES.....</b>	<b>133</b>		
1. JUSTIFICATION .....	133		
2. LES NIVEAUX DES PLONGEURS ET DES ENCADRANTS .....	133		
3. LES PREROGATIVES DU NIVEAU IV .....	134		
4. LES NORMES D'ENCADREMENT .....	134		
5. LA REGLEMENTATION .....	136		
6. LA SECURITE .....	136		
7. LES PLONGEES PROFONDES .....	136		

## INTRODUCTION

Ce document regroupe la théorie utile pour un plongeur de Niveau IV Capacitaire. Il est la compilation de différents cours, de différents livres et de multiples échanges avec des encadrants et des élèves de tous niveaux. Le niveau IV est l'étape permettant d'accéder à l'encadrement de plongeurs ; il donne la possibilité de devenir guide de palanquée ou chef de palanquée.

Les pages suivantes pourront vous servir d'ouvrage de référence pour préparer un examen ponctuel, mais cela ne doit pas être quelque chose qu'on lit et qu'on range, vous pourrez (et devrez) à tout moment vous y reporter.

Les informations qui vont suivre vont vous permettre de préparer l'accession à l'encadrement de plongeurs ; mais malheureusement cela ne suffira pas, il faudra également vous préparer au niveau physique et technique.

Attention, ce manuel comprend de nombreux détails dans le but de faciliter la compréhension et l'illustration des cours ; ces détails ne sont pas toujours obligatoirement à retenir.

Ne soyez pas affolés par le volume de ce manuel, ni par les termes techniques qu'il contient. Ne considérez pas la théorie, même si vous préférez la pratique, comme quelque chose de rebutant.

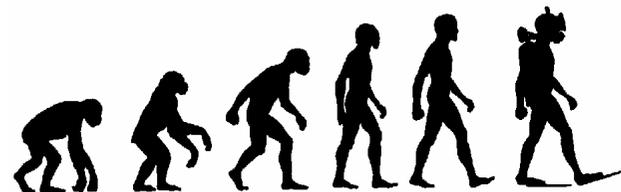
Vous trouverez également à la fin de cet ouvrage quelques informations sur les structures existantes au niveau de la plongée, ainsi qu'un historique des différentes techniques.

Vous trouverez également un chapitre sur le secourisme, mais ceci n'est qu'un aide-mémoire, car un plongeur capacitaire niveau IV doit être titulaire du RIFAP (Réactions et Intervention Face à un Accident de Plongée) qui comprend environ 8 heures de cours spécifiques.

En complément ou en parallèle à ce document, sachez que tous les encadrants de plongée sont à votre disposition pour répondre à toutes vos questions ou pour des explications complémentaires.

D'autre part si vous avez des commentaires, des réflexions à faire sur ce cours théorique ou si vous constatez des erreurs, n'hésitez pas à me le signaler, je suis ouvert à toutes vos suggestions pour améliorer ce document.

Ceci étant dit, bon courage pour le Niveau IV, bonne lecture et surtout bonnes plongées !



# **CHAPITRE 1 : CONTENU DE L'EXAMEN xxxPasAJour**

## **1. CONDITIONS DE CANDIDATURE**

- Etre licencié à la FFESSM,
- Etre âgé d'au moins 18 ans le jour de l'examen.
- Etre titulaire du plongeur autonome niveau II ou du plongeur autonome niveau III,
- Présenter le carnet de plongée,
- Etre en possession d'un certificat médical de non contre-indication à la plongée sous-marine datant de moins d'un an et établi par un médecin agréé par la FFESSM ou par un médecin titulaire du CES de médecine du sport.
- Etre titulaire du C.F.P.S. (Certificat Fédéral de Premiers Secours)

## **2. CONTROLE DES ACQUIS**

### **2.1. Attestation d'aptitudes en vue du passage du Niveau IV Capacitaire**

Il est indispensable de faire valider les attestations d'aptitudes préalablement à l'examen en lui-même :

- \* Aptitude à présenter les épreuves à 40 mètres
- \* Aptitude à présenter les épreuves de sauvetage et d'assistance (palmes ou gilet)
- \* Aptitude à présenter l'épreuve de R.S.E.
- \* Aptitude à la conduite de palanquée dans l'espace médian (zone des 20 mètres)

Chaque aptitude doit être signé par un encadrant Niveau 3 minimum, et est valable durant 9 mois à partir de la date d'établissement.

### **2.2. Epreuves du Brevet de Plongeur Autonome Niveau IV Capacitaire**

#### **2.2.1. Epreuves pratiques**

- \* 100 mètres P.M.T., apnée de 20 secondes à 5 mètres de profondeur, récupération 10 secondes en surface, chercher le mannequin (de poids apparent de 1,5 kg) sur un fond de 3 à 5 mètres et le tracter sur 100 mètres (Coefficient 2).

Barème :	moins de 4'30"	16 pts
...		
	de 5'45" à 6'00"	10 pts
...		
	de 7'31" à 8'00"	6 pts
	plus de 8"	Éliminé

+ 1 à 4 pts pour la tenue du mannequin qui doit être applicable à une victime réelle.

- \* 800 mètres P.M.T. (Coefficient 1)

Barème :	moins de 10'30"	20 pts
...		
	de 15'01" à 15'30"	10 pts
...		
	de 17'31" à 18'00"	5 pts
	plus de 18'	Éliminé
  - \* Plongée libre à 10 mètres (Coefficient 1)
  - \* 500 mètres capelé (Fait en moins de 13'/Non fait)
  - \* Sauvetage à la palme de 20 mètres et tractage pendant 2' en surface (Coefficient 3)
  - \* Descente dans le bleu à 40 mètres (Coefficient 1)
  - \* Echange de signes à 40 mètres et remontée à deux sur un embout (Coefficient 4)
  - \* Vidage de masque à 40 mètres (Fait/Non fait)
  - \* Remontée sans embout de 20 mètres (Coefficient 2)
  - \* Sauvetage à la bouée ou assistance de 30 mètres (Coefficient 2)
  - \* Matelotage (Coefficient 2)
  - Chaque épreuve est notée sur 20. Le total minimum pour être reçu est de 180 (sans notes éliminatoires, c'est à dire moins de 5 pour toutes les épreuves).
  - Le bénéfice de la partie pratique est valable durant 9 mois et 2 sessions de rattrapage, si le candidat a obtenu au moins 80 points à la partie théorique, même avec une note éliminatoire.
  - Les épreuves pratiques doivent toutes avoir lieu dans un délai de 4 jours maximum, avec un matériel identique pour toutes les épreuves (combinaison, palmes, lestage calculé pour un poids apparent nul à 3 mètres de profondeur)
- #### **2.2.2. Epreuves théoriques**
- Epreuves écrites :
- \* Problèmes : Résolution d'au moins un problème de tables de plongée (Durée env. 30' - Coefficient 3)
  - \* Accidents : Symptômes et traitement immédiat des accidents de plongée (Durée env. 30' - Coefficient 3)

\* Physique : Notions pratiques appliquées à la plongée (Durée env. 30' - Coefficient 1)

\* Physiologie : Notions pratiques appliquées à la plongée (Durée env. 30' - Coefficient 1)

Epreuves orales ou écrites :

\* Réglementation (Durée env. 15' - Coefficient 2)

Epreuves orales :

\* Matériel : Notions pratiques et théoriques (Durée env. 45' - Coefficient 2)

- Chaque épreuve est notée sur 20. Le total minimum pour être reçu est de 120 (sans compter les notes éliminatoires).

- Le bénéfice de la partie pratique est valable durant 9 mois et 2 sessions de rattrapage, si le candidat a obtenu au moins 120 points à la partie théorique même avec une note éliminatoire.

- Nota-Bene :

\* Les sessions de plongeur autonome capacitaire niveau IV sont organisées soit à l'échelon du club, du département ou de la région.

\* Le jury doit être composé d'au moins deux encadrants niveau 4 dont au moins un instructeur régional délégué par la Commission Technique Régionale.

### **3. EXEMPLE DE PREPARATION AU NIVEAU IV**

Voici un exemple de répartition de l'enseignement de la théorie Niveau IV. Chaque séance représente environ 2 heures dans un lieu approprié (salle de cours ou de réunion).

Cette préparation peut être découpée en 20 séances (une par semaine sur toute l'année ou une à deux par jour sur deux semaines de stage par exemple) :

1 Séance : Physique  
2 Séances : Physiologie  
3 Séances : Accidents  
1 Séance : Saturation  
1 Séance : Tables  
1 Séance : Exercices  
1 Séance : Correction et Synthèse  
1 Séance : Matelotage  
3 Séances : Matériel  
1 Séance : Rappels de Secourisme : Oxygénothérapie

et Ranimation

1 Séance : Questions/Réponses  
2 Séances : Synthèse  
1 Séance : Examen blanc  
1 Séance : Correction

A cette préparation théorique se rajoute une préparation physique et technique débouchant en règle générale sur deux semaines de stage et d'examen pratique.

# PHYSIQUE

## CHAPITRE 2 : LES PRESSIONS

### 1. JUSTIFICATION

En plongée, tout ce qui se rapporte à la pression est très important; en effet c'est elle, par ses variations, qui gouverne les phénomènes physiques qui agissent sur notre corps.

### 2. NOTION DE PRESSION

- En appuyant sur le plat d'une punaise, elle ne rentre pas dans le doigt, essayez donc sur la pointe... Le doigt s'enfonce dans le sable, mais pas la brique posée... Le pied s'enfonce dans la neige, c'est plus facile de marcher avec des raquettes...

**IL Y A DONC RELATION ENTRE LA PENETRATION ET LA SURFACE D'APPUI, POUR LA MEME FORCE EXERCEE.**

### 3. DEFINITION

P = PRESSION   F = FORCE   S = SURFACE

$$P = \frac{F}{S}$$

P (b -bar-)   F (kg)   S (cm<sup>2</sup>)

Unités : En plongée, on utilisera le **bar**. Un bar représente la pression exercée par un poids de 1 kg sur une surface de 1 cm<sup>2</sup>.

Les autres unités équivalentes sont : 1 bar (1000 millibars), 1 atmosphère, 100 000 Pascal (1000 hectopascals), 760 millimètres de mercure (mmHg), ... (1 Pascal = 1 Newton par m<sup>2</sup>).

$$P \text{ (bars)} = \frac{P \text{ (mmHg)}}{760} = \frac{P \text{ (hectopascals)}}{1013}$$

### 4. LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

Définition : C'est la pression exercée par le poids de l'air qui entoure la Terre. Elle diminue donc avec l'altitude, car plus on va monter, moins on aura de quantité d'air au-dessus de nous.

- 1 bar peut aussi être défini comme la pression exercée par le poids d'une colonne de Mercure de 760 mm de haut. On utilise cette unité car beaucoup de baromètres fonctionnaient sur ce système.
- Jusqu'à 5000 mètres d'altitude, la pression atmosphérique diminue de 0,1 bar par 1000 mètres. Ainsi à 2000 m, la pression atmosphérique est d'environ 0,8 bar et descend à 0,5 bar à 5000 m. (Attention, c'est une simplification et une moyenne).
- Au niveau de la mer, la pression atmosphérique est d'environ **1 bar**, ou exactement 1013 millibars, ou 1,013 bar, ou 1 atmosphère, ou 101 300 Pascal, ou **760 mmHg**, ou 1013 Hectopascal

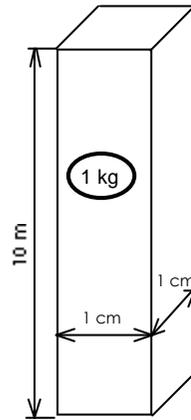
### 5. PRESSION RELATIVE

Définition : La pression relative (ou pression de l'eau, ou pression hydrostatique) est la pression exercée par le poids de l'eau ; elle varie avec la densité de l'eau.

Considérons une colonne d'eau de 10m de haut et de 1 cm<sup>2</sup> de section. Son volume total est de 1000cm \* 1cm<sup>2</sup> = 1000cm<sup>3</sup> = 1dm<sup>3</sup> = 1 litre.

Or 1 litre d'eau douce a une masse de 1 kg et 1 litre d'eau de mer de 1,026 kg.

On admet donc pour simplifier que la colonne d'eau a une masse de 1 kg. La pression exercée par la colonne sur la surface est de 1 bar (pression exercée par 1 kg sur une surface de 1cm<sup>2</sup>).



$$P.\text{relative} = \frac{\text{Profondeur en mètres}}{10} \times \text{Densité eau}$$

Pour 10 mètres d'eau, la pression augmente de 1 bar (lorsque l'on considère une densité de l'eau égale à 1).

- La pression relative à 0 m est de : 0 bar.
- La pression relative à 10 m est de : 1 bar.
- La pression relative à 47 m est de : 4,7 bars.

Inversement :

- Si la pression relative est de 4 bars, la profondeur est de : 40 m.
- Si la pression relative est de 5,2 bars, la profondeur est de : 52 m.

Lorsque l'on considère une densité de l'eau égale à 1,026 (eau de mer), on obtient :

- La pression relative à 30 m est de :  $30 / 10 \times 1,026 = 3,078$  bars.
- La pression relative à 47 m est de :  $4,7 / 10 \times 1,026 = 4,822...$  bars.
- Si la pression relative est de 5,2 bars, la profondeur est de :  $5,2 \times 10 / 1,026 = 50,68...$  m.

## 6. PRESSION ABSOLUE

Définition: C'est la pression réelle subie dans l'eau.

$$P.\text{absolue} = P.\text{atmosphérique} + P.\text{relative}$$

- La pression absolue à 0 m est de : 1 bar.
- La pression absolue à 10 m est de : 2 bars.
- La pression absolue à 40 m est de : 5 bars.
- La pression absolue à 3 m est de : 1,3 bars.

Inversement :

- Si la pression absolue est de 3 bars, la profondeur est de : 20 m.
- Si la pression absolue est de 5,8 bars, la profondeur est de : 48 m.

## 7. APPLICATIONS A LA PLONGEE

Dans l'eau le plongeur va être soumis à cette pression, qui est différente de celle à laquelle l'homme évolue habituellement. De plus cette pression va varier, à la descente, le poids de la colonne d'eau au-dessus de lui augmente, la pression augmente. De même à la remontée, la pression diminue.

Remarque : En surface, la pression est de 1 bar, elle passe à 2 bars à 10 m. Elle a donc doublé sur un intervalle de 10 m. Elle ne passera à 4 bars qu'à 30 m de fond. C'est à dire qu'il faudra un intervalle de 20 m pour la doubler de nouveau.

**LES PLUS GRANDES VARIATIONS DE PRESSION, DONC DE VOLUME ONT LIEU DANS LA ZONE DES 10 METRES.**

## CHAPITRE 3 : LOI DE MARIOTTE

(Abbé Edme Mariotte, Physicien français, 1620-1684)

(Robert Boyle, Physicien irlandais, 1627-1691)

### 1. JUSTIFICATION

- Les solides et les liquides sont incompressibles (ils sont quand même soumis à la pression, mais leur volume ne varie pas), il n'en est pas de même des gaz . Les pneus, les bouteilles de plongée,... contiennent de l'air comprimé.
- Une manière simple de le mettre en évidence est de prendre une pompe à vélo et de boucher la sortie. Si elle est pleine d'air, on peut comprimer le piston, si elle est pleine d'eau, on ne peut pas.
- En plongée, le Néoprène de la combinaison diminue de volume au cours de la descente.
- Il est nécessaire d'expirer à la remontée.

### 2. RAPPELS

- $P = F/S$  en bar =  $\text{kg}/\text{cm}^2$
- P absolue = P relative + P atmosphérique.
- P relative = profondeur / 10.

### 3. MISE EN EVIDENCE

PROFONDEUR	PRESSION	VOLUME	P x V
0 mètre	1 bar	6 litres	$1 \times 6 = 6$
5 mètres	1,5 bars	4 litres	$1,5 \times 4 = 6$
10 mètres	2 bars	3 litres	$2 \times 3 = 6$
20 mètres	3 bars	2 litres	$3 \times 2 = 6$
50 mètres	6 bars	1 litres	$6 \times 1 = 6$

- En immergeant un verre gradué, on se rend compte que l'eau rentre dans le verre et que l'air placé à l'intérieur diminue de volume.
- De même, lorsqu'on remonte le verre, l'eau sort du verre et l'air placé à l'intérieur reprend petit à petit de son volume.
- En regardant les graduations on voit que le produit du volume par la pression est constant.

### 4. LOI ET FORMULE

Enoncé : A température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnelle a sa pression.

Formule :

$$\text{état 1} \rightarrow \text{état 2}$$
$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

ou

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

## 5. APPLICATIONS A LA PLONGEE

Cette loi nous permet de :

- Calculer la capacité d'un bloc :

$$\begin{aligned} \text{Contenance en litre d'air détendu à 1 bar} \\ = \text{Pression de service} \times \text{Volume interne} \end{aligned}$$

Exemple : 200 bars  $\times$  12 litres = 2400 litres d'air à 1 bar

- Comprendre et mesurer le poids de l'air.
- Calculer notre autonomie au fond en fonction de notre consommation d'air
- Calculer la capacité d'une bouée.
- Comprendre et éviter les accidents mécaniques et de décompression.  
Toutes les cavités gazeuses de notre corps sont soumises à cette loi (sinus, oreilles, poumons, ...)
- Comprendre le fonctionnement des bathymètres/profondimètres à tube capillaire.

## 6. POIDS DE L'AIR

A la pression atmosphérique, 1 litre d'air pèse exactement 1,293 grammes ; par conséquent, on en déduit (pour une température de 0° C) :

Pression absolue	Poids d'un litre d'air
1 bar	1,293 g
2 bars	2,586 g
3 bars	3,879 g

Exemple :

Un bloc de 12 litres vide pèse 12 kilos. Quel est son poids lorsqu'il est gonflé à 200 bars ?

*Réponse :  $200 \times 12 \times 1,293 = 3103,2$  g d'air d'où un bloc de 15,1032 kg.*

On constate donc qu'un bloc plein est plus lourd qu'un bloc vide ; il faut en tenir compte pour le lestage ; en fin de plongée, avec un bloc à 30 bar, le plongeur est plus léger d'environ 3 kilos.

## 7. CALCULS DE CONSOMMATION

La consommation moyenne d'un individu est de 20 litres par minute en activité et 8 litres par minutes au repos.

Par exemple, pour une durée de 10 minutes :

- \* En surface, un plongeur va consommer :  $20 \text{ l/min} \times 10 \text{ min} = 200$  litres d'air consommé en surface (à 1 bar).
- \* A 10 mètres de profondeur, le volume d'air consommé est le même, 200 litres, mais il s'agit d'air à la pression ambiante de 2 bars. Par Mariotte, on en déduit que 200 litres d'air à 2 bars est égal à 400 litres d'air à 1 bar ;  $0,4 \text{ m}^3$  ont été retirés de la bouteille.

Pour calculer la consommation d'air pendant la descente : prendre le temps de la descente et la demi-profondeur. Par exemple :

- \* 2 minutes pour descendre à 30 mètres : on calcule la consommation pour 2 minutes à 15 mètres.
- \* 4 minutes pour descendre de 3 à 30 mètres : on calcule la consommation pour 4 minutes à 13,5 mètres.

De plus, lorsque la profondeur augmente, la consommation moyenne d'air augmente également en raison de la masse de l'air qui augmente ; un litre d'air à 2 bars est plus lourd qu'un litre d'air à 1 bar ; il est donc plus difficile de respirer à des profondeurs importantes d'où risque accru d'essoufflement.

Il faut donc maîtriser sa respiration en baissant la fréquence et augmentant l'amplitude de la respiration.

## **8. APPLICATIONS CHIFFREES**

Exercice 1 : Un ballon en surface a un volume de 12 litres, quel est son volume à 10 mètres et à 30 mètres?

*Réponses : 6 litres et 3 litres.*

Exercice 2 : Grâce à votre bouteille de 18 litres à 200 bars, vous équilibrez la bouteille de secours de 4 litres qui se trouve à 85 bars. Quelle est la pression finale de chacune des bouteilles?

*Réponse : 179,09 bars pour les deux bouteilles.*

Exercice 3 : Un plongeur est bien équilibré au palier de 3 mètres avec un gilet purgé, des poumons à moitié pleins et une bouteille de 12 litres à 30 bars. Quel est son poids apparent en début de plongée à 3 mètres avec une combinaison bien mouillée et son bloc à 180 bars ? Combien d'air devra-t-il inspirer ou mettre dans son gilet pour être équilibrer (en supposant que l'eau a une densité  $d = 1$ ) ?

*Réponse : a) Poids apparent = Poids supplémentaire en début de plongée = 2,3274 kg.*

*b) 2,3274 litres*

Exercice 4 : Un plongeur consomme 20 litres d'air par minute en surface, sa bouteille, d'une capacité de 12 litres, est gonflée à 200 bars. Sa réserve est tarée à 40 bars. Combien de temps peut-il passer à 20 mètres?

*Réponse : 32 minutes.*

et à 50 mètres ?

*Réponse : 16 minutes.*

En négligeant la consommation pour la descente et la remontée, la réserve sera-t-elle suffisante pour les paliers ?

*Réponse : Non.*

Exercice 5 : Un plongeur consomme 20 litres d'air par minute en surface, sa bouteille est gonflée à 200 bars. Il planifie une plongée de 16 minutes à 50 mètres. Il mettra 2 minutes pour descendre à cette profondeur. Quelle capacité doit avoir son bloc en tenant compte d'une réserve de 50 bars?

*Réponse : Descente : 140 l., Fond : 1680 l., Remontée : 192 l.,  
Paliers 4' à 6 m : 128 l., Paliers 22' à 3 m : 572 l.*

*soit au total 2712 l. d'air à 1 bar, soit un bloc de 18,1 litres.*

Avec un bloc de 15 litres, quelle serait la pression dans le bloc à la fin de la plongée ?

*Réponse :  $200 - (2712/15) = 200 - 181 = 19$  bars.*

*Attention, ceci est théorique ; la consommation d'air augmente avec la profondeur en raison de la viscosité plus importante de l'air, du courant, du froid, du stress, ...*

## CHAPITRE 4 : LE PRINCIPE D'ARCHIMEDE

(Archimède, Mathématicien de l'Antiquité, né à Syracuse, 287-212 avant J.C.)

### 1. JUSTIFICATION

- Certains objets flottent et d'autres coulent.
- La technique des poumons ballast.
- L'acier est très lourd, et pourtant des bateaux en acier flottent.
- Si on est équilibré au palier en fin de plongée, on est :
  - \* Trop lourd au début car la bouteille pleine est plus lourde.
  - \* Trop lourd au fond car intestins, estomac et Néoprène sont écrasés par la pression.
- Utilisation de la bouée de sécurité.

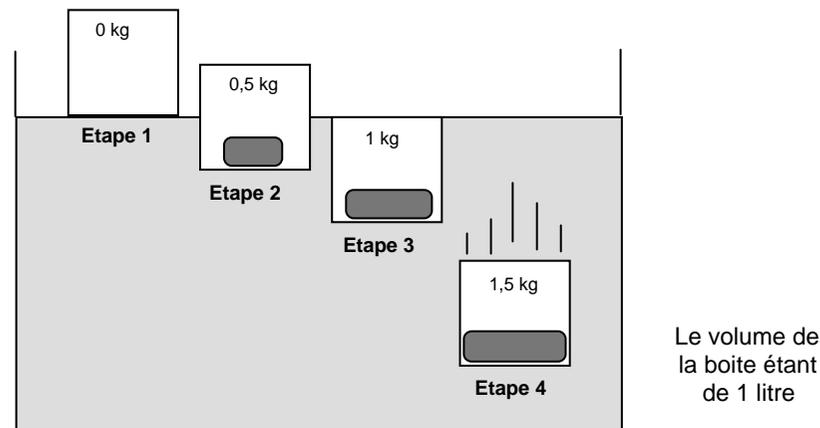
**LE POIDS, MAIS AUSSI LE VOLUME, INTERVIENNENT DANS LA FLOTTABILITE DES CORPS.**

### 2. RAPPELS

- $P = F/S$  en bar =  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .
- $P$  absolue =  $P$  relative +  $P$  atmosphérique.
- $P$  relative = profondeur/10.
- $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$ .

### 3. MISE EN EVIDENCE

- Pour un même volume, la flottabilité est liée au poids de l'objet :
  - \* Si le poids est inférieur au poids du volume rempli d'eau, l'objet reste en surface, on dit que la flottabilité est positive.
    - C'est le cas lorsque vous avez revêtu votre vêtement isothermique sans ceinture de plomb.
  - \* Si le poids est égal au poids du volume rempli d'eau, l'objet reste entre deux eaux, on dit que la flottabilité est nulle.
    - C'est le cas lorsque vous êtes au palier à trois mètres si votre lestage est correct.
  - \* Si le poids est supérieur au poids du volume rempli d'eau, l'objet coule, on dit que la flottabilité est négative.
    - C'est le cas lorsque vous êtes trop lesté.



### 4. LOI ET FORMULE

**Enoncé :** Tout corps plongé dans un liquide reçoit une poussée verticale, dirigée du bas vers le haut, et égale au poids du volume de liquide déplacé.

**Formule :**

**Poids apparent = Poids réel - Poussée d'Archimède**

avec :

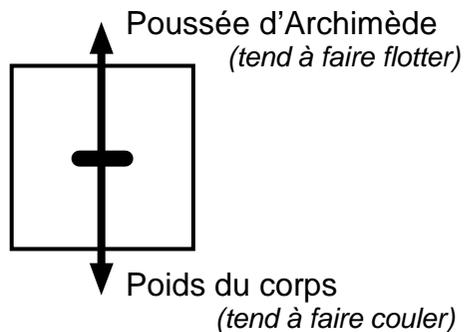
**Poids réel = Volume x Densité objet**

**Poussée d'Archimède = Volume x Densité eau**

- Le poids apparent est le poids que le corps a l'air d'avoir dans l'eau.
- Le poids réel est le poids qu'il a sur Terre.
- La poussée d'Archimède est le poids qu'aurait un volume d'eau égal au volume du corps immergé.
- La densité de l'objet est liée à sa masse volumique.
- La densité de l'eau correspond au poids de  $1 \text{ dm}^3$  ou  $1 \text{ l}$  d'eau :

Eau douce	densité = 1
Eau de mer	densité = 1,026
Eau de la mer morte	densité = 1,6

b) il faut au minimum 187,5 bars.



Attention, le poids apparent a un signe :

- Si  $P_{app} > 0$  flottabilité négative → l'objet coule.
- Si  $P_{app} = 0$  flottabilité nulle → l'objet est en équilibre entre 2 eaux.
- Si  $P_{app} < 0$  flottabilité positive → l'objet remonte.

## 5. APPLICATIONS CHIFFREES

Exercice 1 : (Sur Archimède seul).

Une amphore a un poids de 32 kg sur Terre pour un volume de  $15 \text{ dm}^3$ . Quel sera le poids qu'elle aura l'air d'avoir dans l'eau, sachant qu'un litre d'eau pèse 1 kilo? Coule-t-elle ou flotte-t-elle?

Réponse :  $P_{app} = +17 \text{ kilos} \rightarrow$  elle coule.

Exercice 2 : (Sur Archimède seul).

Un plongeur se bricole un boîtier vidéo. Son volume est de  $5 \text{ dm}^3$  pour un poids de 4 kg. Il désire l'équilibrer. Quel lest doit-il ajouter à l'intérieur sachant qu'un litre d'eau a une masse de un kg.

Réponse :  $P_{app} = -1 \text{ kilos} \rightarrow$  il faut rajouter un kilo pour que  $P_{app} = 0$ .

Exercice 3: (Sur Archimède et Mariotte).

Tout équipé au sec, un plongeur a un poids réel de 85 kg pour un volume de  $70 \text{ dm}^3$ . Il descend à 40 m. Se trouvant trop lourd à cette profondeur, il décide de s'équilibrer à l'aide de sa bouée.

- a) Quel volume d'air doit-il introduire dans sa bouée ?
- b) S'il gonfle sa bouée avec une petite bouteille indépendante de 0,4 litre, quelle pression minimale doit il avoir dans cette bouteille pour pouvoir s'équilibrer (1 l d'eau pèse 1 kg) ?

Réponse : a) il faut 15 litres d'air à 40 mètres.

Exercice 4: (Sur Archimède et Mariotte).

Une ancre se trouve à 30 mètres de profondeur ; son poids réel est de 150 kilos et son volume de 10 litres. On possède un parachute de relevage (capacité 200 litres), de poids négligeable, qu'on gonfle avec 70 litres à 30 mètres.. Quelle est la longueur de corde nécessaire entre le parachute et l'ancre pour remonter cette dernière.

Réponse : il faut 20 mètres de corde.

Exercice 5: (Sur Archimède et Mariotte).

On veut remonter un bateau coulé, posé à l'envers sur le fond. Son poids réel est de 2 tonnes, son volume est de 400 litres. On vide dans la coque étanche une bouteille de 6 litres à 200 bars ; puis on gonfle un parachute de 800 litres.

A ce moment précis, la profondeur étant de 40 mètres, quel est le poids apparent de l'ensemble et la consommation totale en air détendu ?

Réponse : a) poids apparent = 566 kilos ( $1600 - 6 \times 195 / 5 - 800$ )

b) consommation d'air détendu = 5170 litres ( $(234 + 800) \times 5$ )

Exercice 6: (Sur Archimède et Mariotte).

Dans une eau de densité 1,2, le poids réel d'une ancre à relever est de 150 kg pour une masse volumique de 5 kg/l.

La profondeur étant de 30 mètres, quelle est le volume du parachute pour obtenir la flottabilité nulle de l'ancre ?

Réponse : Volume ancre = 30 l ; Poids apparent =  $150 - 30 \times 1,2 = 114 \text{ kg}$

Volume parachute =  $114 / 1,2 = 95 \text{ l}$

Pression absolue à 30 mètres =  $(3 \times 1,2) + 1 = 4,6 \text{ bars}$

Quantité d'air =  $95 \times 4,6 = 437 \text{ l d'air à 1 bar}$ .

Exercice 7: (Sur Archimède et Mariotte).

On dispose d'un projecteur de 3120 grammes d'un volume de  $4 \text{ dm}^3$  ; Pour le lester, nous utilisons du lest avec une masse volumique de  $11,03 \text{ kg/dm}^3$  que nous sommes obligés de coller à l'extérieur. Combien doit-on utiliser de lest pour équilibrer le projecteur dans une eau de densité 1,03 ?

Réponse : Poids apparent projecteur =  $3,12 - 4 \times 1,03 = -1 \text{ kg}$

Poids apparent lest =  $\text{Vol lest} \times (\text{Densité lest} - \text{Densité eau})$

d'où  $\text{Vol lest} = 1 / (11,03 - 1,03) = 0,1 \text{ dm}^3$

Poids lest =  $(0,1 \times 11,03) = 1,103 \text{ kg}$

Exercice 8: (Sur Archimède et Mariotte).

A 50 mètres de profondeur, une eau a une densité 1,02 ; le poids réel d'une ancre à relever est de 112,2 kg pour un volume de  $10 \text{ dm}^3$ .

On utilise un parachute et un bout de masse volumique  $1,02 \text{ kg/dm}^3$  et une bouteille de 10 litres d'air comprimé à 61 bars.

Quelle longueur de bout doit-on utiliser (sans compter les noeuds) pour que l'air de la bouteille permette de lever le jas d'ancre (en supposant la température constante et l'air gaz parfait) ?

Réponse :  $Poids\ apparent\ ancre = 112,2 - 10 \times 1,02 = 102\ kg$   
 $Vol\ air\ nécessaire = 102 / 1,02 = 100\ l$   
 $Pression\ absolue\ à\ 50\ mètres = (50 \times 1,02) / 10 + 1 = 6,1$

bars

incompressible)

$$Vol\ air\ dispo = (10 \times 61) / 6,1 - 10 = 90\ l\ (bout.$$

$$6,1 \times 90 = P2 \times 100\ d'où\ P2 = Pression\ absolue = 5,49\ bars$$

$$Pression\ relative = 4,49\ bars$$

$$Profondeur = 4,49 \times 10 / 1,02 = 44,01\ mètres$$

$$Longueur\ du\ bout\ à\ utiliser = 50 - 44,01 = 5,99\ soit\ 6\ mètres$$

## 6. APPLICATIONS A LA PLONGEE

En plongée, la loi de Mariotte et le principe d'Archimède sont fortement liés.

- Poumon-ballast afin d'assurer sa stabilité durant son évolution dans l'eau.

- Calculs de lestage et de levage.

Le lestage doit être évolutif ; il varie suivant la densité du corps, la combinaison, la densité de l'eau, le poids et le volume du bloc, l'équipement complémentaire et la technique et l'aisance du plongeur.

- Utilisation de la bouée.

Le principe de la bouée est de faire varier son volume pour faire varier la poussée d'Archimède.

Attention aux dangers de la bouée si on ne la purge pas. Plus on va remonter, plus notre volume va croître (l'air de la bouée va se dilater d'après la loi de Mariotte), notre poids réel par contre ne varie pas. Ceci implique que notre flottabilité va augmenter à une vitesse prenant vite de grandes proportions : la bouée s'emballe. Résultat : remontée rapide avec tous les dangers que cela implique.

## CHAPITRE 5 : LOI DE DALTON

(John Dalton, Physicien anglais, 1766-1844)

### 1. JUSTIFICATION

- Le plongeur respire de l'air comprimé. Plus on va descendre, plus cet air sera dense.
- L'air est composé de plusieurs gaz qui à une certaine profondeur peuvent être toxiques (narcose, essoufflement, hyperoxie).
- Il nous est donc nécessaire de calculer la pression de ces gaz à telle ou telle profondeur afin de mesurer leurs effets.

### 2. RAPPELS

- L'air est composé de :
  - \* 20,97 % d'oxygène (O<sub>2</sub>) : le carburant.
  - \* 79 % d'azote (N<sub>2</sub>) : le diluant.
  - \* 0,02 % de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) : l'excitant du système respiratoire.
  - \* 0,01 % de gaz rares (néon, xénon, argon, krypton,...).
- Pratiquement, sauf précisions complémentaires, on prendra :
  - \* 20% de O<sub>2</sub>.
  - \* 80 % de N<sub>2</sub>.
- $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$ .

### 3. MISE EN EVIDENCE

#### Analogie :

Prenons un wagon d'une capacité de 100 places dans lequel ont pris place 100 personnes (Pression partielle = 1) ; lorsque 50 personnes descendent à une gare, les autres personnes vont se répartir dans tout le wagon et auront deux fois plus de place pour s'allonger (Pression partielle = 1/2).

#### Expérience de laboratoire :

- Nous allons voir comment un mélange gazeux se comporte et les effets de chacun des composants de l'air suivant leur concentration. c'est d'ailleurs ceux-ci qui vont souvent nous poser problème en plongée.
- Prenons un réservoir de 100 l d'air à 1 bar :

100 l. d'air ————— <b>P1 = 1 bar</b> dont 80 l. Azote dont 20 l. Oxygène
--

- Vidons-le avec un filtre de tout l'azote qu'il contient :

100 l. d'Oxygène ————— <b>P2 = ?</b>
--------------------------------------

- Calculons grâce à la loi de Mariotte la pression du réservoir où les 20 l d'oxygène précédent occupent maintenant toute la place libre.

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2 \implies 20 * 1 = P_2 * 100 \implies P_2 = 0,2 \text{ bar}$$

100 l. d'Oxygène ————— <b>P2 = 0,2 bar</b>
--

- Procédons de même en exercice avec l'azote.

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2 \implies 80 * 1 = P_2 * 100 \implies P_2 = 0,8 \text{ bar}$$

100 l. d'Azote ————— <b>P2 = 0,8 bar</b>
--

### 4. LOI ET FORMULE

Enoncé : **A température donnée, la pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qu'auraient chacun des gaz s'il occupait seul tout le volume.**

Définition : On appelle **pression partielle** d'un gaz dans un mélange, la pression qu'aurait ce gaz s'il occupait à lui tout seul tout le volume.

Formule :

$$PP. \text{ gaz} = P. \text{ absolue} * \% \text{ gaz} / 100.$$

$$P. \text{ absolue} = PP. \text{ gaz1} + PP. \text{ gaz 2} + \dots + PP. \text{ gaz n}$$

## 5. APPLICATIONS CHIFFREES

Exercice 1 : L'air étant composé de 80 % d'azote et de 20 % d'oxygène, quelle sera la pression partielle de chacun de ses composants à 40 m de profondeur?

*Réponse : 4 bars et 1 bar.*

Exercice 2 : En gardant la même composition pour l'air, à quelle profondeur aura-t-on  $PPO_2 = 1,7$  bar?

*Réponse : 75 mètres.*

Exercice 3 : Pour quel mélange  $O_2 / N_2$  a-t-on  $PPO_2 = 1,7$  bars à 40 m de fond?

*Réponse : 34% d' $O_2$  et 66% de  $N_2$ .*

Exercice 4 : Quelle est la profondeur d'un plongeur qui respire de l'air dont la pression partielle d'oxygène est de 0,525 bar ?

*Réponse : 16,25 mètres*

## 6. APPLICATIONS A LA PLONGEE

- Calcul des pressions partielles et des profondeurs limites en fonction de la toxicité des gaz (voir chapitre sur les accidents biochimiques).
- Confection des mélanges respiratoires : nitrox, héliox, hydrox, trimix, hydréliox,... (voir chapitre sur la plongée aux mélanges).
- Oxygénothérapie hyperbare (caisson de recompression) et normobare.
- Elaboration des tables de plongée : Recherche de la tension d'azote ( $TN_2$ ) en fonction de la pression partielle d'azote respiré (Loi de Henry).

## CHAPITRE 6 : LOI DE HENRY

(Joseph Henry, Physicien américain, 1797-1878)

### 1. JUSTIFICATION

- Les liquides dissolvent les gaz (boissons gazeuses, limonade, ...).
- Nous, plongeurs allons dissoudre plus de gaz au fond qu'à la surface.
- Le corps est composé de 75% de liquides
- Nous, plongeurs allons dissoudre plus de gaz au fond qu'à la surface.

### 2. RAPPELS

- $P. \text{ absolue} = P. \text{ atmosphérique} + P. \text{ relative.}$
- $PP = P. \text{ absolue} * X\%/100.$

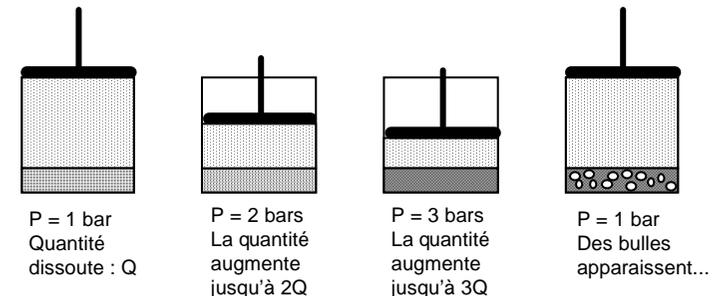
### 3. MISE EN EVIDENCE

#### Analogie :

- Le sucre se dissout dans du café chaud, à partir d'une certaine quantité, il ne se dissout plus. En laissant refroidir le café une partie du sucre va cristalliser. Il se passe la même chose entre un gaz et un liquide, sauf que le facteur de dissolution qui va nous intéresser plus particulièrement est la pression.

#### Expérience de laboratoire :

- Prenons une cuve contenant un liquide au fond, remplissons-la de gaz et munissons la d'un piston afin de pouvoir comprimer ce gaz.  
- Au fur et à mesure que la pression du gaz va augmenter, la quantité de gaz dissout dans le liquide va croître proportionnellement.  
- Si on relâche d'un coup le piston, la pression va baisser brutalement et des bulles vont se former dans le liquide.



- Il se passe exactement le même phénomène si on ouvre brutalement une bouteille de limonade :

→ la pression de la bouteille va chuter brutalement et il va y avoir un dégazage intempestif.

Par contre si on met son pouce sur le goulot et qu'on relâche petit à petit la pression :

→ il va y avoir des micro-bulles qui vont se former et c'est tout. Il y a un dégazage contrôlé.

#### 4. LOI DE HENRY

Enoncé : **A température donnée, la quantité de gaz dissoute à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle du gaz au-dessus de ce liquide.**

Remarques :

- La température du liquide intervient aussi mais différemment qu'avec le café : plus elle diminue, plus le liquide va dissoudre de gaz.

- Nous ne nous intéresserons pas à la température car nous plongeurs, sommes à une température à peu près constante de 37°C.

- Un adulte de 1,70 mètres pesant 65 kilos séjournant au niveau de la mer contient environ 900 ml d'azote sous 1 atm à l'état dissous dans ses tissus.

## 5. DEFINITIONS ET NOTIONS

### 5.1. Les cinq états de saturation

<i>GAZ DANS LA CUVE</i>	<i>PLONGEUR</i>	<i>PRESSION</i>	<i>ETAT</i>	<i>GAZ</i>
On avance le piston	Le plongeur descend	augmente	<b>Sous saturation</b>	Se dissout dans le liquide
Le piston s'arrête	Le plongeur reste au fond	est fixe	<b>Saturation</b>	Equilibre
On recule le piston	Le plongeur remonte	diminue	<b>Sur saturation</b>	Petites bulles dans le liquide (micro-bulles)
Après un certain temps	Après 8 heures	fixe	<b>Saturation</b>	Equilibre
On fait chuter la pression très vite	Le plongeur remonte trop vite ou ne respecte pas les paliers	chute trop vite	<b>Au-delà de la sur saturation critique</b>	Dégazage incontrôlé <b>DANGER</b>

Le dernier stade se situe au-delà du **seuil de sursaturation critique** :

Ce seuil, donné pour une pression donnée, ne doit pas être dépassé car alors la grosseur des bulles qui se formeraient nous mettrait en danger.

Il est variable suivant chaque individu, chaque tissu et sa forme du moment.

Néanmoins, le meilleur moyen d'être sûr de ne pas le dépasser est de plonger avec les tables M.N. 90, de respecter la vitesse de remontée et les consignes de sécurité.

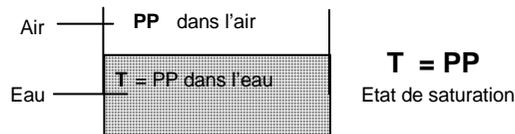
## 5.2. Notion de tension

- Dans un gaz, comme nous l'avons vu avec Dalton, la pression partielle nous indique la quantité de gaz contenu dans un mélange soumis à une certaine pression.

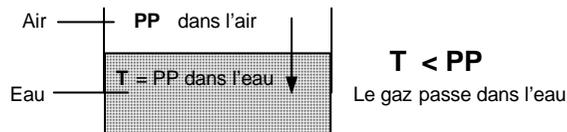
Dans un liquide, on ne parlera pas de la pression partielle d'un gaz dissous mais de sa **tension** dans ce liquide.

Elle sera plus ou moins élevée suivant la quantité de gaz dissout, donc de la pression. (On admet que Pression Partielle en milieu gazeux est égal à Tension en milieu liquidien).

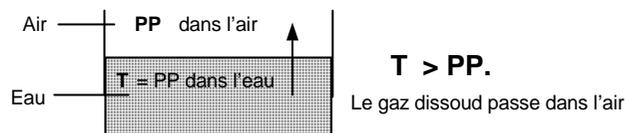
- A saturation, la tension égale à la pression partielle ambiante :



- A sous saturation, la tension est inférieure et elle va augmenter vers la valeur de la pression partielle ambiante.



- A sursaturation, la tension est supérieure et elle va diminuer vers la valeur de la pression partielle ambiante.



## 5.3. Notion de gradient

- On appelle **gradient** la différence entre la tension du gaz dans le sang et la pression partielle de ce même gaz dans le mélange respiré.

$$\text{Gradient } G = T. N_2 \text{ finale} - T. N_2 \text{ initiale}$$

- Un état de déséquilibre tend toujours vers un état d'équilibre ; par conséquent, le gradient G aura toujours tendance à se rapprocher de 0.

$$\begin{aligned} & T. N_2 \text{ finale} \\ &= T. N_2 \text{ initiale} + \text{Gradient } G \\ &= T. N_2 \text{ initiale} + ( P.P. N_2 \text{ à la prof.} - T. N_2 \text{ initiale}) \times \% N_2 \end{aligned}$$

## 5.4. Notions de tissus et de période

- En plongée, les quantités de gaz dissoutes vont donc augmenter. Nous ne nous intéresserons pour le moment qu'à l'azote car la quantité supplémentaire d'oxygène est brûlée par notre organisme.

- Notre corps étant en grande partie composé de liquide (liquide à 75 %), il va dissoudre les gaz. La quantité d'azote dissous sera plus ou moins grande suivant la nature des parties du corps et leur vascularisation. En plongée, nous appellerons **tissus (ou compartiments)** les différentes parties du corps. Nous regrouperons ceux qui ont le même coefficient de sursaturation critique et qui dissolvent l'azote à la même vitesse.

- On appellera **période** d'un tissu le temps qu'il faut à un tissu pour dissoudre la moitié du gaz disponible, le gradient. Ce sera cette valeur qui permettra de les classer en groupes. Cette classification n'est qu'un résumé de l'organisme, une simplification mathématique ; par exemple, le sang est en réalité composé de plusieurs tissus équivalents.

- Ainsi nous aurons les tissus courts : 7 min (sang, muscles très irrigués), les tissus moyens : 30 min (muscles) et 60 min (graisses vascularisées, muscles blancs) et les tissus longs 120 min (moelle osseuse),... Le plus long est un tissu de l'oeil, avec une période de 800 min.

- Un tissu 30 min mettra 30 min pour dissoudre la moitié du gradient, puis 30 min pour dissoudre la moitié du reste,...

- Le **coefficient de sursaturation** d'un tissu est noté S :

$$\text{Coef. } S = \text{Tension } N_2 / \text{Pression ambiante}$$

- Le **coefficient de sursaturation critique** représente, pour chaque tissu, la tension d'azote limite au-delà de laquelle se forme un dégazage incontrôlé ; il est noté  $S_c$ . C'est la valeur limite du coefficient de sursaturation :

On doit toujours avoir : **Coef. S < Coef S<sub>c</sub>**

### 5.5. Les facteurs de dissolution

Période du tissu	Coefficient S <sub>c</sub>	Période du tissu	Coefficient S <sub>c</sub>	FACTEUR DE DISSOLUTION	APPLICATION A LA PLONGEE	INCIDENCE SUR LA QUANTITE DISSOUTE	FACTEUR
5 minutes	2,72	40 minutes	1,56	Nature du gaz Nature du liquide Température. Si S diminue, la quantité dissoute augmente	Plongée à l'hélium ou l'hydrogène Différents tissus Considérée constante à 37°C Mais attention à l'eau froide (< à 12°C)	A tout moment	Constant
7 minutes	2,54	50 minutes	1,61				
10 minutes	2,38	60 minutes	1,58				
15 minutes	2,20	80 minutes	1,56				
20 minutes	2,04	100 minutes	1,55				
30 minutes	1,82	120 minutes	1,54				
				Pression	Profondeur		Variable
				Temps	Durée de la plongée	Avant la saturation	
				Agitation. La quantité dissoute augmente avec l'agitation	Le travail en plongée nécessite des tables spéciales C.O.M.E.X.		
				Surface de contact. Si S augmente, la quantité dissoute augmente	Tissus +/- vascularisés Surface alvéoles pulmonaires		Constant

- On considère que la sursaturation critique est atteinte pour un tissu lorsque la tension d'azote de ce tissu est égale à 2 fois la pression absolue.

- Dès qu'un tissu (ou compartiment) est sur le point de dépasser son coefficient de sursaturation critique S<sub>c</sub>, on dit qu'il devient **compartiment directeur** car il impose un arrêt (d'où palier) ou un ralentissement (d'où vitesse de remontée limitée).

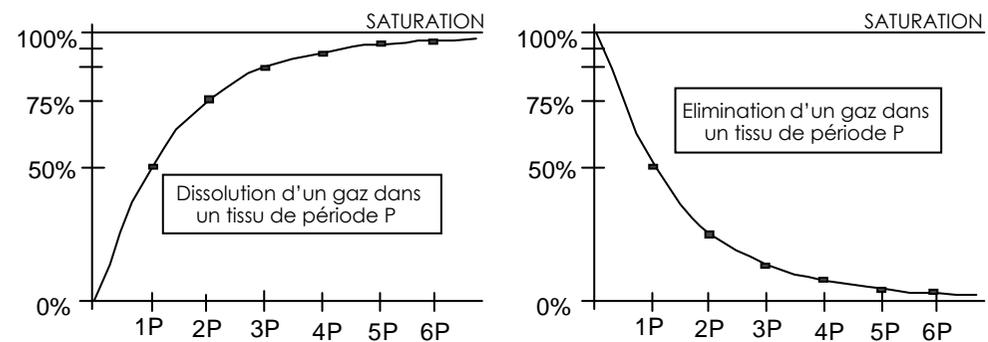
- Notons que le stress, l'adiposité, des efforts trop importants (palmage, travail), l'essoufflement, l'apnée, la fatigue, la mauvaise forme physique,... sont autant de facteurs augmentant la saturation ou pire, perturbant la désaturation.

### 6. APPLICATIONS A LA PLONGEE

- \* Fabrication des tables de plongées
- \* Fabrication des décompressimètres et des ordinateurs
- \* Compréhension et traitement des accidents de décompression (accidents biophysiques) :

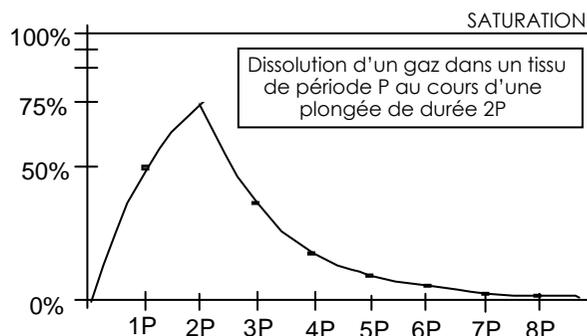
- A la descente, les tissus du corps se chargent plus ou moins (selon leur période) en azote.
- A la remontée, l'azote doit être éliminé, sans qu'aucun tissu ne soit jamais en état de dépassement de son seuil de sursaturation critique. Cela nécessite de limiter la vitesse de remontée et de faire des paliers.

Les processus de dissolution d'un gaz dans un liquide et d'élimination de ce même gaz sont exactement symétriques ; le temps pour passer d'un état de saturation à un état de désaturation est exactement le même.



Mais la saturation complète n'est que rarement atteinte pour des plongées sportives ; elle l'est pour les plongées à saturation où des professionnels restent plusieurs jours à plusieurs mois dans des "maisons sous la mer".

Voici ce qui se passe dans un tissu de période P pour des plongées sportives :



- La loi d'Henry va nous permettre de calculer nos tables de plongée, notre vitesse de remontée et nos paliers afin d'être en sécurité.

- Notons qu'il existe des tables plus ou moins dures sur le marché suivant le nombre de tissus qu'elles prennent en compte.

- \* G.E.R.S. 65 → est une juxtaposition de deux tables différentes :  
tissus 40', 75' et 120' de 10 à 38 m (table américaine de 1949, un peu modifiée en 1960).  
tissus 7', 30', 60', et 120' de 40 à 85 m (table Barthélémy et Parc, 1965).
- \* M.N. 90 → 12 tissus de 6 à 65 m. : 5', 7', 10', 15', 20', 30', 40', 50', 60', 80', 100' et 120'.  
le 13ème tissu de 1,5' utilisé pour calculer la vitesse de remontée.  
le 14ème tissu de 240' utilisé pour tableau d'inhalation d'O<sub>2</sub> pur.  
le 15ème tissu de 300' utilisé pour les plongées professionnelles

- Il faut également signaler que les tables M.N. 90 ont été construites pour des militaires présentant certaines caractéristiques (âge, poids, taille et état physique) et plongeant selon des règles précises en nombre de plongées hebdomadaires et en fréquence quotidienne ; leur application doit donc être faite en tenant compte des différences qui peuvent exister.

- Chaque table est cohérente à condition de respecter l'ensemble de ses indications (vitesse de remontée, profondeur et durée des paliers).

- Pourquoi des paliers tous les multiples de 3 mètres ? tout simplement parce que 3, 6 ou 9 mètres correspondent à 10, 20 ou 30 pieds chez les Anglais et que faire des calculs avec des multiples de 10 était plus simple à l'époque des premières tables de décompression construites par l'anglais Haldane!

Il n'y a aucune raison scientifique d'effectuer des paliers tous les 3 mètres ; il est parfaitement possible de calculer des paliers tous les mètres, tous les 5 mètres ou tous les centimètres !

Néanmoins, il faut penser qu'il serait très difficile de respecter des hauteurs de paliers trop précises dans une mer en mouvement (houle, courants, vagues).

## 7. APPLICATIONS CHIFFREES

### Exercice 1 :

Calculer le gradient d'azote G à 35 mètres de profondeur (départ à saturation à la pression atmosphérique).

Réponse : 2,8 bars

- à 0 mètres, PP N<sub>2</sub> = 0,8 bar
- à 35 mètres, PP N<sub>2</sub> = 4,5 b x 0,8 = 3,6 bars

→ Gradient G = T N<sub>2</sub> finale - T N<sub>2</sub> initiale = 3,6 - 0,8 = 2,8 bars

A chaque période, on dissous (ou élimine) 50 % du gradient, on trouve donc de manière empirique :

Nb périodes	Gradient G dissous		T N <sub>2</sub> finale
Après 1ère période	50 % de 2,8 bars	G = 1,4 bar	0,8 + 1,4 = 2,2 bars
Après 2ème période	50 % de 1,4 bars	G = 0,7 bar	2,2 + 0,7 = 2,9 bars
Après 3ème période	50 % de 0,7 bars	G = 0,35 bar	2,9 + 0,35 = 3,25 bars
Après 4ème période	50 % de 0,35 bars	G = 0,175 bar	3,25 + 0,175 = 3,425 bars
Après 5ème période	50 % de 0,175 bars	G = 0,0875 bar	3,425 + 0,0875 = 3,5125 bars

Pour calculer le pourcentage en fonction du nombre de périodes dans toutes les conditions (y compris, pour un nombre de périodes avec des décimales), on peut utiliser la formule suivante (niveau monitorat):

$$T N_2 \text{ finale} = T N_2 \text{ initiale} + \text{Gradient G} \times (1 - 0,5^N)$$

avec N = Nombre de périodes entre l'état initial et l'état final.

(Le résultat de  $(1 - 0,5^N)$  est souvent donné dans une table.)

Dans cet exemple, on obtient :

$$T N_2 \text{ finale} = 0,8 + 2,8 \times (1 - 0,5^5) = 0,8 + 2,8 \times 0,96875 = 3,5125 \text{ bars}$$

### Exercice 2 :

a) Calculer la tension d'azote finale du sang (tissu 7') lors d'une plongée d'une durée de 21 minutes à 40 mètres de profondeur (départ à saturation à la pression atmosphérique).

b) En ne tenant compte que de ce tissu (que l'on supposera tissu directeur), le plongeur peut-il remonter directement vers la surface ? Sinon quel palier doit-il effectuer ?

Réponse : a) 3,6 bars  
b) Palier de 6 mètres obligatoire

- a) - Tension N<sub>2</sub> initiale = 0,8 bar  
 - Nombre de périodes = 21' / 7' = 3  
 - En 3 périodes, le tissu dissous 50 + 25 + 12,5 = 87,5 % du gradient (ou  $1 - 0,5^3 = 0,875$ )  
 - Gradient N<sub>2</sub> à 40 mètres = (5 x 0,8) - 0,8 = 3,2 bars  
 - Tension N<sub>2</sub> finale = 0,8 + (3,2 x 0,875) = 3,6 bars

- b) - Si le plongeur remonte directement, en surface, on aurait :  
 Coef saturation S = Tension N<sub>2</sub> / Pression ambiante = 3,6 / 1 = 3,6  
 Donc S = 3,6 est supérieur à Sc = 2,54 ; la remontée est impossible, sinon il y a risque d'accident de décompression.  
 - Pour calculer la profondeur du premier palier, on calcule la pression ambiante pour laquelle le coefficient de sursaturation ne dépasse pas Sc :  
 Pression ambiante = Tension N<sub>2</sub> / Coef saturation = 3,6 / 2,54 = 1,42

bars

- 1,42 bars correspond à une profondeur de 4,20 mètres
- Comme nos paliers sont multiples de 3 mètres, on fera un palier obligatoire à 6 mètres.

### Exercice 3 :

a) Calculer la tension d'azote finale du sang (tissus 5', 30', 60' et 120') lors d'une plongée d'une durée de 2 heures à 50 mètres de profondeur (départ à saturation à la pression atmosphérique).

b) En tenant compte de ces quatre tissus, le plongeur peut-il remonter directement vers la surface ? Sinon quel palier doit-il effectuer ?

- a) - Tension N<sub>2</sub> initiale = 0,8 bar  
 - Nombre de périodes : 120' / 5' = 24 p.; 120' / 30' = 4 p.; 120' / 60' = 2 p.; 120' / 120' = 1 p.

- Tension N<sub>2</sub> finale : On peut le considérer saturé, donc T N<sub>2</sub> = 4,8 bars
  - 0,8 + (4,8-0,8) x 0,9375 = 4,55 bars
  - 0,8 + (4,8-0,8) x 0,75 = 3,8 bars
  - 0,8 + (4,8-0,8) x 0,50 = 2,8 bars

b) - Pour calculer la profondeur du palier, on calcule, pour chaque tissu, la pression ambiante

pour laquelle le coefficient de sursaturation ne dépasse pas Sc :

Pression ambiante = Tension N<sub>2</sub> / Coef saturation

Pression ambiante = 4,8 / 2,72 = 1,764 bars donc palier à 7,64 mètres

Pression ambiante = 4,55 / 1,82 = 2,5 bars donc palier à 15 mètres

Pression ambiante = 3,8 / 1,58 = 2,405 bars donc palier à 14,05 mètres

Pression ambiante = 2,8 / 1,54 = 1,818 bars donc palier à 8,18 mètres

- Donc le tissu directeur est ici le tissu 30 minutes ; palier obligatoire à 15 mètres.

## CHAPITRE 7 : LA VISION DANS L'EAU

### 1. JUSTIFICATION

Dans notre expérience de plongeur, on a remarqué plusieurs choses :

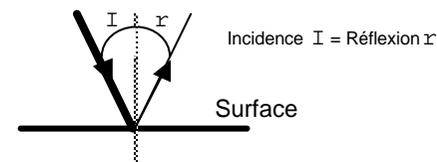
- On voit plus gros.
- Les objets sont rapprochés.
- Le champ de vision est rétréci.
- Les couleurs disparaissent, sauf si on éclaire avec une lampe.
- En eau trouble, la lampe est peu efficace.

Nous allons voir pourquoi.

### 2. LES 4 EFFETS

#### 2.1. La réflexion

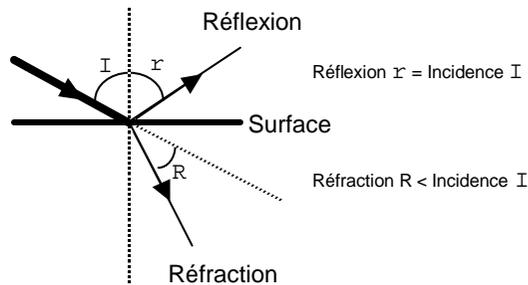
Tout se passe comme si la surface de l'eau agissait comme un miroir. Une partie des rayons est réfléchi.



De plus, plus la lumière arrive rasante sur l'eau, moins elle y pénètre.

#### 2.2. La réfraction

En passant de l'air à l'eau, l'angle des rayons lumineux est modifié (expérience du bâton cassé) car l'indice de réfraction de l'air est de 1,00 et celui de l'eau de 1,33.



### 2.3. L'absorption

L'eau absorbe l'intensité lumineuse et les couleurs.

PROFONDEUR	INTENSITE LUMINEUSE	DISPARITION DES COULEURS
Surface	100 %	
1 m	40 %	Infrarouge
2 m		Rouge modifié
5 m		Rouge
10 à 15 m	14 %	Orangé
15 à 25 m	7 %	Jaune
25 à 60 m	1,5 %	Violet et Bleu-vert
vers 70 m	1 %	Monochrome
400 à 500 m		Noir total

L'absorption est sélective (suivant les couleurs) : des longueurs d'ondes élevées (infrarouge et rouge) aux longueurs d'ondes plus faibles (bleu et ultraviolet).

### 2.4. La diffusion

- Elle est due à la réfraction et à la réflexion sur les particules en suspension (eaux troubles, plancton,...).
- L'effet d'une lampe en eau trouble est le même qu'un phare dans un brouillard.

## 3. APPLICATION A LA PLONGEE

### 3.1. Sans masque

- La rétine est prévue pour recevoir des rayons lumineux véhiculés dans l'air. Comme le milieu est différent, l'image se forme en arrière de la rétine : l'image est floue (hypermétropie).

- Si l'image se forme sur la rétine, c'est la vision normale : Emmétropie
- Si l'image se forme en avant de la rétine, c'est la myopie
- Si l'image se forme en arrière de la rétine, c'est l'hypermétropie qui existe dans l'eau.

La convergence d'un oeil est de 47 dioptries dans l'air et de 5 dioptries dans l'eau.

Le rôle d'un masque est de jouer le rôle d'un dioptré plan pour séparer les deux milieux (eau et air) et permettre une vision nette normale.

- Il existe néanmoins des lentilles pour voir sans masque sous l'eau, (par exemple, comme Jacques Mayol). Mais leur prix est très élevé.

### 3.2. Avec masque

Effet de grossissement et de rapprochement :

- Le masque rapproche :

$$\text{Distance apparente} = \text{Distance réelle} * 3/4$$

- Le masque grossit :

$$\text{Taille vue} = \text{Taille réelle} * 4/3$$

En effet, les rayons lumineux, en passant à travers le masque traversent une couche d'air : leur angles changent, ce qui donne l'effet de grossissement et de rapprochement.

Rétrécissement du champ de vision d'environ 90 % :

- Le masque, dans l'air comme dans l'eau agit comme des oeillères. C'est pourquoi, dans l'eau, il faut prendre l'habitude de :

- \* Balayer pour regarder afin de voir un maximum de choses.
- \* Faire les signes bien en face des autres plongeurs.
- \* Faire des tours d'horizon (360°), au fond, à 3 mètres comme en surface.

#### Les couleurs :

- Afin de bien profiter des couleurs de la faune et de la flore, emportez une lampe pour recréer un éclairage naturel.

#### La réflexion :

- Plonger quand le soleil est haut, ainsi plus de lumière pénètre.
- En plongée de nuit, pour une certaine inclinaison du faisceau, plus rien ne sort et il repart au fond.

#### La diffusion :

- Eviter les eaux troubles.
- Penser aux copains et ne pas jouer les laboureurs au fond.

### **3.3. Remarque**

- En photographie sous-marine, l'objectif contenant de l'air, il se comporte comme un masque et rapproche donc les images. Il convient donc de faire la mise au point sur la distance apparente et non pas réelle.

## **4. EXERCICES D'APPLICATION**

Exercice 1 : En plongée, un poisson se trouve à 4 m de nous et mesure 90 cm de long. A quelle distance et de quelle grosseur le voit-on?

*Réponse : la distance apparente est de 3 mètres,  
la longueur imaginaire est de 1,20 mètres.*

Exercice 2 : Vue de la surface avec un masque, l'ancre du bateau a l'air d'être à 15 m de fond et d'être longue de 80 cm. A quelle distance réelle se trouve-t-elle de nous et quelle est sa vraie longueur?

*Réponse : la profondeur réelle est de 20 mètres,  
la longueur réelle est de 60 centimètres.*

## CHAPITRE 8 : L'ACOUSTIQUE DANS L'EAU

### 1. JUSTIFICATION

Contrairement à ce que l'on pense, l'eau n'est pas le monde du silence, on y entend très bien les sons :

- Les hélices de bateaux.
- Les pétards de rappel.
- Les chocs sur la bouteille.
- Les cris dans le détendeurs.
- Les cris des baleines.

Un son se caractérise par son intensité, sa fréquence ou hauteur et son timbre.

### 2. DIFFERENCE DE MILIEU

En fait, les sons se propagent très bien dans l'eau et même mieux que dans l'air. C'est le passage dans l'eau d'un son émis dans l'air qui est quasiment inexistant.

Dans l'eau, les sons aigus portent plus loin que les sons graves.

- Vitesse du son dans l'air : 330 m/s.
- Vitesse du son dans l'eau : **1500 m/s**.

C'est pour cela qu'il est difficile de repérer la provenance d'un son sous l'eau car sa vitesse est tellement élevée qu'il arrive en même temps aux deux oreilles d'où rupture de la stéréophonie. Sur Terre, c'est en fait le léger décalage entre la perception de chaque oreille (la stéréophonie) qui permet de situer sa provenance.

De plus, dans l'eau, la boîte crânienne transmet les sons à l'oreille, ce qui perturbe en plus le mécanisme de reconnaissance de la provenance d'un son.

### 3. EXERCICES D'APPLICATION

Exercice 1 : Un bâtiment explose à 4950 mètres d'un bateau. Combien de temps les plongeurs au palier sous le navire l'entendront-ils avant le marin resté à bord?

*Réponse : 11,7 secondes.*

Exercice 2 : Un sondeur émet une onde sonore vers le fond et en reçoit l'écho un dixième de seconde après l'émission. A quelle distance se trouve le fond?

*Réponse : 75 mètres.*

### 4. APPLICATIONS A LA PLONGEE

- Communication entre plongeurs (chocs sur la bouteille, cris dans l'embout).
- Communication entre surface et plongeurs (chocs sur échelle métallique, pétards de rappel).
- Orientation et sécurité : bruit des moteurs.
- Sondeur.

# PHYSIOLOGIE

## **CHAPITRE 9 : PHYSIOLOGIE ELEMENTAIRE**

### **1. JUSTIFICATION**

Pour comprendre et mieux réagir face à un accident, nous avons besoin de savoir comment notre corps fonctionne. Du moins pour les fonctions essentielles en plongée.

### **2. CONDITION POUR PLONGER**

Pour plonger, il faut être :

- **en bonne santé.**
- **en bon état physique.**
- **en bonne condition mentale.**

Le plongeur doit avant tout bien SE CONNAITRE, savoir jusqu'où il PEUT ALLER et ne jamais tenter une action en espérant un heureux hasard. Il n'y a jamais de miracle et les capacités humaines sont pratiquement constantes.

En outre, il ne faut JAMAIS SE FORCER, ni tenter une plongée si l'on n'a pas envie de le faire (même, et surtout, si les amis se montrent sarcastiques. Notez que de vrais plongeurs savent ce que peut être une méforme passagère, car tout le monde un jour a connu ou connaîtra cela !).

### **3. CONTRE-INDICATIONS PRINCIPALES**

La liste des contre-indications ci-dessous n'est qu'indicative ; certains problèmes doivent être abordés cas par cas, avec un bilan auprès d'un médecin spécialiste, la décision tenant compte du niveau technique du plongeur (débutant, ancien plongeur ou encadrant).

En cas de litige, la décision finale doit être soumise à la commission médicale régionale voire nationale qui délibère deux fois par an.

D'autre part, après un accident de décompression, une surpression pulmonaire, un passage en caisson hyperbare ou un autre accident sévère, la reprise de la plongée devra être visée par la commission médicale régionale.

#### **3.1. Des contre-indications temporaires**

##### **3.1.1. Les accidents**

Toutes séquelles d'accidents de plongée antérieurs : neurologiques, cardiaques, pulmonaires et ORL - Fractures - Entorses - Traumatismes crâniens (pendant 6 mois si pas de séquelles) - Cicatrisation d'une plaie importante.

##### **3.1.2. Les maladies**

Rhume - Grippe - Angine - Sinusite et toutes affections des voies aériennes supérieures - Otites passagères et conjonctives - Bouchon de cérumen - Maladies infectieuses aiguës en évolution - Déviation sévère de la cloison nasale (non opérée) - Hépatite - Infection dentaire - Ulcère - Infarctus récent - Chirurgie oculaire (pendant 6 mois) - Traitement antidépresseur.

##### **3.1.3. Physiologiques**

Grossesse (après 2 mois) - Mauvaise forme psychique et physique - Absorption de médicaments amenant une somnolence - Fatigue - Repas arrosé.

#### **3.2. Des contre-indications définitives**

##### **3.2.1. Les atteintes pulmonaires**

Asthme même mineur ou saisonnière (faire test d'hyperventilation à l'air froid et test d'effort) - Alvéoles et bronches à clapet - Emphysème - Pneumothorax même ancien - Antécédents de tuberculose pulmonaire - Bronchite - Maladies pulmonaires évolutives (cancer) - Pleurésie - Syndrome intersticiel - Chirurgie thoracique.

##### **3.2.2. Les atteintes cardiaques**

Hypertension et hypotension artérielles majeures - Astéro-sclérose - Maladies coronariennes (infarctus du myocarde, angine de poitrine, souffle au coeur, ...) - Insuffisance cardiaque stade II - Tachycardie paroxystique - Traitement par anticoagulant.

L'électrocardiogramme est obligatoire de façon régulière chez les plongeurs de plus de 40 ans.

##### **3.2.3. Les atteintes neurologiques et psychiatriques**

Epilepsie même traitée - Spasmophilie - Cryoallergie importante - Trépanation du cerveau - Traumatisme crânien avec perte de connaissance - Chirurgie endocranienne - Tétanie - Hyperémotivité - Maladies psychiatriques sévères - Antécédents de suicide - Troubles caractériels.

Le moniteur a ici un rôle important car il pourra dissuader certains plongeurs stressés, angoissés, émotifs.

##### **3.2.4. Les affections ORL**

Trompe d'Eustache obstruée - Sinusite chronique évolutive - Polypes divers - Tympanoplastie - Déviation de la cloison nasale - Laryngocèle - Surdité unilatérale - Otites chroniques - Troubles de l'équilibre et vertiges - Perforation du tympan - Trachéotomie.

### 3.2.5. Les affections ophtalmologiques

Décollement rétinien - Conjonctivite chronique - Glaucome - Forte myopie - Oeil de verre.

### 3.2.6. Les affections endocrinologiques

Diabète important TTT par insuline ou sulfamides - Diabète non équilibré par régime ou biguanides - Obésité - Hypercholestérolémie importante.

### 3.2.7. Divers

Antécédents d'accidents de décompression graves (avis de la commission médicale) - Ostéo-nécrose - Ostéo-arthrite - Phlébite - Carie dentaire non ou mal traitée (prothèse dentaire mobile à enlever en plongée) - Troubles rénaux - Cirrhose - Jaunisse (jusqu'à 60 jours après la guérison) - Hernie discale même traitée - Allergie à l'aspirine (à discuter avec les moniteurs) - Amputation - Handicaps moteurs majeurs.

## 3.3. Examen de non contre-indication à la plongée de loisir

Contrairement à d'autres sports, la négligence de certaines anomalies lors de la délivrance d'un certificat de non contre-indication à la plongée en scaphandre peut être lourde de conséquence pour le plongeur. Le médecin étant juge de sa propre compétence en matière de médecine de plongée, sa responsabilité est pleinement engagée.

Ce chapitre est destiné à faire comprendre aux plongeurs la raison et l'importance des examens qui leur sont imposés lors des visites annuelles

### 3.3.1. L'interrogatoire

Les antécédents doivent être soigneusement recherchés ; l'interrogatoire sera orienté en fonction des contre-indications

- l'entraînement physique : bonne adaptation cardio-vasculaire à l'effort, filtre pulmonaire parfaitement fonctionnel.
- l'âge : pas de plongée dans le cadre fédéral pour les enfants de moins de 8 ans ; pas de limite d'âge supérieure, il est nécessaire de tenir compte de l'âge physiologique
- les maladies pulmonaires : asthme, pneumothorax, ...
- les maladies cardiaques : hypertension artérielle, troubles du rythme, souffle à l'auscultation, ...
- les maladies ORL : surdité, vertiges, antécédents de sinusite, d'otite, d'intervention ORL, ...
- les maladies neurologiques et psychiatriques
- les maladies ophtalmologiques
- les maladies endocriniennes

- les médicaments : toute prise médicamenteuse peut être une cause de contre-indication
- les toxiques : tabac, alcool, drogue
- les vaccins : vérifier les vaccins DTPolio et hépatite B

### 3.3.2 L'examen clinique

Confirme l'interrogatoire ; à faire parfois systématiquement :

- prise de la tension artérielle
- mesure du débit de pointe au Peak Flow, dans le dépistage de l'asthme
- test de Ruffier-Dickson : donne une idée de l'adaptation physique à l'effort (auscultation en tachycardie et tension artérielle à l'effort)

### 3.3.3 Les examens complémentaires

- électrocardiogramme : lors d'une première consultation, d'un passage de niveau ou plus systématiquement après 35 à 40 ans
- bilan biologique : glycémie et lipidémie (après 35 à 40 ans)

### 3.3.4 Les examens spécialisés

- une épreuve d'effort doit être pratiquée s'il existe une symptomatologie à l'effort ou plus de deux facteurs de risque cardio-vasculaire (tabac, obésité, antécédents familiaux, hypertension artérielle, diabète, hypercholestérolémie, souffle, absence de pouls périphérique)
- une audio-tympanométrie : systématique et obligatoire chez l'enfant, en cas de doute chez l'adulte
- un fond d'oeil et angiographie : en cas de diabète, de forte myopie, ...
- un examen fonctionnel respiratoire et épreuve à la méta choline : en cas de doute
- un examen dentaire : rappeler la nécessité de consulter un dentiste tous les ans.
- une recherche d'un Foramen Ovale Perméable (FOP) éventuel

### 3.3.5. A l'issue de la consultation

- adresser à un spécialiste en cas de problème détecté
- en fonction de l'anomalie constatée, délivrance d'un certificat restreignant la pratique de la plongée (profondeur, durée, eau froide, etc...) sachant que le risque de transgression est important !
- en fonction du niveau de plongée dans les cas limites : un débutant sera plus facilement réorienté vers une autre activité ; un plongeur expérimenté et motivé peut comprendre son problème et adapter sa pratique.

### 3.4. Responsabilité du moniteur

\* Responsabilité du moniteur lors du baptême (certificat médical non obligatoire) : même si le baptême ne se passe qu'à 3 mètres, il risque éventuellement de "déraper" (lorsque la personne est à l'aise, lorsqu'il s'agit d'un ami, ...).

\* Responsabilité morale du moniteur vis à vis du futur plongeur : ne pas encourager un individu en cas de contre-indication définitive.

Attention, car un certificat médical peut être signé par un médecin n'ayant aucune connaissance de ce sport.

Les questions à poser par le moniteur avant la plongée :

- Avez-vous déjà eu des maladies particulières ? (hôpital, interventions)
- Prenez-vous des médicaments ?
- Avez-vous déjà perdu connaissance ? (épilepsie, syncope cardiaque, convulsions)
- Avez-vous une maladie du cœur ? une maladie pulmonaire ?
- Avez-vous une affection ORL ? ophtalmologique ?
- Etes-vous diabétique ?

### 3.5. Conclusion

Ces contre-indications peuvent entraîner une incapacité temporaire ou définitive pour la pratique de la plongée sous-marine ; seul un médecin habilité peut juger de la gravité de certaines pathologies par rapport à la plongée.

D'autre part, comme dans toutes les activités sportives de plein air, le risque existe constamment, et l'accident peut arriver à tout moment pour les sujets imprudents.

La gloriole, l'esprit de performance, l'ambition mal placée, sont autant de facteurs mentaux susceptibles de causer l'ACCIDENT.

## 4. L'APPAREIL CIRCULATOIRE

C'est grâce à cet appareil que notre sang va pouvoir se diffuser dans l'organisme et remplir ses fonctions qui sont :

- thermorégulation.
- transport aux tissus des aliments introduits par la digestion.
- transport de l'O<sub>2</sub> aux tissus et prise en charge du CO<sub>2</sub>.
- transport des déchets vers les différents épithéliums :
  - \* Epithélium pulmonaire : CO<sub>2</sub> (500 l/jour) et vapeur d'eau (500 g/jour).
  - \* Epithélium rénal : urée, sel et eau
  - \* Epithélium cutané : sueur
  - \* Epithélium hépatique : produits toxiques, pigments biliaires
- assurer la défense de l'organisme contre les infections microbiennes
- et d'autres fonctions plus complexes (transport des hormones par exemple).

L'appareil circulatoire comprend le cœur, les vaisseaux et le sang et est découpé en :

- **La petite circulation** entre le cœur et les poumons permet d'échanger le CO<sub>2</sub> contre l'O<sub>2</sub> de l'air.
- **La grande circulation** irrigue l'ensemble de l'organisme par l'intermédiaire des artères, des capillaires et des veines et prend le CO<sub>2</sub> aux cellules et leur donne de l'O<sub>2</sub>.

### 4.1. Le cœur

**Le cœur** est un muscle creux, constitué d'un tissu musculaire épais (**myocarde**), gros comme le poing (280 g chez l'adulte), qui envoie le sang dans les cellules par ses contractions à la manière d'une pompe aspirante et refoulante. Ce muscle est recouvert d'une membrane extérieure (péricarde) et d'une membrane intérieure (endocarde). Il est situé dans la cage thoracique entre les deux poumons ; sa pointe, tournée vers la gauche, repose sur le diaphragme.

Le cœur est divisé en deux compartiments isolés (gauche et droite) assurant la séparation entre deux états du sang ; chaque compartiment est lui-même divisé en deux parties séparées par une valvule. La partie motrice ou **ventricule** à paroi musculaire épaisse et la partie réceptrice ou **oreillette** à parois flasques.

Le cœur possède deux systèmes nerveux :

- un système nerveux autonome : le **noeud de Flack** transmet l'influx nerveux vers le **tissu Nodal**, situé dans les parois musculaires du coeur et qui, si le coeur était coupé de toute innervation extérieure, déterminerait un rythme toujours identique.

- un système nerveux de régulation : avec des récepteurs sensitifs répartis dans l'organisme à la périphérie des artères (les **chémorecepteurs**) qui analysent l'état du sang - température, teneur en O<sub>2</sub>, teneur en CO<sub>2</sub>, tension, ... - et transmettent les informations aux deux systèmes suivants :

\* système sympathique pour accélérer le coeur (le médiateur chimique est l'**adrénaline**) ; c'est la tachycardie.

\* système parasympathique pour modérer le coeur (le médiateur chimique est l'**acétylcholine**) ; c'est la bradycardie.

Le fonctionnement du coeur est donc automatique et susceptible de variations de cadence en fonction de l'activité physique ou psychique. Il présente un caractère cyclique qu'on appelle révolution cardiaque :

- la **systole auriculaire** : les oreillettes chassent le sang et les ventricules se remplissent.

- la **systole ventriculaire** : les ventricules propulsent le sang hors du coeur dans les artères.

- la **diastole générale** : repos général pendant lequel les oreillettes se remplissent passivement.

La durée d'un battement est de 0,85 seconde pendant lequel le coeur éjecte 80 ml de sang.

L'onde de choc provoquée par les contractions ventriculaires est appelée **pouls**. Il bat environ entre 60 et 80 coups par minute pour un adulte au repos (130 chez un bébé d'un an).

La fréquence cardiaque maximum ne doit jamais dépasser 220 moins l'âge du sujet.

La pression artérielle, appelée tension, permet au sang de pénétrer dans les capillaires ; elle est toujours donnée avec deux chiffres qui correspondent pour le maxima à la systole ventriculaire (environ 12-14 cmHg) et pour le minima à la diastole générale (environ 7 cmHg) ; ils sont exprimés en cmHg.

Une tension est correcte lorsque minima = 1 + maxima / 2

Xxx PasAJour xxx Faire Schéma coeur

## 4.2 Les vaisseaux

Il faut environ une minute à la masse sanguine pour faire le tour entier par l'intermédiaire des vaisseaux. Nous distinguons :

- les **artères** : elles conduisent le sang du coeur vers les organes. Elles naissent de l'aorte et des artères pulmonaires et se divisent en artérioles puis en capillaires pour pénétrer intimement dans les tissus.

Par leur pouvoir contractile et de relâchement, ainsi que leur élasticité, elles jouent un rôle important dans la régulation du débit sanguin.

Les artères coronaires nourrissent le muscle cardiaque lui-même.

- les **veines** : elles conduisent le sang des organes vers le coeur. Elles sont pour la plupart dépourvues de fibres élastiques, et présentent surtout au niveau des membres inférieurs, des valvules qui aident la progression du sang et empêchent son retour en arrière.

Elles se regroupent en veinules et aboutissent elles aussi aux capillaires.

- les **capillaires** : ce sont les vaisseaux les plus fins et les plus nombreux (longueur totale 100 000 km). C'est grâce à eux que se font les transferts de produits nutritifs et les échanges gazeux, ce qui détermine deux états du sang : Sang hématosé (riche en O<sub>2</sub>) et la sang carbonaté (riche en CO<sub>2</sub>).

Il existe également les **lymphatiques** qui ne contiennent que du plasma et des globules blancs. Il naissent au voisinage des capillaires, et cheminent soit en profondeur, soit sous la peau (ganglions).

## 4.3. Le sang

Le sang représente 8% du poids du corps (environ 5 litres de volume). Il comprend un liquide, le plasma, contenant un certain nombre d'éléments en suspension : des cellules (globules rouges et blancs) et des fragments de cellules (plaquettes). Son Ph varie normalement de 7,33 à 7,45. Lorsque le CO<sub>2</sub> augmente (essoufflement), le sang devient plus acide (7,1 à 6,9) ; lorsque le CO<sub>2</sub> baisse (hyperventilation), le sang devient plus basique (7,5).

- le **plasma** : représente 55% de la masse sanguine ; il est composé par le fibrinogène et le sérum. Il contient 90% d'eau et d'autres matières : protéines, substances de déchets, matières énergétiques, hormones, gaz dissous et substances minérales.

- les **globules rouges** ou **hématies** : représentent 43% de la masse sanguine, leur nombre est de 4 à 5 millions par mm<sup>3</sup>, leur durée de vie d'environ 120 jours et leur taille de 6 microns ; ils renferment un pigment respiratoire : l'**hémoglobine** qui est l'agent transporteur de l'O<sub>2</sub> (oxyhémoglobine, sang hématosé) et du CO<sub>2</sub> (carbohémoglobine, sang carbonaté), voir du CO (carboxyhémoglobine qui est le plus stable).

- les **globules blancs** ou **leucocytes** : représentent 2% de la masse sanguine, leur nombre est de 5 à 6000 par mm<sup>3</sup>, leur durée de vie de quelques jours et leur taille de 13 microns. Ils détruisent les bactéries, les corps étrangers ; ce sont les agents de défense de l'organisme.

- les **plaquettes** ou **thrombocytes** : au nombre de 200 à 300 000 par mm<sup>3</sup> avec une taille de 3 microns. Elles servent à la coagulation du sang et interviennent pour stopper les hémorragies par agglomération sur les bulles de gaz.

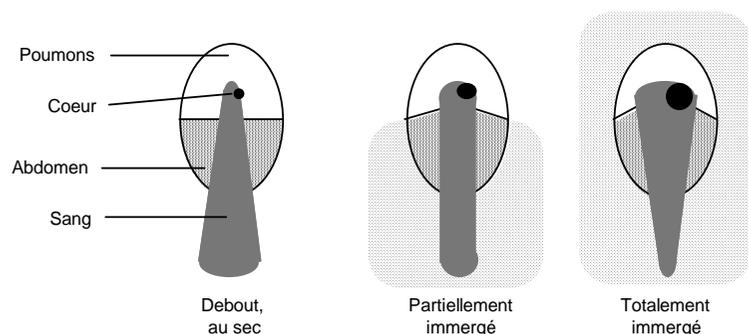
	Tension du gaz dans les vaisseaux (en mmHG)	
	Sang hématosé (Artères)	Sang carbonaté (Veines)
O <sub>2</sub>	100	40
CO <sub>2</sub>	40	46
N <sub>2</sub>	573	
H <sub>2</sub> O	47	

#### 4.4. Effets de l'immersion

##### 4.4.1. Modification de la répartition du volume sanguin

Voici une représentation schématique de la distribution des volumes des poumons, de la masse sanguine, du coeur et de l'abdomen.

Les organes représentés sont souples, déformables et leurs positions respectives résultent d'un équilibre de forces (pesanteur, élasticité, pressions relatives).



Lorsqu'on s'immerge, un nouvel équilibre des forces s'installe : un plus grand volume sanguin va se retrouver là où les vaisseaux sont le plus extensible, car à

proximité d'un gaz : les capillaires des poumons. Le coeur verra également son volume augmenter.

Lorsqu'on est totalement immergé, 700 ml de sang se retrouvent dans les poumons et le coeur ; le tissu pulmonaire, gorgé de sang, perd de sa souplesse.

L'immersion modifie donc le travail du coeur (volume cardiaque plus important), l'efficacité respiratoire (volume pulmonaire moindre) et l'effort inspiratoire (poumons moins souples).

##### 4.4.2. Augmentation de la pression sanguine

Dans le corps en immersion, toutes les pressions partielles augmentent. Le déplacement sanguin est quasi-instantané au moment de l'immersion. Le sang en provenance des organes et qui arrive au coeur est habituellement à une pression relative nulle. En immersion, cette pression est de 10 mmHg. L'afflux sanguin du à l'immersion augmente donc la pression dans les veines, entraîne un bon remplissage du coeur et facilite son travail.

Le résultat est une augmentation de la pression sanguine dans les artères. La pression dans les artères est contrôlée en permanence. Comme celle-ci augmente trop, un mécanisme de régulation, le système parasympathique, entre en jeu : le rythme cardiaque diminue et le diamètre des artères augmente.

##### 4.4.3. Déshydratation accélérée

Avec l'action du système parasympathique, la concentration de noradrénaline diminue. Cela va avoir une conséquence sur les cellules de la paroi de nos vaisseaux : ces cellules vont s'écarter les unes des autres au point que l'espace interstitiel (espace entre les cellules) sera sensiblement plus grand qu'à l'habitude.

L'eau du corps pourra alors rejoindre le sang plus facilement, ce qui aura pour effet d'augmenter le volume sanguin (hypervolémie) ; la diurèse (production d'urine) augmente également car il y a plus de sang à filtrer. Le débit urinaire qui est normalement de 1 ml/min passe à 6 ml/min en immersion !

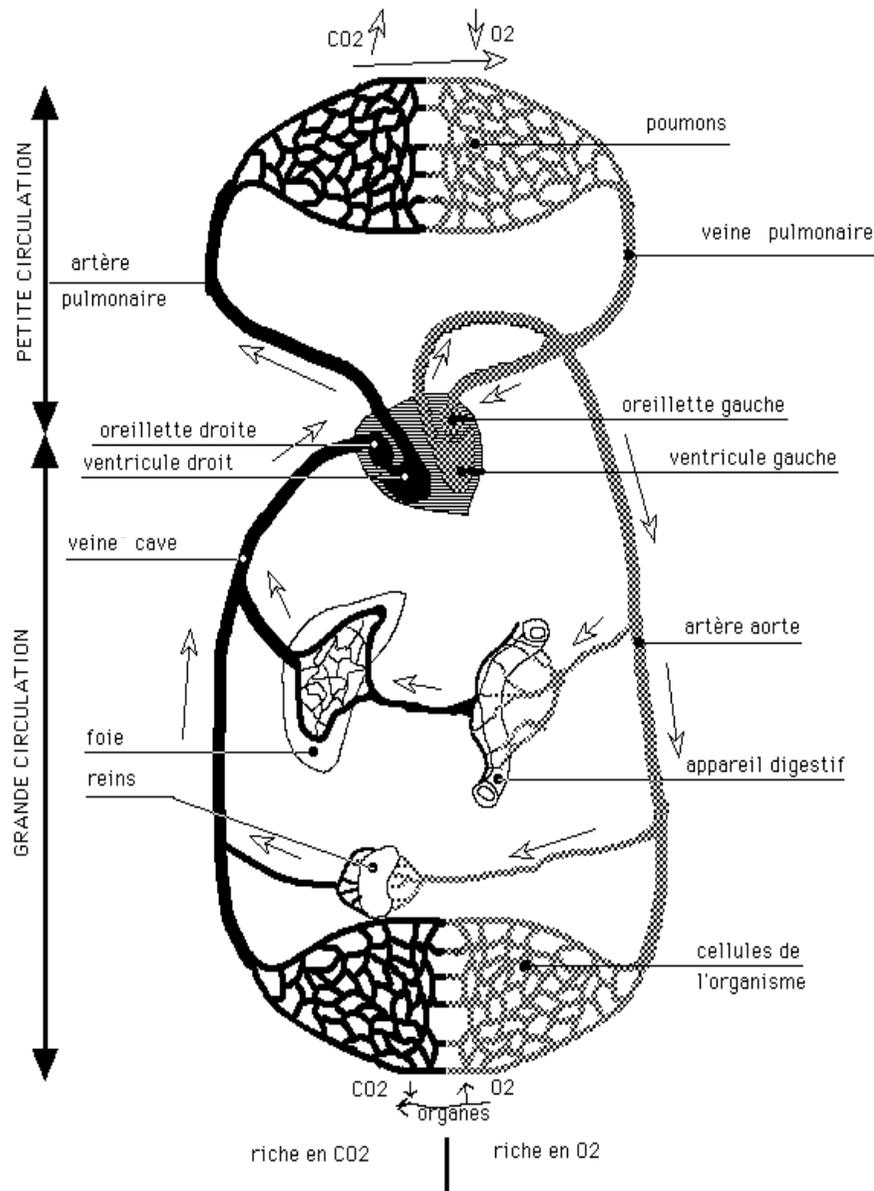
Cette diurèse entraîne une déshydratation qui augmente la viscosité du sang et rend par conséquent plus difficile l'élimination de l'azote. Il est donc conseillé de boire de l'eau immédiatement après la plongée.

##### 4.4.3. Diurèse de lutte contre le froid

La diurèse, donc la déshydratation, est encore accentuée par le mécanisme de lutte contre le froid.

#### 4.5. Schéma de la circulation

## SCHEMA DE LA CIRCULATION



## 5. L'APPAREIL RESPIRATOIRE

C'est grâce à lui que nous allons pouvoir respirer. Cette respiration, problème numéro un pour le plongeur, a pour objet principal de fournir l'oxygène vital à notre organisme et d'éliminer le  $CO_2$  par l'intermédiaire de la circulation sanguine dans le but de maintenir constant le degré d'acidité du sang et la température inerte de l'organisme.

La ventilation comprend deux phases :

- l'**inspiration** (prise de l'air ambiant) :
- l'**expiration** (rejet de l'air métabolisé) :

### **5.1. Anatomie**

C'est l'image d'un chou-fleur ou d'un brocolis à l'envers !

#### **5.1.1. Les voies aériennes supérieures**

L'air pénètre dans les **fosses nasales** par les narines où il se réchauffe (rôle des sinus). Les poils qui tapissent les fosses nasales servent de filtre à l'air inspiré ; ils arrêtent les poussières en suspension et une partie des microbes.

L'air circule ensuite dans le **pharynx** (ou arrière-gorge) puis passe par l'intermédiaire du **larynx** dans la **trachée artère**.

#### **5.1.2. Les voies aériennes inférieures**

Elles assurent les échanges d' $O_2$  et de  $CO_2$  entre l'air et le sang par osmose ou différence de pression partielle

Les **poumons** sont deux masses spongieuses, rosées, élastiques, entourées d'un double feuillet protecteur, la **plèvre** : un feuillet pariétal adhérent à la paroi thoracique et un feuillet viscéral qui adhère aux poumons. Entre ces feuillets, c'est le vide pleural.

Le poumon droit est formé de 3 lobes, et le gauche seulement de 2 laissant ainsi la place au cœur. Le poids de chaque poumon est d'environ 700 g pour le droit et 600 g pour le gauche.

La **trachée artère** est un volumineux conduit, composé de 15 à 20 anneaux cartilagineux, qui présente une ouverture qui se ferme au moment de la déglutition, par le jeu de la **luette** et de l'**épiglotte** qui jouent le rôle d'un clapet qui s'appuie sur un siège, la **glotte**.

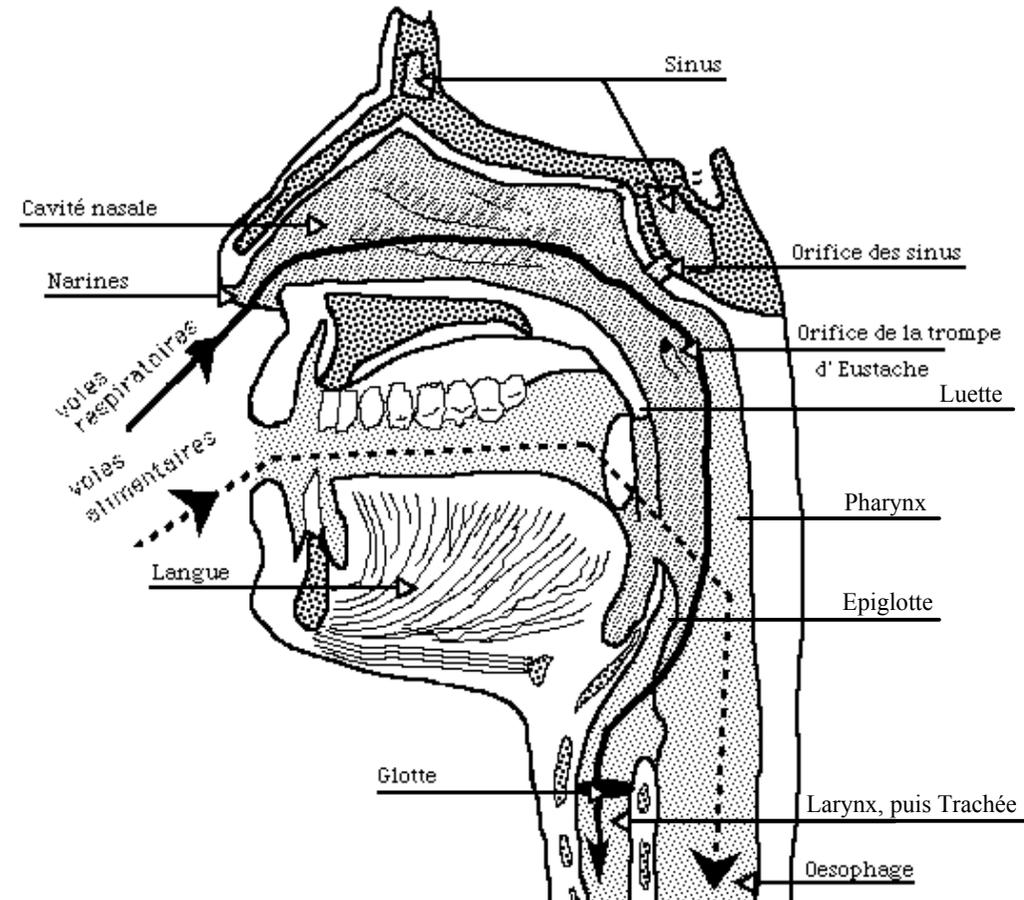
La trachée artère, longue de 12 cm environ chez l'adulte, se divise en 2 **bronches**, pénétrant chacune dans l'un des poumons.

## VOIES AERIENNES SUPERIEURES.

Les bronches se divisent, dans les poumons, en **bronchioles** qui aboutissent aux **lobules** pulmonaires (volume de 1 cm<sup>3</sup> environ). Un lobule est constitué d'une série de petits sacs (de 300 à 400 millions) : les **alvéoles pulmonaires**, structure de base du poumon, sortes de cavités sphériques de 0,1 à 0,3 mm de diamètre. La surface de contact dans les alvéoles est d'environ 100 à 150 m<sup>2</sup> (chez l'homme, seulement les deux tiers des alvéoles sont fonctionnelles) et l'épaisseur de la paroi alvéo-capillaire est inférieur à 1 micron.

Les alvéoles sont tapissées par une mince pellicule lubrifiante (le **surfactant**) qui évite que les poumons se collent avec fermeture de l'alvéole et permet d'amortir les extensions et rétractions des alvéoles

Certaines alvéoles peuvent être obstruées pour diverses raisons : pathologique (asthme) ou anatomique (alvéoles à clapets). Cela fait courir un risque certain au plongeur en scaphandre.



## 5.2. Physiologie

### - Inspiration

Dès que le taux de CO<sub>2</sub> devient conséquent, il y a excitation du **bulbe rachidien** par les chémorécepteurs artériels. Le bulbe commande alors au nerf moteur - le **nerf phrénique** -, l'abaissement du **diaphragme**, les **côtes** se soulèvent, créant alors une dépression intra-pulmonaire, les poumons se remplissent, c'est l'inspiration.

Des **muscles** vont évidemment intervenir dans cette phase inspiratoire. Ce sont, pour une inspiration normale : le diaphragme et les scalènes (muscles latéraux du cou) et en plus pour une inspiration forcée : les intercostaux externes, les pectoraux, le trapèze et les sterno-cléido mastoïdiens (muscles du cou).

### - Expiration

L'expiration est un phénomène passif excepté pour l'expiration forcée où les abdominaux et les intercostaux internes jouent un rôle actif.

### - Régulation

En plus du bulbe rachidien, un autre centre joue un rôle important dans la régulation automatique de la respiration, c'est le **sinus carotidien** qui est sensible aux variations des PP O<sub>2</sub> et PP CO<sub>2</sub> du sang, et de la position de la tête.

Les commandes de régulation sont :

- la voie pneumogastrique (parasympathique) qui commande la constriction des bronches.
- la voie sympathique qui commande la dilatation des bronches.

La fréquence respiratoire est d'environ 15 à 20 cycles par mn et varie en fonction de l'âge, la taille et l'effort. Le besoin est d'environ 20 m<sup>3</sup> d'air par jour et varie de 8 litres par minute au repos à 20 litres par minute en activité. Cela peut même aller jusqu'à 40 litres par minute lors d'un exercice physique intense.

## 5.3. Volumes pulmonaires et soufflet pulmonaire

Revenons aux poumons pour, plus tard, mieux comprendre la surpression pulmonaire. Les volumes pulmonaires peuvent être mesurés par un spiromètre ; on trouve :

Capacités :	Volume de réserve inspiratoire - VRI :	2,5 litres.
	Volume courant - VC :	0,5 litre au repos
	Volume de réserve expiratoire - VRE :	1,5 litres.
	<u>Volume résiduel - VR :</u>	<u>1 à 1,5 litres.</u>
	Capacité totale :	6 litres.

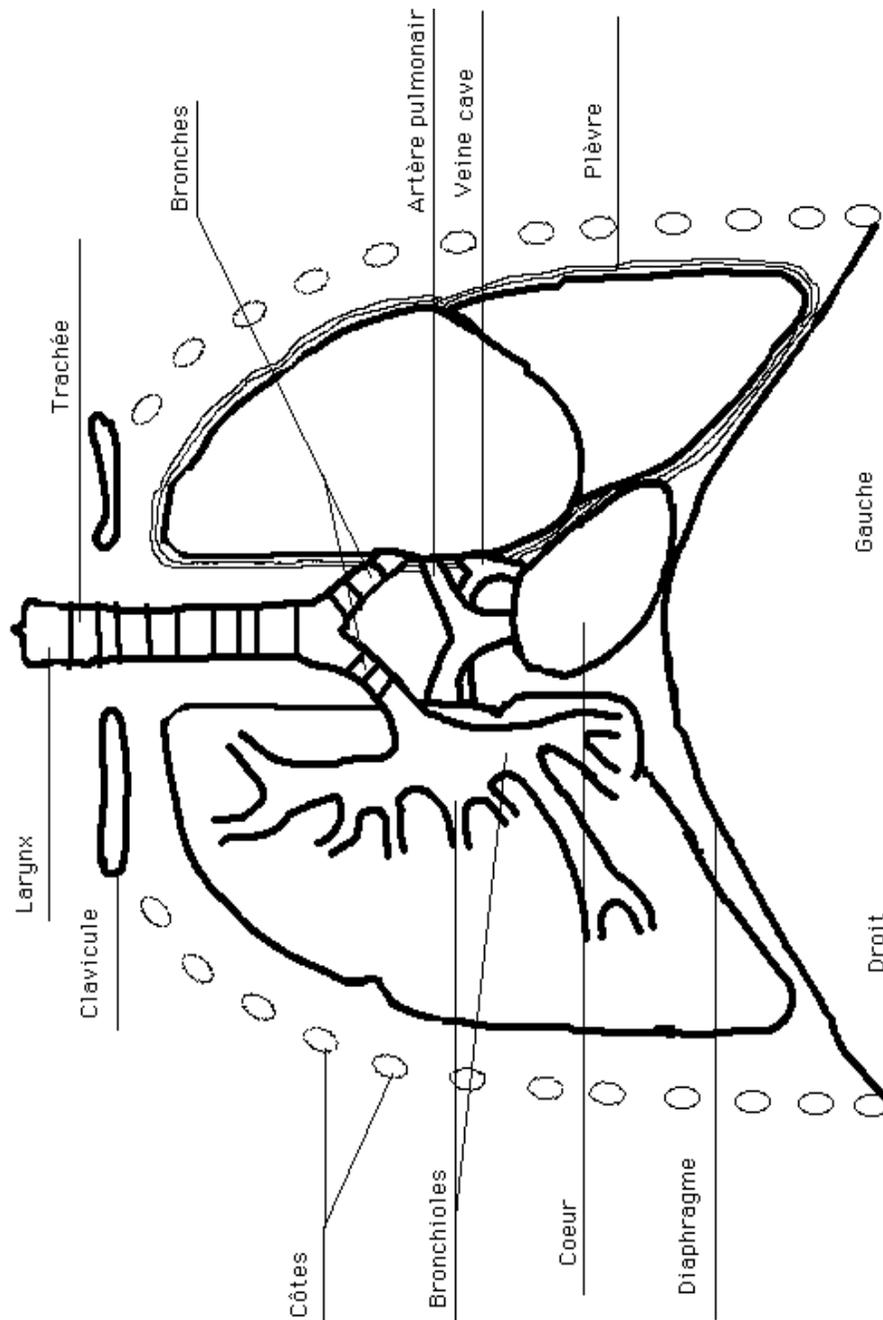
Les volumes VRI, VC et VRE correspondent à la capacité vitale des poumons (environ 4,5 litres)

Attention, lorsque l'on expire à fond, il reste dans nos poumons de l'air qui ne sera pas renouvelé. C'est ce qu'on appelle le **volume résiduel** (ou **volume mort**), qui comprend également environ 0,2 litres dans les voies aériennes supérieures.

En plongée le tuba accroît ce volume mort. C'est pourquoi il n'est pas bon d'en prendre un trop grand, ou d'en donner un à un jeune enfant. Pour la même raison, il faut expirer à fond en respirant sur un tuba pour renouveler un maximum d'air.

## 5.4. Schéma des poumons

## SCHEMA DES POUMONS



## 6. LE SYSTEME NERVEUX

Un **neurone** est un corps cellulaire avec noyau et cytoplasme, avec des prolongements très fins, courts et ramifiés, entourés d'une gaine de myéline (substance grasse riche en phosphore, d'aspect laiteux et avide d'azote).

Le système nerveux s'occupe de la régulation et de la transmission des ordres et des actions grâce aux neurones.

### **- Système cérébro-spinal**

Il comprend le système nerveux central et le système nerveux périphérique :

- Le système nerveux central est constitué de la moelle épinière, du tronc cérébral (cerveau basal et bulbe rachidien) et de l'encéphale (mêninges, cerveau et cervelet). Il gère la faculté d'intelligence, l'équilibre, la motricité, la prise d'informations.

- Le système nerveux périphérique comprend 12 paires de nerfs crâniens et 31 paires de nerfs rachidiens.

### **- Système neuro-végétatif**

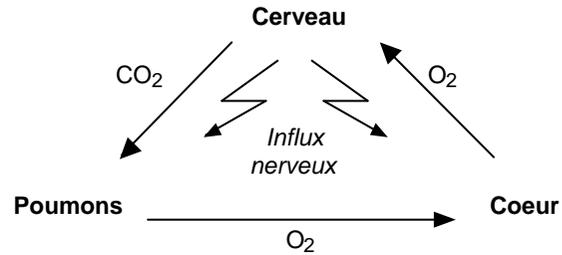
Il assure la vie végétative de façon indépendante de la commande volontaire : viscères, organes des sens, automatisme ventilatoire et circulatoire, vasoconstriction et vasodilatation des vaisseaux.

Le système neuro-végétatif est constitué d'un système sympathique et d'un système parasympathique. Voici des exemples de leurs actions :

	<b>Sympathique</b>	<b>Parasympathique</b>
<b>Circulation et respiration</b>	accélère	ralentit
<b>Vaisseaux</b>	rétrécit	dilate
<b>Bronches</b>	dilate	rétrécit
<b>Pupilles</b>	dilate	rétrécit
<b>Vessie et rectum</b>	rétenion	évacuation
	sécheresse des muqueuses	salivation, sueur

Il faut insister sur l'interdépendance des appareils circulatoires, respiratoires avec le système nerveux.

Si l'un de ces trois organes subit une lésion, les deux autres ne tardent pas à présenter des troubles graves.



## 7. LES SINUS

Les sinus sont des cavités gazeuses indéformables qui servent :

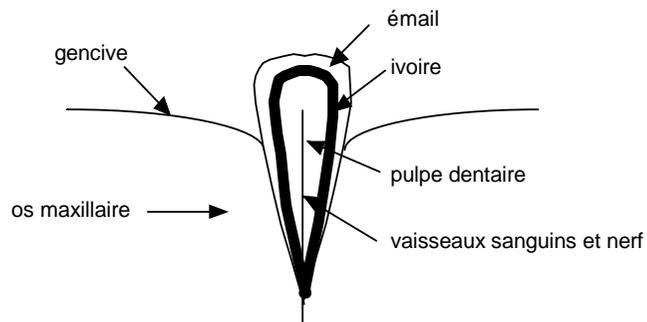
- à réchauffer et à humidifier l'air qui circule dans le rhino-pharynx,
- à alléger et à renforcer la boîte crânienne,
- de siège de la personnalité de la parole (par résonance).

Ils sont tapissés par une muqueuse très vascularisée, appelée épithélium, qui recouvre les voies aériennes supérieures. Les sinus sont reliés au rhino-pharynx par des conduits appelés **astias/ostias** (?) de faible diamètre et relativement long, notamment au niveau des frontaux.

On peut distinguer :

- les sinus **frontaux** au niveau des arcades de la base du front
- les sinus **maxillaires** au niveau du maxillaire supérieur
- les sinus **ethmoïdaux** derrière les fosses nasales
- les sinus **sphénoïdaux** au-dessus de l'arrière gorge, plancher du cerveau.

## 8. LA DENT



## 9. L'ESTOMAC

Il s'agit d'un récipient en forme de J, avec une contenance de 1,5 litres avec des sphincters à l'entrée et à la sortie. A l'entrée, on trouve le **cardia** et à la sortie le **pylore**.

## 10. LES INTESTINS

Ils sont composés de deux parties :

- l'intestin grêle :
- le colon ou gros intestin : 10 cm de diamètre pour 1,5 m de long ; il possède une surface bosselée, boursouflée. Son rôle est de récupérer l'eau résiduelle, après le passage dans l'intestin grêle. Il peut contenir 0,4 à 1 litre, voire 2 litres, de gaz par 24 heures (Azote, Hydrogène, Méthane, Oxygène).

## 11. L'OREILLE

Elle assure les fonctions d'audition, mais aussi d'équilibration dans l'espace. On la décompose en trois parties :

### 11.1. L'oreille externe

- du **pavillon** : C'est la partie visible de l'oreille, de 5 à 8 cm de hauteur, constituée par un cartilage recouvert de peau. ; il présente de nombreux replis qui captent les sons, les dirigent et nous permettent de situer leur provenance.
- du **conduit auditif externe** : petit tuyau de 2 à 4 cm de longueur et de 0,5 à 1 cm de diamètre. La peau qui le tapisse contient de très nombreuses glandes qui sécrètent le cérumen ; celui-ci associé aux poils retient les poussières.
- du **tympan** : membrane de 0,1 mm d'épaisseur, inclinée à 45° par rapport à l'axe du conduit. Il vibre avec les ondes sonores et transmet le mouvement au marteau.

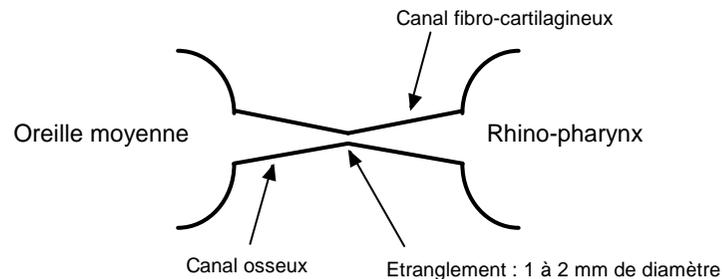
### 11.2. L'oreille moyenne

Partie ayant pour rôle d'amplifier les sons avant transmission à l'oreille interne et d'équilibrer les pressions de part et d'autre du tympan. Elle comprend :

- la **caisse du tympan** avec la chaîne des osselets (le marteau, l'enclume et l'étrier, serti dans la fenêtre ovale)
- la **fenêtre ovale** qui la relie avec la rampe vestibulaire de l'oreille interne
- la **trompe d'Eustache** qui la relie avec le rhino-pharynx.

La trompe d'Eustache est un canal tubaire, formé de deux cônes, long de 3 cm qui s'ouvre automatiquement une fois par minute à l'état de veille et une fois toutes les cinq minutes pendant le sommeil.

Elle est entourée par les muscles péristaphylins internes et externes (muscles leveurs et tenseurs du voile du palais).



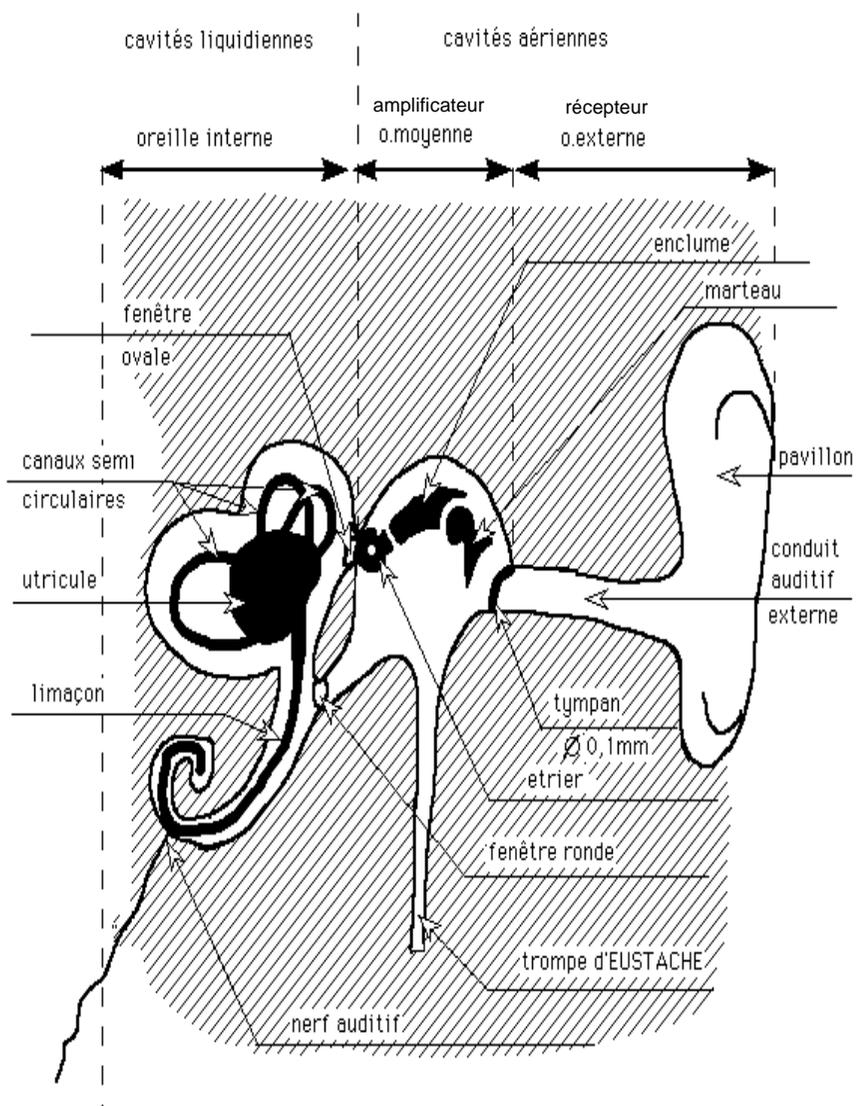
### 11.3. L'oreille interne

Partie où siègent les fonctions :

- \* d'audition : cochlée ou limaçon composé de trois conduits :
  - rampe vestibulaire contenant le périlymphe et relié à la fenêtre ovale.
  - canal cochléaire contenant l'endolymphe
  - rampe tympanique contenant le périlymphe relié à la fenêtre ronde.
- \* d'équilibration : canaux semi-circulaires (sensation d'accélération angulaire), utricule et saccule (sensations d'accélération linéaire, de pesanteur et de verticalité).

Les fenêtres ovales et rondes permettent les mouvements liquidiens dans l'oreille interne.

## SCHEMA DE L'OREILLE



# **CHAPITRE 10 : PREMIERS SOINS ET PETITS "BOBOS"**

## **1. JUSTIFICATION**

Sachez pour commencer que l'immense majorité des médicaments n'a pas été évaluée en conditions hyperbares. Qui peut prévoir se qui se passe au fond ? Certains produits sont susceptibles de modifier les échanges gazeux, d'autres la vigilance, d'autres l'effort musculaire ou cardiaque, d'autres enfin la circulation sanguine.

Dans certains cas, un même comprimé, sirop ou suppositoire peut associer diverses familles médicamenteuses dont les effets indésirables se cumulent.

D'où cette première règle essentielle : dans le doute, **un médicament ne doit pas être utilisé en plongée sans l'avis d'un pharmacien ou d'un médecin.**

Deuxième règle d'or : si un médicament doit être utilisé c'est qu'il y a méforme ; donc il convient de s'abstenir de plonger jusqu'à la disparition des troubles.

## **2. L'OREILLE**

### **2.1. Otite externe**

#### Causes :

L'otite externe est causée par un développement de germes dans le conduit auditif externe provoqué par l'humidité résiduelle permanente de ce conduit et aggravé par des débris de cérumen qui sont enclavés, l'eau chaude et les micro-organismes coralliens lors des plongées en mers tropicales.

#### Prévention :

La meilleure prévention des otites externes consiste en un rinçage à l'eau douce et propre après chaque plongée (emmener une bouteille d'eau sur le bateau) suivi d'un séchage (au sèche-cheveux par exemple).

Il est également possible, à titre préventif d'appliquer quelques gouttes d'alcool borique (saturé à 40° ou 60°) ; ceci permet une élimination de l'humidité résiduelle et une désinfection.

L'emploi de cotons-tiges endommage le film graisseux cérumineux qui recouvre la surface de la peau du conduit auditif externe et qui demeure une protection naturelle importante.

#### Traitement :

Si l'otite externe débute (sans perforation du tympan), appliquer quelques gouttes auriculaires, antibiotiques et corticoïdes (Polydexa ou Panotile par exemple) et proscrire toute plongée.

## **2.2. Bouchon de cérumen**

#### Prévention :

Idem Otite externe.

#### Traitement :

Cérulyse.

## **3. LES PROBLEMES DIGESTIFS**

### **3.1. Les reflux gastriques**

Souvent des remontées acides refluant de l'estomac se produisent au cours de la plongée de l'après-midi.

#### Causes :

- la position, le plus souvent la tête en bas : l'efficacité du sphincter physiologique du bas oesophage est moindre et ne joue plus le rôle d'anti-reflux vis-à-vis des liquides gastriques.
- une alimentation excessive, d'où une lenteur du transit.
- une alimentation riche en graisse ou sucre, d'où une sécrétion gastrique importante.
- une importante quantité de liquide.
- une combinaison et une ceinture trop serrée.

Prévention : surtout une alimentation équilibrée.

#### Traitement :

- Gaviscon : pansement gastrique anti-reflux, à prendre après les repas trop copieux.
- Spasfon : calme les douleurs spasmodiques digestives.

### **3.2. Les diarrhées**

#### Causes :

- problèmes de germes intestinaux,
- mais surtout les changements alimentaires et la fatigue.

#### Prévention :

- éviter les boissons glacées,
- consommer du riz,
- boire des boissons provenant de bouteilles cachetées pour échapper aux amibes et autres bactéries,
- désinfecter l'eau douteuse avec des produits comme Micropur,
- attention aux crudités, glaçons, coquillages crus, ...

- peler les fruits et les légumes.

Traitement : associer systématiquement ces traitements en cas d'absence de fièvre, de sang et de glaires :

- Imodium : ralentisseur du transit intestinal ; lutte contre la diarrhée (1 à 2 gélules, 3 fois par jour).
- Intérix ou Ercéfuryl 200 : antiseptique ; lutte contre les infections intestinales (1 gélule, 4 fois par jour).
- Smecta, Actapulgit : pansements intestinaux.
- Boissons salées ou sucrées

## **4. LES BLESSURES ET PETITES PLAIES**

### **4.1. Les petites plaies**

En mer, les petites plaies s'ulcèrent sous l'action du sel n'ayant aucune tendance à guérir.

Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser des pansement étanches le jour, pour isoler de l'humidité, et permettant à la peau de respirer (par exemple les pansements Compeed Hydro Cure System ou Lumiderm 6000) ; le mieux est de laisser la plaie à l'air libre la nuit.

### **4.2. Les mycoses aux pieds**

Les mycoses sont des plaies blanchâtres, macérant et qui ne cicatrisent pas. Elle sont provoquées par une humidité résiduelle et une propreté imparfaite et favorisées par la sueur - avec son Ph acide - et les atmosphères chaudes et humides.

Le traitement consiste en l'application d'un antifongique comme le Pévaryl.

### **4.3. Les ampoules aux pieds**

Prévenir les ampoules consiste à éviter le frottement sur une peau fragilisée et ramollie par l'eau :

- appliquer un pansement sur les zones de contact (essentiellement au-dessus du talon et à la base des phalanges de certains orteils).
- la meilleure solution est de porter des chaussettes fines sous les chaussons de plongée.

## **5. LE MAL AU DOS**

Causes :

- ceinture de plomb : trop lourde par habitude ou par lors de l'utilisation d'un bloc en aluminium.
- bloc lourd : mouvement de rotation lorsqu'on l'enfile qui soumet le rachis à un véritable cisaillement.

Ces deux facteurs génèrent chez le plongeur une perte de la courbure normale et physiologique du rachis lombaire. Le disque intervertébral entre la dernière vertèbre lombaire et la première sacrée subit une hyperpression et ne peut plus jouer son rôle d'amortisseur.

Prévention :

- utiliser un lestage adapté et bien réparti.
- capeler et décapeler dans l'eau ou se faire aider.
- attention aux trajets sur un boudin de pneumatique avec la bouteille sur le dos.

## **6. LES PROBLEMES FEMININS**

### **6.1. Les contraceptifs**

La prise de certains contraceptifs peut théoriquement augmenter la coagulabilité sanguine.

Mais aucune étude ne prouve une augmentation de la sensibilité aux accidents de décompression sous contraceptifs oestro-progestatifs ou pendant les règles.

Néanmoins il est toujours préférable de bien se renseigner auprès de son gynécologue.

### **6.2. Les règles**

Il n'y a pas de raison de s'arrêter de plonger pendant la durée des règles. Néanmoins on a constaté une plus grande sensibilité au froid et une plus rapide perte d'énergie en plongée pendant cette période (notamment à cause d'un manque de fer passager).

Le danger lié aux requins n'est qu'une rumeur sans fondement : il n'existe aucun élément montrant une augmentation du risque d'attaque en zone de requins pendant les règles !

### **6.3. La maternité**

Une question majeure est de savoir si les femmes peuvent plonger en étant enceinte. La réponse est, naturellement, non. Car dans l'état actuel des connaissances, de trop fortes présomptions pèsent sur les réactions du fœtus envers les phénomènes de pression et de saturation/désaturation.

Il n'est pas question de plonger "pas profond" ou "juste un peu" pour une femme enceinte ; les risques de malformation en début de grossesse, et de mort fœtale à tous les stades existent.

Il est ainsi certain qu'une femme enceinte subissant un accident de décompression peut perdre son bébé. De plus l'oxygénothérapie, en dehors ou à l'intérieur d'un caisson, ne fait qu'augmenter les éventuels problèmes pour l'enfant à venir.

De plus la loi interdit aux femmes, dont la plongée est le métier, de plonger en étant enceinte.

## **7. DIVERS**

### **7.1. Sédatifs**

Certains plongeurs absorbent des somnifères, ou des tranquillisants utilisés comme somnifères, pour trouver le sommeil à bord de l'avion qui les amène sur le lieu de leurs vacances au cours d'un voyage toujours trop long.

La persistance de certaines substances médicamenteuses dans l'organisme peut être longue avant leur élimination et leur effet risque de se faire sentir lors de la première plongée.

Tout médicament sédatif tranquillisant ou somnifère lui-même associé à l'alcool entraîne plus rapidement et plus intensément une baisse des performances intellectuelles facilitant ainsi la narcose pour des plongées profondes.

### **7.2. Codéine**

La codéine ou ses "cousins" peuvent entraîner somnolence, vertiges, nausées et constipation.

Des anti-douleurs peuvent contenir de la codéine (ou un équivalent le dextropropoxyphène), en association avec le paracétamol (Co-Doliprane, Propofan, Efferalgan codéiné, Claradol codéiné, Di-antalvic, Antalvic, ...).

La codéine se trouve également dans les comprimés et sirops antitussifs. Mais la toux est synonyme de méforme, donc de contre-indication à la plongée ; pas de sirop pour passer outre !

### **7.3. Anti-paludéens**

Les voyages en pays tropicaux peuvent impliquer la prise de médicaments antipaludéens.

Il n'existe pas d'étude connue portant sur une éventuelle contre-indication à la plongée. Nivaquine et Paludrine ne présentent apparemment aucun effet nuisible.

Il n'en est pas de même pour le Lariam, qui peut entraîner des vertiges et une sensation d'instabilité aggravée par le mal de mer, et donc, gêner le plongeur.

Avertissez votre médecin.

### **7.4. Vaccinations**

Avant de partir loin sous le soleil tropical, remettez vos vaccinations à jour : diphtérie, polio, tétanos, hépatite B, voire fièvre jaune et hépatite A.

# **A C C I D E N T S**

# CHAPITRE 11 : LES ACCIDENTS DE PLONGEE

## 1. DES STATISTIQUES

### 1.1. Nombre d'accidents déclarés traités en caisson hyperbare xxxPasAJour

France	Nombre total d'accidents de plongée (Professionnels et Sportifs)	dont d'accidents de plongées sportives	Nombre de dossiers d'accidents traités	Nombre de décès
1991		1 6 0		
1992		1 0 5		
1993	2 3 6	1 3 6	55	5
1994	2 6 0	1 1 5 ou 1 6 5 ?	46	2
1995	2 4 5		52	3
1996				
1997				

Il faut néanmoins savoir que beaucoup d'accidents sont cachés ; car si les normes ne sont pas respectées, les assurances et la sécurité sociale ne prend pas en charge.

Mais la déclaration est confidentielle, couverte par secret médical, auprès de : Docteur Bruno Grandjean, Centre Hospitalier de la Miséricorde, Service de Médecine Hyperbare, 20184 AJACCIO CEDEX. Cette déclaration permettra de traiter les accidents de manière statistique afin de faire évoluer les réglementations, la sécurité, les techniques et les enseignements.

### 1.2. Classification des accidents

Si on prend en compte sous le terme 'accidents' tous les incidents, accidents et autres situations équivoques, on estime que :

- 98 % des accidents sont constitués de petits barotraumatismes et de blessures causés par l'environnement (faune, flore, ...).
- 2 % des accidents sont liés à la décompression (dont 2/3 d'Accidents De Décompression et 1/3 de surpressions pulmonaires). 60 % de ces accidents présentent des symptômes d'A.D.D. de type II (accidents neurologiques sérieux, y compris paralysies) et dans 1,5% des cas, perte de connaissance.

### 1.3. Les causes des accidents de décompression

Globalement, les causes d'accidents sont réparties en :

- 40 % des accidents proviennent d'erreurs de gestion de la plongée (erreur dans la procédure de décompression : paliers mal effectués ou interrompus - dans la majorité des cas à cause d'une panne d'air -, remontée trop rapide, mauvaise lecture des tables, utilisation incorrecte des ordinateurs).
- 40 % des accidents proviennent d'un problème technique (perte de palme, perte de casserole du détenteur, bris de masque,...).
- 20 % des accidents sont immérités (c'est à dire que tout est respecté, mais l'accident arrive tout de même). Dans 80 % de ces accidents immérités, on constate l'utilisation des ordinateurs de plongée ; et dans 53% des cas, on recense la fatigue, le manque de sommeil et une mauvaise condition physique.

Il faut signaler également que dans 39% des accidents en France en 1995, la profondeur d'évolution était en désaccord avec les prérogatives du plongeur (chiffre en diminution par rapport à 1994, 43 % et à 1993, 49 %).

Les types de plongées "à risques" sont essentiellement les plongées spéléo et les plongées sur des épaves (la profondeur est la cause aggravante principale dans 70 à 80 % des accidents). 85% des accidents surviennent en exploration.

Dans 20% des accidents de décompression, les plongeurs présentaient des signes suspects après la plongée précédente (manque de connaissances, refus de les reconnaître), et 6% des accidentés avaient déjà été victime d'un accident de décompression.

Un fort taux d'accidents cardio-vasculaires a également été constaté chez des plongeurs de plus de 40 ans.

### 1.4. Le plongeur accidenté "moyen"

C'est un plongeur d'environ 37 ans, de sexe féminin dans 20 % des cas (correspond au pourcentage de plongeuses dans les palanquées).

Son niveau de plongée :

- Non niveau I : 25 %
- N I : 15 %
- N II : 20 %
- N III à V : 25 % (en augmentation)
- Moniteur : 15 % (en augmentation)

Le délai de contact des secours est supérieur à 0 h 30 dans 59 % des cas (80% d'entre eux avouent avoir négligé ou volontairement ignoré les premiers symptômes

Le délai de traitement après l'accident:

- inférieur à 1 h 30 : 10 %
- supérieur à 1 h 30 : 90 % (parfois même jusqu'à 6 jours !)

Type de traitement dans la demi-heure qui suit l'accident : 40 % sans oxygène et 45 % sans aspirine, c'est malheureusement toujours insuffisant.

### **1.5. Les probabilités d'accidents**

En plongée sportive en Europe, on compte 1 accident de décompression sur 5 à 8000 plongées, soit un risque de 0,013 à 0,020 % (soit moins que la natation ou le ski nautique !).

Comparativement ce taux est de 0,040 aux Etats-Unis où on recense 40 millions de plongées effectuées en 1994.

On peut extrapoler ce taux en estimant le risque d'incidents (petits barotraumatismes et blessures causés par l'environnement) de 0,65 à 1%

# CHAPITRE 12 : LES ACCIDENTS MECANIQUES

## 1. JUSTIFICATION

- Les accidents mécaniques sont causés par les variations de volume et de pression des gaz. Le plongeur en immersion possède de nombreuses cavités dans son corps ou son équipement occupées par de l'air. Ce sont de ces cavités que vont naître ces accidents.
- Comme ces lésions (Trauma en grec) sont directement liés aux variations de pression (Baro en grec) donc de volume, on les appellent aussi **les barotraumatismes**.
- Pour mieux prévenir les barotraumatismes qui sont les accidents les plus nombreux de la pathologie subaquatique, il nous va donc falloir connaître leurs causes et leur mécanisme.

## 2. RAPPELS

### Physique :

- Loi de Mariotte (Enoncé et formule :  $P1V1 = P2V2$ ).
- Exemple : il y a 5 litres dans une baudruche à 10 m. Quel sera son volume en surface?

*Réponse : 10 litres.*

- Dans quelle zone, les variations de pression sont-elles les plus importantes?

*Réponse : près de la surface (de 0 à 10 mètres).*

### Classification des accidents mécaniques:

Lorsque la pression ambiante augmente, un gaz se comprime en diminuant de volume et inversement lorsque la pression ambiante diminue, il se détend en augmentant de volume.

Lorsque la différence de pression (en plus ou en moins) entre une cavité et le milieu ambiant dépasse la capacité de tolérance physiologique de l'organe considéré, il y a lésion.

- A la descente : Placage du masque, oreilles, sinus et dents.
- A la remontée : Oreilles, sinus, dents, intestins, estomac et

**SURPRESSION PULMONAIRE.**

Les accidents survenant en cours de remontée sont souvent plus graves, car il y a évidemment obligation de regagner la surface.

## 3. LE PLACAGE DU MASQUE

### Causes :

- La pression augmente à la descente.
- Dans un premier temps, le masque s'écrase.
- Après avoir dépassé la limite d'élasticité de la jupe, la vitre touche le nez. Ne pouvant plus se déformer, il va y avoir une dépression à l'intérieur. Il va donc agir sur notre visage comme une grosse ventouse.
- Les capillaires vont éclater, engendrant des lésions oculaires et nasales.

### Symptômes :

- Dans l'eau → sensation de sucions, troubles de la vision, douleurs, hémorragies oculaires (sous conjonctivales et pré orbitaires) ou nasales ...
- Au retour → oeil au beurre noir (hématome oculaire - oedème facial), oeil rouge, troubles de la vue, saignements de nez (épistaxis), risque de conjonctivite et de décollement rétinien, ...

### Conduite à tenir :

- Dans l'eau, face à un débutant, faire signe de souffler par le nez dans le masque.
- Il faut remonter lentement et stopper la plongée si l'accident est déclaré. Ne surtout pas tirer le masque.
- Si saignement de nez, se moucher légèrement puis comprimer la narine tête en avant.
- Consulter un médecin ORL ou un ophtalmologiste et suspendre toute plongée.

### Prévention :

**Souffler automatiquement par le nez dans le masque tout au long de la descente.**

Attention également aux sangles de masque trop serrées.

## 4. LES SINUS

### Causes :

Des sécrétions peuvent boucher les ostias (conduits sinusiens), souvent au niveau des frontaux où ces conduits sont long et fins. Ces obstructions peuvent être dues à une sinusite, rhume, rhinite, polypes, déviation, de la cloison nasale, hypersécrétion de mucosités et toutes affections ORL.

- A la descente, la pression augmente ; comme pour le placage de masque, si une cavité est bouchée, il va y avoir un effet ventouse sur la muqueuse qui peut se décoller.
- A la remontée l'air pressurisé emprisonne au fond dans les cavités par des sécrétions va vouloir se détendre, mais comme les orifices sont bouchés, il va

appuyer sur les parois des sinus et la muqueuse est écrasée contre la paroi osseuse (plus rare).

#### Symptômes :

- Hypersécrétion (envie de se moucher)
- Etat congestif avec oedème
- Saignement de nez.
- Violente douleur localisée aux arcades (frontaux) et aux pommettes (maxillaires).
- Sensation de rage de dents (maxillaires).
- Toute douleur aiguë aux sinus (cas d'une remontée très rapide) peuvent entraîner une syncope.
- A tous ces problèmes, peuvent s'ajouter les risques d'infections dus à la qualité de l'eau.

#### Conduite à tenir :

- A la descente : si douleur, remonter un peu, retirer le masque et se moucher. Puis essayer à nouveau. Si cela persiste, remonter lentement et annuler la plongée (La descente, tête en haut, peut faciliter l'immersion).
- A la remontée, redescendre de quelques mètres pour diminuer la douleur, se moucher et remonter très lentement (mains sur mains sur le mouillage) en déglutissant et en mastiquant..
- Consulter un médecin O.R.L. pour un traitement anti-congestif et suspendre toute plongée.

#### Prévention :

**Ne jamais forcer.  
Ne pas plonger enrhumé.**

#### Les produits "déboucheurs" :

Ils existent en pulvérisation nasale, en comprimés ou en sirop.

A base d'éphédrine ou de pseudo-éphédrine (Actifed ou RhinAdvil - 2 comprimés, 2 fois par jour), ils entraînent une vasoconstriction ; le nez s'en trouve décongestionné et l'air circule librement à travers les orifices qui s'y ouvrent à la pression ambiante : la trompe d'Eustache et les sinus. Attention, ne pas utiliser ces produits en association avec un autre anti-inflammatoire (Nifluril ou Surgam) ou avec l'aspirine.

Il est possible d'utiliser un produit pulvérisé vasoconstricteur avec des corticoïdes (rôle anti-inflammatoire) du genre Déturgylone (3 fois par jour) ou Rhinofluimucil (2 à 3 pulvérisations, 3 à 4 fois par jour), après avis médical, pour

nettoyer les fosses nasales ; mais attention à leur emploi car ils n'ont qu'un effet bref au cours de la plongée. Que se passe-t-il si le nez se rebouche sous l'eau ?

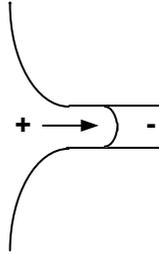
Le principal effet secondaire est, lorsque ces produits pulvérisés passent dans le sang à travers la muqueuse nasale, le risque de palpitations ou d'angoisses.

De plus ces produits pulvérisés sont contre-indiqués chez les sujets souffrant d'une hypertension bien équilibrée qui pourraient être autorisés à plonger. En outre, leur utilisation répétée abîme la muqueuse nasale.

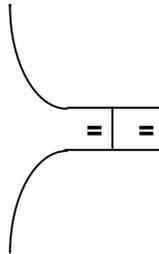
## 5. LES OREILLES

### Causes :

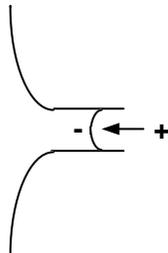
- A la descente : La pression ambiante augmente, la pression dans l'oreille moyenne reste égale à 1 bar. Le tympan s'enfonce vers l'intérieur et une gêne apparaît. Si la descente se poursuit, la douleur augmente avec risque de perforation du tympan.



- Nous allons équilibrer la pression en envoyant de l'air derrière le tympan grâce à la trompe d'Eustache. Chose qui ne se fait pas toujours spontanément.



- A la remontée les pressions de chaque côté du tympan s'équilibreront naturellement dans la plupart des cas.



- Si à un moment ou un autre de la plongée, la trompe d'Eustache est bouchée par des sécrétions provenant des voies aériennes supérieures, l'équilibrage ne pourra pas se faire de chaque côté du tympan et il y aura déformation, voire rupture du tympan.

Cette impossibilité d'équilibrer peut être soit permanente (trompe d'Eustache obstruée), soit temporaire (trompe congestionnée par inflammation : rhume, rhinite, sinusite ou toutes infections ORL).

- C'est également ce qui risque d'arriver si le conduit auditif externe est bouché (bouchon de cérumen, bouchon épidermique).
- Risque également avec des cagoules trop serrées ou une descente trop rapide avec équilibrage à retardement.

### Symptômes :

#### \* Rupture du tympan :

- Douleur légère puis de plus en plus violente au fur et à mesure de la descente. Une simple distension crée une otite barotraumatique (état congestif gagnant rapidement la trompe d'Eustache en réduisant sa perméabilité). Avec une différence de pression de 0,3 bar, on ressent une gêne ; à 0,5 bar, congestion du manche du marteau et du tympan, douleur forte, sensation de froid et de crépitation dans l'oreille ; et à 0,8 bar, déchirure du tympan avec impression de "Coup de poignard". Ces chiffres sont théoriques ; dans la pratique, un tympan fragilisé (otites, paracentèse, ancienne perforation, ...) peut se rompre plus facilement.
- Lors d'une perforation tympanique peut apparaître la surdité, voire la syncope.
- En surface, si on fait Valsalva on perçoit un sifflement dans l'oreille.
- Il peut y avoir complication avec une infection en eau polluée.

#### \* Vertiges :

- "Vertige de Ménière" qui provient de la rupture du tympan en immersion provoquant un déséquilibre de pression sur les canaux semi-circulaires ; le plongeur désorienté est alors incapable de se diriger vers la surface.
- A ne pas confondre avec les vertiges alternobariques lorsqu'une différence de pression existe entre les deux oreilles (troubles de l'équilibre, nausées, vomissement, vertige) ; les symptômes sont identiques, mais durent peu. C'est totalement bénin.

#### \* Sifflements :

- Des Valsalva trop puissants entraînent des coups de piston répétés de l'étrier sur la fenêtre ovale et les liquides de l'oreille interne amenant une atteinte de la cochlée avec diminution de l'audition (maladie du plongeur). C'est le cas d'un plongeur effectuant de nombreux allers-retours entre le fond et la surface (moniteurs, chasseurs par exemple) ; les manoeuvres pour compenser ont été

plus ou moins bien effectuées, les trompes d'Eustache ont été forcées, l'oreille interne est donc traumatisée.

Alors, soit brutalement, soit après la sortie de l'eau, le sujet ressent : un sifflement aigu (parfois un bruit d'amphore), des vertiges et une baisse de l'audition du même côté.

En effet, la vascularisation sanguine des structures fragiles de l'oreille interne est diminuée par l'oedème ; le nerf auditif manque d'apport en oxygène dissous et siffle. Car les délicates cellules de l'organe auditif ne font pas mal quand elles souffrent, elles se mettent à siffler.

- Risques également de déchirure de la fenêtre ovale avec inondation de l'oreille moyenne par le liquide périlymphatique ; d'où atteinte des centres de l'équilibre et de l'audition, surdité, vertiges, nausées, syncope.
- Les séquelles qui peuvent subsister sont : otites chroniques, surdité, insensibilité à la douleur (d'où risque d'accidents aux plongées suivantes).
- Sifflements et surdité peuvent aussi survenir à la sortie de l'eau sans qu'il y ait un forçage des trompes d'Eustache. L'atteinte de l'oreille interne est alors une forme de maladie de décompression qui peut rester isolée, mais aussi s'aggraver.

#### Conduite à tenir :

- A la descente : si douleur, remonter un peu, retirer le masque et se moucher. Faire entrer de l'eau dans la cagoule. Puis essayer à nouveau en faisant des manoeuvres de déglutition et de mastication. Si cela persiste, remonter lentement et annuler la plongée (La descente, tête en haut, peut faciliter l'immersion).
- A la remontée, redescendre de quelques mètres pour diminuer la douleur, se moucher et remonter très lentement (mains sur mains sur le mouillage) en déglutissant et en mastiquant. Exécuter la manoeuvre de Toynbee ou B.T.V.
- Consulter un médecin O.R.L. ; celui-ci examinera le tympan et pourra faire un audiogramme pour vérifier l'atteinte de l'oreille interne et vérifier sa gravité ; dans les cas extrême, il faut envisager une thérapie d'urgence avec hospitalisation et souvent oxygénothérapie hyperbare en caisson.
- Gouttes auriculaires en cas d'inflammation du tympan SANS PERFORATION : Otipax, Panotile, Polydexa, Antibiosynalar.

#### Prévention :

**Bien équilibrer, ne jamais forcer à la descente.**

Les différentes méthodes pour équilibrer les oreilles à la descente et/ou à la remontée sont :

	<i>Valsalva</i>	<i>Déglutition</i>	<i>Frenzel</i>	<i>Toynbee</i>	<i>B.T.V. Delonca</i>
Nez	Pincé	libre	pincé	pincé	libre
Bouche	Fermée	fermée	libre	fermée	libre
Glotte	Ouverte	fermée	fermée	fermée	libre
Action	souffler dans le nez	avalé la salive	langue plaquée contre palais, prononcer KE	avalé salive	ouverture du maxillaire inférieur (bâillement)
Résultat sur l'Oreille Moyenne	surpression d'origine pulmonaire	équipression	surpression d'origine rhinopharyngée	dépression	équipression
Exécution	Facile	très facile	difficile avec un détenteur	très facile	difficile
Sécurité	Moyenne	moyenne	bonne	bonne	parfaite
	Descente	Desc + Rem	Descente	Remontée	Desc + Rem

La B.T.V. (Béance Tubaire Volontaire) consiste en une projection du maxillaire inférieure vers l'avant ; c'est le meilleur moyen d'équilibrer et le meilleur traitement préventif possible des barotraumatismes de l'oreille.

- A la descente :

- \* Equilibrer **avant** d'avoir mal, après ce sera très difficile, voire impossible.
- \* Au besoin, remonter un peu et se mettre tête en haut.
- \* Si difficultés fréquentes, descendre lentement, tête en haut.
- \* Préférer les méthodes d'équilibrage dans cet ordre : B.T.V. (Béance Tubaire Volontaire ou méthode du docteur Delonca), Frenzel, Valsalva.
- \* Se méfier des lavages de sinus à l'eau de mer.

**Ne jamais pratiquer Valsalva à la remontée.**

Car c'est une manoeuvre alors totalement illogique pouvant entraîner un barotraumatisme sur l'oreille interne, sur la face interne du tympan ou sur les poumons (Hyperpression aboutissant à un accident de décompression).

- Avant de plonger et dans la vie courante :

- \* Proscrire le coton tige qui crée des bouchons dans l'oreille. Si vous avez beaucoup de cérumen, vous pouvez l'évacuer en utilisant des gouttes auriculaires Cérulyse (plusieurs fois par jour pendant 3 à 4 jours) puis en rinçant les oreilles.
- \* Ne pas mettre de bouchons dans les oreilles pour soi-disant les protéger.
- \* Ne pas mettre de cagoule trop serrée. Au besoin, percer sa cagoule avec une aiguille au niveau des oreilles.

- Après la plongée :

- \* Rinçage des oreilles à l'eau douce.  
Si vous ressentez un début de douleur en tirant sur le lobe de l'oreille, vous pouvez ajouter quelques gouttes d'eau oxygénée.
- \* Protéger les oreilles du froid et du vent avec une cagoule

## 6. LES DENTS

### Causes :

Nos dents si elles ne sont pas ou mal soignées ont des cavités (caries, plombage mal serti, ...).

- A la descente :

- \* Les cavités se mettent en dépression.
- \* La pulpe dentaire est écrasée ; une forte élévation de pression comprime le fond de dentine ramollie par une carie et ce sera la douleur.
- \* Risque également de douleur par action de l'eau froide ou de l'air détendu (donc froid) sur une carie ou une dent présentant une dentine à nue.

- A la remontée :

- \* L'air de la cavité se dilate plus vite qu'il ne peut s'échapper. On a alors une pression forte sur la paroi interne pouvant expulser l'obturation ou casser la dent et provoquer une syncope dans les cas extrêmes.
- \* Descellement d'un couronne dentaire

### Symptômes :

- Violente douleur dentaire ; les nerfs dentaires sont issus du nerf trijumeau, celui-ci étant très réflexe, la douleur peut irradier toutes les branches nerveuses du trijumeau (manifestations oculaire, auriculaire ou sinusal).
- Attention à ne pas confondre une douleur dentaire avec une douleur d'origine sinusienne (maxillaires).
- Risque d'éclatement de la dent et risque d'avalier ou d'inhaler le plombage ou le ciment obturateur.
- Risque de blocage du détendeur si une couronne dentaire passe dans le détendeur.

### Conduite à tenir :

- A la descente, il n'y a rien à faire ; il vaut mieux sortir de l'eau et traiter le mal.
- A la remontée, redescendre de quelques mètres pour diminuer la douleur et remonter très lentement (mains sur mains sur le mouillage) en mastiquant pour essayer d'évacuer la surpression.
- A terre, rincer la bouche avec de l'Eludril pour éviter une infection, puis consulter un dentiste. Eventuellement recompression en caisson.
- Si vous sentez que vous avez perdu une couronne dentaire, n'hésitez pas à ne plus vous servir de votre détendeur ; en effet il y a un très grand risque de boucher le détendeur. Dans ce cas, lâcher le détendeur et faire signe "je n'ai plus d'air" à un autre plongeur ou prendre son propre détendeur de secours. De même, les porteurs de prothèses dentaires doivent les enlever pendant la plongée.

### Prévention :

**Subir un examen annuel chez un dentiste en lui précisant que l'on plonge.**

## 7. LES INTESTINS ET L'ESTOMAC

### Causes :

- De l'air avalé dans l'estomac par déglutition (lors des manoeuvres d'équilibration ou par angoisse).
- Une fermentation alimentaire au cours de la plongée (en général, au cours d'une plongée longue).
- Puis dilatation, à la remontée, de cet air emmagasiné, puis déchirure.

### Symptômes :

- \* *Estomac :*

- Très fortes douleurs à l'abdomen pouvant aller jusqu'à la perte de connaissance ou la syncope.
- Ballonnements avec risque de perforation.
- Si des acides contenus dans l'estomac et l'air comprimé va dans l'abdomen, c'est un pneumopéritoine ; s'il y a en plus des aliments en cours de digestion, c'est une péritonite.

*\* Colon ou gros intestin :*

- Ventre tendu, bombé, douloureux. Le moindre mouvement provoque une douleur.
- Distension des fibres musculaires. Envie d'évacuer les gaz sans y parvenir, d'où douleurs.
- Occlusion intestinale. (Pas de rupture de la paroi, donc ne provoque pas la mort).
- Risque de coliques après la plongée

Conduite à tenir :

- Essayer d'évacuer les gaz par voie buccale ou rectale.
- Consulter un médecin.
- Le cas échéant : caisson de recompression.

Prévention :

**Pas de féculents, pas de boissons gazeuses avant de plonger.**

- Eviter de déglutir pour faire passer ses oreilles car cette méthode peut faire avaler de l'air.
- Ne pas hésiter à larguer les gaz pendant la plongée au moment où ils se présentent.

## 8. LA SURPRESSION PULMONAIRE

**C'EST L'ACCIDENT A NE PAS AVOIR PAR EXCELLENCE.**

Causes :

Non-expiration à la remontée. L'air se dilate jusqu'à la limite d'élasticité des poumons (300 g/cm<sup>2</sup>), entraînant une rupture des alvéoles pulmonaires (si la différence de pression entre les alvéoles et l'extérieur est supérieure à 0,106 bar).

Cette non-expiration peut être engendrée par :

- Un blocage volontaire de la respiration (spasme phrénique, inhibition nerveuse due à une panique, un mauvais réflexe du débutant).
- Un blocage de la glotte (spasmes glottique, tasse avalée, allergies, effort...).
- Malformation occultée à la visite médicale (bronches ou alvéoles à clapets, laryngocèle, épilepsie).
- Crise d'asthme.
- Technique de la remontée sans embout (R.S.E.) ou de la remontée à 2 sur un embout non ou mal maîtrisée.
- Remontée trop rapide avec expiration insuffisante.
- Détendeur bloqué empêchant l'expiration (phénomène rare), ne pas hésiter à l'enlever ou à expirer par le nez.
- Valsalva en cours de remontée ; efforts intenses en bloquant la respiration ; apnée pendant ou après la plongée ; gonflage bouée à la bouche.
- Apnéiste ayant pris de l'air au fond (à ne jamais faire).

En cas d'éclatement de l'alvéole, le sang passe dans l'alvéole (lavage du surfactant), l'air passe dans le sang (bulle d'où risque d'accident de décompression ou de paralysie par retour veineux), rupture de la plèvre (ou pneumothorax).

Même s'il n'y a pas d'éclatement de l'alvéole, il y a passage d'air à travers la paroi alvéolo-capillaire par diffusion, avec risque neurologique (paralysie), sans signes cliniques, ni rupture.

Symptômes :

- Douleur thoracique, rétro-sternales (sensation de distension).
- Difficultés respiratoires (dyspnée) ; quinte de toux (difficulté de s'hyperventiler).
- Crachats sanguins et bave rosâtre (hémonoyée pulmonaire).
- Cyanose.
- Thorax dilaté.
- Crises de type épileptique.
- Paralysies, si embolie gazeuse suite à la présence de bulles d'air dans le sang.
- Etat de choc, collapsus cardio-vasculaire, syncope, mort.
- Oedème pulmonaire (lésions alvéolaires)
- Emphysème de médiastin (air dans la région médiane du thorax, en général entre les deux poumons)
- Emphysème sous cutané (air dans la région du cou, du sternum ou des clavicules, la peau crépite sous les doigts ; syndrome neigeux.
- Pneumothorax traumatique (irruption d'air entre les deux feuillets de la plèvre avec rétraction du poumon).

Ces symptômes peuvent apparaître ensemble ou séparément. C'est le plus grave des accidents mécaniques. Peut se produire entre 5 mètres et la surface.

## Conduite à tenir :

### **IL FAUT ALLER TRES VITE.**

- Alerter les secours : Sur une radio VHF, sélectionner le canal 16 et émettre "PAN - PAN - PAN - Ici X X X - Me recevez vous ? - Parler" où X représente le nom du bateau ; ce message indique la présence d'une urgence médicale à bord avec un besoin d'une évacuation sanitaire. Puis suivre les instructions données.
- Déséquiper, mettre au sec, réchauffer et réconforter.
- Si la victime est consciente, mettre en position semi-assise pour l'aider à ventiler.
- Oxygénothérapie normobare (9 à 15 l / mn en faisant attention à l'autonomie) en notant l'heure de début.
- SI l'accidenté est CONSCIENT :
  - \* Administrer un comprimé d'aspirine 0,250 g d'aspirine non effervescente, puis 30 minutes plus tard un second comprimé. L'aspirine a pour effet de diminuer l'agrégation des plaquettes d'où une diminution de la coagulation et une augmentation de la fluidité ; mais attention, ne pas dépasser cette dose au risque de compliquer la suite du traitement.
  - \* Faire boire un demi litre d'eau douce par demi-heure. Ceci aura comme conséquence une hypervolémie avec un sang plus fluide et une augmentation de l'urine pour faciliter l'élimination des micro-bulles d'azote et éviter le blocage rénal.
  - \* Faire uriner si possible.
- Transporter d'urgence vers un centre de recompression (caisson multiplaces). Le but du traitement en caisson est de :
  - \* réduire le volume des manchons gazeux obturant les vaisseaux ; 3 à 4 bars relatifs suffisent car c'est à ces pressions que les variations de volume sont les plus fortes.
  - \* résorber ces manchons et oxygéner les tissus en aval par élévation de la PP O<sub>2</sub>.

En général, il y a association avec un traitement médicamenteux.

### **NE JAMAIS RECOMPRIMER DANS UN CAISSON MONOPLACE.**

- En AUCUN cas il ne faut recomprimer l'accidenté en le réimmergeant.
- Noter sur un papier **TOUS** les paramètres de la plongée en trois exemplaires (secours + assurances + archives club) : profondeur, durée, circonstances, efforts, vitesse de remontée, paliers effectués, tables utilisées, heure de sortie, heure d'apparition et nature des symptômes, secours apportés, coordonnées du plongeur, du directeur de plongée, du guide de palanquée, des compagnons de palanquées, des témoins directs et de la personne à prévenir.

## Prévention :

## **Expirer en remontant.**

Surtout entre 10 mètres et la surface.

- Attention aux RSE dans les 3 derniers mètres.
- Maîtriser la RSE à diverses profondeurs suivant le niveau technique du plongeur (« il vaut mieux expirer dans l'eau d'ici que dans l'au-delà ! »!)
- Sensibiliser les débutants sans les effrayer.
- Visite médicale pour dépister éventuellement une contre-indication.
- Laisser libre jeu à la respiration en cours de la remontée et surtout entre 10 et 0 mètres.
- Ne pas donner de l'air à un apnéiste.
- Il est interdit de gonfler la bouée à la bouche.

## Remarque :

En présence d'une surpression pulmonaire, il y a souvent un accident de décompression en même temps dû à l'hyperpression alvéolaire et au fait que les alvéoles ne jouent plus leur rôle et ne filtrent plus l'azote, d'où risques d'aéroembolie cérébrale, d'hémiplégie ou de quadriplégie. Dans ce cas, pour nous, c'est le traitement de la surpression pulmonaire qui reste prioritaire.



## **9. AUTRES ACCIDENTS**

Autrefois employés par les scaphandriers Pieds lourds et à Casques, les vêtements étanches (protection contre le froid) sont désormais de plus en plus utilisés en plongée sportive ; on les appelle également les volumes constants. Les deux accidents ci-dessous sont spécifiques aux scaphandriers et aux porteurs de volumes constants

### **9.1. La remontée en ballon (blowing up)**

#### Causes :

Le débit d'alimentation en air est supérieur au débit de la soupape d'évacuation, dû à de multiples raisons :

- Blocage de la soupape d'évacuation.
- Incident technique (mauvaise maîtrise).
- Remontée trop rapide.
- Bascule du plongeur tête en bas.

L'air se dilate trop vite à la remontée et le plongeur remonte très vite sans aucun contrôle (bonhomme Michelin).

#### Symptômes :

- L'habit se gonfle et le plongeur, bras en croix ne peut plus manoeuvrer la soupape d'évacuation ; la remontée s'accélère.
- Risque de surpression pulmonaire, d'accident de décompression et de choc sous un bateau avec traumatismes multiples.

#### Conduite à tenir :

- Traitement en milieu médical suivant les symptômes.

#### Prévention :

- Bonne maîtrise technique du matériel.
- Soupape à débit variable en bon état.

### **9.2. Le coup de ventouse (squeeze)**

#### Causes :

A l'inverse du précédent, celui-ci se déclenche lors de la descente ; mais uniquement pour les scaphandriers "Pieds lourds".

- Brusque augmentation de la pression ambiante suite à une chute ou une descente trop rapide.
- Mauvaise maîtrise technique.
- Mauvaise alimentation en air de la surface.

#### Symptômes :

- Accélération de la vitesse de descente.
- L'habit se plaque (dépression).
- Rupture des vaisseaux sanguins au niveau de la tête et des poumons.
- Fractures des côtes, des clavicules et des vertèbres cervicales dans les cas les plus dramatiques.
- Phénomène d'aspiration vers le casque.

#### Conduite à tenir :

- Traitement en milieu médical suivant les symptômes.

#### Prévention :

- Descente régulière.
- Matériel en bon état de marche.
- Bonne coordination avec la sécurité de surface, notamment au niveau de la tension du filin de liaison.

# CHAPITRE 13 : LES ACCIDENTS BIOCHIMIQUES

## 1. JUSTIFICATION

- Les gaz que l'on respire peuvent devenir toxiques dès que leur pression partielle dépasse un certain seuil. Il faut connaître ces limites pour bien prévenir et traiter ces accidents.
- Il existe des gaz métabolisables (servant à la vie) : O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> ; l'azote ne servant que de transporteur et de diluant aux deux autres.

## 2. RAPPELS

- Composition précise de l'air : 20,9% d'O<sub>2</sub>, 79% de N<sub>2</sub>, 0,03% de CO<sub>2</sub>
- Loi de Dalton : énoncé et formules  $PP = P_{\text{totale}} \times \%$

## 3. L'OXYGENE

### 3.1. L'effet Lorrain-Smith : (hyperoxie chronique)

#### - Cause :

**PP O<sub>2</sub> > 0,5 bar pendant plus de 2 heures.**

Atteinte des alvéoles pulmonaires (inflammation, augmentation de l'épaisseur des membranes alvéolaires d'où limitation des échanges gazeux).

#### - Symptômes :

- \* Face rose.
- \* Gênes respiratoires (dyspnées), quinte de toux et crachats sanglants.
- \* Brûlures alvéolaires avec destruction du surfactant.
- \* Oedème pulmonaire.

#### - Conduite à tenir :

- \* Baisser PP O<sub>2</sub> dès les premiers troubles en entrecoupant avec de l'air.
- \* Traitement médical.

#### - Prévention :

- \* Ne jamais laisser PP O<sub>2</sub> > 0,5 bar pendant plus de 2 heures.
- \* Tables de recompression thérapeutiques avec des inhalations d'O<sub>2</sub> calculées en pression et en durée ; humidification du gaz en milieu médical.

- \* Ceci n'entre pas dans vos prérogatives car ne concerne que la plongée professionnelle ou l'oxygénothérapie hyperbare (Attention néanmoins aux fosses si les plongées durent longtemps).
- \* L'arrivée des plongées au Nitrox dans le monde de la plongée loisirs demande une sensibilisation particulière sur ce sujet. Les techniques comme la 'CNS Clock' ou un équivalent va permettre de prendre en compte ce phénomène lors de plongées répétitives avec un gaz enrichi à l'oxygène.

### 3.2. Effet Paul Bert : (hyperoxie aiguë)

C'est une véritable crise neurotoxique ébranlant tout le système nerveux avec destruction irréversible de cellules nerveuses. Elle a été observée dès le XIX<sup>ème</sup> siècle (en 1878).

#### - Causes :

Perméabilité des tissus à l'oxygène due à un dépassement du seuil de toxicité.

**PP O<sub>2</sub> > 1,6 bars.**

Ce seuil est variable suivant les individus et les circonstances, mais au-delà de 1,6 bars, un exercice modéré peut déclencher la crise convulsive ; il faut donc conseiller de rester en-deçà de ce seuil.

#### - Symptômes :

- **Phase tonique** : contraction intense des muscles commençant au niveau des lèvres, puis s'étendant à tout le corps avec des crampes (surtout ne pas remonter à ce moment là, car risque de surpression pulmonaire).
- **Phase clonique** : secousses musculaires avec risque de morsure de langue, tachycardie, polypnée (respiration rapide), crise d'épilepsie avec troubles de la vision ; risque de perte de connaissance.
- Lorsque la PP O<sub>2</sub> a diminué, **phase révolutive** : inertie, fatigue intense (asthénie), amnésie. Si la PP O<sub>2</sub> est maintenue, nouvelle phase tonique avec accélération du processus jusqu'à la syncope.

#### - Conduite à tenir :

- \* Baisser PP O<sub>2</sub>, donc remonter lentement le plongeur ; la crise est alors réversible rapidement.
- \* Traitement médical.

#### - Prévention :

- \* Bonne condition physique et entraînement progressif à la plongée très profonde à l'air.
- \* Tenir compte de ce problème pour l'élaboration de mélange gazeux particulier (par exemple pour une plongée au Nitrox)

\* Ne jamais dépasser PP O<sub>2</sub> > 1,6 bars (par sécurité).

#### - Exercices :

\* Quel va être la limite de la plongée à l'oxygène pur ?

*Réponse : 6 mètres.*

\* Quel va être pour nous, la limite de la plongée à l'air? (on prendra 20 % d'O<sub>2</sub> dans l'air).

*Réponse : 70 mètres pour la plongée sportive*

\* Un plongeur utilise du Nitrox avec 40% d'oxygène et 60% d'azote. Quelle est la limite d'utilisation d'un tel mélange ?

*Réponse : 35 mètres.*

#### - Remarques :

\* Par sécurité, la plongée sportive est limitée à 60 mètres (Cf. Code du Sport, Arrêté du 28 Février 2008).

\* Cet accident est très rare en scaphandre autonome, mais se manifeste parfois en caisson chez certains sujets ; en caisson les seuils sont souvent dépassés pour faciliter la dénitrogénéation car il y a surveillance médicale constante. On peut trouver des seuils thérapeutiques dépassant les 2,8 bars. Par exemple, il existe des recompressions thérapeutiques à l'oxygène pur avec 7h à 7m, 3h à 8m, 0h50 à 10 m, 0h30 à 20m et 0h10 à 25m.

### 3.3. Hypoxie - Anoxie

Ce n'est pas vraiment un accident toxique, il est présenté là par commodité.

#### - Causes :

**PP O<sub>2</sub> < 0,17 bar.**

L'hypoxie (hypo : diminution) est due à un manque d'oxygène dans les tissus.

**PP O<sub>2</sub> < 0,12 bar.**

L'anoxie (an : manque) est une absence d'oxygène dans les tissus.

Ces deux accidents apparaissent souvent à cause d'apnées trop prolongées ou d'hyperventilations.

#### - Symptômes :

- \* Polypnée (accélération du rythme respiratoire).
- \* Tachycardie.
- \* Hallucinations.
- \* Perte de conscience, collapsus.
- \* Arrêt respiratoire, arrêt cardiaque.
- \* Si PP O<sub>2</sub> chute brusquement en dessous de 0,17 bar, il y a perte de conscience sans signes avertisseurs.

#### - Conduite à tenir :

- \* Remonter pour augmenter PP O<sub>2</sub>.
- \* Oxygénothérapie normobar pour combler la dette d'O<sub>2</sub>.
- \* Evacuation et traitement médical.

#### - Prévention :

- \* Jamais PP O<sub>2</sub> < 0,17 bar : ne pas dépasser ses limites en apnée ; entraînement technique et bonne condition physique. Pas d'hyperventilations.
- \* Contrôler le bon fonctionnement de l'appareil respiratoire et contrôler le mélange gazeux.
- \* Concerne uniquement l'alpiniste, le pilote, le plongeur professionnel, mais aussi les apnéistes ou les plongeurs au trimix hypoxique.

#### 4. L'AZOTE : LA NARCOSE

C'est ce phénomène que l'on appelle également ivresse des profondeurs.

##### - Causes :

- \* Encore mal définies, mais lié au **seuil de toxicité de l'azote**.
  - \* Ce seuil de toxicité de l'azote est très variable : on donne en général l'intervalle de **3,6 bars à 6,3 bars** (soit 35 à 68 mètres) et dépend de l'accoutumance du plongeur : on considère qu'à partir de 60 mètres, tout le monde est plus ou moins narcosé, mais on peut s'accoutumer à la narcose.
  - \* On constate que la narcose apparaît à des profondeurs variables suivant l'individu, son accoutumance, sa forme physique du moment, son moral et le contexte.
  - \* L'augmentation de PP CO<sub>2</sub> dans les poumons est un facteur très aggravant.
- Descente dans le bleu trop rapide (ne pas dépasser 25 à 30 mètres/minute).
  - Palmage intense au fond.
  - Mauvaises conditions de plongée : eau trouble, sombre, froide, courant.
  - Fond vaseux ou uniforme sans repaire visuel.
  - Mauvaise forme physique et psychique.

##### - Symptômes :

- \* Sentiment d'euphorie (c'est la plus belle plongée de votre vie : vous chantez dans votre embout, voulez descendre plus profond, rester plus longtemps).
  - \* Sentiment d'anxiété (vous craignez de ne plus remonter).
  - \* Sentiment d'agressivité (vous estimez que votre coéquipier est trop proche et vous le repoussez violemment).
  - \* Accentuation du dialogue intérieur (à propos de la durée, de la profondeur, de l'air).
  - \* Lenteur de réaction et de raisonnement.
  - \* Difficulté, voire impossibilité de lire ses instruments.
  - \* Comportement irraisonné et inadapté. Gestes répétitifs.
  - \* Perte de mémoire et de l'échelle des temps.
  - \* Diminution du champ visuel (Effet tunnel).
- 
- \* Gestes inconsidérés pouvant être générateurs de panique et de noyade. (lâcher du détendeur au fond pour "mieux respirer").
  - \* Perte de connaissance.
  - \* Troubles semblables aux effets de la drogue (LSD).

##### - Conduite à tenir :

- \* Faire baisser PP N<sub>2</sub> en remontant d'une dizaine de mètres. La plongée est terminée ; souvent le narcosé n'en garde aucun souvenir.
- \* Traiter les conséquences (noyade, perte du masque,...).

##### - Prévention :

- \* Pas de plongée profonde si on est fatigué ou anxieux.
- \* A partir de 30 mètres, bien s'observer et surveiller ses coéquipiers.
- \* Connaître ses limites habituelles et ne jamais les dépasser sans être accompagné par un plongeur très expérimenté à cette profondeur.
- \* Ne surtout pas faire d'efforts en profondeur.
- \* Ne pas se basculer brusquement tête en bas.
- \* Éviter les descentes trop rapides.
- \* Chez un jeune plongeur, la narcose arrive souvent entre 35 et 40 mètres et à 60 mètres pour un plongeur expérimenté ; donc ne jamais dépasser 60 mètres (Cf. Code du Sport, Arrêté du 28 Février 2008).
- \* Il est prudent d'effectuer un test de raisonnement à toute nouvelle profondeur à partir de 40 mètres :
  - une heure retenue par coeur en surface.
  - une heure inscrite sur une ardoise au fond.
  - soustraction et retenir le résultat par coeur jusqu'en surface.

## 5. LE GAZ CARBONIQUE : L'HYPERCAPNIE

### - Causes :

\* Augmentation de PP CO<sub>2</sub> ; le **seuil de toxicité du CO<sub>2</sub>** en mélange est de **0,03 bar**, soit en théorie 990 mètres, or en réalité, c'est le seul gaz que l'organisme produit ; c'est donc le plus toxique et il faut l'éliminer sous peine d'augmenter sa pression partielle.

Gaz	Air inspiré	Air expiré
O <sub>2</sub>	21 %	16 %
N <sub>2</sub>	79 %	79 %
CO <sub>2</sub>	0,03 %	5 %

\* Causes extérieures à l'organisme (exogènes) :

- Qualité de l'air respiré : mauvais gonflage, mauvaise prise d'air du compresseur.
- Matériel : détendeur trop dur, bloc mal ouvert, palmes inadaptées, mauvais mélange gazeux.
- Augmentation de l'espace mort : tuba trop long et de faible section.
- Apnée prolongée en plongée bouteille.

\* Causes internes à l'organisme (endogènes) : Production excessive de CO<sub>2</sub> par l'organisme lui-même.

L'eau étant 800 fois plus dense que l'air, elle entraîne donc une production plus importante de CO<sub>2</sub>.

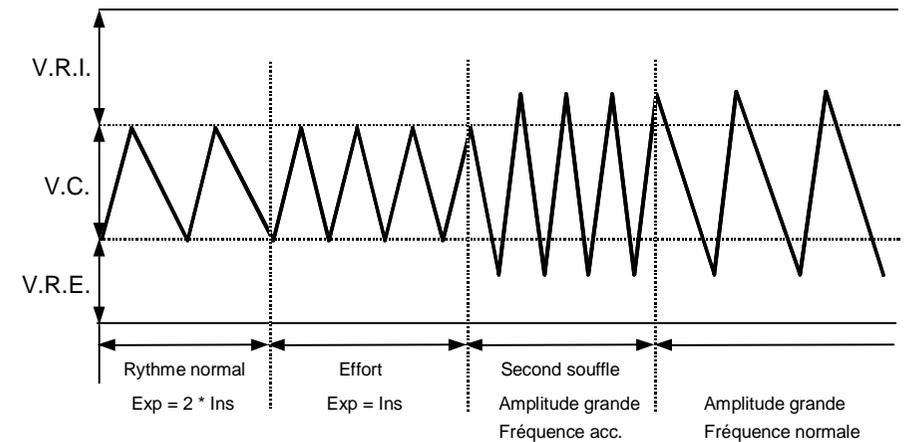
Ce phénomène étant encore amplifiée avec la profondeur, le froid, les efforts, l'anxiété, le stress, le lestage trop important ou le retard dans le passage sur réserve.

\* Conséquences en plongée :

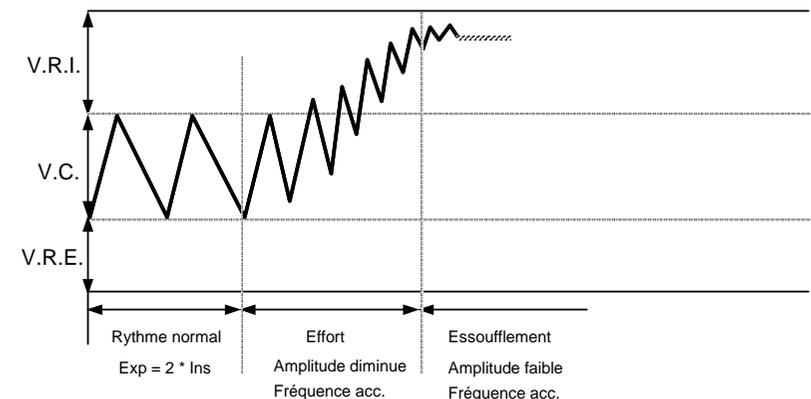
- **Essoufflement.**
- Favorisation de la narcose en profondeur et de l'hyperoxie.
- Favorisation de l'accident de décompression.

### - Mécanisme :

\* *Pneumogramme normal avec second souffle :*



\* *Pneumogramme d'essoufflement avec récupération :*



L'effort entraînant une surproduction de CO<sub>2</sub>, l'excitation respiratoire s'amplifie, le rythme augmente donc l'élimination pulmonaire aussi. Si la masse volumique du mélange respiré est trop importante (en profondeur) ou si la fréquence est trop rapide, l'élimination du CO<sub>2</sub> se fait mal.

La PP CO<sub>2</sub> augmente au niveau alvéolaire puis au niveau artériel et le cercle vicieux se déclenche. La respiration devient de plus en plus superficielle (hyperpnée) et l'asphyxie s'installe, la fréquence est rapide et l'amplitude très faible.

Notons que lors d'un essoufflement en surface, le pneumogramme fera état d'un second souffle de récupération. En plongée, le second souffle est presque impossible à atteindre et on passe rapidement à une phase de dyspnée.

#### - Symptômes :

- \* A partir de 0,02 bar : accélération du rythme et de l'amplitude respiratoire, maux de tête.
- \* A partir de 0,04 - 0,05 : second souffle
- \* A partir de 0,06 : Ventilation superficielle, respiration haletante, sueurs, cyanose, sensation d'étouffement.
- \* A partir de 0,07 : Panique et conduite irraisonnée (lâcher d'embout), ralentissement du rythme respiratoire, nausées, torpeur, vertiges.
- \* A partir de 0,08 : Syncope hypercapnique et noyade.

#### - Conduite à tenir :

Il s'agit d'un incident grave pouvant aboutir à la panique ou à la noyade.

Dans l'eau :

- \* Cesser tout effort.
- \* Alerter un coéquipier (chocs sur bouteille).
- \* Se forcer à expirer à fond à chaque cycle respiratoire.
- \* Baisser sa réserve.
- \* Se raisonner.
- \* Remonter aussitôt sans palmer pour faire baisser la PP CO<sub>2</sub> et surtout pour faire baisser la masse volumique de l'air..

Si des maux de tête apparaissent au retour :

- \* Bien se ventiler.
- \* Au besoin, oxygène normobar.
- \* Eviter le soleil.
- \* Ne pas prendre froid.
- \* Mieux se ventiler aux plongées suivantes :
  - Inspirer lentement la moitié du Volume de Réserve Inspiratoire (à fond pendant 2 à 3 minutes maximum si des efforts sont faits).
  - Apnée inspiratoire de 3 secondes (compter 1, 2, 3 si nécessaire).
  - Expirer à fond lentement.
- \* Ne pas exagérer les apnées et les expirations forcées pour économiser son air

Cette migraine peut durer de 10 minutes à 2 heures ; ce n'est pas grave, mais c'est un avertissement.

#### - Prévention :

Le matériel :

- \* Bon air dans la bouteille.
- \* Bouteille bien ouverte (sinon le débit sera insuffisant au fond).
- \* Détendeur bien réglé.
- \* Réserve baissée en temps voulu, dès les premières sensations de difficultés respiratoires.
- \* Bien se protéger du froid.
- \* Ne pas prendre un tuba trop long : le tuba idéal est court et de diamètre important.

Le plongeur :

- \* Jamais seul.
- \* Pas d'efforts excessifs ; lestage correct.
- \* Bien se ventiler pendant toute la plongée : apnées expiratoires de 4 secondes de contrôle de temps en temps, mais jamais en profondeur ; si l'apnée est raté, prendre plusieurs minutes de repos, puis recommencer ; si nouvel échec, alors arrêter la plongée et remonter lentement.
- \* Bonnes conditions physiques et psychiques ; bonne technique ; aisance.
- \* Ne pas s'immerger avec un début d'essoufflement en surface.

## 6. LE MONOXYDE DE CARBONE (CO)

### - Causes :

- \* C'est un gaz insidieux (inodore, incolore, sans saveur), donc très dangereux, issu d'une combustion incomplète. Sa densité est de 0,967 ; il est donc plus lourd que l'air.
- \* Le CO prend la place de l'O<sub>2</sub> dans l'association avec l'hémoglobine provoquant une anoxie. L'association du CO avec l'hémoglobine est beaucoup plus stable qu'avec l'O<sub>2</sub> ou le CO<sub>2</sub>.
- \* Le seuil de toxicité du CO est de 0,02 bar.

### - Symptômes :

- \* Maux de tête, céphalée, troubles de la vision.
- \* Asphyxie.
- \* Syncope et mort.

### - Conduite à tenir :

On assimile l'intoxication au CO à un essoufflement important.

- \* Bien se ventiler.
- \* Mettre rapidement sous oxygène normobar pour dissocier le CO de l'hémoglobine (il faut 300 à 400 fois plus d'O<sub>2</sub>).
- \* Éviter le soleil.
- \* Ne pas prendre froid.
- \* Evacuation et traitement médical (parfois caisson hyperbare).

### - Prévention :

Essentiellement au niveau du matériel : bon air dans la bouteille.

Attention aux compresseurs à moteur thermique mal placé par rapport à la direction du vent ou dans un local mal ventilé ; c'est la seule cause pouvant faire intervenir le CO en plongée.

# CHAPITRE 14 : L'ACCIDENT BIOPHYSIQUE

## 1. JUSTIFICATION

Cet accident, directement lié à la loi d'Henry ne concerne que l'azote, l'oxygène étant brûlé dans notre organisme. On l'appelle aussi **Accident De Décompression (A.D.D.)**.

## 2. RAPPELS

- Composition de l'air (20 % O<sub>2</sub> et 80 % N<sub>2</sub>).
- Loi de Henry (énoncé, les trois états).
- Les sept facteurs de dissolution (Nature du gaz, nature du tissu, Pression, Température, Temps, Surface de contact, agitation).
- Loi de Mariotte (énoncé et formule).

## 3. CAUSES ET MECANISME

La cause principale est le non respect des tables de plongées, à savoir : vitesse de remontée trop rapide ou non respect des paliers de décompression pour de multiples raisons :

- par méconnaissance des différentes utilisations des tables (additionnelle, successive, ...)
- par impossibilité matérielle (panne d'air, blocage du détendeur, ...)
- par un autre accident qui s'est déclenché et oblige à remonter rapidement.
- par des erreurs techniques (palmage de remontée trop rapide seul ou à deux sur un embout).
- par panique (problème d'aisance subaquatique).

Il existe également des accidents "immérités" où toutes les conditions de sécurités sont respectées, mais où l'accident existe tout de même.

Les facteurs favorisant sont : fatigue, stress, essoufflement, narcose, froid, ...

### 3.1. Pendant la plongée

La quantité de N<sub>2</sub> dissous augmente plus ou moins selon les tissus.

### 3.2. A la remontée

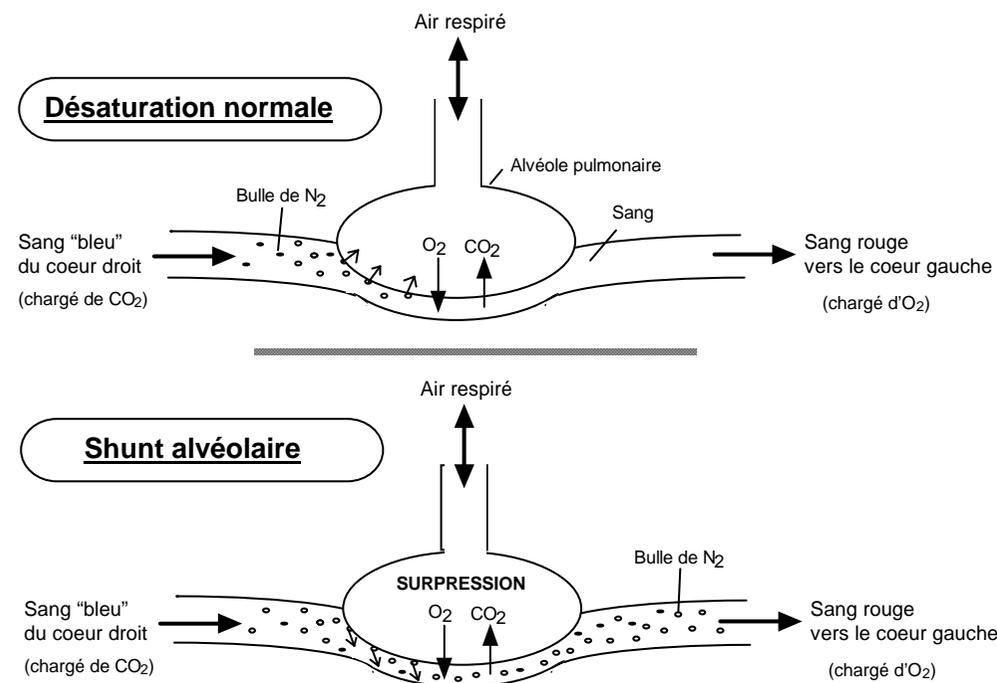
- N<sub>2</sub> reprend sa forme gazeuse dès qu'il y a sursaturation :
  - sous la forme de micro-bulles convoyées par le sang et éliminées par la respiration. Ces micro-bulles circulantes existent même lorsqu'il n'y a pas d'accident aussi bien dans les artères que dans les veines.

- Si la remontée est trop rapide, les bulles grossissent avant l'échange pulmonaire :
  - Blocage de la circulation sanguine = embolie gazeuse (ou aéroembolie).

- Si à un moment, on dépasse la sursaturation critique, il y a un dégazage incontrôlé sous forme de grosses bulles :
  - Blocage de la circulation aggravée par la remontée qui grossit encore les bulles et les transforme en manchons gazeux dans les vaisseaux.
  - En plus, compression des terminaisons nerveuses.

- Tout blocage de la circulation provoque une ischémie, une anoxie des cellules situées en aval, privées d'oxygène.

- Si à la remontée, on pratique Valsalva, ou on gonfle sa bouée à la bouche :
  - On crée une hyperpression pulmonaire supérieure à la pression des micro-bulles. Elles ne peuvent donc traverser les parois alvéolaires et repartent dans la circulation : c'est le "shunt alvéolaire"



En faisant Valsalva à la remontée :

- \* la pression alvéolaire augmente
- \* la pression partielle dans l'alvéole est plus élevée que dans le sang

- \* l'azote reste dans le sang
- \* l'azote revient au coeur et repart dans la grande circulation vers les muscles, organes et cerveau.

#### 4. SYMPTOMES

Ils dépendent des tissus atteints. Attention l'accident de décompression est très sournois au sens que ses effets ne sont pas immédiats.

**Les symptômes peuvent apparaître entre la sortie de l'eau et les 12 heures suivantes.**

**"En plongée, on ne paie qu'en sortant..." (Proverbe)**

Intervalle après la plongée	Part des accidents de décompression
moins de 30 minutes	50 %
entre 30 minutes et 1 heure	35 %
entre 1 et 3 heures	10 %
entre 3 et 6 heures	4 %
entre 6 et 12 heures	1 %

Certains accidents aigus sont déjà possibles au palier ou pendant la remontée.

##### 4.1. Accidents cutanés : Pucés et moutons (3%)

Pucés (démangeaisons, picotement douloureux due à un dégazage sous-cutané) et moutons (boursofflures rougeâtres de la peau moins douloureux due à un dégazage dans les capillaires de la graisse sous-cutanée) apparaissent dans les 15 à 30 minutes ; ils sont bénins mais annoncent souvent un accident plus grave.

Ils apparaissent le plus souvent en caisson ou avec des combinaisons étanches (respiration cutanée).

##### 4.2. Accidents ostéo-articulaires ou musculaires : Bends (6%)

Une douleur lancinante à une articulation, un membre ou un muscle débouchant vers une immobilisation due à la douleur (on peut confondre un accident musculaire avec une entorse ou un choc) ; évolution possible ensuite vers l'ostéo-arthrite et la nécrose musculaire.

Les accidents articulaires touchent l'articulation qui a réalisé le plus d'efforts pendant la plongée ; c'est le plus souvent l'épaule, puis viennent dans l'ordre le coude, la hanche, le poignet et le genou.

Ils apparaissent entre 15 minutes et 1 heure pour les muscles et entre 30 minutes et plusieurs heures pour les os et les articulations et concernent essentiellement les professionnels qui font des travaux sous-marins.

##### 4.3. Accidents neurologiques (47%)

Ces accidents sont dus à un dégazage dans la myéline des cellules nerveuses.

- Fatigue générale, pâleur, angoisse, céphalées.
- Déficit musculaire (hypomotricité)
- Douleur violente au niveau des omoplates, des côtes ou des vertèbres lombaires.
- Fourmillement dans les membres ou les jambes. Engourdissement.

Pour distinguer ces fourmillements d'un simple engourdissement du au froid, on peut rechercher le signe de Babinski : passer une épingle ou la pointe d'un poignard sous la plante du pied ; si les orteils se replient, il n'y a pas d'atteinte neurologique (sauf exception), et si le gros orteil se redresse, raidi, il y a atteinte des centres nerveux, dénonçant une monoplégie (paralysie d'une jambe) ou une paraplégie (2 jambes).

- Impossibilité d'uriner.
- Nystagmus (les yeux qui se "promènent" d'où impossibilité de fixer son regard)
- Perte des sens.
- Paralysie partielle (monoplégie, hémiparésie, tétraplégie ou paraplégie).
- Paraplégie due à un dégazage au niveau de la moelle épinière.
- Syncope et mort.

Apparaissent en moins de 30 minutes.

##### 4.4. Accidents centraux (24 %)

###### - Accident cérébral

Coma dû à la présence de bulles dans le cerveau.

###### - Accidents cardiaques

Infarctus du myocarde dû à un dégazage dans une artère coronaire.

###### - Accident pulmonaire

Insuffisance respiratoire aiguë due à un dégazage dans l'artère pulmonaire ou une de ses branches.

##### 4.6. Accidents de l'oreille interne (accidents vestibulaires) (7 %)

- Vertiges, nausées, audition difficile ou impossible.

- Dû à un dégazage dans les liquides périlymphe et endolymphes de l'oreille interne, ce qui perturbe l'audition (cochlée) et l'équilibre (utricle, saccule, canaux circulaires).
- Ces accidents sont souvent les prémices d'un accident cérébral.
- On le confond aisément avec un barotraumatisme de l'oreille (la douleur est présente uniquement dans le barotraumatisme).

Apparaissent en moins de 1 heure.

#### 4.7. La Maladie De Décompression (M.D.D.) (13 %)

La présence de micro-bulles dans le sang rend celui-ci abrasif. La circulation sanguine crée alors des sortes de copeaux en rongant le vaisseau sanguin.

Il y a donc irruption de corps étrangers dans l'organisme et donc intervention du système immunitaire. On assiste à une adhésion, suivie d'agrégation des plaquettes au niveau des interfaces bulles gazeuses et plasma ; et ce phénomène sera auto-entretenu avec des réactions en chaîne avec les autres composants du sang.

C'est une maladie autonome (également appelée "sludge"), conséquence de l'accident et des bouchons créés par les bulles, qui peut progresser seule, même si les conséquences de l'accident ont disparu. Après une recompression en caisson et disparition des bulles, la maladie est toujours là et demande un traitement spécifique.

Cette maladie a été décrite pour la première fois par un physiologiste français, Barthélémy, en 1962.

On distingue deux cas :

##### - la Maladie De Décompression bénigne ou malaise général

Peu connu, mais fréquente chez le plongeur "profond" ; les symptômes sont :

- \* asthénie (fatigue intense) soudaine
- \* parfois malaise avec pertes de connaissance brèves et répétées

Elle peut être un signe de début de M.D.D. grave. Il faut donc rapidement :

- \* effectuer un examen Doppler pour détecter les phénomènes gazeux dans la circulation et les blocages.
- \* recomprimer caisson en milieu thérapeutique sans hésiter.

##### - la Maladie De Décompression grave (très rare)

Décompression explosive, suraiguë et rapidement mortelle (survient souvent après une remontée catastrophe sans palier) doublée d'une surpression pulmonaire.

Si elle n'est pas immédiatement mortelle, on constate un collapsus cardiovasculaire avec choc hypovolémique, chute de la tension artérielle et tachycardie évoluant vers une fibrillation cardiaque. ; des troubles respiratoires apparaissent à cause des embolies plaquettaires et graisseuses dans la circulation pulmonaire.

#### 5. CONDUITE A TENIR

- Ne surtout pas croire " que ça va passer ".  
Il faut réagir vite. Si la recompression thérapeutique est effectuée avant 2 heures, les chances de récupérer une impotence fonctionnelle deviennent vraiment importantes.
- Si la victime est consciente, mettre en position déclive (environ 30°), tête en bas afin de favoriser l'irrigation sanguine du cerveau par gravité et empêcher les bulles d'y remonter xxx PasAJour
- Alerter les secours : Sur une radio VHF, sélectionner le canal 16 et émettre "PAN - PAN - PAN - Ici X X X - Me recevez vous ? - Parler" où X représente le nom du bateau ; ce message indique la présence d'une urgence médicale à bord avec un besoin d'une évacuation sanitaire. Puis suivre les instructions données.
- Sécher, réchauffer, rassurer.

#### NE JAMAIS REIMMERGER.

- Oxygénothérapie normobare (9 à 15 l / mn en faisant attention à l'autonomie) en notant l'heure de début.
- SI l'accidenté est CONSCIENT :
  - \* Administrer un comprimé d'aspirine 0,250 g d'aspirine non effervescente, puis 30 minutes plus tard un second comprimé. L'aspirine a pour effet, notamment, de diminuer l'agrégation des plaquettes d'où une diminution de la coagulation et une augmentation de la fluidité ; mais attention, ne pas dépasser cette dose au risque de compliquer la suite du traitement.
  - \* Faire boire un demi litre d'eau douce par demi-heure. Ceci aura comme conséquence une hypervolémie avec un sang plus fluide et une augmentation de l'urine pour faciliter l'élimination des micro-bulles d'azote et éviter le blocage rénal.
  - \* Faire uriner si possible.
- Transporter d'urgence vers un centre de recompression (caisson multiplaces). Le but du traitement en caisson est de :
  - \* réduire le volume des manchons gazeux obturant les vaisseaux ; 3 à 4 bars relatifs suffisent car c'est à ces pressions que les variations de volume sont les plus fortes.
  - \* résorber ces manchons et oxygéner les tissus en aval par élévation de la PP O<sub>2</sub>.

En général, il y a association avec un traitement médicamenteux.

### **NE JAMAIS RECOMPRIMER DANS UN CAISSON MONOPLACE.**

- Noter sur un papier **TOUS** les paramètres de la plongée en trois exemplaires (secours + assurances + archives club) : profondeur, durée, circonstances, efforts, vitesse de remontée, paliers effectués, tables utilisées, heure de sortie, heure d'apparition et nature des symptômes, secours apportés, coordonnées du plongeur, du directeur de plongée, du guide de palanquée, des compagnons de palanquées, des témoins directs et de la personne à prévenir.

Les Accidents De Décompression sont classés en deux groupes selon la gravité des symptômes et le devenir vital de l'accidenté :

- \* les accidents de type I : puces, moutons, bends bénins et M.D.D. bénigne.  
Ne donnent plus lieu à une recompression systématique (sauf M.D.D.), mais nécessitent tout de même une surveillance médicale.
- \* les accidents de type II : bends, neurologiques, centraux, vestibulaires et M.D.D. grave.  
Entraînent une recompression systématique.

Il faut insister sur l'utilité de l'administration d'oxygène lors d'Accidents De Décompression (ou même en cas de suspicion). L'oxygénothérapie permet notamment d'oxygéner les tissus en aval du manchon gazeux.

En effet, des études ont montré que l'oxygène pur est administré dans 1/3 des accidents liés à la décompression et rarement dans les 30 minutes (refus de l'accidenté de prendre au sérieux les symptômes).

Pourtant sur un échantillon avec 30 ADD traités à l'oxygène durant l'évacuation et 16 ADD non placés sous oxygène, 70 % des premiers ont connu une amélioration et 0 % des seconds.

## **6. PREVENTION**

Elle est surtout liée aux facteurs de dissolution.

- Respecter la vitesse de remontée des tables utilisées (de 15 à 17 m/mn pour les M.N. 90).
- Faire les paliers indiqués par la table :
  - \* A la bonne profondeur (pas à 1 ou 2 mètres près), donc à l'horizontale et avec un bon lestage.
  - \* En respirant (il n'est pas nécessaire d'économiser son air aux paliers).

- Ne pas changer de tables entre deux plongées.
- Respecter rigoureusement les procédures de calcul (consécutives, successives, remontée rapide,...) et avoir de la rigueur avec l'utilisation des instruments (il faut les déclencher au moment où on décide de descendre, pas en cours de descente !).
- Ne pas plonger si la houle rend les paliers impossibles.
- Utiliser la dernière minute d'un palier pour rejoindre lentement le palier suivant.
- Si efforts importants pendant la plongée (courant, essoufflement...) ou fatigue pendant la remontée :

- \* Ne pas allonger les paliers au pifomètre.
- \* Seul le palier de trois mètres peut être prolongé sans risque.
- \* On commence à saturer dès 3 mètres de fond.

- Pas de manoeuvre de Valsalva en remontant ou au palier.
- Le gonflage à la bouche de la bouée est interdit depuis 1991, que ce soit au fond ou à la remontée.
- Pas d'efforts excessifs pendant la plongée (palmage, ...).
- Pas d'efforts importants pendant les paliers ni après la plongée.
- Pas d'apnée après la plongée :
  - . risque d'accident de décompression car l'azote ne s'élimine plus.
  - . l'oxygène dissous dans l'organisme est supérieur à la normale, car le plongeur a respiré pendant un certain temps de l'air à une pression supérieure à 1 bar ; l'apnée est donc prolongée mais avec un risque de syncope hypercapnique due au CO<sub>2</sub>.
- Pas d'altitude supérieure après la plongée (montagne), ni avion pendant 12 heures.
- Ne pas plonger en cas de fatigue physique, morale ou de traitement médical.
- Vérifiez vos paliers si vous en avez les moyens, ou alors ne plongez qu'avec quelqu'un en qui vous avez confiance.
- Se renseigner avant sur le centre de recompression le plus proche.
- Ne pas prendre d'aspirine à titre préventif.
- Avoir une caisse de secours opérationnelle :
  - . O<sub>2</sub> : bouteille de 5 litres minimum à 200 bars avec manodétendeur, masques faciaux et insufflateur
  - . aspirine
  - . eau douce : deux litres
  - . VHF sur le bateau et téléphone au centre
  - . pétards de rappel
  - . papier et stylo-bille : bloc si possible à feuilles auto-carbonées en 3 exemplaires

## **7. FACTEURS CONTRIBUTIFS OU FAVORISANTS L'ACCIDENT**

- Avoir toujours avoir le profil de la plongée en tête et le donner aux secours en cas d'accident ; ceci permettra de juger l'utilité d'une éventuelle re-saturation en caisson
- Eviter des plongées inversées (profondeur maximum atteinte en fin de plongée).
- Erreur de lecture des tables : Utiliser une règle dans les exercices et examens car 30% des erreurs en examen proviennent d'erreur de lecture dans les lignes des tables, et c'est encore pire sous l'eau !
- Erreur d'addition des temps.
- Attention aux échanges d'embouts à la fin de plongées car cela entraîne des apnées et une augmentation de la pression intra-alvéolaire pulmonaire donc une perturbation des échanges gazeux.  
Donc le second détendeur est impératif pour le guide de palanquée au minimum ; bouteille de secours avec détendeur au pendeur également.
- La constitution physique peut perturber la désaturation : amputation, grosses opérations du dos (type hernie discale), "trou de liaison" entre les deux ventricules cardiaques,...
- Un travail important localisé sur un membre augmente le risque de bulles dans ce membre (exemple : si on travaille toujours avec le bras droit, risque plus élevé au niveau du coude droit)
- Un vêtement trop serré perturbe la circulation donc la désaturation
- Un vêtement étanche entraîne une saturation plus élevée de la peau au contact de l'air emprisonné dans le vêtement.

Si vous avez le moindre doute, pour un accidenté ou pour vous même, appeler le Centre de Consultation Médicale Maritime (C.C.M.M.) de Toulouse ; Personnel trilingue (français, anglais, espagnol) qui pourra, 24 heures sur 24 et gratuitement, vous guider utilement sur la conduite à tenir et organiser l'évacuation sanitaire.

*Centre de Consultation Médicale Maritime de Toulouse : 05 61 49 33 33  
(Centre S.A.M.U. à l'Hôpital Purpan)*

# **CHAPITRE 15 : LE FROID**

## **1. JUSTIFICATION**

- Le froid est une agression thermique entraînant des pertes énergétiques ; ces pertes énergétiques se soldent par une véritable hémorragie de calories.
- Définition : 1 calorie = 4,185 Joules = quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 1 gramme d'eau de 1 °C à la pression atmosphérique normale.
- Les calories résultent de la combustion interne des substrats apportés par les aliments.
  - Oxygène + 1 gramme de protide = 5,6 calories transformées en chaleur.
  - Oxygène + 1 gramme de lipide = 9,4 calories transformées en chaleur.
  - Oxygène + 1 gramme de glucide = 4,1 calories transformées en chaleur.
- Le refroidissement du corps peut être cause d'accident.
- La plupart du temps, c'est un facteur aggravant des autres accidents (les naufragés meurent de froid).
- Pour la noyade c'est au contraire un facteur de ranimation.

## **2. LA TEMPERATURE**

### **2.1. Les échanges thermiques**

Les échanges thermiques vont s'effectuer grâce aux surfaces d'échanges :

- en premier lieu, la peau
- en deuxième lieu, les poumons (l'air comprimé refroidit et l'hélium encore plus)

#### **- Rayonnement ou radiation :**

Réchauffement du milieu environnant par rayonnement de tout corps, quelque soit sa température (le soleil chauffe l'atmosphère terrestre par rayonnement). Ce rayonnement intercepté par un corps moins chaud que le premier échauffe le plus froid.

#### **- Conduction :**

Transmission de la chaleur à travers un corps conducteur. Si on met un bout d'une barre métallique dans un feu, l'autre bout deviendra insaisissable. Cette conductibilité est variable selon les corps.

Pour un plongeur, la conduction se solde par une circulation thermique ; les calories se déplacent de proche en proche, sans transfert de matière, du milieu le plus chaud (organes nobles) vers le milieu le plus froid ; la frontière d'échange étant la peau.

#### **- Convection :**

Transmission de la chaleur par contact entre les molécules mobiles d'un fluide. Si on plonge une barre chaude dans un liquide, le liquide s'échauffe par convection au contact de la barre. Un convecteur électrique dans une pièce crée un courant d'air où les molécules froides de l'air viennent remplacer les chaudes jusqu'à réchauffement de la pièce.

Pour un plongeur, même immobile dans l'eau immobile, les molécules d'eau au contact du corps se réchauffent et sont remplacées par des molécules froides (courant de convection). Si le plongeur est mobile dans de l'eau mobile, ce processus va s'accélérer.

#### **- Evaporation :**

La transformation d'un liquide en vapeur consomme beaucoup d'énergie thermique. Par exemple, dans l'air, la transpiration refroidit le peau (thermolysé), ainsi que l'élimination de vapeur d'eau par les poumons (500 g de vapeur d'eau par jour)

En plongée, l'augmentation de la masse volumique du mélange respiré d'où pertes énergétiques pulmonaires assez importantes.

## **2.2. Equilibre thermique**

- La température centrale du corps est de 37 °C.
- La température cutanée est de 33-34 °C.

La lutte permanente du corps pour maintenir ces températures repose sur le principe de l'homéothermie.

- L'équilibre est assuré pour un homme sans protection :
  - \* A 25-28 °C dans l'air.
  - \* A 33-35 °C dans de l'eau.

Un homme nu et immobile dans de l'eau à 5 °C meurt en 30 minutes ; dans de l'eau à 15 °C, ce délai est porté à 1 heure 30.

- Le corps se refroidit 25 fois plus vite dans l'eau que dans l'air.
- Il se refroidit encore 40 fois plus vite s'il y a mouvement d'eau (nage).
  - Par exemple, si un naufragé avec gilet ne bouge pas dans l'eau, ses chances de survie augmentent de 35 %.

## **2.3. Conséquences en plongée**

- La température de l'eau est presque toujours en dessous de 33 °C, il va donc falloir nous protéger avec une combinaison.
- La déperdition étant plus importante s'il y a mouvement d'eau, il va falloir que cette combinaison nous colle. De plus, il faut éviter de bouger les bras inconsidérément en plongée, car cela entraîne des déplacements d'eau, donc une perte de chaleur plus importante.
- L'air détendu refroidit le corps. Si on ouvre en grand une robinetterie, elle givre. Certains détendeurs givrent dans de l'eau pourtant à 3 °C.

## **3. MECANISME**

Les premiers symptômes de la thermogénèse (lutte de l'organisme pour maintenir sa température centrale à 37°C) sont :

- léger frisson → mini-production locale de chaleur
- chair de poule → création d'un sur-épaisseur cutanée améliorant l'isolation.

### 3.1. Premier stade : Température centrale entre 37 et 34°C

- Abaissement de la température cutanée : la peau devient pâle et froide, elle est conductrice de la chaleur.
- Vasoconstriction périphérique.
- Le sang diminue sa teneur en eau, ce qui le rend moins conducteur de chaleur ; l'eau ainsi prélevée du sang est éliminée par l'urine : d'où l'envie rapide d'uriner lors de plongées en eau fraîche.
- Défense maximum avec frissons, augmentation de la tension artérielle, déplacement du sang vers les organes nobles et profonds qui sont alors mieux protégés.
- Réaction de l'organisme par voies réflexes, notamment par la libération d'adrénaline qui entraîne une augmentation du rythme cardiaque et du rythme respiratoire pour lutter contre la vasoconstriction périphérique.
- Il peut également se déclencher une vasoconstriction au niveau de l'appareil digestif qui peut apporter d'importantes perturbations dans le processus de digestion.

### 3.2. Deuxième stade : Température centrale entre 34 et 27°C

Apparition de troubles graves :

- Arythmie cardiaque
- Baisse de la tension artérielle
- Augmentation de la rigidité musculaire
- Engourdissement avec état d'anesthésie et d'obnubilation.
- Le stock de substrats énergétiques est épuisé (Oxygène et Glycogène - forme de glucose stocké par le foie et le muscle).

### 3.3. Troisième stade : Température centrale entre 27 et 25°C

L'hypothermie agit sur les centres vitaux et conduit au coma, puis à la syncope et à la mort vers 25°C.

#### Cas particulier :

Il existe un deuxième mode de refroidissement, rare, sans lutte, qui survient lorsque les différents systèmes de défense sont bloqués (état comateux, narcose, ...). L'organisme est alors libérée, les fonctions vitales se mettent en sommeil et la température centrale peut alors atteindre des chiffres très bas, sans dommages graves (c'est ce principe qui est utilisé pour l'hibernation).

## 4. DEPERDITION CALORIFIQUE : L'HYPOTHERMIE

### 4.1. Cause

- Eau très froide (d'où thermogénèse accrue).
- Protection inadaptée (d'où une surface de contact plus importante).
- Trop grande circulation d'eau, d'où un courant de convection important.
- Nourriture mal équilibrée (régime par exemple).
- Fatigue physique et psychique.
- Susceptibilité personnelle à l'eau froide.
- Mauvaise régulation de la température centrale par l'hypothalamus.
- Troubles de la circulation sanguine.
- Trop grande différence de température entre l'eau et le corps d'où choc thermo-différentiel.
- Efforts importants.
- Pellicule de graisse sous-cutanée insuffisante
- Risques accru chez l'enfant.

### 4.2. Symptômes

- Léger frisson.
- Chair de poule ; d'où une sur-épaisseur cutanée.
- Crampes, tremblements, diminution de l'habileté, irritabilité.
- Augmentation des rythmes cardiaques et respiratoires.  
Favorise l'essoufflement et l'accident de décompression.
- Arythmie cardiaque et baisse de la tension artérielle.
- Rigidité musculaire, engourdissement.
- Syncope et mort.

### 4.3. Conduite à tenir

Dans l'eau : Remonter dans une eau plus chaude ou en surface.

Au retour :

- Sécher et réchauffer progressivement sans frictionner (couverture isothermique, abris du vent ).
- Boisson chaude et sucrée.

### **JAMAIS D'ALCOOL.**

- Prévenir l'état de choc en surveillant.
- Inhalation d'O<sub>2</sub> si nécessaire.
- Au besoin, douche ou bain chaud progressif.
- Faire des repas riche en calories.

#### 4.4. Préventions

- Régime alimentaire pour un plongeur : 4500 à 5500 calories / jour au lieu de 2500 pour un adulte sédentaire. Ne jamais plonger à jeun : prendre un équivalent d'un bon sandwich avant la plongée.
- Avant de plonger en eau froide, prendre du sucre, de la vitamine B et C et être en bonne forme physique.
- Ne pas rester longtemps dans l'eau froide.
- Etre équipé d'un vêtement isothermique adapté : ajusté, sans plis ni poches d'air, avec cagoule attenante, sans fermetures perméables, sans trous, pantalons montants et au besoin gants et bottillons.
- Connaître ses susceptibilités personnelles
- Attention aux syndromes digestifs

### 5. LE CHOC THERMO-DIFFERENTIEL : L'HYDROCUTION

#### 5.1. Cause

- Passage brusque de la température terrestre à celle de l'eau nettement plus froide.
- Aggravé par une exposition préalable au Soleil : vasodilatation des vaisseaux sous la peau pour favoriser la dissipation de la chaleur corporelle provoqué par le système nerveux parasympathique.
- Fermeture des vaisseaux périphériques (vasoconstriction brutale) et reflux brusque du sang vers le coeur : la pression sanguine va augmenter brutalement pouvant générer une réaction tout aussi brutale du système parasympathique qui peut arrêter le coeur en quelques secondes... C'est l'hydrocution.

#### 5.2. Symptômes

- Syncope entraînant une noyade.
- Signes avertisseurs très brefs :
  - \* Malaise général.
  - \* Sensation d'étouffement autour de la tête.
  - \* Bourdonnements, troubles de la vue.
  - \* Marbrures rouges sur la peau avec picotements.
  - \* Paralysie des membres.

#### 5.3. Conduite à tenir

- Sortir de l'eau.
- Ranimer si nécessaire.
- Réchauffer sans frictionner.

#### 5.4. Préventions

- Limiter la brusque variation de température.
- Pas d'exposition longue au soleil avant la plongée.
- S'asperger nuque, poitrine et abdomen avant la mise à l'eau.
- Pas de saut dans une eau très froide.
- Éviter une plongée en eau froide après un repas copieux.
- Bonne alimentation et bonne forme physique.

### 6. CONSEQUENCES DU FROID

- Augmentation de la consommation
- Ralentissement de l'élimination de l'azote
- Problèmes digestifs
- Perte d'intérêt de la plongée
- Facteur favorisant l'essoufflement, la fatigue, l'accident de décompression et la narcose en profondeur.
- Lenteur de réaction et perte du toucher.

### 7. LA CHALEUR !

L'organisme s'adapte à la chaleur par vasodilatation et sudation. Si la température ambiante dépasse 32 °C, la vasodilatation est à son maximum, c'est uniquement la sudation qui permet de lutter contre la chaleur, d'où des pertes liquidiennes importantes.

Il faut donc :

- boire plusieurs litres par jour de boissons salées pour compenser ces pertes et pour ne pas se déshydrater.
- se protéger de l'insolation directe.
- s'exposer aux courants d'air pour éliminer les calories.

# CHAPITRE 16 : LA NOYADE

## 1. JUSTIFICATION

- La noyade est un risque à ne pas sous-estimer en plongée, car souvent conséquence d'un non-respect des règles de sécurité ou d'intervention inadaptée voire inexistante.

## 2. CAUSES

- Définition : Arrêt respiratoire par inondation des voies aériennes pouvant entraîner un arrêt cardiaque et la mort.

Il existe 3 états successifs de mort :

- Mort apparente : plus de ventilation, tension artérielle faible. Grave
- Mort clinique : fibrillation et arrêt cardiaque. Très grave, irréversible si > 3 minutes.
- Mort réelle : arrêt cardiaque depuis plusieurs minutes. Abaissement température centrale. Anoxie du tronc cérébral. Irréversible (sauf cas exceptionnels, en eau très froide par exemple).

- Remarque : S'il n'y a pas inondation, ce n'est pas une noyade mais une hydrocution.

## 3. TYPES DE NOYADES

### - Noyade primaire (noyé "bleu" cyanosé) :

- Maladresse, déficience du matériel, fatigue, essoufflement, panique.
- Manque de technicité du noyé ou de l'intervenant.
- Agitation en surface (au secours).
- Apnée réflexe en submersion due au CO<sub>2</sub>, panique.
- Inspiration d'eau.
- Arrêt respiratoire ou cardiaque.

### - Noyade secondaire de type syncopal primaire (noyé "blanc" pâle) :

- Perte de conscience et descente au fond.
- Arrêt respiratoire et bradycardie.
- Hypercapnie.
- Reprise respiratoire.
- Inhalation d'eau.

Les noyades peuvent être classifiées en fonction de l'eau : eau douce ou eau de mer.

**Le liquide va toujours du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré par osmose.**

Concentration en sels : Eau douce : 0 g/l (certaines piscines sont salées à 9 g/l).  
Sang : 9 g/l  
Eau de mer : 30 à 35 g/l

- Noyade en **eau douce** : l'eau passe des poumons vers le sang (hypervolémie):
- . destruction du surfactant, d'où une plus grande perméabilité de la membrane,
  - . oedème pulmonaire,
  - . augmentation de la masse sanguine,
  - . bradycardie,
  - . hypertension,
  - . septicémie (infection généralisée)
  - . hémolyse (destruction hématies)
  - . désamorçage du coeur,
  - . fibrillation cardiaque.

- Noyade en **eau de mer** : le plasma sanguin passe dans les poumons (hypovolémie):
- . destruction du surfactant,
  - . sang plus épais,
  - . oedème pulmonaire,
  - . spume rosâtre,
  - . baisse de la tension artérielle (jamais de fibrillation).

Une autre distinction peut aussi se faire entre :

- **Eau avalée** : c'est la plus grande part des noyades ; la victime peut avaler de 2 à 5 litres d'eau et de sel qui, dans l'estomac et l'intestin, provoque :
- . diarrhée importante,
  - . passage d'eau dans le sang,
  - . risque de régurgitation.

- **Eau inhalée** : toujours en faible quantité, l'eau inhalée provoque en oedème toxique et détruit le surfactant, ce qui empêche les échanges gazeux de s'effectuer.

## 4. SYMPTOMES

On classifie les noyades en quatre stades :

#### 4.1. Stade I : Aquastress

Apparaît lorsque l'eau est avalée

Conscience : normale  
Respiration : normale  
Circulation : normale

Le sujet a froid, il est en hypothermie, épuisé et angoissé.

#### 4.2. Stade II : Petit hypoxique

Apparaît lorsque l'eau est avalée et modérément inhalée

Conscience : normale  
Respiration : polypnée avec encombrement trachéo-bronchique  
Circulation : normale

Le sujet a froid, il est en hypothermie, épuisé, angoissé et il présente une gêne respiratoire avec toux.

#### 4.3. Stade III : Grand hypoxique

Apparaît lorsque l'eau est avalée et inhalée

Conscience : somnolence, coma stade I et II avec agitation  
Respiration : polypnée avec encombrement trachéo-bronchique  
Circulation : tachycardie

Cyanose des lèvres et des extrémités ; le sujet est en hypothermie et présente un encombrement pulmonaire majeur avec régurgitation et vomissement. Risques de fausses routes aggravant l'encombrement pulmonaire. Oedème pulmonaire. A ce stade, le danger est d'ordre respiratoire.

#### 4.4. Stade IV : Anoxique

Apparaît lorsque l'eau est avalée et inhalée

Conscience : coma stade III  
Respiration : arrêt respiratoire ou gasp  
Circulation : pouls très filant très faible, tension artérielle imprenable. Arrêt circulatoire complet possible avec état de mort apparente.

La réplétion gastrique est maximum.

### 5. CONDUITE A TENIR

- Protéger : Sortir le noyé de l'eau et le mettre en position décubitus dorsal, tête défléchie et basse (xxx à chercher/confirmer)

NE PAS RECHAUFFER (Le froid est un antidote de l'anoxie cérébral). (??? à confirmer)

- Bilan : Faire un premier bilan des fonctions vitales : conscience, respiration, circulation
- Alerter : Alerter les secours
- Secourir : pratiquer les premiers gestes de secourisme (oxygénothérapie, bouche à bouche et massage cardiaque si nécessaire).

- Dans tous les cas :

**ALLER TRES VITE.**

- Un noyé secouru dans la première minute a 95% de s'en sortir, seulement 25% après 6 mn, et 3% après 8 minutes.
- En cas de noyade avec entrée d'eau dans les poumons, l'oedème aigu du poumon est systématique. La surveillance en milieu hospitalier est donc indispensable, même si l'accidenté semble avoir complètement récupéré.

### 6. LA PREVENTION

#### 6.1. Générale

- Savoir nager.
- Ne pas présumer de ses possibilités.
- Bains sous surveillance.
- Pas de bain si eau froide ou mauvaise forme physique ou après un gros repas bien arrosé.
- Prudence en bateau (mettre des gilets de sauvetage ou des combinaisons).

#### 6.2. En plongée

- Matériel en très bon état.
- Port d'une combinaison.
- Port d'une ceinture largable et d'une bouée contrôlable.
- Une bonne aquacité et une bonne technicité apprise par un entraînement régulier.
- Respecter les règles élémentaires de sécurité.
- Ne jamais plonger seul.
- Bien agir sur les incidents débouchant sur la noyade (essoufflement, narcose, angoisse, panique, piqûres et morsures d'animaux).
- Visite médicale annuelle.

# **CHAPITRE 17 : LES DANGERS DU MILIEU**

## **1. JUSTIFICATION**

- L'eau n'est pas notre milieu naturel.
- Il est donc évident que ce milieu nouveau a ses propres dangers.
- Le mer représente une force considérable, qu'il est nécessaire de connaître avant d'explorer et non de combattre, car on ne peut pas vaincre cette source de vie, on s'en accommode.
- Il est donc utile d'apprendre à regarder avant de toucher, car les désagréments encourus peuvent devenir graves, du fait qu'ils se produisent dans un milieu irrespirable.

## **2. AVANT LA PLONGEE**

### **2.1. Le soleil**

Proscrire toute exposition de longue durée au soleil avant une plongée, surtout si l'eau est froide ou fraîche car il y a risque d'hydrocution ou choc thermo-différentiel. Attention également de ne pas rester équipés trop longtemps en plein soleil.

Attention au coup de chaleur qui est plus dangereux qu'un coup de soleil.

En cas de coup de soleil, appliquer une crème anti-inflammatoire qui peut calmer les rougeurs (Voltagène gel, Niflugel, Geldene). En cas d'apparition de cloques avec fièvre et malaises, il est préférable de ne pas plonger et de prendre de l'aspirine ou du paracétamol

### **2.2. Le vent**

S'en protéger pour éviter d'avoir froid. Avant la plongée, manger du sucre ; après la plongée, boisson chaude et sucrée.

### **2.3. Les gaz d'échappement**

Attention à sa position à bord du bateau, surtout avant de plonger. Le CO est très toxique et le CO2 peut causer un essoufflement pendant la plongée. Il faut donc se placer "au vent" sur le bateau.

### **2.4. La nuit et la glace**

Nécessitent un briefing particulier.

## **3. L'ETAT DE LA MER**

### **3.1. Le courant**

Il y a trois possibilités : courant de surface, courant de fond ou courant général.

La direction du courant sera déterminée avant la plongée. Si possible, une embarcation de surface suivra les bulles des plongeurs qui devront rester groupés.

Dans le cas d'un courant de surface ou général, les palanquées descendront le long de l'échelle et du mouillage et y remonteront et débiteront leur plongée à contre-courant. Un serre-file est fortement conseillé. Un bout, d'au moins 50 mètres, avec une bouée, devra être lâchée en surface, derrière le bateau pour faciliter le retour. Au retour, il faut viser un point en avant du bateau.

Si les paliers sont réalisés en pleine eau, utiliser un parachute de palier.

Il est évident que si le courant est trop fort, il sera sage d'annuler tout simplement la plongée, car déjà le mouillage posera des problèmes.

### **3.2. La mer démontée et la houle**

Il y a danger avant même de plonger par les risques de chutes sur le pont.

Mais le principal danger est le mal de mer ; ce phénomène bien connu est craint par beaucoup de plongeurs. Bien que banal, il peut avoir des conséquences fâcheuses ; il altère l'équilibre nerveux et peut provoquer des malaises allant jusqu'à la perte de connaissance. Il existe une règle des cinq 'F' qui peut amener le mal de mer : Faim, Froid, Frousse, Fatigue, Fête !

Attention aux médicaments, comme Nautamine, Dramamine, Nausicalm et Mercalm, destinés à lutter contre le mal de mer : ils contiennent des antihistaminiques qui peuvent atténuer les réactions de vigilance sous l'eau, accroître la sensibilité au CO2, prédisposer à la narcose et seraient à l'origine d'accidents de décompression immérités.

Préférer les pastilles spéciales contenant de la scopolamine (comme Scopoderm) qui se collent derrière les oreilles. Ces pastilles permettent un passage du produit à travers la peau vers la circulation sanguine ; les doses absorbées sont plus faibles.

La mise à l'eau et le retour à l'échelle poseront aussi de gros problèmes. Il faudra éviter les longs parcours en surface au tuba ; on gardera l'embout du détendeur en bouche.

Attention sous l'échelle au retour ; personne derrière, sous ou à coté du plongeur en train de monter et il faudra impérativement garder ses palmes et son détendeur en bouche pour remonter.

Les plongeurs doivent s'éloigner des rochers pour ne pas être projeté par la houle.

Les paliers seront également difficile à faire correctement avec une mer agitée ; dans ce cas, mieux vaut rester dans la courbe de sécurité ou annuler la plongée.

Le meilleur moyen d'éviter le mal de mer est de s'occuper sur le bateau et de ne pas être obnubilé par celui-ci.

### **3.3. L'eau trouble**

C'est un facteur stressant pour le plongeur. L'emploi d'une torche ne changera rien car il ne fera qu'amplifier le phénomène de diffusion. Le fait de ne pas avoir de repère visuel distinct peut entraîner des maux de tête.

L'emploi du serre-file est impératif dans ces conditions.

Attention à ne pas remuer un fond de vase, surtout en milieu semi-clos (grottes, épaves) ; palmer à 2 ou 3 mètres au-dessus du fond.

Dans certains cas, il y aura nécessité de se tenir par la main. La plongée se transformant alors en promenade d'aveugle et relèvent souvent de l'exploit technique ; cette perte totale d'intérêt pour la plongée devra conduire à la suspendre ou à l'annuler.

## **4. AU FOND**

### **4.1. Roches et tombants**

La peau, attendrie par le séjour dans l'eau, est beaucoup plus fragile, et la sensibilité tactile est émoussée par le froid. Il arrive très souvent de se couper sans s'en rendre compte tout de suite.

Il faut s'abstenir de frôler inutilement les rochers et de poser les mains n'importe où, sans gants.

Les tombants peuvent être dangereux dans le sens où un plongeur non expérimenté pourrait être entraîné vers la profondeur, surtout si l'eau est très claire.

### **4.2. Grottes et tunnels**

Les grottes, sous l'eau comme sur terre, sont un pôle d'attraction. On distingue les grottes déjà explorées et les grottes inconnues. Dans le premier cas, une bonne vigilance du guide, il n'y aura pas de problème. Dans le second cas, il faudra prévoir couteaux, lampes, fil d'ariane, serre-file et être un plongeur confirmé.

Commencer la visite du côté le plus profond, afin de sortir le plus près de la surface. Un bon palmage éloigné du fond sera de rigueur pour éviter de "labourer" et de compliquer le retour.

Attention aux nappes de gaz au plafond, qui peuvent être toxiques, aux risques d'éboulement (sortir au moindre craquement suspect) et à l'autonomie en air (entamer le retour à 1/3 de la capacité)

Parfois, il sera nécessaire de décapeler pour passer un étranglement.

De façon générale, ne pas confondre plongée sportive et plongée spéléo

## **5. LA FAUNE**

La faune sous-marine n'est pas systématiquement hostile ou suspecte, car elle n'est responsable que d'un faible pourcentage d'accidents de plongée.

Cependant une vigilance accrue devra être portée sur certains animaux.

De manière générale, en cas de plaie, il faut désinfecter soigneusement et appliquer par exemple une crème antibiotique comme la Fucidine. De plus, un plongeur doit toujours être à jour de sa vaccination anti-tétanique.

### **5.1. Morsures et pincements**

- Requin à pointes blanches, à pointes noires, dormeur, gris de récif, citron :  
Pas de danger pour les plongeurs à bouteilles.

- Requin marteau, gris du large, tigre :  
Dangereux s'ils se sentent menacés. Dans ce cas, il faut rester calme, se grouper et attendre. Si un requin se met à tourner autour des plongeurs en cercles de plus en plus petits, ou s'il fonce de très loin, droit sur eux, il faut décapeler et tenir la bouteille devant soi comme un bouclier et remonter lentement (cela reste très exceptionnel !).

- Barracudas :  
Aucune agressivité si on ne les importune pas.

- Gros balistes :  
Les mâles peuvent attaquer un plongeur : faire face, les deux poings en avant et s'éloigner sans tourner le dos.

- Diodons :  
Attention aux lèvres qui recouvrent un bec qui pince très fort et coupe profondément.

- Congres, Baudroies et Roussettes :  
Ces poissons peuvent mordre, mais ils ne vous attaqueront jamais. Les morsures sont bénignes mais douloureuses. Ne les importunez pas et vous n'aurez aucun problème.

- Poulpes :  
Attention au "bec de perroquet" qui peut pincer et couper et qui inocule un produit empêchant la coagulation. La blessure, bénigne, saignera longtemps. Seule, la morsure du poulpe à points bleus sur la grande barrière australienne est mortelle.

- Murènes :  
Elles ont autour de la gueule des dents pointues en tranchantes et au milieu du palais une ou deux dents longues en forme d'hameçon. Il est donc impossible d'en retirer un membre mordu sans qu'il ne soit bien déchiré. Elles ne sont pas venimeuses, mais la plaie peut s'infecter car les dents sont sales.  
Pour éviter d'être mordu, il ne faut jamais mettre la main dans un trou sans avoir vérifié qu'aucune murène ne s'y trouve, ne jamais chercher à caresser

une murène, ne jamais remuer les mains à proximité d'une murène, de jamais perdre de vue une murène pour être prêt à l'éviter.

- Homards :

Ils ont une pince très puissante, capable de sectionner un doigt ou un tuyau de détenteur. Ne vous en approchez pas et vous n'aurez aucun problèmes ; si vous êtes pris, il faut couper la pince au poignard car il ne lâchera pas.

## 5.2. Les piqûres venimeuses

Les plus dangereuses sont celles de la vive, de la rascasse, de certaines raies (pastenague, aigle de mer) et en mer tropicale, du poisson pierre, du poisson lion, du ptérois volitans ou radiata, de l'acanthaster (étoile de mer à très nombreuses branches, hérissée de piquants venimeux) et de certains cônes.

Les symptômes sont généralement des douleurs lancinantes, des démangeaisons, des lésions inflammatoires et nécrotiques (pouvant aboutir à la gangrène), accompagnées de dyspnées, cyanose, vertiges, sueurs, état de choc, perte de connaissance et parfois syncope chez les sujets allergiques.

Si vous êtes victime d'une telle piqûre, vous devez :

- soit y appliquer une compresse d'eau de mer la plus chaude possible, à la limite du supportable,
- soit l'envelopper de glaçons (dans les deux cas, vous limiterez ainsi la diffusion du venin dans l'organisme),
- puis aller sans tarder à l'hôpital. Il ne faut jamais prendre ce genre de blessures à la légère ; certaines peuvent être très dangereuses.

Il est très facile d'éviter les piqûres des animaux bien visibles dans l'eau. Il suffit de ne pas essayer de les toucher ni de les importuner.

- Les vives : s'enfouissent généralement dans le sable dont seuls sortent leurs yeux. Prudence donc sur les fonds sableux.
- Les rascasses et surtout les poissons-pierres : se confondent avec le fond généralement rocheux sur lequel ils sont posés. Pour éviter d'y appliquer la main, car alors la piqûre serait assurée, il faut bien observer l'endroit et au besoin créer un léger courant d'eau au-dessus.
- Les cônes : si vous saisissez un cône pour l'observer, ne le prenez pas par les deux bouts, mais par la partie centrale de la coquille.

## 5.3. Les piqûres urticantes

- Les anémones de mer :

Chaque tentacule se termine par une pointe plus ou moins venimeuse. Les doigts y sont à peu près insensibles. En revanche, des parties plus fragiles de la peau (dessous de l'avant-bras, visage, ...) peuvent être l'objet de brûlures qui mettront plusieurs jours à guérir.

- Les holoturies ou concombre de mer :

Sécrètent, pour se défendre, des filaments blancs qui sont très collants et un peu venimeux. Inoffensifs pour les doigts, ils sont dangereux pour les yeux qu'il ne faut donc pas frotter après avoir touché les filaments.

- Les méduses :

Possèdent parfois des filaments invisibles très urticants. Certains peuvent avoir plusieurs mètres de long et provoquer une syncope et donc la noyade. Il vaut mieux faire un large détour.

En cas de brûlures, appliquer une pommade corticoïde comme Dermoval.

- Le corail de feu :

Ne se rencontre qu'en mer tropicale. Il peut provoquer des brûlures aiguës très douloureuses et souvent les chairs blessées se nécrosent.

Ne jamais le toucher ; le port d'une combinaison et de gants est recommandé, même si l'eau est chaude. En cas de brûlures, appliquer une pommade corticoïde comme Dermoval. Dans les cas graves, il faut consulter un médecin ou se faire hospitaliser.

- Le corail :

Peut provoquer des coupures bénignes. Mais très souvent des éléments microscopiques restent dans la plaie qui s'infecte rapidement. Après toute coupure provoquée par du corail, nettoyez la plaie avec du citron vert et vous n'aurez aucun problème.

## 5.4. Les animaux vénéreux

Ils fabriquent une substance vénéreuse dont l'ingestion provoque une intoxication ; ils sont d'autant plus dangereux que les mers sont plus chaudes. Leur toxicité varie selon la saison, l'espèce, les régions et leur alimentation.

## 5.5. Les autres

- Oursins :

Il est nécessaire d'être prudent et de bien observer, car les oursins sont redoutables ; leurs piquants sont très pointus, pénètrent dans la chair, s'y brisent et parfois s'y enfoncent tout seuls très profondément.

Si vous avez été piqué, pour retirer les épines, vous devez le faire sous l'eau le plus tôt possible (ongles et succions) et, au retour, baigner de jus de citron vert, d'urine ou d'eau de mer aussi chaude que possible additionnée d'eau de Javel diluée ; si ce n'est pas efficace, essayez de les retirer une à une avec une pince à épiler. Des épines restées dans la chair sont douloureuses et peuvent provoquer un durillon ou un abcès.

- Raie torpille :

Elle inflige des décharges électriques qui peuvent être assez fortes pour provoquer une syncope ou un arrêt cardiaque chez certains individus. Il suffit de ne pas la toucher.

## **6. LA FLORE**

Les herbes, en eau douce, et les algues, en eau de mer, peuvent devenir une cause d'incidents, surtout dans le cas où leur présence se conjugue avec une mauvaise visibilité.

Il peut y avoir des risques de mal de mer ou de vertiges au-dessus d'herbiers bercés par la houle.

Si les forêts de grands laminaires de l'Atlantique peuvent dérouter le plongeur habitué aux maigres posidonies de la Méditerranée, on rappellera qu'il est facile de s'en dégager, en respectant le sens de la plante et du courant, avec des mouvements souples et calmes.

## **7. LES INTERVENTIONS DE L'HOMME**

### **7.1. Les lignes et filets**

Véritables pièges car ils sont peu visibles, même en eau claire. Ils sont très solide et un Nylon capable de résister à la défense désespérée d'un gros poisson, immobilisera encore mieux un plongeur avec tous les points d'accrochage que son équipement comporte.

Si peu fréquents qu'ils soient, ces risques justifient à eux seuls, le port d'un couteau bien aiguisé. Le mieux sera de rester immobile, pendant qu'un camarade prendra soin de dégager ou découper les fils. Quelquefois un décapelage sera nécessaire.

### **7.2. Les épaves**

Les épaves présentent les mêmes dangers que les grottes. Bien qu'attrayantes, les épaves présentent avec leurs tôles rouillées, dentelées, représentent un grand danger de coupures ; autant pour la peau que pour le matériel (combinaison, détendeur, gilet, ...).

En plus, il y a danger d'effondrement.

Les plongeurs prudents doivent résister à l'envie de pénétrer dans une épave fermée

### **7.3. Les bateaux et les hélices**

Voilà l'ennemi numéro 1 des plongeurs, car souvent la réglementation sur les pavillons de plongée n'est pas respectée.

Les plongeurs prudents doivent, dans les derniers mètres de la remontée, écouter, surveiller la surface sur 360° et sortir bras tendu en faisant le signe OK en surface pour avvertir le bateau que tout va bien.

Attention aux dériveurs et aux planches à voile qui sont silencieux.

En surface, rester grouper ; un équipement avec des couleurs vives est également préférable pour être visible.

### **7.4. Les explosifs**

Les guerres, les travaux et le braconnage ont piégé le milieu subaquatique d'engins explosifs non explosés dont certains conservent leur efficacité, malgré le temps et la corrosion. La prudence exige donc de s'abstenir de toute manipulation inconsidérée. En revanche, c'est un devoir de les signaler, avec la plus grande précision de localisation aux autorités maritimes.

Attention de ne pas confondre un obus avec un cul d'amphore !

## **8. LES QUALITES DU MILIEU**

\* Le milieu ne présente pas que des dangers.

- Il faut tout de même insister sur la beauté des sites, l'intérêt de mieux connaître la faune, l'archéologie, etc...
- Il existe différents ouvrages spécialisés pour cela (Cf bibliographie).

\* Rappeler la réglementation.

- Interdiction de remonter quoi que ce soit (y compris gorgones, corail, coquillage, etc...)
- Ne rien toucher ; en présence d'objets ou de groupe d'objets, relever la position précise pour les déclarer aux Affaires Maritimes.

\* Le plongeur doit respecter et protéger la mer.

- Ne rien jeter qui ne soit biodégradable.
- Nettoyer les fonds (ramasser les déchets).
- Signaler les pollutions.
- Remettre un caillou en place si vous le retournez, sinon des petits animaux vont mourir.
- Ne pas perturber la vie : observer sans déranger.
- Attention : le palmage peut être dévastateur.



# CHAPITRE 18 : LES ACCIDENTS DE PLONGEE LIBRE

## 1. JUSTIFICATION

- Tout plongeur bouteille est amené à pratiquer l'apnée.
- L'apnée est un arrêt des mouvements respiratoires (volontaire ou réflexe) ; cet arrêt peut se faire après une inspiration (apnée inspiratoire) ou après une expiration (apnée expiratoire).
- La plongée libre est facile à mettre en oeuvre, mais dangereuse car les risques sont méconnus.

## 2. ACCIDENTS COMMUNS AVEC LA PLONGEE BOUTEILLE

### 2.1. Les barotraumatismes

- Oreilles.
- Masque.
- Sinus.
- Dents.

### 2.2. Accidents toxiques

- Essoufflement de surface (tuba, ...).

### 2.3. Accidents de décompression

- Rares, mais possible si plongées profondes et répétées.
- Il ne concerne que quelques pêcheurs de perles qui descendent et remontent très vite de profondeurs faramineuses. L'azote dissout provient uniquement de l'air emmagasiné au départ dans leurs poumons mais cela suffit parfois à former une bulle qui devient vite grosse à la remontée (Mariotte). En Océanie, cela peut arriver à des pêcheurs (maladie des plongeurs fous, le Taravana).
- Les risques sont importants si les apnées ont lieu après une plongée bouteille.

### 2.4. Froid, noyade, dangers du milieu

- Idem bouteille.

## 3. ACCIDENTS SPECIFIQUES

### 3.1. Durée de l'apnée

- Rappels physiologique :

\* Effort musculaire :  $O_2$  consommé et  $CO_2$  fabriqué.

\* Rôle de la circulation sanguine et de la respiration : Apport  $O_2$  et élimination  $CO_2$ .

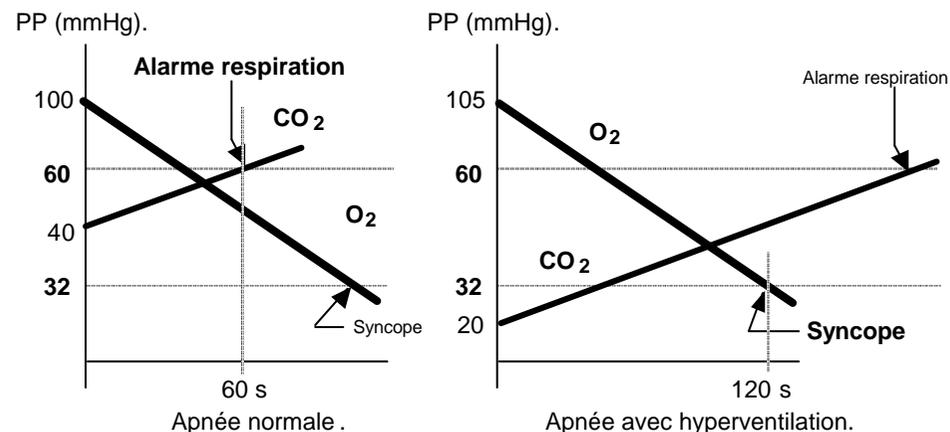
Les variations de  $PP_{O_2}$  et  $PP_{CO_2}$  vont déterminer la durée de l'apnée. Ces informations sont captées par les centres chémorécepteurs artériels qui les transmettent au bulbe rachidien, lequel va exciter le nerf phrénique qui actionne le diaphragme ; la ventilation de l'air pulmonaire se produit.

La reprise réflexe de la respiration a lieu avec une  $PP_{CO_2}$  dans le sang supérieure à 60 mmHG, en moyenne. La syncope (voire l'arrêt cardiaque) se produit pour une  $PP_{O_2}$  inférieure à 32 mmHG, en moyenne.

- L'hyperventilation :

Technique respiratoire consistant à rincer les alvéoles pulmonaires d'une partie du  $CO_2$  qu'elles contiennent, afin d'abaisser le taux de  $CO_2$  dans le sang, d'où allongement de la durée de l'apnée.

L'hyperventilation consiste en une suite d'inspiration et d'expiration forcées (plus ou moins rapides), d'où baisse de la  $PP_{CO_2}$  alvéolaire, sanguine et tissulaire qui retarde le signal d'alarme du besoin de respirer, c'est à dire la rupture d'apnée.



ATTENTION, car une hyperventilation trop poussée peut être génératrice de syncope anoxique. Reculer le réflexe inspiratoire induit une dette d'oxygène et c'est la perte de connaissance.

Pour éviter la syncope tout en faisant des hyperventilations raisonnables, utiliser la méthode du tiers-temps du Dr Sciarli :

- effectuer, dans l'air, des hyperventilations jusqu'à l'apparition des premiers troubles (vision d'étoiles, vertiges, troubles de la sensibilité - fourmillements - ...).
- prendre ce temps et le diviser par 3 ; on obtient le temps d'hyperventilation à ne pas dépasser lors de la préparation d'une apnée, en général inférieur à une minute.

Le temps de récupération en surface doit être de 3 fois le temps de l'apnée pour obtenir un retour de l'organisme aux conditions physiologiques optimales avec élimination totale du CO<sub>2</sub> produit lors de l'apnée précédente.

#### - Facteurs d'augmentation de la durée de l'apnée :

Avant :

- \* Bonne forme physique et psychique.
- \* Alimentation appropriée (riche en glucide et vitamines C).
- \* Jamais d'alcool ni d'excitants avant la plongée (café, thé, tabac).
- \* Uriner avant la plongée.
- \* Pas de refroidissement.
- \* Pas d'anxiété.
- \* Entraînement.

En surface :

- \* Se décontracter 2 à 3 mn avant de descendre.
- \* Se ventiler à plat, thorax hors de l'eau.
- \* Hyperventilations modérées (tiers temps) sans tuba.
- \* Volume inspiré important (Inspiration forcée).

Descente :

- \* Béance tubaire ou Frenzel (pour perdre moins d'air).
- \* Petit masque.

Au fond :

- \* Exercice musculaire faible (Bon canard et lestage correct, Eviter les efforts).
- \* Intérêt (beau poisson) et volonté.

Remontée :

- \* Inspirer par le nez l'air du masque pendant la remontée.
- \* Faire des mouvements de diaphragme et de la lnette pour utiliser l'air des bronches et des voies aériennes supérieures.
- \* Déglutir et éructer bouche fermée pour utiliser l'air de l'estomac.
- \* Certaines personnes peuvent prolonger leur apnée en expirant un petit volume d'air à la fin de l'apnée.

#### - Durée moyennes des apnées au repos :

- \* Après hyperventilation : 90 à 150 secondes.
- \* Après inspiration forcée : 50 à 60 secondes.
- \* Après inspiration normale : 30 secondes.
- \* Après expiration normale : 20 secondes.
- \* Après expiration forcée : 10 à 15 secondes.

Diviser les temps par 2 après un effort, car le taux de CO<sub>2</sub> est plus important.

### **3.2. La prévention et la conduite à tenir en plongée libre**

- \* Se signaler par une bouée (et un pavillon de plongée) reliée au fond par une ligne et un plomb. C'est un espace de sécurité à proximité duquel vous évoluerez.
- \* Eviter les zones de courant et les eaux troubles.
- \* Plonger sur un fond limité.
- \* Etre surveillé, y compris dans les secondes qui suivent l'arrivée en surface par quelqu'un ayant les mêmes capacités. Cela signifie que le coéquipier doit observer la moindre anomalie : arrêt du palmage, soubresauts, redescente inexplicable.

Dans ce cas, il faut réagir très vite : larguer les plombs, le remonter et le maintenir en surface tête hors de l'eau, le solliciter vivement pour qu'il reprenne conscience (quitte à le gifler, c'est la "baffothérapie") ou pratiquer du bouche-à-bouche, ou du bouche-à-nez si les mâchoires sont bloquées sur l'embout.

Dans presque tous les cas, une perte de connaissance est bénigne et sans séquelles, dès lors que la sauvetage est rapide. Si l'accidenté a de l'eau dans les poumons, une surveillance pendant le transport à l'hôpital est indispensable.

### **3.3. L'hypercapnie et la noyade**

- Causes :

- \* Mauvaise préparation à l'apnée.
- \* Efforts musculaires très important.
- \* Augmentation importante de la tension en CO<sub>2</sub> dans les tissus et le sang → inspiration réflexe → noyade.

#### - Symptômes:

- \* Sensation de malaises.
- \* Vertiges, sueurs.

#### - Conduite à tenir :

- \* idem noyade.

#### - Prévention :

- \* Remonter avant d'avoir envie de respirer.
- \* Bien se préparer à l'apnée.
- \* Connaître ses limites.
- \* Etre surveillé.

### 3.4. L'hypoxie

#### - Causes :

- \* Hyperventilation excessive baisse anormale du taux de CO<sub>2</sub>.
- \* Disparition du besoin d'inspirer syncope au fond lorsque la PPO<sub>2</sub> est trop faible.

#### - Symptômes:

- \* Sensation de bien-être au fond, euphorie, confort inhabituel, disparition de l'envie de respirer ou de remonter, troubles visuels (obscurcissement ou étoiles), lâcher de bulles, tremblements, absence de mouvements, durée excessive, ...
- \* Attitude anormale à la remontée : lourdeur dans les cuisses, palmage lent, pas de tour d'horizon, né répond pas au signal "tout va bien", plongeur immobile ou qui se met à couler, ...

#### - Conduite à tenir :

- \* idem noyade.

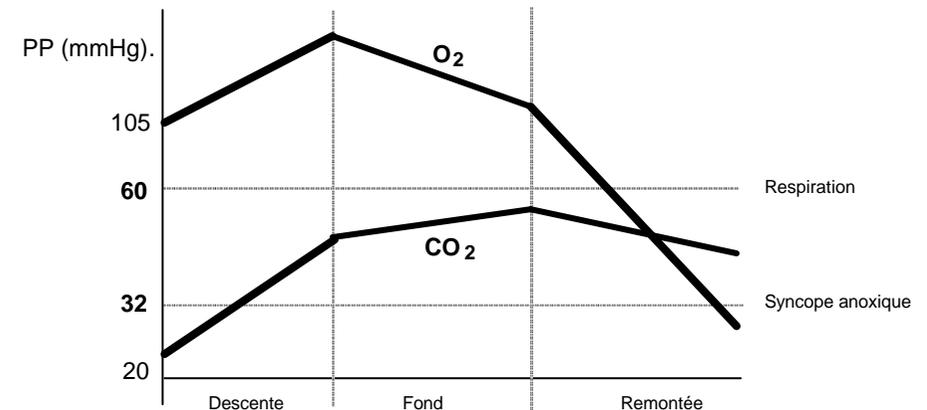
#### - Prévention :

- \* Pas d'hyperventilation excessive (tiers temps) : car cela provoque une baisse de la PP CO<sub>2</sub> sans modifier la PP O<sub>2</sub> qui reste à 0,2 bar.
- \* Etre surveillé, y compris dans les secondes qui suivent l'arrivée en surface.
- \* Toujours se rappeler que la respiration est provoquée par un excès de CO<sub>2</sub> et **non** par un manque d'O<sub>2</sub>.
- \* Apnées statiques à interdire formellement (cf. ligne précédente).
- \* Jamais d'apnées après une plongée bouteille.
- \* Ne jamais dépasser au fond le temps habituel d'apnée en surface.
- \* Ne pas faire confiance à une pseudo-facilité au fond.

### 3.5. Le rendez-vous syncopal des 7 mètres

#### - Causes :

- \* Descente :
  - . tête en bas, l'irrigation cérébrale est maximale avec un sang oxygéné. La PP O<sub>2</sub> augmente avec la pression absolue, d'où une sensation de confort.
- \* Au fond :
  - . production de CO<sub>2</sub> et consommation d'O<sub>2</sub>.
- \* A la remontée :
  - . visage levé vers la surface → mauvaise irrigation du cerveau avec, en plus, un sang chargé en CO<sub>2</sub>. La PP O<sub>2</sub> chute rapidement ; la PP CO<sub>2</sub> baisse moins rapidement ; le seuil de la syncope est atteint sans signal d'alarme.
  - . compression du bulbe rachidien
  - . retour veineux plus difficile
  - . bradycardie excessive → arrêt cardiaque par désamorçage du coeur.



#### - Symptômes:

- \* Syncope ou perte de connaissance et noyade.

#### - Conduite à tenir :

- \* idem noyade.

#### - Prévention :

- \* Ne pas lever la tête avant d'arriver à trois mètres (compression du bulbe rachidien).
- \* Ne pas avoir une cagoule trop serrée.
- \* Etre surveillé, y compris dans les secondes qui suivent l'arrivée en surface.
- \* Ne pas être trop lesté.
- \* Toujours se rappeler que la respiration est provoquée par un excès de CO<sub>2</sub> et **non** par un manque d'O<sub>2</sub>.

### 3.6. Surmenage cardiaque

#### - Causes :

- \* Apnées longues et répétées.
- \* Temps de repos insuffisant.
- \* Brusques accélérations cardiaques.

#### - Symptômes:

- \* Fatigue.
- \* Malaise.
- \* Syncope.

#### - Conduite à tenir :

- \* idem noyade.

#### - Prévention :

- \* Bonne forme physique.
- \* Se reposer 2 à 3 minutes entre chaque apnée.

### 3.7. Oedème aigu du poumon

#### - Causes :

- \* En surface, les poumons ont une capacité de 6 litres environ.
- \* Lorsqu'un apnéiste descend, la pression augmente, donc le volume diminue.
- \* En dessous de 30 mètres, le volume d'air restant dans les poumons est de moins de 1,5 litres, volume résiduel indispensable (correspond aux zones de cavités rigides, à la rigidité de la cage thoracique, ...).
- \* Les poumons se mettent alors en dépression.
- \* Le sang est attiré dans les alvéoles pulmonaires oedème pulmonaire.
- \* La limite de 30 mètres est théorique ; il faut en effet tenir compte également de la résistance mécanique de la cage thoracique, de la remontée du

diaphragme, etc... Des physiologistes ont fixés cette limite théorique à 37 mètres.

#### - Symptômes:

- \* Sensation de vide intérieur.
- \* Crachats sanguins.
- \* Malaise général (baisse tension artérielle).
- \* Forte douleur thoracique.
- \* Syncope.

#### - Conduite à tenir :

- \* idem noyade.
- \* Evacuation d'urgence, inhalations d'O<sub>2</sub>.

#### - Prévention :

- \* Connaître ses limites. Le Docteur Schaeffer préconise les limites suivantes :

Age	Profondeur limite
entre 20 et 30 ans	25 mètres
entre 30 et 50 ans	15 mètres
plus de 50 ans	10 mètres

- \* L'entraînement à l'apnée augmente la capacité totale et diminue le volume résiduel.

## 4. LES RECORDS xxxPasAJour

Les records de profondeur sont battus dans certaines conditions, surtout à force d'entraînements intensifs et rigoureux :

- aucun mouvement (gueuse pour descendre et pour remonter),
- musculature entraînée,
- fonctions circulatoires et respiratoires maîtrisées par le yoga ;  
Par exemple, le Cubain Francesco Pipin arrive à maîtriser son rythme cardiaque à 44 pulsations / minute alors que théoriquement celui-ci devrait être inférieur à 10.
- concentration et hyperventilation calculée,  
Ainsi, Pipin purifie son corps grâce à des séances en caisson hyperbare à l'oxygène pur ; son organisme s'est adapté au point de pouvoir respirer en caisson de l'oxygène pur à une profondeur de 35 mètres pendant 40 minutes à chaque fois sans crise toxique.
- assistance matérielle et médicale,

- pince-nez et lentille cornéenne.
- mais surtout, les plongeurs recréent le réflexe des mammifères marins qui consiste en un afflux de sang et de plasma autour des alvéoles (4,5 litres pour Pipin à 100 mètres de profondeur). Ceci provoque une érection des poumons qui résistent alors à l'écrasement.

La C.M.A.S. a décidé de supprimer ce style de compétition car ce réflexe physiologique n'est pas inné chez l'homme.

Les différentes épreuves :

- Apnée à poids constant : le plongeur descend et remonte à la seule force des palmes sans toucher le câble. (Record : Umberto Pelizzari, 75 mètres, le 14/09/1997)
- Apnée à poids variable : le plongeur descend avec une gueuse et un lest de 30 kilos puis remonte à la force des palmes et des bras. (Record : Umberto Pelizzari, 115 m.)
- Apnée à poids variable "No Limits" : le plongeur descend avec une gueuse et un lest libre puis remonte avec un ballon gonflable.  
 En 1983, le record du monde de plongée en apnée à poids variable "No Limits" était de 105 mètres (1'24" de descente ; 1'50" pour la remontée ; Total : 3'14").  
 Le 10 Mars 1996, à Cabo San Lucas (Mexique), Pipin est descendu à 130 mètres. Cette plongée record était sa 560ème plongée en apnée à plus de 100 mètres !  
 Le 16 Mai 1996, en Sardaigne, Umberto Pelizzari est descendu à 131 mètres (2'03" de descente ; 1'29" pour la remontée ; Total : 3'32").  
 En Novembre 1996, Pipin a établi le record à 133,2 mètres ! Il est même descendu depuis à 155 mètres avec une seule inspiration à 75 mètres.  
 Le 5 Juin 1999, le français Loïc Leferme (28 ans) a atteint 137 mètres dans la baie de Saint-Jean-Cap-Ferrat ; ce record a été "explosé" par Umberto Pelizzari (34 ans) le 24 Octobre 1999 à Gênes : 150 mètres !
- Apnée statique. (Record : Umberto Pelizzari, 7'2"88.)

# PROBLEMES

## CHAPITRE 19 : UTILISATION DES TABLES M.N. 90

### 1. JUSTIFICATION

- Au cours de la plongée, la saturation en azote va répondre aux lois de Henry et de Dalton.
- Effectuer les paliers nécessaires pour permettre une désaturation sans danger pour l'organisme.
- Pour éviter un accident de décompression, il faut remonter sans vitesse excessive : de 15 à 17 m/mn.
- Un plongeur doit donc être capable de calculer ses paliers dans n'importe quelles conditions.

### 2. HISTORIQUE

Au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, les travailleurs en caisson et les plongeurs "pieds lourds" souffraient en surface de maux inexplicables appelés "maladie des caissons" et décrits par Paul Bert ; ce dernier constate qu'une remontée très lente diminue la survenue des accidents.

C'est Haldane qui, au début du 20<sup>ème</sup> siècle, a permis de calculer des tables de décompression.

### 3. DEFINITIONS DANS LE CADRE DE LA PLONGEE SOUS-MARINE

Les **paramètres d'une plongée** sont constitués de deux valeurs :

#### - Profondeur d'une plongée :

C'est la profondeur maximale atteinte. C'est elle que nous allons utiliser pour rentrer dans les tables. Elle est mesurée par un profondimètre

#### - Durée de plongée :

Le chrono se met en marche dès que l'on met la tête sous l'eau et s'arrête dès que l'on amorce la remontée. Cette dernière, si elle est faite à la bonne vitesse ne compte pas dans le temps de plongée (car il s'agit alors physiologiquement du premier palier). C'est avec ce temps que l'on rentrera dans la table. Elle est mesurée avec une montre.

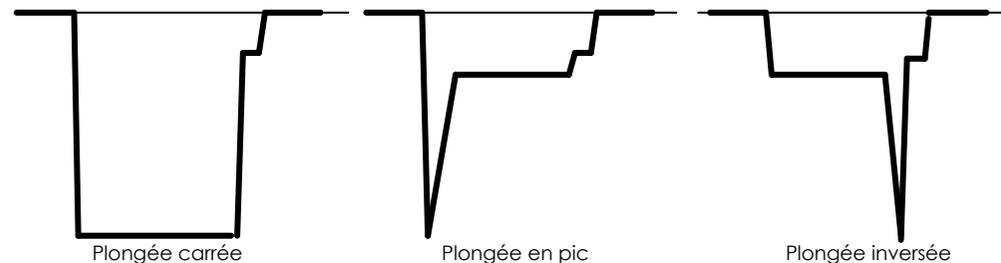
La durée de plongée se décompte par minute entière ; toute minute entamée est considérée comme minute entière écoulée.

De plus en plus souvent, ces deux paramètres sont donnés par un profondimètre électronique intégrant un chronomètre, ou un ordinateur de plongée.

Palier : Un palier est un arrêt pendant un temps variable, à une profondeur variable, pour laisser le temps à l'organisme d'évacuer sans dommage l'excès d'azote dissous pendant la plongée.

Les tables indiquent, en fonction de la profondeur atteinte et du temps passé sous l'eau, la profondeur et la durée des paliers à effectuer au cours de la remontée. Si l'un des deux paramètres n'apparaît pas dans la table, prendre la valeur lue immédiatement supérieure

#### - Types de plongée :



Les tables sont prévues pour des plongées carrées car c'est ce type de plongées qui entraîne une saturation maximum en azote. Dans la réalité, les plongées carrées sont rares, il faut préférer les plongées en pic où la profondeur maximum est atteinte au début de la plongée. Les plongées inversées ou en Yo-Yo (multiples descentes/remontées) sont impérativement à éviter car la saturation est alors perturbée.

#### 4. LES TABLES ET LEURS CHAMPS D'APPLICATIONS

Une multitude de tables permettant de calculer les paliers de décompression existent ; citons-en quelques unes accompagnées chacune par un extrait de leur courbe de sécurité :

- \* **M.N. 90 (MARINE NATIONALE)** : Pour nous, plongeurs sportifs. Table adoptée par la FFESSM. Vitesse de remontée 15 à 17 m/min.

Prof (m)	12	15	18	20	22	25	28		30	35	38	40	
Durée (min)	135	75	50	40	35	20	15		10	10	5	5	

- \* **G.E.R.S. 65** : Calculer les successives n'est pas pratique sous l'eau (réglette). Vieilles tables que vous ne devez pas utiliser. Juxtaposition de deux tables différentes. Dangereuse entre 20 et 40 mètres. Vitesse de remontée 17 m/min.

Prof (m)	15	16	18	20	23	25	26	29	30	35	40	41	45
Durée (min)	120	90	70	60	50	45	40	33	30	23	20	10	5

- \* **C.O.M.E.X. PRO 74** : Ne plus utiliser.
- \* **C.O.M.E.X. PRO 91** : Pour la plongée professionnelle. Vitesse de remontée 12 m/min. (Attention aux successives où elles sont peu sûres).
- \* **M.T. 92 (MINISTÈRE DU TRAVAIL)** : Pour la plongée professionnelle. Dérivées des tables COMEX et adoptées pour tous les professionnels de la plongée par le Ministère. Permettent des paliers pour des plongées à plusieurs profondeurs. Vitesse de remontée 12 m/min.

Prof (m)	12	15	18			24	27		30	33	36	39	
Durée (min)	165	80	50			25	20		15	12	10	8	

- \* **U. S. NAVY (USA)** : Peu pratiques et peu sûres car les paliers sont trop courts. Construites pour des militaires, elles permettent de plonger à 90 mètres. Certaines organisations les limitent pour des plongées sans paliers à 42 mètres maximum (NAUI, PADI, ...). Vitesse de remontée 18 m/min.
- \* **P.A.D.I. (USA)** : Dérivées de l'US NAVY. Limitation à des plongées sans paliers. Profondeur maximale 42 mètres. Dangereux car permettent des temps de plongée trop longs. Vitesse de remontée 18 m/min.

Prof (m)	10,5	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39
Durée (min)	190	140	80	55	40	30	25	20	16	13	10

- \* **Bühlmann (Suisse)** : Créées en 1986, elles évoluent régulièrement. Utilisées surtout dans les ordinateurs de plongées. Vitesse de remontée 10 m/min.

Prof (m)	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39
Durée (min)	125	75	51	35	25	20	17	14	12	10

\* et pleins d'autres : **NAUI (USA)**, **SSI (USA)**, **DCIEM (Canada)**, **BSAC (GB)**, ... Il faut savoir que la FFESSM impose l'utilisation de la table M.N. 90 lors des exercices et des examens des brevets fédéraux (dont le niveau IV) ; par contre, dans la pratique, un plongeur est libre d'utiliser le système de décompression de son choix (tables ou ordinateur de plongées).

#### 5. LES ORDINATEURS DE PLONGEE

##### 5.1. Principe

Le principe de calcul d'un ordinateur de plongée est le même qu'avec des tables. - A la descente et au cours de la plongée, le capteur de pression communique en permanence la profondeur. Le microprocesseur calcule alors en continu l'état de saturation du plongeur, en fonction du temps et souvent affine le résultat en fonction d'autres paramètres (température, consommation d'air, ...).

- La remontée est donc gérée par l'appareil ; il indique en permanence la vitesse de remontée et les paliers à effectuer. Des alarmes sonores et visuelles aident le plongeur à faire une remontée correcte.

- En surface, il mémorise la désaturation du plongeur en suivant les variations de pression et sera prêt à intégrer une plongée successive.

Les ordinateurs de plongée appliquent également des tables de décompression ; on y trouve :

- \* Tables **Bühlmann** (Modèle ZHL-8 ADT<sup>1</sup>) : utilisées, depuis 1995, par la gamme Monitor de Spiro-Aqualung, Aladin de Uwatec et Genius de Mares ; elles prennent en compte 8 tissus de périodes 5 à 640 minutes qui permettent de tenir compte des tissus lents pour les plongées extrêmes ou répétitives ; elles tiennent même compte de la température de l'eau et du rythme respiratoire du plongeur dans le calcul de la saturation en azote. La vitesse de remontée varie de 20 m/min en profondeur à 7 m/min près de la surface.
- \* Tables **Bühlmann** (Modèle ZHL1-6) : utilisées par l'ancienne gamme Aladin de Beuchat, elles prennent en compte 6 tissus. La vitesse de remontée, fixe, est de 10 m/min. Ce modèle n'est pas adaptatif.
- \* Modèle de type **Haldanien** : utilisées par la gamme Maestro de Beuchat, Solution et Spyder de Suunto, Némésis et Commander de Cochrane (Etats-Unis), elles prennent en compte 12 tissus (9 tissus pour Suunto : de 2,5 à 480 minutes). Ce modèle a été étudié pour les plongées loisirs et multi-niveaux.

(1) ZH = Zurich ; L = Linear ; 8 = Nombre de compartiments ; ADT = Adaptatif.

La majorité des ordinateurs de plongée permettent à l'utilisateur de programmer la vitesse de remontée et le degré de sécurité, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un ordinateur PC ; celui-ci peut également récupérer les données pour restitution, analyse et statistiques des profils des plongées.

## 5.2. Historique

Différentes générations d'ordinateurs de plongées sont apparus successivement :

- la 1ère génération : apparue dans les années 1980, les décompressimètres.
- la 2ème génération : apparition des modèles adaptatifs qui adaptent la procédure de décompression en cas de non respect de certaines instructions (vitesse de remontée, paliers, consommation excessive).
- la 3ème génération : apparition de la gestion d'air ; l'ordinateur connaît la pression dans le bloc (sur une console ou via un émetteur radio fixé sur le premier étage) ; apparition alors de l'autonomie ; gestion de la température de l'eau, du rythme respiratoire du plongeur ou des plongées particulières (Yo-Yo, répétitives, ...) dans le calcul de la saturation.

## 5.3. Ordinateurs et tables

Faut-il donc abandonner les tables ?

### 5.3.1. Avantages des ordinateurs

- utilisation plus facile et erreurs de lecture limitées.
- vitesse de remontée contrôlée de manière plus rigoureuse.
- profondeur des paliers moins critique : si un palier est effectué à une profondeur plus grande que prévue, l'ordinateur va réajuster constamment la durée adéquate.
- mesure de temps et de profondeur très précises car l'ordinateur est autonome dans la prise d'information grâce au capteur de pression et à l'horloge intégrée.
- pour le calcul des plongées successives, il prend en compte l'ensemble des tissus.
- utilisation pratique (programmation de plongée, extraction du profil, ...)
- permettent d'optimiser certaines plongées, en autorisant une désaturation progressive tout en poursuivant l'exploration.

### 5.3.2. Inconvénients des ordinateurs

Ne pas croire qu'on pourra plonger impunément plus longtemps ou plus profond avec un ordinateur !

- les plongeurs non avertis ont une confiance aveugle en ces appareils et l'exploitation exagérée de leurs avantages peut conduire à des accidents. L'automatisme risque de provoquer un relâchement dangereux de l'attention des plongeurs. Un ordinateur peut devenir dangereux s'il est utilisé par des plongeurs débutants ne maîtrisant pas des tables.

- permettent de calculer les paliers un peu plus finement que des tables donc forcément au détriment de la sécurité. Pour une plongée identique, un ordinateur donnera moins de palier à effectuer qu'en calculant avec les tables qui sont prévues

pour des plongées carrées (une plongée courante est rarement carrée) ; il est donc indispensable que la plongée se déroule normalement.

- ils partent du principe que la plongée s'est déroulée normalement et que le reste de la remontée se fera en respectant ses consignes. Si l'un de ces éléments n'est pas respecté, les résultats ne sont pas garantis
- davantage que les tables, ils ne prennent pas en compte certains facteurs de risque (âge, obésité, fatigue, ...)
- la décompression à l'ordinateur a moins de recul que la décompression aux tables.
- ils risquent de détruire la cohésion de la palanquée.
- il n'existe pas encore de norme pour ces appareils (normalisation des symboles par exemple).

### 5.3.3. Précaution d'utilisation

- bien connaître la notice d'emploi fournie par le constructeur.
- respecter les règles d'entretien et de stockage (notamment, le rincer systématiquement)
- ne pas emprunter ou louer un ordinateur pour une plongée. Cet appareil est personnel : il est le reflet des plongées précédentes effectuées par son utilisateur.
- en voyage, conserver l'ordinateur avec soi pour qu'il soit soumis aux mêmes variations de pression que l'organisme (avion, altitude, ...)
- entre deux plongées consécutives ou successives, conserver le même appareil, sans changer de pile.
- ne pas l'utiliser pour des plongées trop spécifiques qui contiennent des exercices de remontées notamment (entraînements, passages de brevets) ; passer aux tables dans ces situations.

Le principal danger lié à l'utilisation des ordinateurs est d'oublier de tenir compte de l'autonomie en air ; il faut penser à garder suffisamment d'air dans le bloc pour la remontée et les paliers. Beaucoup d'accidents sont issus d'une panne d'air suite à l'utilisation des ordinateurs ; l'arrivée de la gestion d'air devrait maintenant améliorer cette situation.

### 5.3.4. Remarques

Un ordinateur n'est qu'une évolution des tables de plongée : du plus simple qui se contente de lire les données de la table intégré au plus sophistiqué qui intègre le modèle mathématique d'une table, l'ordinateur simplifie pour le plongeur les étapes de lecture des données, mais sans changer le principe de base de leur élaboration. **Seule la parfaite compréhension et l'expérience de la plongée aux tables permet l'utilisation correcte de l'ordinateur de plongée.**

Aucun physiologiste n'est actuellement capable d'interpréter ce qui se passe au-delà d'un certain type de plongée, lorsque le plongeur commence à descendre et à remonter en effectuant un profil tourmenté de style Yo-Yo. A l'instar de la table, l'ordinateur ne fera pas mieux que le physiologiste et les résultats de ses calculs devront être utilisés avec la plus grande prudence.

Attention, les procédures des tables ne sont pas transposables à l'ordinateur. Gérer une plongée et une décompression est un tout : que cela soit avec des tables ou avec des ordinateurs, il ne faut pas mélanger différentes procédures.

## 6. Les tables M.N.90

### 6.1 Description

Revenons aux tables que nous devons savoir utiliser : les tables **M.N. 90**. Elles ont été mises au point pour la Marine Nationale française par la CEPISMER (Commission d'Etudes Pratiques d'Intervention Sous la Mer) ; parues dans la circulaire Marine Nationale N° 280 du 20 Août 1990, elles ont été modifiées en 1994 (durée pour plongées successives passée de 8 heures 30 à 12 heures), le 17 Décembre 1996 (vitesse de remontée et paliers à l'oxygène) et en 1998.

Elles sont prévues pour être utilisées dans certaines conditions :

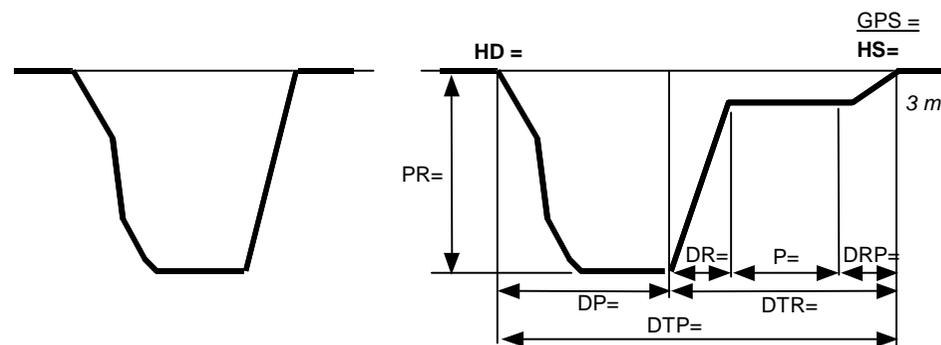
- Elles ne permettent d'effectuer que **2** plongées par 24 heures; la 3<sup>ème</sup> plongée doit rester exceptionnel (certains disent qu'elle est pénalement répréhensible).
- La profondeur maximum est de 60 m. Celles de 62 et 65 m ne sont données qu'en cas de **dépassement accidentel**.
- Pour les problèmes, il faut appliquer scrupuleusement les règles de la marine nationale.
- Dans la réalité, on peut aller au-delà, mais **toujours dans le sens de la sécurité** (si on estime avoir fait des efforts au fond, ... ). N'oublions pas que seul le palier à trois mètres peut être rallongé sans risque.
- Si un palier a été interrompu, il faut recommencer ce palier depuis le début (mais pas tous).
- Les paliers sont à faire à l'horizontal pour que le 2<sup>ème</sup> étage du détendeur et les poumons soient à la même profondeur.

A savoir également : les tables M.N. 90 sont en fait un gros livre de plus de 400 pages où l'on trouve tous les cas possibles (toutes les profondeurs, toutes les durées). Ce que l'on utilise est un résumé très condensé des données les plus significatives.

### 6.2. Utilisation dans les problèmes

**Toujours faire un schéma clair où apparaissent tous les paramètres :**

Saturation initiale, heure de départ, profondeur maximum, durée de la plongée, durée d'immersion, profondeur des paliers, durées des paliers, durée de la remontée, durée totale de la remontée, heure de sortie, groupe de successive,...



Profil de plongée sans palier

Profil de plongée avec un palier à 3 mètres

- PR : Profondeur maximum atteinte en mètres.
- DP : Durée de la Plongée en minutes.
- HD : Heure de départ (heure de l'immersion).
- DTR : Durée Totale de la Remontée (DTR) en minutes. Elle comprend la Durée de la Remontée (DR) du fond au premier palier plus la durée des paliers (P) plus la durée de passage d'un palier à l'autre (DRP) .
- DTP : Durée Totale de la Plongée comprenant la durée de la plongée (DP) plus la durée totale de la remontée (DTR) ; c'est aussi la durée d'immersion.
- Groupe de Plongée Successive (GPS, parfois noté X1 ou GS), à noter scrupuleusement avec l'Heure de Sortie (HS) en cas de plongée successive : il représente l'état de saturation en azote résiduel après la plongée en surface et est noté en général avec une lettre.

### 6.3. La durée totale de remontée

La vitesse de remontée doit être impérativement comprise entre 15 et 17 mètres par minute pour arriver au premier palier.

Entre les paliers, la vitesse doit être limitée à 6 mètres par minute ; c'est à dire qu'il faut **30 secondes** pour passer d'un palier à l'autre ou du palier de 3 mètres vers la surface.

Pour l'utilisation de cela dans les problèmes des examens de plongée, il est nécessaire d'utiliser la convention pour le calcul de la durée totale de remontée établie par la Commission Technique Nationale de la FFESSM:

- considérer que la vitesse de remontée est de 15 mètres par minute.
- calculer la distance  $d$  = nombre de mètres entre le fond et le premier palier rencontré (ou la surface s'il n'y a pas de palier)
- calculer la durée de remontée  $DR$  (min) =  $d$  (m) / 15 (m/min)

- ajouter la durée P (min) des éventuels paliers, ainsi que les durées de passage d'un palier à l'autre DRP (min) (30 secondes, soit 0,5 minute par palier)
- arrondir la somme obtenue à l'entier immédiatement supérieur pour avoir la durée totale de remontée (DTR).

#### 6.4. Les limites d'utilisation de la table M.N. 90

- Ces tables ont été mises au point pour des militaires, c'est à dire des adultes jeunes et en bonne condition physique : en moyenne un homme de 74 kg, 1m75 et 32 ans !.
- Elles n'autorisent **aucun travail** au fond si ce n'est un déplacement à la palme à la vitesse d'environ 0,5 noeud, soit environ 1 km/h.
- Les tables sont calculées pour une eau à **12 °C**. Pour une eau plus froide, il faut rajouter 20% à la durée de la plongée pour compenser la désaturation plus lente.
- Les plongées doivent être effectués au niveau de la mer ; toute plongée en altitude devra entraîner une adaptation des tables M.N. 90.
- Les tables M.N. 90 sont prévues pour des plongées loisirs à l'air ; toute utilisation de gaz particulier (Oxygène, Nitrox, ...) doit faire l'objet d'une adaptation des tables.

#### 7. COURBE DE SECURITE

- C'est la zone, fonction du temps et de la profondeur, où il n'est pas nécessaire de faire des paliers, la saturation n'étant pas assez importante. Elle comporte plusieurs points de repère à connaître par coeur :

<b>12 m. = 135 min.</b>	<b>30 m. = 10 min.</b>
<b>15 m. = 75 min.</b>	<b>35 m. = 10 min.</b>
<b>20 m. = 40 min.</b>	<b>40 m. = 5 min.</b>
<b>25 m. = 20 min.</b>	

- Dans la pratique, même si les tables ne donnent pas de palier obligatoire il est d'usage d'en faire un de principe de trois minutes à trois mètres, et il est fortement conseillé de le faire SYSTEMATIQUEMENT.

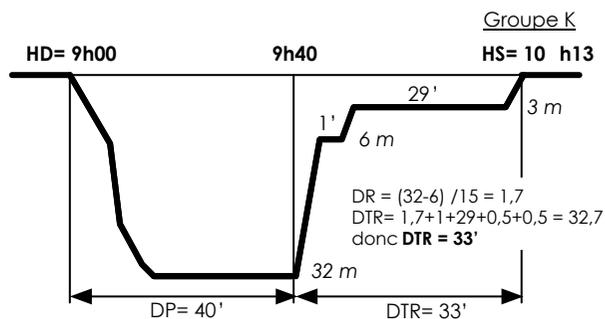
#### 8. PLONGEES SIMPLES

C'est la première (ou la seule) plongée de la journée, celle du matin par exemple.

- Prendre la profondeur maximum atteinte (PR). Si elle n'existe pas sur la table, prendre la profondeur plus grande la plus proche.
- Prendre la Durée de la Plongée (DP) en minute. Si elle n'existe pas sur la table, prendre la durée plus grande la plus proche.
- Les paliers, leur durée et leur profondeur doivent être scrupuleusement respectés.

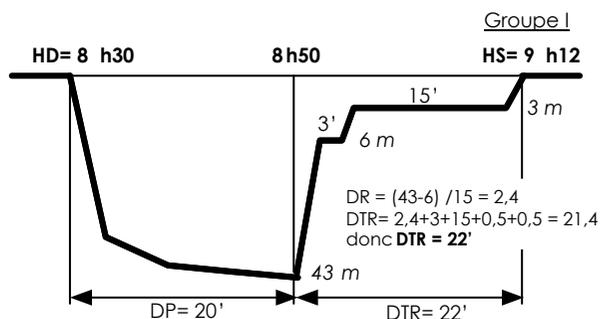
- Exercice n°1 : Un plongeur s'immerge à HD = 9h00 (HD = Heure de Départ). Il descend à PR=32 mètres et amorce sa remontée à 9h40. Paliers, Heures de sortie (HS), Groupe de plongée?

Réponse :



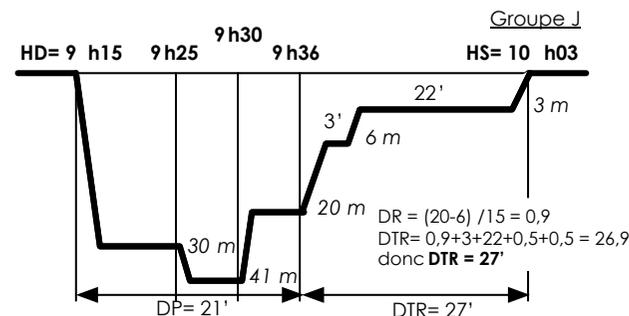
- Exercice n° 2 : Un plongeur s'immerge à HD = 8h30. Il descend à PR=43 mètres et amorce sa remontée à 8h50. Paliers, Heures de sortie, Groupe de plongée?

Réponse :



- Exercice n°3 : Un plongeur s'immerge à 9h15. Il descend à 30 mètres, à 9h25, il descend à 41 mètres, remonte à 20 m à 9h30 et amorce sa remontée en surface à 9h36. Paliers, Heures de sortie, Groupe de plongée?

Réponse :



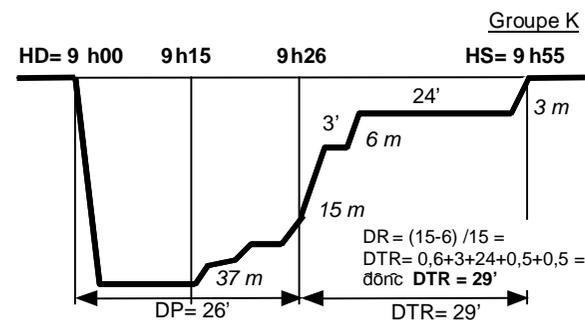
## 9. REMONTEES LENTES (Vitesse < 15 m/mn)

- On inclut alors la durée de cette remontée dans le temps de la plongée ; la durée de la plongée (DP) s'arrête alors lorsqu'on démarre la remontée à 15m/min ou lorsqu'on atteint le premier palier.

- Attention, ne pas oublier que l'on ne remonte pas alors de la profondeur maximum.

- Exercice n°4 : Un plongeur s'immerge à 9h00. Il descend à 37 mètres et amorce sa remontée à 9h15. Il remonte le long d'un tombant et arrive à 15 m à 9h26 avant de remonter vers la surface. Paliers, Heures de sortie, Groupe de plongée?

Réponse :



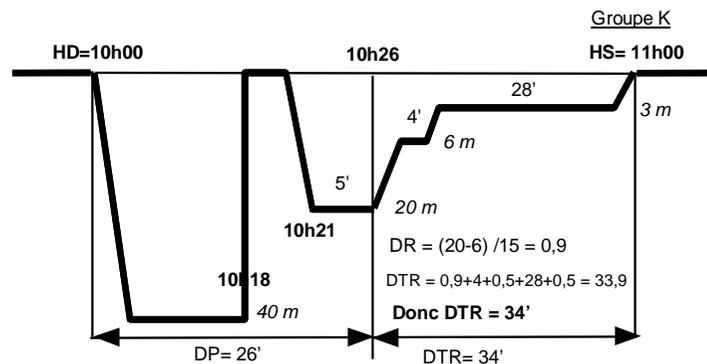
## 10. REMONTEES RAPIDES (V>17 m/mn)

- On dispose alors de **3 min** pour remonter, rester en surface et redescendre au premier palier dit de mi-profondeur. (Attention, certains disent 3 minutes en surface ou 3 minutes pour la surface et le début du premier palier)
- Il faut ensuite redescendre à la moitié de la profondeur maximale atteinte précédemment et y rester **5 min**.
- On calcule alors les paliers pour la profondeur maximum atteinte et un temps totalisant celui de la première immersion, le temps passé en surface et les 5 min au palier de mi-profondeur.
- Dans cette situation, effectuer impérativement un palier minimum d'au 2 minutes à 3 mètres.

C'est le même principe qu'il faut appliqué lors d'une interruption de palier : on a au maximum 3 min pour redescendre au palier interrompu et le refaire entièrement.

- Exercice n°5 : Un plongeur s'immerge à 10h00. Il descend à 40 mètres. A 10h18, il tombe en panne d'air et percute sa P.A. Il perce la surface, change de bloc et arrive au premier palier à 10h21. Paliers, Heures de sortie, Groupe de plongée?

Réponse :



## 11. DEUXIEME PLONGEE

### a. Définition

On appelle **intervalle** le temps entre l'heure de sortie de la première plongée et l'heure de départ de la seconde.

### b. Intervalle > 12 heures

On considère alors que l'organisme est désaturé. Faire comme s'il n'y avait pas eu de première plongée. Cf. plongée simple.

Attention, il faut tout de même savoir que le retour à la saturation initiale demande parfois beaucoup plus que 12 heures.

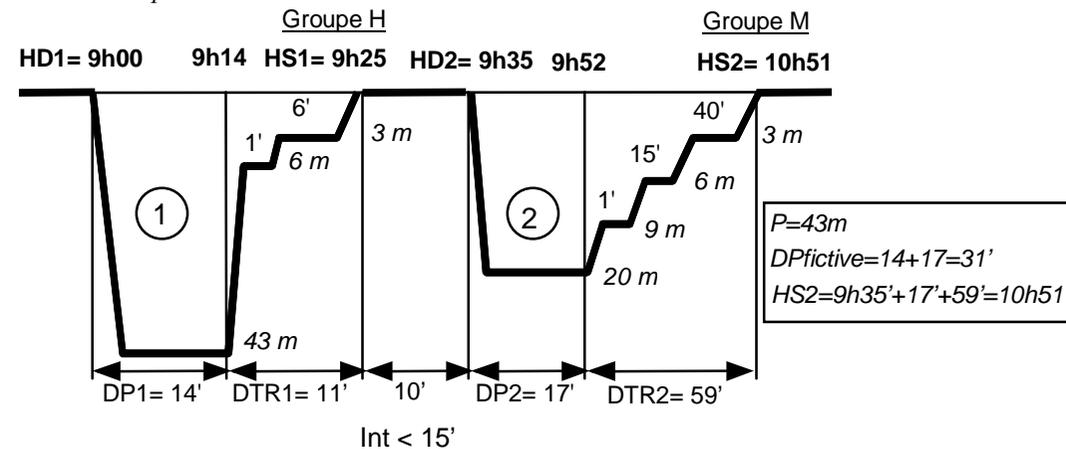
### c. Intervalle < 15 minutes : Plongée consécutive ou additionnelle

- On calcule les paliers de la deuxième plongée avec :

- \* PR → la plus grande profondeur atteinte sur l'ensemble des deux plongées.
- \* DP → la durée de la plongée (DP1) de la première plus la durée de la plongée (DP2) de la deuxième.

- Exercice n°6 : Un plongeur s'immerge à 9h00. Il descend à 43 mètres. Il amorce sa remontée à 9h14. Ayant laissé tomber quelque chose à l'eau, il se réimmerge à 9h35 et descend à 20 mètres pour amorcer sa remontée à 9h52. Paliers, Heures de sortie, Groupe de plongée?

Réponse :



#### d. 15 minutes ≤ Intervalle ≤ 12h00 : Plongée successive

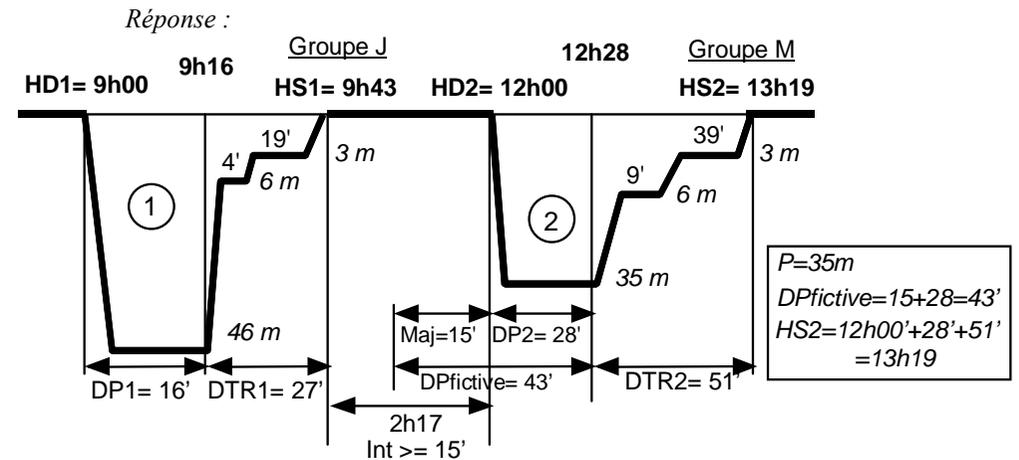
- On calcule les paliers de la deuxième plongée avec :
  - \* PR → Profondeur maximale de la deuxième plongée.
  - \* DP → la durée de la deuxième plongée plus un temps fictif appelé majoration.

- Définition : On appelle **majoration** un temps de plongée fictif à une certaine profondeur, correspondant à notre état de saturation au début de la plongée. Cette majoration est donc fonction de la première plongée (état 1 de saturation), de l'intervalle (état 2 de désaturation) et de la profondeur de la deuxième plongée. Il représente le taux d'azote résiduel de la première plongée. C'est le temps qu'il faudrait passer à la profondeur de la deuxième plongée pour avoir la même quantité d'azote dissous.

- Méthode : toujours dans le sens de la sécurité, c'est à dire :

- \* Dans la table de saturation résiduelle, on croise le Groupe de Plongée Successive (GPS) et l'intervalle de surface (on arrondit le temps à l'intervalle le plus petit ; on se considère moins désaturé).
- \* Dans la table de majoration, on croise le taux d'azote résiduel précédent (on arrondit au taux supérieur ; on se considère plus saturé) avec la profondeur prévue de la deuxième plongée (on arrondit à la profondeur maximum ; on se considère plus saturé)

- Exercice n°7 : Un plongeur s'immerge à 9h00. Il descend à 46 mètres. Il amorce sa remontée à 9h16. Il se réimmerge à 12h00 et descend à 35 mètres pour amorcer sa remontée à 12h28. Paliers, Heures de sortie, Groupe de plongée?



- Imprévu : Si on ne respecte pas pour **de bonnes raisons** la profondeur prévue à la deuxième plongée, on suit la procédure suivante dans tous les cas (ne pas tenter de recalculer la majoration en cours de plongée à cause des risques importants d'erreurs) :

- \* Si on l'a dépassé, on garde la majoration mais on calcule les paliers pour la profondeur réellement atteinte.
- \* Si on ne l'a pas atteinte, on garde la majoration mais on calcule les paliers pour la profondeur prévue initialement.

## 12. UTILISATION D'OXYGENE PENDANT LA DÉSATURATION

On utilise alors l'effet de dénitrification de l'oxygène : la tension d'azote tend plus rapidement vers 0 car la PP N<sub>2</sub> dans le gaz respiré est égale à 0. Chaque tissu éliminera ainsi beaucoup plus vite l'azote excédentaire.

### 12.1. Palier à l'oxygène pur

Résultat : réduction de la durée du palier aux 2/3 de la durée indiquée dans les tables SI la durée totale des paliers réduits est supérieure ou égale à 5 minutes ; si cette durée est inférieure à 5 minutes, il n'y aura pas de réduction car l'efficacité de la dénitrification n'est alors pas vérifiée.

Les paliers concernés sont ceux de 6 et 3 mètres (au-delà de 7 mètres, risque d'hyperoxie de Paul Bert).  
La respiration doit se faire en circuit ouvert pour permettre l'élimination de l'azote.

Les contraintes matérielles sont très importantes car il faut prévoir un matériel spécifique, et ceci pour l'ensemble de la palanquée : bouteille O<sub>2</sub> de grande capacité, détendeurs, tuyaux narguillés. Et tout ce matériel doit être prévu pour l'oxygène, c'est à dire totalement dégraissé.

### 12.2. Inhalation d'oxygène pur entre deux plongées

L'inhalation d'oxygène pur entre deux plongées permet de faire baisser l'azote résiduel, donc le groupe de plongée successive, donc la majoration (mais, il peut apparaître le risque d'hyperoxie chronique ou effet de Lorrain Smith).

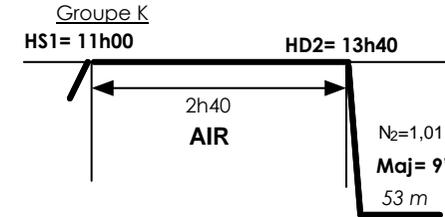
Il va falloir utiliser le tableau donnant l'azote résiduel après l'inhalation d'O<sub>2</sub> pur compris dans les tables M.N. 90. pour calculer les évolutions de la tension résiduelle d'azote.

La respiration d'oxygène pur modifie profondément les périodes des compartiments à cause d'une vasoconstriction ; il est donc nécessaire de tenir compte de compartiments ayant des périodes plus longues ; c'est le cas des tables M.N.90 où le compartiment de période 240 minutes est utilisé en plus pour le tableau d'inhalation d'oxygène pur.

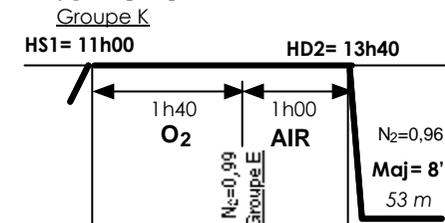
La conversion entre Tension résiduelle d'azote et Groupe de Plongée Successive peut se faire, par exemple, en utilisant la première ligne du "tableau donnant X2 après inhalation d'oxygène pur" pour une inhalation de 0 minute.

Prenons par exemple une plongée successive réalisée après un intervalle de 2 H 40 avec le Groupe de Plongée Successive K.

1<sup>er</sup> cas : Successive classique à l'air :

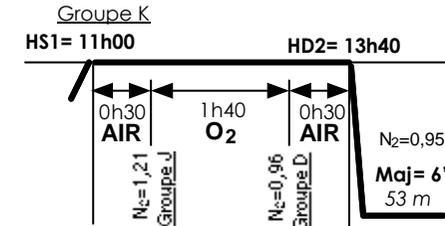


2<sup>ème</sup> cas : Inhalation d'oxygène pur pendant 1 H 40 au début de l'intervalle :

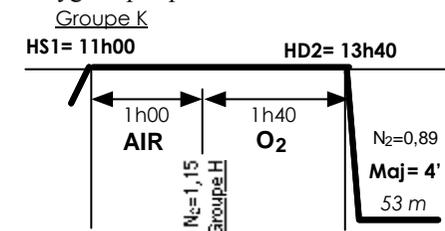


3<sup>ème</sup> cas : Inhalation d'oxygène pur pendant 1 H 40 au milieu de l'intervalle :

C'est le cas le plus plausible, car il faut du temps pour s'équiper et se déséquiper.



4<sup>ème</sup> cas : Inhalation d'oxygène pur pendant 1 H 40 à la fin de l'intervalle :



### 13. PLONGEES EN ALTITUDE

- La particularité de la plongée en altitude est le fait que la pression atmosphérique en altitude est plus faible qu'au niveau de la mer.
- Par exemple, supposons pour les exemples suivants que la pression atmosphérique locale soit de 0,8 bar au lieu de 1 bar environ au niveau de la mer.
- Cela a une très grande importance, car les tables de plongées ont été calculées pour une sortie de l'eau à la pression atmosphérique au niveau de la mer.

#### **13.1. Rappels et Pré-requis**

- $P = F/S$  en bar =  $\text{kg/cm}^2$  ( 1 atm = 1013 millibars = 1,013 bar = 760 mmHG)
- P absolue = P relative + P atmosphérique.
- P relative = profondeur / 10.
- Utilisation des tables de plongées au niveau de la mer (simple, consécutive, successive, remontée lente, remontée rapide, ...)
- Loi de Dalton (Pressions partielles) ; Notion de tension.
- Principe théorique et mécanique des profondimètres

#### **13.2. Calcul de la Profondeur Réelle**

- Votre profondimètre indique 10 mètres ? Et bien il n'a pas toujours raison ; un profondimètre a été construit, étalonné pour fonctionner avec une pression atmosphérique en surface de 1 bar.
- Or si vous êtes en altitude, la pression atmosphérique est inférieure. Il va donc falloir calculer la profondeur exacte où vous vous trouvez, c'est à dire la profondeur réelle qui va dépendre du principe mécanique utilisé par votre profondimètre.

##### **13.2.1. Profondimètre à membrane, à tube de Bourdon ou électronique.**

\* Ce type de profondimètre réagit à une pression absolue et indique la profondeur correspondante en mer.

- Par exemple, s'il indique 10 mètres, cela signifie, d'après notre hypothèse, que la pression absolue est de 2 bars.
- Or  $P.\text{absolue} = P.\text{atmos} + P.\text{relative}$ , d'où  $P.\text{relative} = P.\text{absolue} - P.\text{atmos} = 2 - 0,8 = 1,2$  bar ; d'où la profondeur réelle de 12 mètres.
- Il y a un retard de 2 mètres.

$$\text{Retard } R = 10 \times ( 1 - P.\text{atmos en bar } )$$

$$\text{Prof. Réelle } PR = \text{Prof. lue} + \text{Retard } R$$

Certains profondimètres permettent de régler le zéro en surface ; dans ce cas le calcul du retard devient inutile.

#### **13.2.2. Profondimètre à capillaire**

\* Lorsqu'un profondimètre à capillaire indique 10 mètres (P.absolue en mer = 2 bars), c'est que la pression a doublé. De même s'il indique 20 mètres, la pression a triplé et à 30 mètres la pression a quadruplé.

- Donc en plongeant en altitude, lorsque le profondimètre à capillaire indique 10 mètres, c'est que la pression absolue a doublé par rapport à la surface. D'où  $P.\text{absolue} = 2 \times 0,8 = 1,6$  bar.
- Or  $P.\text{abs} = P.\text{atmos} + P.\text{relative}$ , d'où  $P.\text{relative} = P.\text{abs} - P.\text{atmos} = 1,6 - 0,8 = 0,8$  bar ; d'où la profondeur réelle de 8 mètres.

$$\text{Prof. Réelle } PR = \text{Prof. lue} \times P.\text{atmos en bar}$$

#### **13.3. Calcul de la Profondeur Fictive**

- Il va falloir calculer la profondeur fictive en mer à laquelle les phénomènes de saturation et de désaturation seraient les mêmes qu'à la profondeur réelle du lac.
- Cela va nous permettre de rechercher les paliers à effectuer dans les tables de plongées traditionnelles mer.

Prenons le rapport de sursaturation S :

$$S = \frac{\text{Tension } N_2}{P.\text{absolue en bars}}$$

Il faut en permanence que ce rapport de sursaturation S soit inférieur ou égale au taux de sursaturation critique  $S_C$  (  $S \leq S_C$  )

La Tension N<sub>2</sub> étant proportionnelle à la profondeur atteinte, il faut trouver le rapport P.absolue / P.atmos en mer identique que celui obtenu en altitude.

LAC (P.atmos = 0,8 b.)		MER (P.atmos = 1 b.)	
Profondeur	P.abs/P.atmos	P.abs / P.atmos	Profondeur
10 m.	1,8 / 0,8 = 2,25	2,25 = 2,25 / 1	12,5 m.
20 m.	2,8 / 0,8 = 3,50	3,50 = 3,50 / 1	25 m.
30 m.	3,8 / 0,8 = 4,75	4,75 = 4,75 / 1	37,5 m.

On constate donc que la profondeur fictive PF est égale à :

$$\text{Prof. Réelle} \times \frac{\text{P.atmos en mer}}{\text{P.atmos locale}}$$

Or comme la pression atmosphérique en mer est sensiblement égale à 1 bar, on simplifie :

$$\text{Prof. Fictive PF} = \frac{\text{Prof. Réelle}}{\text{P.atmos locale en bars}}$$

Remarque : Avec un profondimètre à capillaire, on trouve Prof. Fictive PF = Prof. lue.

### 13.4. Calcul de la profondeur réelle des paliers

En consultant les tables de plongées, on trouve la **profondeur fictive** des paliers ; il va donc falloir calculer la profondeur réelle des paliers.

$$\text{Prof. Réelle Palier} = \text{Prof. Table} \times \text{P.atmos en bar}$$

Dans notre exemple, avec une pression atmosphérique de 0,8 bar, on trouve la correspondance suivante :

Profondeur Paliers Mer	Profondeur Réelle Paliers avec P.atmos = 0,8 bar
3 m.	2,4 m.
6 m.	4,8 m.
9 m.	7,2 m.
...	...

## 13.5. Calcul de la profondeur des paliers lue au profondimètre

### 13.5.1. Profondimètre à membrane ou à tube de Bourdon

Avec un profondimètre à membrane ou à tube de Bourdon, on a :

$$\text{Prof. à lire} = \text{Prof. Réelle} - \text{Retard}$$

D'où dans notre exemple, on doit effectuer le "palier de 3 m." à 0,4 m. au profondimètre, celui de "6 m." à 2,8 m. et celui de "9 m." à 5,2 m.

Dans la pratique, il faudra de préférence faire ces calculs avant la plongée et préparer une corde avec des repères permettant de connaître facilement la profondeur réelle pour effectuer les paliers.

### 13.5.2. Profondimètre à capillaire

Avec un profondimètre à capillaires, on a :

$$\text{Prof. à lire} = \text{Prof. Table}$$

## 13.6. Impact sur la Vitesse de Remontée

La vitesse de remontée de 17 mètres par minutes a été calculée pour permettre au tissu le plus court (1,5 minute) de se désaturer sans dégazage incontrôlé ; la remontée agit donc comme une succession continue de paliers, il faut lui appliquer les mêmes règles qu'aux paliers :

$$\text{Vitesse Réelle} = \text{Vitesse table} \times \text{P.atmos en bar}$$

C'est à dire :

$$\text{Vitesse Réelle} = 17 \times \text{P.atmos en bar}$$

Dans les problèmes, on calculera la durée de remontée totale en travaillant avec les profondeurs FICTIVES.

### 13.7. En cas de modification d'altitude entre 2 plongées

#### 13.7.1. Calcul du nouveau groupe de plongée successive

- Lorsqu'un plongeur change d'altitude entre deux plongées successives (dans un intervalle de moins de 8 H 30), la pression atmosphérique change.  
- Le taux d'azote dans le sang restant identique, le rapport entre la pression atmosphérique ambiante et la pression partielle d'azote dans le sang va changer. Il va donc falloir calculer le nouveau groupe de plongée successive.

- Lorsque vous passez de l'altitude 1 à l'altitude 2, le nouveau coefficient d'azote X1 est :

$$X1(2) = X1(1) \times \frac{P.atmos (1)}{P.atmos (2)}$$

où les pressions atmosphériques sont aux mêmes unités, et les coefficients indiqués en bars (vous pouvez trouver la correspondance entre les groupes et les pressions partielles d'azote dans la première ligne du tableau d'inhalation d'oxygène pour 0 minute d'inhalation et également ci-dessous).

GPS	A	B	C	D	E	F	G	H
X1 (bar)	0,84	0,89	0,93	0,98	1,02	1,07	1,11	1,16

GPS	I	J	K	L	M	N	O	P
X1 (bar)	1,20	1,24	1,29	1,33	1,38	1,42	1,47	1,51

- De plus il faudra effectuer cette conversion à l'altitude la plus faible où la pression partielle d'azote est la plus faible et la désaturation la plus lente (voir exemple 4.2.).

#### 13.7.2. Suivi du rapport de sursaturation pendant les variations d'altitude.

Il va également falloir surveiller, lors des variations d'altitude que le coefficient de sursaturation (rapport X1 / P.atmos ) ne dépasse jamais sa valeur critique correspondant au seuil de sursaturation critique pour chaque tissu. Or c'est le tissu 120' qui a le coefficient de sursaturation critique le plus faible avec 1,54.

Donc, il faut dans tous les cas que :

$$\frac{X1 (1)}{P.atmos (2)} \leq 1,54$$

Car un rapport de sursaturation dans un tissu donné qui permettrait juste la sortie au niveau de la mer pourrait déclencher un accident de décompression à une pression ambiante plus faible.

#### 13.7.3. Plongée simple après une montée en altitude

- Il faudra également tenir compte de la différence de saturation si un plongeur s'immerge moins de 8 H 30 après son arrivée en altitude. Ne pouvant calculer la quantité d'azote éliminée au cours de la montée en altitude, on considérera être arrivé avec 0,8 bar.

- Par exemple : un plongeur arrive au bord d'un lac où il règne une pression atmosphérique de 0,9 bar, calculons son groupe de plongée successive :

$$X1(2) = X1(1) \times P.atmos(1) / P.atmos (2) = 0,8 \times 1 / 0,8 = 1 \text{ bar}$$

Donc le groupe est E ; il faudra calculer la majoration.

### 13.8. Utilisation dans les problèmes de tables de plongées

- Les principes d'utilisation des tables de plongées et les principes de calculs restent les mêmes mais la profondeur à prendre en compte pour entrer dans les tables est la Profondeur Fictive.

- En cas de remontée rapide, il faut effectuer le palier de mi-profondeur à la moitié de la Profondeur Réelle.

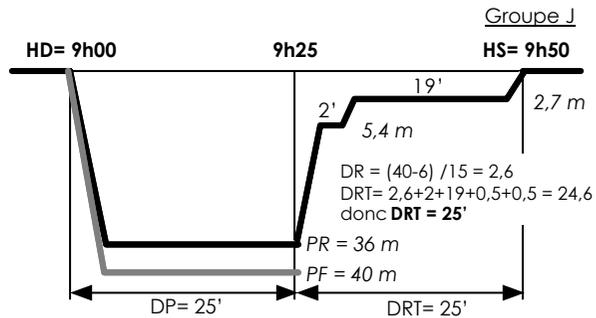
## 13.9. Exemples

### 13.9.1. Calculs de paliers lors d'une plongée en altitude simple.

Exercice : La pression atmosphérique ambiante est de 684 mmHG. Un plongeur s'immerge à 9 H 00 à une profondeur lue sur un profondimètre à tube de Bourdon de 35 mètres et amorce sa remontée à 9 H 25.

Questions : *Quels sont les paliers à effectuer (lus au profondimètre) ? L'heure de sortie ? Le groupe de plongée successive ? La vitesse théorique de remontée ?*

Réponses :



- P.atmos = 684 / 760 = 0,9 bar
- Retard R = 10 - (1 - 0,9) = 1 mètre
- Profondeur Réelle PR = Prof. lue + R = 35 + 1 = 36 m.
- Profondeur Fictive PF = PR / P.atmos = 36 / 0,9 = 40 m.
- \* Palier 1 : 2 minutes à 6 m. fictifs, 5,4 m. réels, 4,4 m. lus au profondimètre.
- \* Palier 2 : 19 minutes à 3 m. fictifs, 2,7 m. réels, 1,7 m. lus au profondimètre.
- \* Vitesse de remontée = 17 x 0,9 = 15,3 mètres par minutes.
- \* Heure de sortie = 9 H 25 + 2,6' + 2' + 19' + 0,5' + 0,5' = 9 H 50
- \* Groupe de Plongée Successive = J

### 13.9.2. Calculs d'altitude limite et de majoration

Exercice : Un plongeur sort d'une plongée en mer à 10 H 00 avec un groupe de plongée successive H. A 12 H 00, il arrive au bord d'un lac d'altitude où la pression atmosphérique est de 0,8 bar. A 14 H 00, il effectue une plongée en lac à une profondeur réelle de 32 mètres.

Question : *Quelle est la pression atmosphérique minimale à conserver pendant le trajet pour éviter de provoquer un accident de décompression (en tenir compte par exemple en cas de passage par un col d'altitude) ?*

Réponse :

- Le groupe H correspond à un taux d'azote résiduel à l'arrivée en surface de 1,16 bar (voir dans la première ligne du tableau d'inhalation d'oxygène avec 0' d'oxygène).
- Le seuil de sursaturation critique minimum est celui du tissu de 120', soit 1,54.
- Donc, il faut que  $(1,16 / P.atmos) \leq 1,54$ , c'est à dire que **P.atmos ≥ 0,753 bar**.

Question : *Quelle est la majoration à appliquer pour la plongée de l'après-midi ?*

Réponse :

- A 10 H 00, à la sortie de l'eau au niveau de la mer, le groupe est H (taux d'azote X1 = 1,16 bar).
- A 12 H 00, après 2 heures au niveau de la mer (ce qui correspond au trajet), le taux d'azote devient X2 = 0,98.
- A 12 H 00, après conversion en tenant compte de l'altitude : X2bis = 0,98 / 0,8 = 1,225 bar, ce qui correspond au groupe J.
- A 14 H 00, avant de plonger, le groupe J donne un taux de 1,02 bar
- \* Profondeur Fictive PF = 32 / 0,8 = 40 mètres.
- \* Majoration = 13 minutes.

## **14. EXERCICES A FAIRE**

### **Exercice 1 : Simple**

- \* Plongée de 48 minutes à 21 mètres ?  
On demande : *Doit-on faire un palier avant de faire surface ?*  
On demande : *Quels sont les paramètres pour entrer dans la table ?*  
On demande : *Quelle est la durée totale de la remontée ?*

### **Exercice 2 : Simple**

- \* Plongée de 36 minutes à 34 mètres ?  
On demande : *Quelle est la durée totale de la plongée ?*  
On demande : *Quel est le groupe de plongée successive ?*

### **Exercice 3 : Simple**

- \* Un plongeur s'immerge à 10h20, il descend à 29 mètres et débute sa remontée à 10h53 ?  
On demande : *Quel sera son heure de sortie (HS) et son GPS ?*

### **Exercice 4 : Successive**

- \* Heure de départ 9H30 - Profondeur 36 m. - Durée 11' - Il remonte trop rapidement et met 3 minutes pour rejoindre le 1er palier.  
On demande : *Heure de sortie, paliers, groupe de plongée successive ?*
- \* Il replonge à 14H28 à la même profondeur pendant une durée de 14'.  
On demande : *Heure de sortie, paliers, groupe de plongée successive ?*

### **Exercice 5 : Successive + Additionnelle**

- \* Heure de départ 10H00 - Profondeur 29 m. - Il quitte le fond à 10H26.  
On demande : *Heure de sortie, paliers, groupe de plongée successive ?*
- \* Il replonge à 15H52 à une profondeur de 32 m pendant une durée de 8 minutes.  
On demande : *Heure de sortie, paliers, groupe de plongée successive ?*
- \* Il replonge à 16H11, son ancre étant accrochée, à une profondeur de 18 m. pendant une durée de 5 minutes.  
On demande : *Heure de sortie, paliers ?*

### **Exercice 6 : Additionnelle avec remontée rapide**

- \* Heure de départ 10H41 - Profondeur 27 m. - Il fait surface à 11H11.  
On demande : *Durée de la plongée, paliers, groupe de plongée successive ?*
- \* Son masque tombe à l'eau, il replonge à 11H22 à la profondeur de 20 m. pendant une durée de 4'. A la suite d'une panne d'air, il remonte rapidement, reprend une nouvelle bouteille et met en tout 3 minutes pour rejoindre son premier palier.  
On demande : *Heure de sortie, paliers ?*

### **Exercice 7 : Additionnelle**

- \* Heure de départ 8H45 - Profondeur 32 m. - Heure de sortie de l'eau 9H15.  
On demande : *Durée de la plongée, paliers, groupe de plongée successive ?*
- \* Il replonge à 9H24 à la profondeur de 26 m. en sachant qu'il veut faire moins de 15' de paliers.  
On demande : *Durée de la plongée ?*

### **Exercice 8 : Successive**

- \* Profondeur 44 m. - Quelle sera sa durée de plongée s'il effectue un palier de 3' à 3m. et son heure de départ sachant qu'il sort de l'eau à 9H37.  
On demande : *Durée de la plongée ?*
- \* Il replonge à 13H07 à la profondeur de 33 m. - Quelle sera sa majoration et sa durée de plongée s'il veut se limiter à 11' de paliers.  
On demande : *Majoration, Durée de la plongée, heure de sortie, groupe de plongée successive ?*

### **Exercice 9 : Additionnelle avec remontée rapide**

- \* Un plongeur s'immerge à 10h00. Il descend à 54 mètres. Il amorce sa remontée à 10h15.  
On demande : *Heure de sortie, paliers, groupe de plongée successive ?*
- \* Il se réimmerge à 10h40 et descend à 18 mètres, sur une panne d'air, il quitte le fond à 10h45 et remonte instantanément.  
On demande : *Heure de sortie, paliers ?*

### **Exercice 10 : Successive**

- \* Un plongeur s'immerge à 12h00. Il descend à 39 mètres. Il amorce sa remontée à 12h20 et arrive à 6 m. à 12h25 Il se réimmerge à 15h00 et descend à 15 mètres. Quels doivent être les paramètres de plongée pour que la deuxième soit, si possible, sans palier ?  
On demande : *Heures de sortie, paliers, groupes de plongée successive ?*

### Exercice 11 : Plongée simple en altitude

\* Dans un lac de montagne, où la pression atmosphérique est de 608 mmHG (au niveau de la mer, la pression atmosphérique est de 760 mmHG), vous vous immergez à 9 H 00 et votre profondimètre à membrane indique 32 mètres. La durée de votre plongée est de 20 minutes.

On demande : *Heure de sortie, palier(s) lu(s) au profondimètre, groupe de plongée successive ?*

### Exercice 12 : Arrivée en altitude, plongée simple et plongée successive.

\* Un plongeur s'immerge à 10 H 00 dans un lac de montagne où la pression atmosphérique est de 750 millibars.

Venant du niveau de la mer, ce plongeur est arrivé 2 heures avant au bord du lac. Son profondimètre à membrane indique 32 mètres. Durée de la plongée 15 minutes

On demande : *Heure de sortie, palier(s) lu(s) au profondimètre, groupe de plongée successive ?*

\* Il replonge à 14 H 15 à 41 mètres, profondeur lue à son profondimètre, durée de la plongée 10 minutes.

On demande : *Heure de sortie, palier(s) lu(s) au profondimètre, groupe de plongée successive ?*

## 15. SOLUTIONS DES EXERCICES

ATTENTION : il faut faire les exercices avec les tables de plongées données dans les pages suivantes pour pouvoir retomber sur les mêmes valeurs que les solutions données ici.

### Exercice 1

- \* 1. Sommes-nous dans la courbe de sécurité ? Non. Donc au moins un palier nécessaire.
- 2. Prendre la M.N.90 : 21 m deviennent 22 m ; 48 minutes deviennent 50 minutes.
- 3. Paliers = 12 minutes à 3 mètres ; DR =  $(21-3) / 15 = 1,2$  min ; DRP = 0,5 min ; DTR =  $12 + 1,2 + 0,5 = 13,7$  minutes, soit 14 minutes.

### Exercice 2

- \* 1. Paramètres: 35 m et 40 min - Paliers 5 min à 6 mètre et 34 min à 3 mètres - DR =  $28/15 = 1,86$  min - Paliers =  $5 + 0,5 + 34 + 0,5 = 40$  min - Durée Totale Plongée =  $36 + 1,86 + 40 = 77,86 = 78$  min.
- 2. GPS = L.

### Exercice 3

- \* Paramètres: 30 m et 35 min - Paliers 17 min à 3 mètres - GPS = J - DR =  $26/15 = 1,73$  min - DP = 33 min - P = 17 min - DRP = 0,5 min - DTP =  $33 + 1,73 + 17 + 0,5 = 52,23 = 53$  min - HS = 10 h 20 + 53 min = 11 h 13.

### Exercice 4

- \* 1. Paliers : 8 minutes à 3 mètres - Heure de sortie : 9 H 59 - GPS : H.
- 2. Majo : 5 minutes - Paliers : 8 minutes à 3 mètres - Heure de sortie : 14 H 53 - GPS : H.

### Exercice 5

- \* 1. Paliers : 9 minutes à 3 mètres - Heure de sortie : 10 H 38 - GPS : I.
- 2. Majo : 8 minutes - Paliers : 3 minutes à 3 mètres - Heure sortie : 16 H 06 - GPS : G.
- 3. Paliers : 6 minutes à 3 mètres - Heure de sortie : 16 H 24.

### Exercice 6

- \* 1. Durée plongée : 25 minutes - Paliers : 2 minutes à 3 mètres - GPS : G.
- 2. Paliers : 19 minutes à 3 mètres - Heure de sortie : 11 H 55

### Exercice 7

- \* 1. Durée plongée : 21 minutes - Paliers : 6 minutes à 3 mètres - GPS : H.
- 2. Durée plongée : 9 minutes - Paliers : 14 min. à 3 mètres - Heure sortie : 9 H 50

### Exercice 8

- \* 1. Heure départ : 9 H 20 - Durée plongée : 10 minutes - GPS : F.
- 2. Majo : 8 minutes - Durée plongée : 17 minutes - Heure de sortie : 13 H 38 - GPS : I.

### Exercice 9

- \* 1. Paliers : 4 min à 6 mètres et 13 min à 3 mètres - Heure de sortie : 10 H 37 - GPS : I.
- 2. Paliers : 6 min à 9 mètres et 18 min à 6 mètres et 44 min à 3 mètres - Heure de sortie : 12 H 04.

### Exercice 10

- \* 1. Paliers : 2 min à 6 mètres et 19 min à 3 mètres - Heure de sortie : 12 H 47 - GPS : J.
- 2. Durée Plongée : 38 minutes - Majo : 37 minutes - Heure de sortie : 15 H 39

### Exercice 11 (xxx DRT A CORRIGER - Niles NORMES)

Pression atmosphérique =  $608 / 760 = 0,8$  bar

Retard du profondimètre =  $0,2$  bar = 2 mètres.

Profondeur Réelle =  $32 + 2 = 34$  m.

Profondeur Fictive =  $34 / 0,8 = 42,5$  m. Nous prenons 45 m. dans la table.

Palier 1 : 3 minutes à 6 m. fictifs, 4,8 m. réels, 2,8 m. lus au profondimètre.

Palier 2 : 15 minutes à 3 m. fictifs, 2,4 m. réels, 0,4 m. lus au profondimètre (bout gradué nécessaire pour les paliers).

Vitesse de remontée =  $17 \times 0,8 = 13,6$  mètres par minutes.

Heure de sortie = 9 H 00 + 20' + 21' = 9 H 41

Groupe de Plongée Successive = I

### Exercice 12 (xxx DRT A CORRIGER - Niles NORMES)

Rapport de sursaturation à l'arrivée en altitude =  $0,8 / 0,75 = 1,07$  Groupe = F

Intervalle = 2 H 00. D'où Tension d'azote résiduelle = 0,94

Retard profondimètre =  $1 - 0,75 = 0,25$  bar = 2,5 m.

Profondeur Réelle =  $32 + 2,5 = 34,5$  m.

Profondeur Fictive PF =  $34,5 / 0,75 = 46$  mètres. Nous prenons 48 m. dans la table.

Majoration = 7 minutes. Donc Durée Fictive =  $15 + 7 = 22'$

Palier 1 : 7 minutes à 6 m. fictifs, 4,5 m. réels, 2 m. lus au profondimètre.

Palier 2 : 30 minutes à 3 m. fictifs, 2,25 m. réels, - 0,25 m. lus au profondimètre (bout gradué obligatoire pour les paliers).

Vitesse de remontée =  $17 \times 0,75 = 12,75$  mètres par minutes.

Heure de sortie = 10 H 00 + 15' + 40' = 10 H 55

Groupe de Plongée Successive = K

Intervalle = 3 H 20

Tension résiduelle = 0,97

Profondeur Réelle =  $41 + 2,5 = 43,5$  m.

Profondeur Fictive PF =  $43,5 / 0,75 = 58$  mètres.

Majoration = 7 minutes. Donc Durée Fictive =  $10 + 7 = 17'$

Palier 1 : 2 minutes à 9 m. fictifs, 6,75 m. réels, 4,25 m. lus au profondimètre.

Palier 2 : 7 minutes à 6 m. fictifs, 4,5 m. réels, 2 m. lus au profondimètre.

Palier 3 : 30 minutes à 3 m. fictifs, 2,25 m. réels, - 0,25 m. lus au profondimètre (bout gradué obligatoire pour les paliers).

Vitesse de remontée =  $17 \times 0,75 = 12,75$  mètres par minutes.

Heure de sortie = 14 H 15 + 10' + 42' = 15 H 07

## 16. TABLES DE PLONGEES M.N. 90

P	T	S		X <sub>1</sub>
		3m	X <sub>1</sub>	
6	15			A
	30			B
	45			C
	75			D
	105			E
	135			F
	180			G
	240			H
	315			I
	360			J
8	15			B
	30			C
	45			D
	60			E
	90			F
	105			G
	135			H
	165			I
	195			J
	255			K
10	15			B
	30			C
	45			D
	60			F
	75			G
	105			H
	120			I
	135			J
	165			K
	180			L
12	5			A
	15			B
	25			C
	35			D
	45			E
	55			F
	65			G
	80			H
	90			I
	105			J
15	5			A
	10			B
	15			C
	20			C
	25			D
	30			E
	35			E
	40			F
	45			G
	50			G
18	5			A
	10			B
	15			C
	20			C
	25			D
	30			E
	35			E
	40			F
	45			G
	50			G
20	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
22	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
25	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
28	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
30	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
32	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
35	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
38	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
40	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
42	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
45	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
52	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
55	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
60	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
65	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
70	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
75	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
80	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
85	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
90	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
95	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
100	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
105	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
110	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
115	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
120	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
125	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
130	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
135	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
140	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
145	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
150	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
155	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
160	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
165	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
170	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
175	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
180	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
185	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
190	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H
	45			I
	50			I
195	5			B
	10			B
	15			D
	20			D
	25			E
	30			F
	35			G
	40			H</

**TABLEAU DONNANT X2 APRÈS INTERVALLE A LA SURFACE**

	X1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
INTERVALLE A LA SURFACE	15 min.	0,84	0,88	0,92	0,97	1,00	1,05	1,08	1,13	1,17	1,20	1,25	1,29	1,33	1,37	1,41	1,45
	30 min.	0,83	0,88	0,91	0,95	0,98	1,03	1,06	1,10	1,14	1,17	1,21	1,25	1,29	1,32	1,36	1,40
	45 min.	0,83	0,87	0,90	0,94	0,97	1,01	1,04	1,08	1,11	1,14	1,18	1,21	1,25	1,28	1,32	1,35
	1 h	0,83	0,86	0,89	0,93	0,96	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,15	1,17	1,21	1,24	1,27	1,30
	1 h 30	0,82	0,85	0,88	0,91	0,93	0,96	0,98	1,01	1,04	1,06	1,09	1,12	1,14	1,17	1,20	1,22
	2 h	0,82	0,85	0,87	0,89	0,91	0,94	0,96	0,98	1,00	1,02	1,04	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15
	2 h 30	0,82	0,84	0,85	0,88	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	1,01	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10
	3h	0,81	0,83	0,85	0,86	0,88	0,90	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,99	1,01	1,02	1,04	1,05
	4 h	0,81	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,97	0,98
	6 h	0,81	0,81	0,82	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89
	8 h	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84
	9h	0,80	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83
	10 h	0,80	0,80	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
	11 h	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,82
12 h	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	

**TABLEAU DONNANT LA MAJORATION EN MINUTES**

p	X2	0,82	0,84	0,86	0,89	0,92	0,95	0,99	1,03	1,07	1,11	1,16	1,20	1,24	1,29	1,33	1,38	1,42	1,45
12	4	7	11	17	23	29	38	47	57	68	81	93	106	124	139	160	180	196	
15	3	6	9	13	18	23	30	37	44	52	62	70	79	91	101	114	126	135	
18	2	5	7	11	15	19	24	30	36	42	50	56	63	72	79	89	97	104	
20	2	4	7	10	13	17	22	27	32	37	44	50	56	63	70	78	85	90	
22	2	4	6	9	12	15	20	24	29	34	40	45	50	56	62	69	75	80	
25	2	3	5	8	11	13	17	21	25	29	34	39	43	49	53	59	64	68	
28	2	3	5	7	10	12	15	19	22	26	30	34	38	43	47	52	56	59	
30	1	3	4	7	9	11	14	17	21	24	28	32	35	40	43	48	52	55	
32	1	3	4	6	8	10	13	16	19	22	26	29	33	37	40	44	48	51	
35	1	2	4	6	8	10	12	15	18	20	24	27	30	33	36	40	43	46	
38	1	2	3	5	7	9	11	14	16	19	22	24	27	30	33	37	39	42	
40	1	2	3	5	7	8	11	13	15	18	21	23	26	29	31	35	37	39	
42	1	2	3	5	6	8	10	12	15	17	20	22	24	27	30	33	35	37	
45	1	2	3	4	6	7	9	11	13	16	18	20	23	25	28	30	33	34	
48	1	2	3	4	5	7	9	11	13	15	17	19	21	24	26	28	30	32	
50	1	2	3	4	5	7	8	10	12	14	16	18	20	23	25	27	29	31	
52	1	2	3	4	5	6	8	10	12	13	16	18	19	22	24	26	28	29	
55	1	2	2	4	5	6	8	9	11	13	15	17	18	20	22	24	26	28	
58	1	1	2	3	5	6	7	9	10	12	14	16	17	19	21	23	25	26	
60	1	1	2	3	4	5	7	9	10	12	13	15	17	19	20	22	24	25	

**TABLEAU DONNANT X2 APRÈS INHALATION D'OXYGÈNE PUR**

	X1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
INHALATIONS D'O <sub>2</sub> PUR	0 min	0,84	0,89	0,93	0,98	1,02	1,07	1,11	1,16	1,20	1,24	1,29	1,33	1,38	1,42	1,47	1,51
	15 min		0,85	0,89	0,94	0,98	1,02	1,06	1,11	1,15	1,19	1,24	1,27	1,32	1,36	1,41	1,45
	30 min		0,82	0,85	0,90	0,94	0,98	1,02	1,06	1,10	1,14	1,18	1,22	1,27	1,30	1,35	1,38
	45 min			0,82	0,86	0,90	0,94	0,97	1,02	1,05	1,09	1,13	1,17	1,21	1,25	1,29	1,33
	1 h				0,82	0,86	0,90	0,93	0,98	1,01	1,04	1,08	1,12	1,16	1,19	1,24	1,27
	1 h 30					0,83	0,86	0,89	0,93	0,96	0,99	1,03	1,06	1,09	1,13	1,16	
	2 h						0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,98	1,00	1,04	1,07		
	2 h 30									0,84	0,86	0,89	0,92	0,95	0,98		
	3 h											0,82	0,84	0,87	0,90		
	3 h 30														0,82		

**Tableau des durées de remontées jusqu'au premier palier (DR) plus la durée de remontée interpaliers (DRP), en minutes.**

	Profondeur du premier palier										
	Profondeur de remontée										
	6 m	8 m	10 m	12 m	15 m	18 m	20 m	22 m	25 m	28 m	30 m
sans	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3 m	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3
6 m	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
9 m			2	2	2	3	3	3	3	3	3
12 m				2	3	3	3	3	3	4	4
15 m					3	3	3	3	4	4	4

	Profondeur du premier palier														
	Profondeur de remontée														
	32 m	35 m	38 m	40 m	42 m	45 m	48 m	50 m	52 m	55 m	58 m	60 m	62 m	65 m	
sans	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	
3 m	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	
6 m	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	
9 m	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	6	6	
12 m	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	
15 m	4	4	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	

## **CHAPITRE 20 : LA PLONGEE AUX MELANGES**

### **1. JUSTIFICATION**

Les mélanges de gaz en plongée ne sont pas nouveaux. Les professionnels les utilisent couramment depuis très longtemps. Il y a quelques années, des passionnés de spéléologie, d'archéologie, de photographie se sont mis aux mélanges.

Depuis peu, principalement aux Etats-Unis, le nitrox est employé par des "amateurs éclairés" et le phénomène se développe très vite.

### **2. PRINCIPAL INTERET**

Si la concentration en azote du mélange est diminuée par adjonction d'un autre gaz, en général sans action neurologique (hélium ou hydrogène), on peut descendre sans risques de narcose à des profondeurs plus grandes. Ces gaz sont moins narcotiques que l'azote : le "record" de plongée en scaphandre autonome est établi par Jim Bowden à - 287 mètres de profondeur.

De plus, l'hydrogène et surtout l'hélium diffusent très vite au travers des tissus, donc les sature et désature plus rapidement ; donc lors de plongées avec ces gaz, les temps de décompression seront plus courts que pour des plongées à l'air.

Néanmoins, certains inconvénients persistent :

- modification de la phonation.
- gaz très froid, donc protection thermique plus importante pour éviter le refroidissement du corps.

### **3. LES DIFFERENTS MELANGES**

L'hélium est totalement neutre chimiquement ; l'hydrogène est dangereux, car il s'enflamme spontanément si le taux d'hydrogène est supérieur à 4 %.

L'hélium devient toxique vers 300 mètres de profondeur ; le syndrome nerveux des hautes pressions apparaît alors (tremblements).

Les mélanges utilisés sont :

- \* Plongée sportive (FFESSM) : Air
- \* Plongée professionnel (Ministère du travail)
  - mélanges binaires :
    - \* O<sub>2</sub>N<sub>2</sub> (Nitrox)
    - \* O<sub>2</sub>He (Héliox)
    - \* O<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (Hydrox)
  - mélanges ternaires :
    - \* O<sub>2</sub>N<sub>2</sub>He (Trimix) utilisé par les corailleurs, permet des incursions au-delà des 60 mètres.

\* O<sub>2</sub>H<sub>2</sub>He (Hydréliox) utilisé par la majorité des professionnels

\* Plongée militaire :

- nageurs de combat : O<sub>2</sub> en circuit fermé
- plongeurs de bord : Air
- plongeurs démineurs : Air ou Nitrox

### **4. NITROX**

#### **4.1. Définition**

Nitrox est la contraction de Nitrogen (Azote en anglais) et Oxygen ; c'est un mélange binaire de ces deux composants (l'air est en fait une sorte de mélange Nitrox).

Pour réduire les risques de décompression ou les paliers, le nitrox contient en général moins d'azote et plus d'oxygène que l'air, avec des pourcentages variables : 32/68, 36/64, 40/60 (le pourcentage d'oxygène est toujours indiqué en premier) ; aux Etats-Unis, le terme EAN 32 signifie "Enriched Air Nitrox" avec 32% d'oxygène.

#### **4.2. Avantages**

La plongée Nitrox est bien adaptée aux fonds tropicaux : peu de profondeur, eau chaude, profondeurs variables au cours de la plongée, lieux de plongée assez près des côtes, plongées successives moins contraignantes.

Dans nos eaux, nous serons limités par le froid, ce qui fait que disposer d'une grande autonomie sera moins importante dans la majorité des cas.

En revanche, la sécurité y gagnera et l'on pourra généralement replonger à 30 mètres, sans souci l'après-midi, avec un palier assez court. Pour les moniteurs, la sécurité sera plus grande en raison d'un état de sursaturation moins élevé.

Comme il y a moins d'azote que dans l'air, le mélange sera plus fluide et on ventilera mieux, on sera moins fatigué par la décompression.

Comme il y a plus d'oxygène, l'essoufflement interviendra moins vite.

Le Nitrox trouve toute sa signification pour des plongées entre 15 et 40 mètres. Enfin, ce sera une bénédiction pour les plongées en altitude : entre 1500 et 2000 mètres et avec un mélange à 40/60, on retrouvera presque la profondeur réelle.

#### **4.3. Inconvénients**

##### **4.3.1. Hyperoxie aiguë**

Le principal inconvénient est lié à la toxicité de l'oxygène qui va limiter la profondeur par rapport à la plongée à l'air. Le calcul de la composition du mélange Nitrox doit se faire en utilisant un pourcentage d'oxygène limitant le risque d'hyperoxie aiguë (effet de Paul Bert) à la profondeur maximale à atteindre.

Exemples de profondeurs limites pour des mélanges Nitrox avec un seuil d'hyperoxie fixé à 1,6 bars :

% O2	Prof. Hyperoxie	Type mélange
20	70 m	air
25	54 m	pro
30	43 m	pro
32	40 m	Nitrox I
36	34 m	Nitrox II
40	30 m	FFESSM
50	22 m	spécial pro

### 4.3.2. Hyperoxie chronique

Il faut également prendre en compte le risque d'hyperoxie chronique (effet Lorrain Smith) lié aux durées maximales d'exposition permises pour une certaine pression partielle d'oxygène pendant une période donnée : concept des C.N.S. Clock (Central Nervous System Clock), des U.P.T.D. (Unit Pulmonary Toxic Dose) et des O.T.U. (Oxygen Tolerance Unit).

Ce problème est surtout important pour les plongées à saturation des professionnels ou les traitements d'oxygénothérapie hyperbare en caisson ; le plongeur Nitrox loisir y échappe.

### 4.3.3. Problèmes matériels

L'autre difficulté viendra de la logistique nécessaire à terre : fabrication et contrôle des mélanges, maintenance du parc matériel spécifique. En effet l'emploi de mélanges enrichis en oxygène nécessite un matériel (compresseur ou surpresseur, bloc, détendeur, gilet, manomètre, capteurs électronique de pression d'air, analyseur d'oxygène, ...) totalement dégraissé (à cause des risques d'explosion en présence de graisse). Le regrainage s'effectue avec des huiles appropriées.

### 4.4. Tables de plongées au Nitrox

Les tables utilisées habituellement (M.N. 90) sont basées sur une pression partielle d'azote de 0,8 correspondant au taux d'azote contenu dans l'air. Pour une utilisation de Nitrox, nous allons pouvoir utiliser les mêmes tables, mais en tenant compte d'un taux d'azote plus faible ; c'est à dire en calculant la profondeur fictive équivalente, avec laquelle on entrera dans la table, par rapport à la profondeur réelle avec le Nitrox.

Il faut signaler que, logiquement, la profondeur fictive est toujours inférieure à la profondeur réelle.

Voici le calcul de la pression absolue fictive pour une plongée à l'air (avec 80 % d'azote) par rapport à la pression absolue réelle pour une plongée Nitrox avec un taux d'azote de X.

$$\text{Pression.Abs.Réelle} * \frac{X}{100} = \text{Pression.Abs.Fictive} * \frac{80}{100}$$

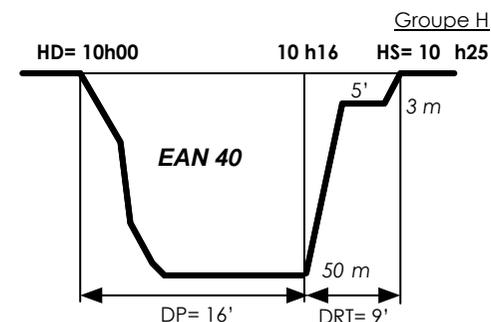
d'où :

$$\text{Pression.Abs.Fictive.Equiv.} = \frac{\text{Pression.Abs.Réelle} * X}{80}$$

- Il n'y a pas de modification de la profondeur des paliers, ni de la vitesse de remontée.
- Attention au calcul de la durée de remontée : depuis profondeur réelle et non profondeur fictive.

Par exemple : On a prévu une plongée au Nitrox 40/60 de 16 minutes à 50 mètres. Paliers ?

Pression Absolue Fictive =  $6 * 60 / 80 = 4,5$  bars, ce qui correspond à 35 mètres.



**ATTENTION** : Il faut toujours vérifier que la PP O<sub>2</sub> est n'engendre pas une hyperoxie. Ici, PP O<sub>2</sub> =  $6 * 40 / 100 = 2,4$  bars, ce qui est supérieur à 2 bars, limite de toxicité de l'oxygène en mélange ; par conséquent cette plongée est impossible telle qu'elle est envisagée.

Attention également car cette méthode basée sur les tables de plongées air ne tient pas compte des risques d'hyperoxie chronique.

#### 4.5. Conclusion

Globalement, en plongée loisir, si vous acceptez les contraintes, avec une équipe d'intendance irréprochable, le nitrox vous permettra :

- des plongées plus longues pour une profondeur donnée : plus de temps au fond, moins de paliers (La plongée "Extended Range" comprend l'utilisation de l'air au fond et du Nitrox pendant la remontée et les paliers).

OU

- des plongées plus sûres (pour la même plongée qu'avec de l'air, la saturation en azote sera moins importante, d'où moins de paliers).

Cette plongée, appelée "Tech", demande une technicité et une parfaite connaissance du matériel ; en général, il vaut mieux utiliser des ordinateurs de plongée pour les calculs de paliers et de seuils d'hyperoxie, mais ils méritent un apprentissage sérieux et raisonnable.

Tout comme la plongée à l'air, la plongée au Nitrox a quelques règles de base qu'il est dangereux de transgresser.

Exercice 1 : Quelles sont les limites d'utilisation d'un mélange de Nitrox à 32 % d'oxygène et 68 % d'azote?

*Réponse : 40 mètres*

Exercice 2 : On désire utiliser du Nitrox pour une plongée à 55 mètres. Quel est le pourcentage à utiliser pour ne pas avoir de problèmes?

*Réponse : Nitrox 24/76.*

# MATERIEL

# CHAPITRE 21 : LE MATERIEL

## 1. JUSTIFICATION

- Tout utilisateur d'une bouteille de plongée doit connaître les règlements en vigueur (tout stock d'air est soumis à réglementation) et certains principes pour permettre son utilisation en toute sécurité.
- Un détendeur est la partie la plus vitale du matériel du plongeur. De même une approche de son fonctionnement peut permettre de comprendre et d'éviter les pannes et les petites surprises en plongée.

## 2. LA BOUTEILLE DE PLONGEE

### 2.1. Le corps

#### - Matière :

Acier, aluminium ou bientôt peut-être, fibre de carbone.

#### - Capacité :

Elle est exprimée en litres d'eau.

- \* Mono de 12 litres → 2,4 m<sup>3</sup> à 200 bars ou 2,1 m<sup>3</sup> à 176 bars.
- \* Mono de 15 litres → 3 m<sup>3</sup> à 200 bars.
- \* Bi de 2\*8 litres → 3,2 m<sup>3</sup> à 200 bars ou 2,8 m<sup>3</sup> à 176 bars.
- \* Bi de 2\*12 litres → 4,8 m<sup>3</sup> à 200 bars (corailleurs).

#### - Inscriptions

(Attention, changements possibles, pour conformisation aux normes européennes xxxPasAJour) :

- \* Nom du constructeur.
- \* Lieu, année et numéro de fabrication, de série ou d'identification.
- \* Capacité (en litres d'eau).
- \* Pression de service, de chargement, en bars et température de chargement (à 15°C).
- \* Pression d'épreuve en bars (égale 1 fois et demi la pression de service).
- \* Date des ré-épreuves et poinçon du service des mines (tête de cheval).
- \* Nature du gaz.
- \* Poids à vide en kg.
- \* Nature de l'alliage.
- \* Pas et caractéristiques du filetage (normalisé à M25x2).

#### - Protection interne :

- \* Grenailage pour décaper des dépôts
- \* Soufflage pour éliminer les poussières
- \* Huile (alimentaire, Codex ou pharmaceutique)

#### - Protection externe :

- \* Grenailage
- \* Shoopage au zinc (environ 80 microns)
- \* Deux couches de peinture d'apprêt (peinture époxy)
- \* Une couche de peinture polyuréthane

#### - Précautions :

- \* Eviter les chocs et les grandes différences de température.
- \* Coucher le bloc ou le tenir. Stockage debout, réserve haute, robinet fermé.
- \* Ne pas l'ouvrir en grand à l'air libre.
- \* Ne pas laisser la bouteille ouverte dans l'eau (surtout si elle est vide).
- \* Entretien la peinture.
- \* Visite intérieure annuelle.
- \* On ne remonte une robinetterie que sur sa bouteille d'origine

#### - Réglementation xxxPasAJour :

- \* Il est interdit de transporter un bloc gonflé dans les transports collectifs.
- \* Dans un véhicule classique, on peut transporter jusqu'à 1000 kg de bouteilles gonflées ; au-delà, il faut respecter la législation sur le transport de matières dangereuses (notamment au niveau de la signalisation du véhicule).
- \* La législation sur les blocs a énormément évolué ; datant de 1943, les textes ont été modifiés plus de 30 fois. Un paradoxe existe tout de même : l'utilisation d'un bloc "hors norme" est possible, c'est son gonflage qui est interdit !
- \* La législation prévoit trois types d'installation :
  - Fixe : bouteilles qui restent dans un local
  - Mi-fixe : celles installées sur un engin mobile (véhicule, remorque, bateau)
  - Mobile : pour les autres.
- \* Les récipients de gaz sous pression concernés par cette réglementation sont ceux où  $P \times V > 80 \text{ l}$  et  $P > 4 \text{ bars}$  (blocs de plongée, mais aussi d'oxygénothérapie, tampons ou cylindres de compresseurs)
- \* Ré-épreuve obligatoire :
  - Bouteilles mobiles en Acier jamais visité → tous les 2 ans.
  - Bouteilles mobiles en Acier visité tous les ans (T.I.V.) → tous les 5 ans.
  - Bouteilles mobiles en Aluminium → tous les 5 ans.
  - Bouteilles mi-fixes → tous les 5 ans.
  - Bouteilles fixes → tous les 10 ans.

Une épreuve est en fait un test en pression à l'eau, réalisé sous la responsabilité d'un inspecteur des mines

\* Visite :

La loi précise qu'elle doit être effectuée aussi souvent que l'état général du bloc le nécessite. Elle peut être effectuée dans le cadre d'un organisme qui a opté pour le système des visites annuelles (FFESSM par exemple), ce qui permet d'obtenir une dérogation pour espacer les réépreuves de 5 ans.

La visite consiste en un démontage du fût de la bouteille et une inspection, extérieure et intérieure, selon des normes précises ; elle est assurée par les Techniciens en Inspection Visuelle. Seules les bouteilles du club ou de ses membres peuvent bénéficier de ce système dérogatoire.

## 2.2. Le sanglage

- Traditionnel ou Dumas : Deux sangles dorsales à régler une main au dessus de la robinetterie et la sous-cutale à ne pas oublier.
- Back-pack : Cadre en plastique avec 2 sangles dorsales et une ceinture.
- Gilet (ou stabilizing jacket) : Ce que l'on a fait de mieux et de plus cher, mais de plus en plus courant. Un gilet est en fait construit autour d'un back-pack amélioré.

## 2.3. La robinetterie

### 2.3.1. Le tube plongeur

Empêche de colmater le passage de l'air par la corrosion, les particules d'huile ou l'eau si on a la tête en bas.

### 2.3.2. Le robinet de conservation

Permet d'ouvrir et de fermer la bouteille. Il faut l'ouvrir à fond et le refermer d'un quart de tour (pour éviter l'écrasement du joint). Certaines bouteilles (scuba) sont équipées de robinets quart de tour (levier).

Un mécanisme de cardan évite un déplacement du volant lorsque l'on manoeuvre la vis-clapet et permet de garder l'étanchéité. Le cardan transforme une rotation en translation.

### 2.3.3. La réserve

- Principe :

- \* Elle fonctionne grâce à un ressort taré (de 20 à 30 bars), qui appuie sur un clapet qui peut obturer l'arrivée d'air.
- \*  $P > 30$  bars, l'air sort.
- \*  $P = 30$  bars, on respire difficilement.

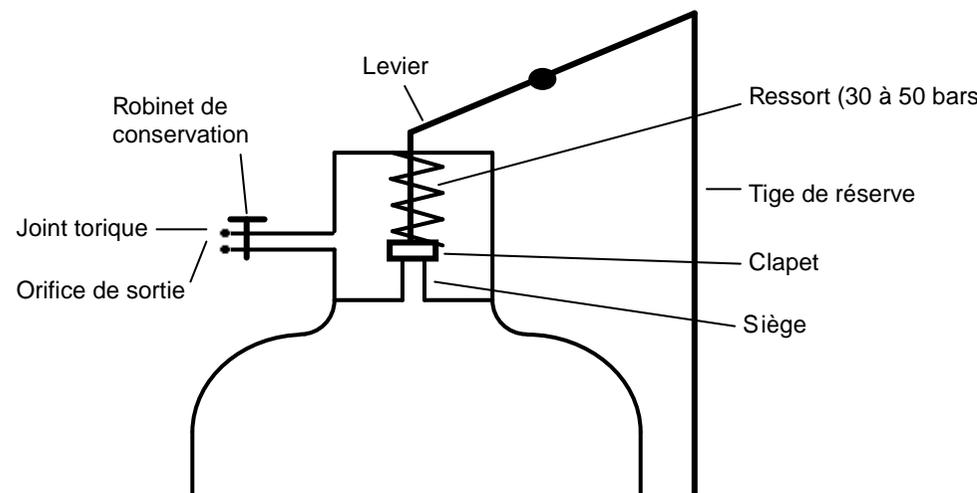
\*  $P < 30$  bars, on n'a plus d'air.

On comprime alors le ressort en tirant sa réserve, ce qui libère les derniers bars.

\* Il existe plusieurs sortes de réserve :

- les réserves semi-étanches qui rendent la respiration difficile. Risque d'usure du clapet et du siège d'où baisse de l'étanchéité et consommation de la réserve sans s'en rendre compte.
- les réserves étanches (Cressi Sub, Cavalero) qui bloquent net l'arrivée d'air.

Voici un schéma de principe du mécanisme de réserve :



- Position :

- \* En aval du robinet de conservation : La réserve peut être démontée bouteille pleine si le robinet est fermé (à éviter dans la mesure du possible).
- \* En amont du robinet de conservation : La réserve ne peut être démontée que bouteille vide.

- Utilisation :

- \* Attention aux chocs sur la réserve qui occasionnent des fuites ou une impossibilité de passer sur réserve en plongée.
- \* Plonger réserve haute sauf avec un manomètre.

- \* La baisser dès que la respiration devient difficile. Si on force l'inspiration, on n'économise pas sa réserve, on tire déjà dessus et on prend des risques (essoufflement, efforts en fin de plongée, ...).
- \* Après la plongée, baisser la réserve afin de permettre le gonflage.
- \* Certaines bouteilles n'en ont pas et nécessitent l'utilisation d'un manomètre.

- La réserve à rampe hélicoïdale semi-étanche :

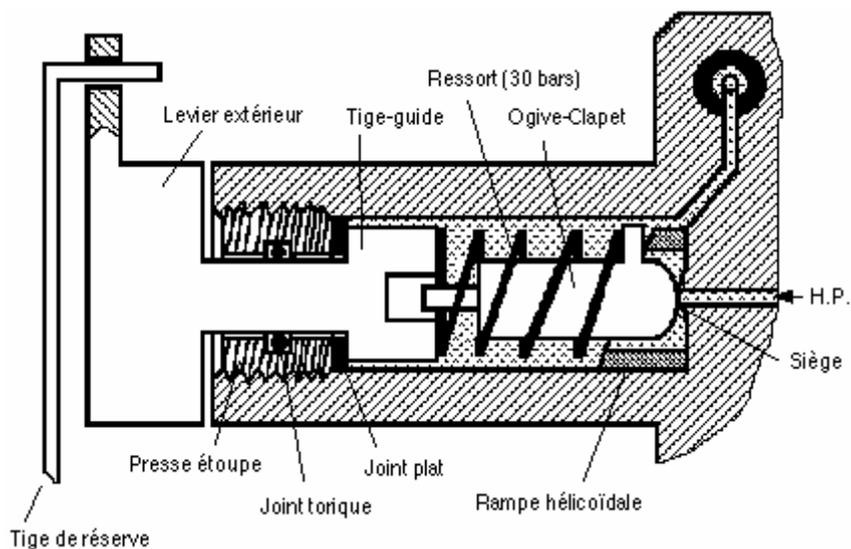
*- Fonctionnement :*

. Réserve en position **haute** :

Détendeur gréé, robinet ouvert ; la pression dans la chambre est égale à la pression dans la bouteille + force du ressort, donc le clapet est fermé (olive contre siège)

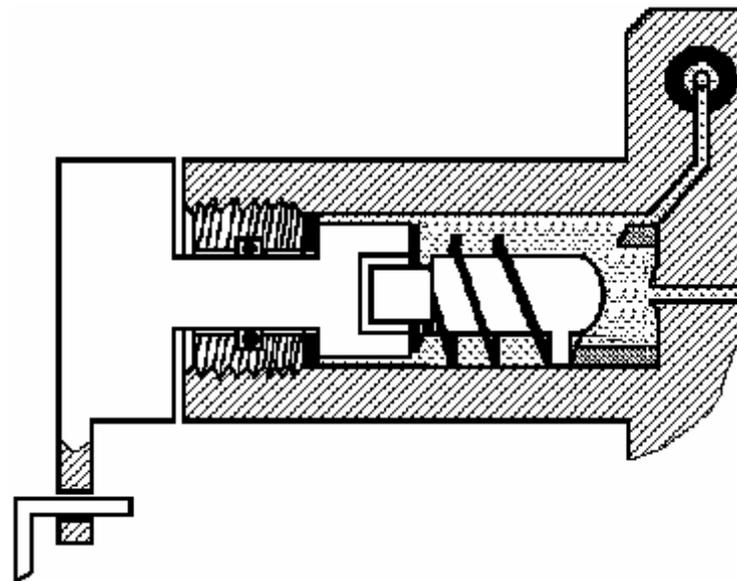
Lors de l'inspiration, une dépression se forme dans la chambre, la haute pression repousse l'olive et l'air passe. Lorsque l'inspiration stoppe, le clapet se referme à nouveau.

Avec une pression dans la bouteille inférieure à la pression du ressort, la dépression se crée au moment de l'inspiration, mais le ressort est plus fort que la pression d'air, le clapet reste fermé.



. Réserve en position **basse** d'où libération de la sortie d'air, quelqu' soit la pression restante dans le bloc. Le clapet est toujours ouvert.

On peut constater l'utilisation d'un cardan qui permet à l'olive-obus de se déplacer sans que la tige-guide ne se déplace :



*- Avantage :*

Olive et siège en métal, d'où semi-étanchéité. Pas d'arrêt brusque de l'arrivée d'air.

*- Inconvénient :*

Possibilité de "téter" la réserve si le siège est abîmé, d'où une fuite d'air importante. Si le métal est matricié, l'étanchéité devient réelle, d'où arrêt brusque de l'arrivée d'air.

- La réserve à excentrique :

*- Fonctionnement :*

. Réserve haute : Idem réserve à rampe hélicoïdale

. Réserve basse : La rotation du levier fait tourner l'excentrique autour de son axe longitudinal. La partie décentrée repousse la tige de clapet qui repousse le clapet qui maintient le ressort comprimé. Le clapet est donc toujours ouvert.

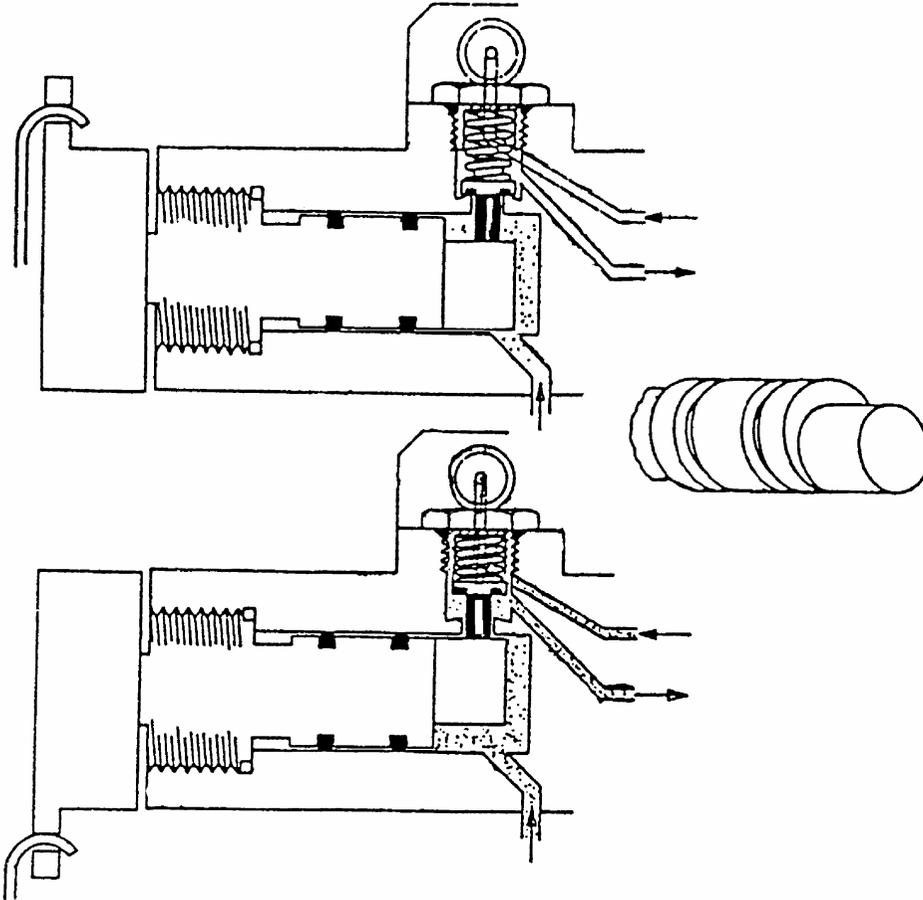
*- Avantage :*

Le clapet est en nylon, d'où étanchéité ; on peut contrôler le tarage de la réserve au manomètre (pression réserve basse - pression

réserve haute = pression équivalente du ressort) et on ne peut pas "téter" la réserve.

- *Inconvénient* :

Arrêt brusque de l'arrivée d'air dès que la pression de la bouteille correspond au tarage du ressort de la réserve.



- La réserve à barillet :

- *Fonctionnement* :

. Réserve haute : Idem réserve à rampe hélicoïdale

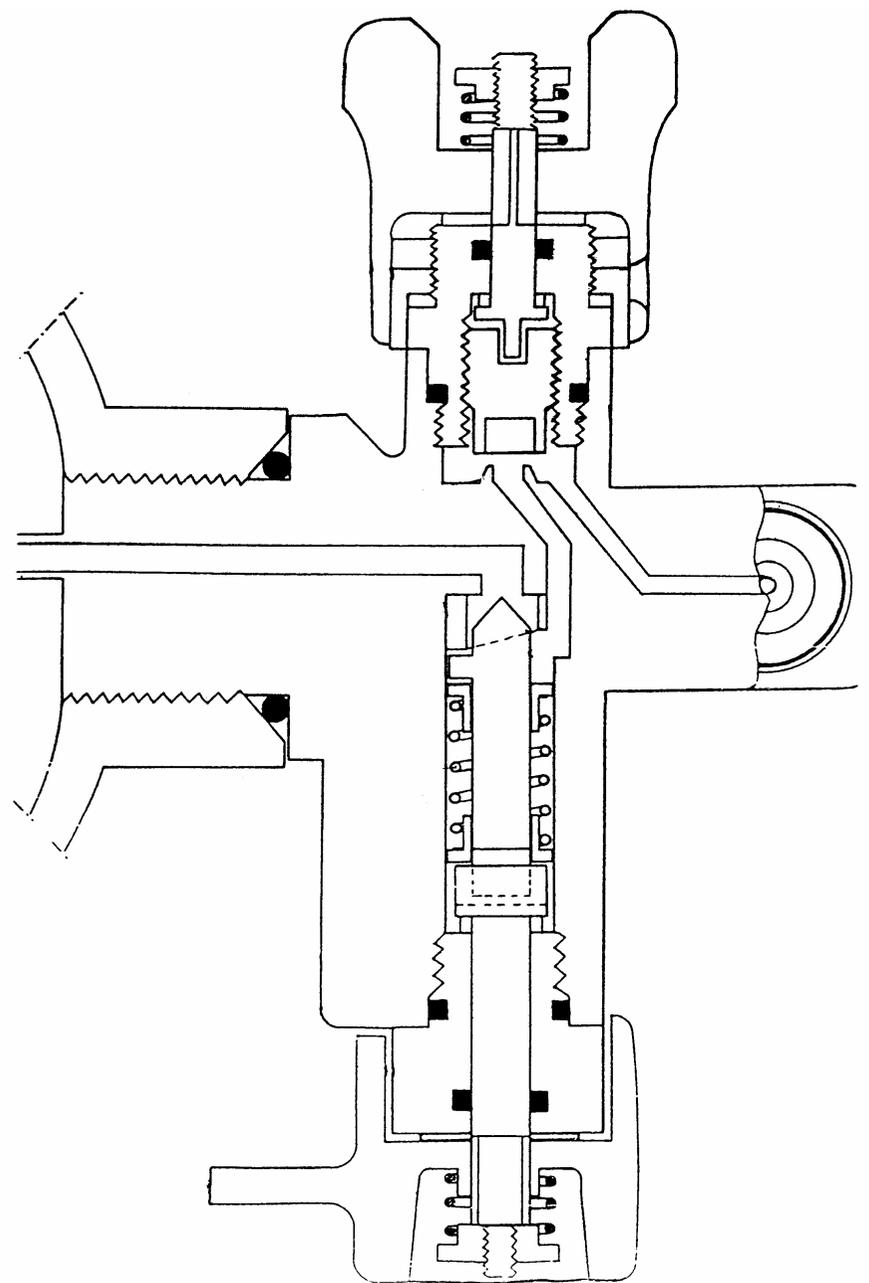
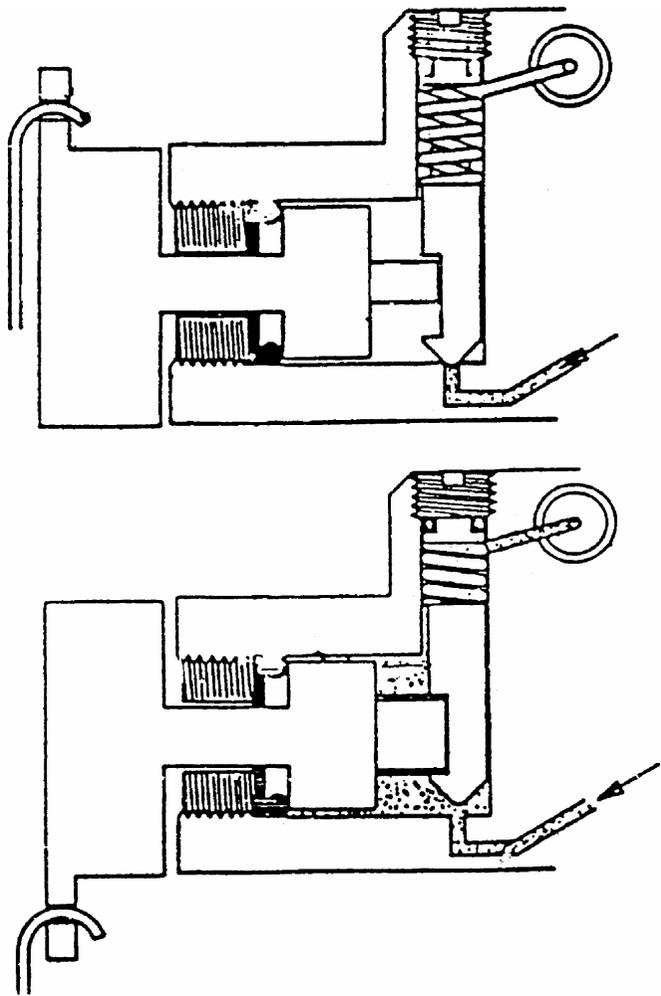
. Réserve basse : La rotation du levier, par l'intermédiaire d'une sorte de cardan, fait faire une translation au clapet qui relève et comprime son ressort. Le clapet est donc toujours ouvert.

- *Avantage* :

Le clapet et le siège sont en métal, d'où semi-étanchéité ;  
Avantages identiques à la réserve à rampe hélicoïdale, avec en plus des possibilités de réglage de la réserve en fonction du profil de la plongée envisagée.

- *Inconvénient* :

Idem réserve à rampe hélicoïdale.



### 2.3.4. La réserve d'un bi-bouteille

La réserve est, en général, présente sur une seule des deux bouteilles.

Faire une série de deux schémas avec 2 bouteilles A et B et réserve tarée à 50 bars sur A.

1.  $A = B = 200$  bars ; dans la chambre,  $P = 200 + 50 = 250$  bars, l'air sort de B
2.  $A = 200$  bars ;  $B = 150$  bars ; l'air sort de A et B.
3.  $A = 50$  bars + Pression.Ambiante ;  $B =$  Pression.Ambiante ; clapet fermé, difficulté d'inspiration.
4. On baisse la réserve, l'air de A se répand dans B avec  $A = B = 50 / 2 +$  Pression.Ambiante

Rem : on pourrait remonter à nouveau la réserve avec pression emprisonnée dans  $A = 25$  bars + Pression.Ambiante. A ne pas faire, car l'air serait insuffisant pour la remontée et les paliers.

### 2.3.5. Sortie

Contrôler et mouiller le joint torique avant de gréer le détendeur.

## 3. LA BOUTEILLE DE BOUEE

- Règlement : Si  $P * Capacité \leq 80$  litres, pas de ré-épreuve obligatoire.

- Modèles courants : 0,4 litres.

- Avantages : pas de ré-épreuve obligatoire.

- Inconvénient :

- \* **Risque d'explosion** quand on la gonfle.
- \* Ne suffit pas à percuter une P.A. en dessous de 35 mètres.

- Conseils :

- \* Ne jamais la laisser ouverte dans l'eau.
- \* La préserver des chocs.
- \* La visiter chaque année.
- \* La changer tous les 2 ou 3 ans.
- \* Préférer une bouteille de capacité de 0,5 ou 0,6 litre, ce qui rend la ré-épreuve obligatoire et procure un plus grand volume d'air.
- \* Ne pas la diriger vers quelqu'un quand on la gonfle.

## 4. LE DETENDEUR

### 4.1. Principe

- But : Détendre l'air de la bouteille afin de donner de l'air, à la demande, à la pression ambiante, dans toutes les positions.

### 4.2. Définitions

- \* **Compensé** (ou régulation) : pas d'opposition entre la Haute pression et la Moyenne Pression, cette dernière est donc plus constante, quelquesoit la pression restante dans la bloc.
- \* **Non compensé** : la haute pression repousse le clapet ; au début, avec un bloc plein, la respiration est difficile, ensuite, elle est plus confortable.
- \* **Clapet amont** : le clapet se trouve dans la chambre Moyenne Pression (à l'amont du siège).  
Principal inconvénient : en cas d'augmentation de la pression, il est obligatoire d'avoir une soupape de sécurité pour éviter l'explosion. Le clapet amont est abandonné dans la plupart des deuxièmes étages.
- \* **Clapet aval** : le clapet se trouve dans la chambre Pression Ambiante (à l'aval du siège).  
Principal avantage : en cas d'augmentation de la pression, il y a fuite mais sans explosion ; on peut donc encore respirer.

### 4.3. Classification

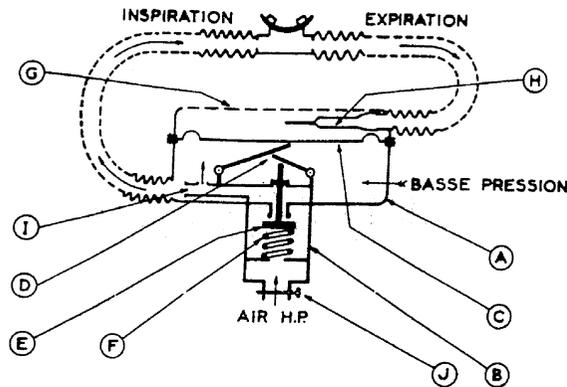
- \* Détendeur à un étage (type Mistral)  
Détend de la Haute Pression à la Pression Ambiante
- \* Détendeur à deux étages
  - Premier étage (sur la robinetterie, fixé sur la bouteille)  
Filtre et détend l'air de la Haute Pression à la Moyenne Pression (environ 4 à 5 bars au-dessus de la Pression Ambiante, grâce à un ressort)
    - . à membrane simple,
    - . à membrane compensé.
    - . à piston simple,
    - . à piston compensé,
  - Deuxième étage (en bouche)  
Détend de la Moyenne Pression à la Pression Ambiante
    - . non compensé, clapet amont,
    - . non compensé, clapet aval,
    - . non compensé, clapet aval réglable,

- . non compensé, clapet aval linéaire,
- . compensé, linéaire,
- . compensé, à flux coaxial,
- . compensé, à buse mobile,
- . compensé, auto-compensé,
- . compensé, piloté avec micro fuite,
- . compensé, piloté sans micro fuite,
- ....

#### 4.4. Détendeur à un étage (le "Mistral")

##### 4.4.1. Mécanisme

- A - Chambre basse pression
- B - Corps haute pression
- C - Membrane
- D - Leviers
- E - Clapet
- F - Ressort du clapet
- G - Couvercle
- H - Bec de canard (soupape d'expiration)
- I - Buse d'injection
- J - Robinet de conservation



A l'inspiration, baisse de la pression dans la chambre MP, le clapet se soulève et l'air passe dans la chambre MP

Il y a des trous d'évents pour éviter l'effet Venturi (accélération de l'air par sa propre vitesse)

A l'expiration, l'air va vers le bec de canard et s'évacue dans le dos.

Ce détendeur n'est pas compensé.

##### 4.4.2. Types de panne

- Entrée d'eau : trou dans la membrane ou le bec de canard
- Manque d'air : filtre du détendeur, oxydation du clapet, levier trop bas

Débit continu : clapet abîmé, gripperie (sel, calcaire, sable), trou de compensation de l'effet Venturi bouché, levier trop haut, enfouissement du boîtier.

##### 4.4.3. Avantages

- . très léger en bouche,
- . bulles dans le dos (utile pour les photographes notamment),
- . simplicité du mécanisme,
- . entretien et réparation faciles.

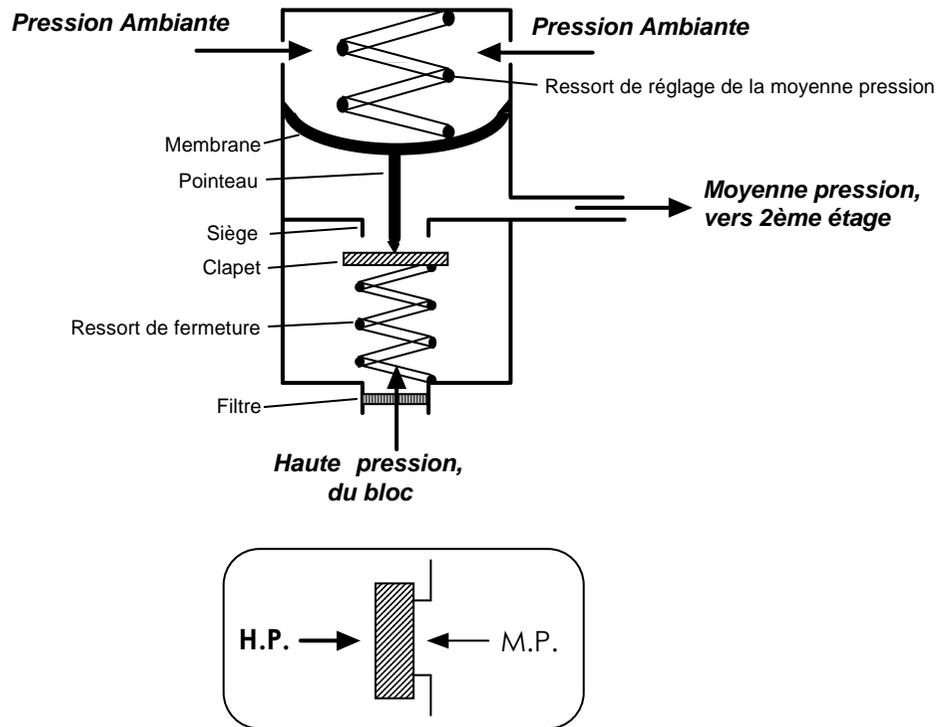
##### 4.4.4. Inconvénients

- . dépression lors de la nage ventrale (et surpression lors de la nage dorsale) car les poumons et le boîtier ne sont pas au même niveau,
- . pas de Moyenne Pression, donc pas de direct-system,
- . prix (assez cher),
- . pas de système de compensation,
- . difficulté de décapelage, recapelage, et d'échange d'embout,
- . fragilité du tuyau et du boîtier,
- . rétention de CO<sub>2</sub>.

#### 4.5. Détendeur à deux étages

##### 4.5.1. Principe du premier étage : Celui fixé sur la bouteille

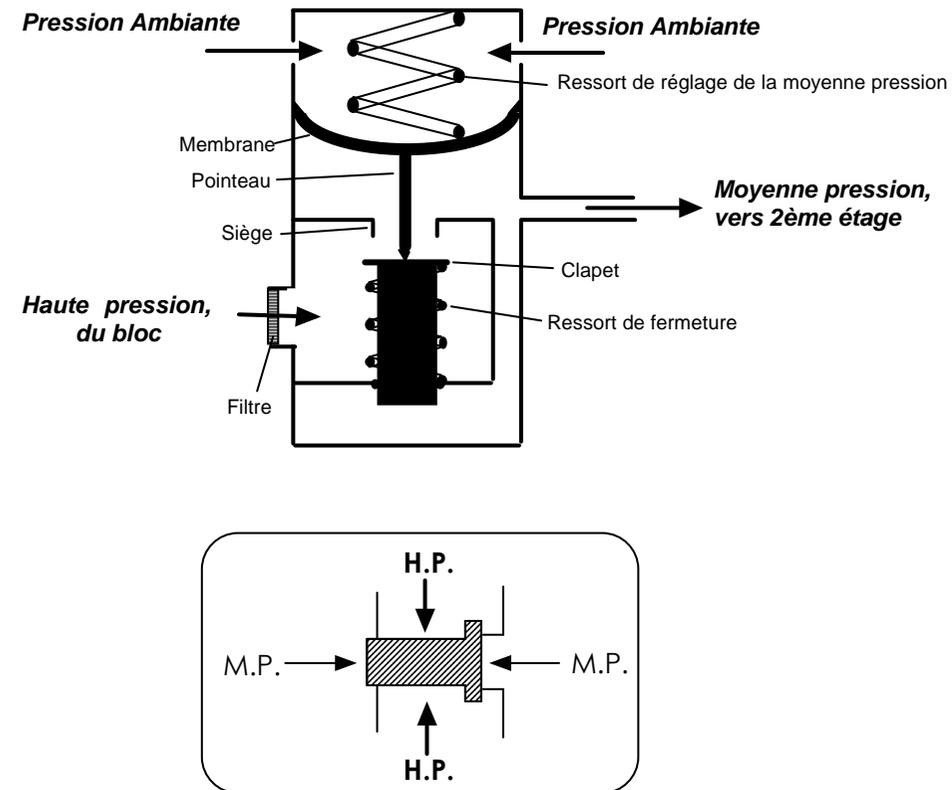
\* Premier étage à membrane, non compensé, à clapet amont



- \* Bouteille fermée Le ressort maintient le clapet fermé.
- \* Ouverture de la H. P. L'air entre dans la première chambre et maintient le clapet fermé.
- \* Dépression dans la deuxième chambre Par inspiration, ou différence de pression.
- \* La membrane s'enfonce, appuie sur le pointeau et repousse le clapet grâce à un système de leviers.
- \* L'air passe dans la deuxième chambre où il est détendu à la pression ambiante + 9 bars grâce à l'action du ressort.
- \* Le pointeau remonte à l'arrêt de la dépression et referme la chambre.
- \* L'air sort vers le deuxième étage en moyenne pression.

Exemple : Poséidon Cyclon 300, Comex physalie

### \* Premier étage à membrane, compensé, à clapet amont

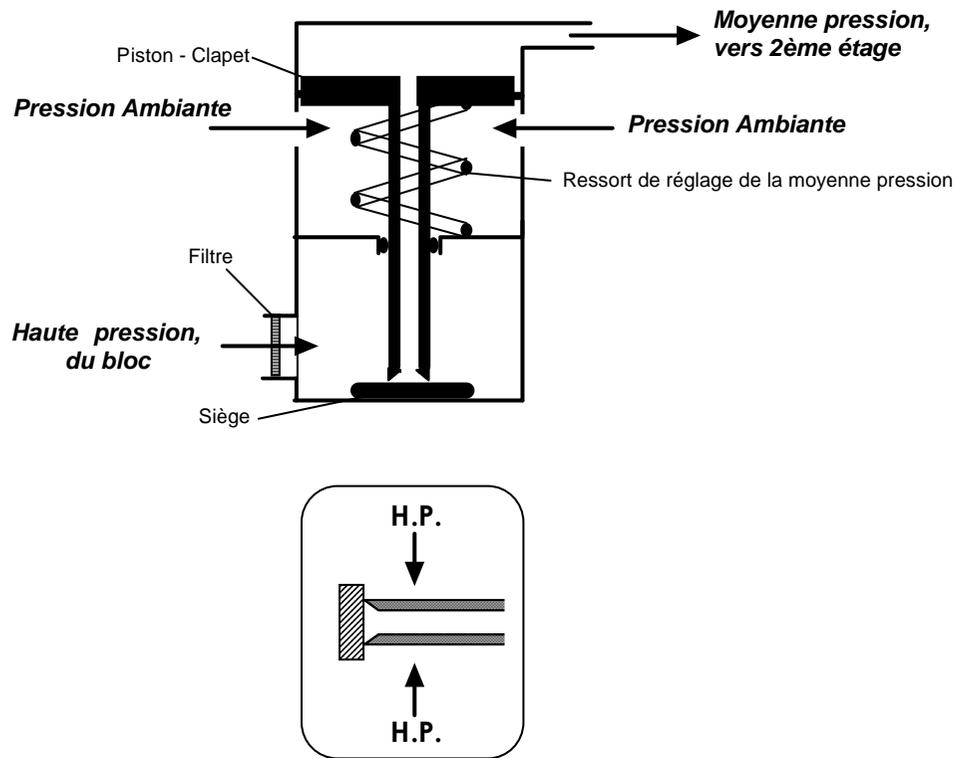


Exemple : Spiro Aquilon, Beuchat VS 10, VX 10, VTR 8, VS 8 et Blowair

### \* Premier étage à piston, non compensé

Exemple : Spiro 8, 20/10, Spiroclub, Scubapro Mark 2, Beuchat VS 2 et VS 3, Cavalero Airflux.

### \* Premier étage à piston, compensé, à clapet amont



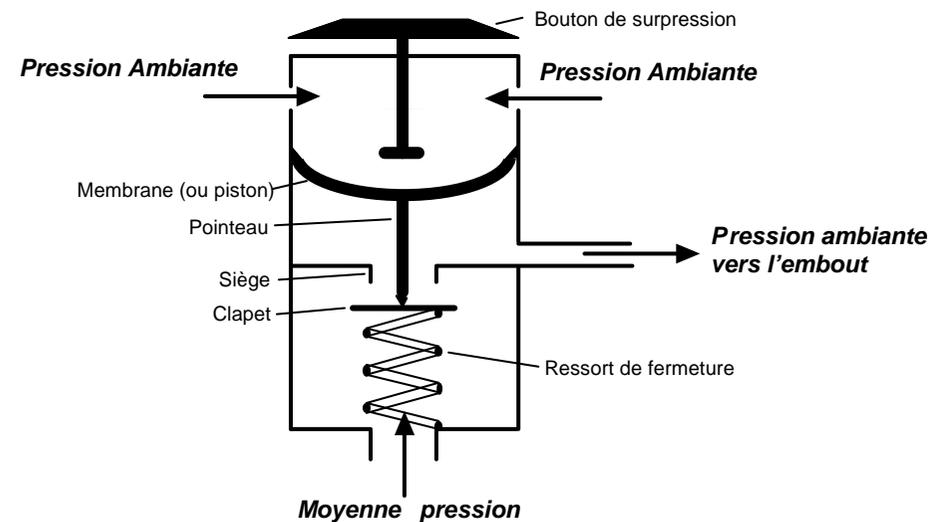
Exemple : Spiro 40/10, 50/10, Atmos, Spirolung, Aqualung, Scubapro Mark 10 Plus et Mark 20, Beuchat VS 4.

*Inconvénients* : les joints souffrent beaucoup ; des problèmes avec le sel et le calcaire peuvent apparaître.

#### 4.5.2. Deuxième étage : Celui que l'on a en bouche

- \* Même principe que le premier étage, sauf que le ressort qui rajoute les 5 bars n'est plus là.
- \* Existence d'un bouton de purge permettant de comprimer volontairement la membrane.
- \* La compensation est moins importante, car l'opposition se fait entre pressions moins hautes.

#### \* Deuxième étage à membrane, non compensé, à clapet amont

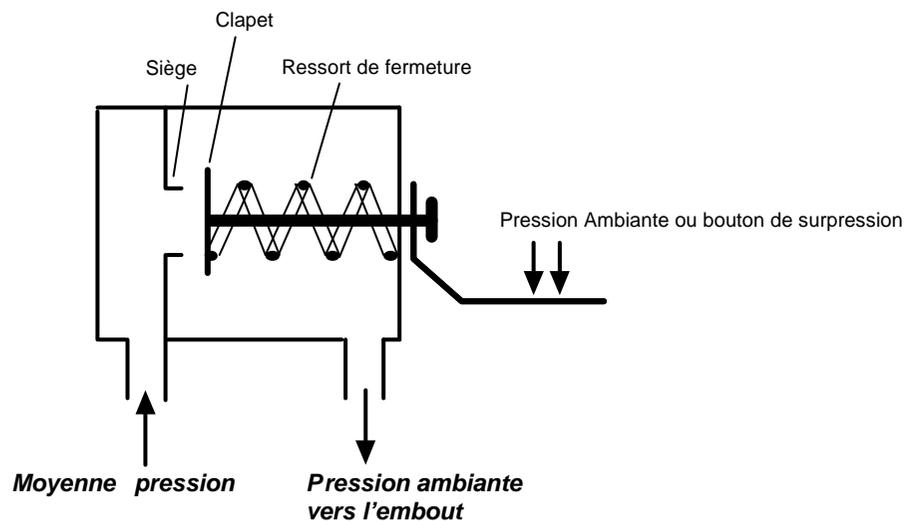


Exemple : Marès M.S.

*Avantages* : plus léger en bouche, moins de pièces.

*Inconvénients* : si la MP augmente brusquement, le détendeur se durcit et risque d'éclatement du tuyau MP ; nécessite de mettre en place des soupapes de sécurité.

**\* Deuxième étage à membrane, non compensé, à clapet aval**

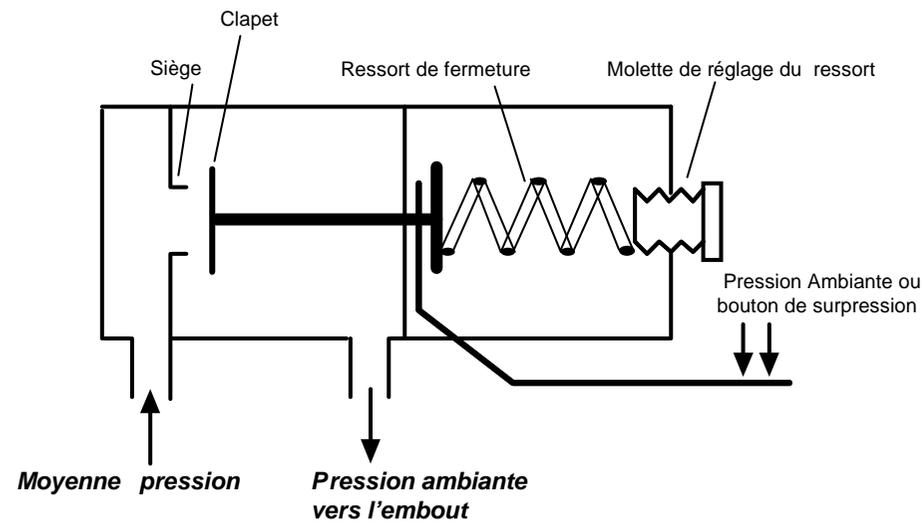


Exemple : Spiro 8, Spiroclub, Spiro XP, Scubapro R190 et AIR2, Beuchat VS.

*Avantages* : le clapet se trouve dans la chambre basse pression, d'où ouverture plus facile ; si la MP augmente brusquement, le clapet recule et joue le rôle de soupape de sécurité.

*Inconvénients* : relative lourdeur en bouche, beaucoup de pièces en basse pression.

**\* Deuxième étage à membrane, non compensé, à clapet aval réglable**



Exemple : Mark V, Beuchat VS Control.

La mollette permet de régler la tension du ressort et donc de durcir un peu le détendeur. Intéressant dans la descente dans le bleu, car il y a une différence de pression entre le niveau du détendeur et le niveau des poumons.

**\* Deuxième étage à membrane, compensé, à clapet aval linéaire réglable**

Exemple : Spiro XR2, Scubapro G250.

**\* Deuxième étage à membrane, à buse compensé et à clapet aval réglable**

Exemple : Beuchat VX

### 4.5.3. Types de panne

- Entrée d'eau : impossible au niveau du premier étage, car la pression est trop haute (sauf si la bouteille est pleine d'eau), cela peut venir d'un problème de soupape ou de membrane au niveau du deuxième étage.
- Manque d'air : filtres, levier du deuxième étage trop bas.
- Débit continu : levier du deuxième étage trop haut, fuite au niveau du clapet du premier étage.

### 4.5.4. Avantages

- . équipression en ventral,
- . existence de Moyenne Pression, donc possibilité de Direct-system,
- . possibilité de compensation,
- . facilité de décapelage, recapelage et de passage d'embout,
- . possibilité de bouton de surpression,

### 4.5.5. Inconvénients

- . système plus complexe,
- . entretien et réparation par un spécialiste,
- . bulles dans le champ de vision.

### 4.6. Soins particuliers

- Pas de chocs ni d'écrasement.
- Ne pas le laisser gréé sur la bouteille au soleil.
- Après la plongée, le rincer à l'eau douce en obturant le filtre (bouchon).
- Laisse sécher sans obturer le filtre.
- Surveiller l'aspect du filtre et la souplesse d'inspiration.
- Ne pas le bricoler.
- Le faire réviser une fois par an.

### 4.7. Givrage d'un détendeur

Quand on ouvre un bloc à l'air libre, la robinetterie givre à la sortie du bloc ; c'est l'accélération du flux d'air lors de la détente qui cause une perte calorifique.

C'est la même chose qui se produit lors du passage de la H.P. vers la M.P. ou de la M.P. vers la P.A. : refroidissement des pièces métalliques. L'eau en contact avec ces pièces, dans la chambre P.A., si elle est déjà froide, se transforme rapidement en glace.

#### 4.7.1. Au premier étage

La détente y est la plus forte, c'est donc principalement au niveau du premier étage que les détendeurs givent.

*Parades :*

- remplir la chambre P.A. de graisse de silicone, qui transmet alors la P.A.. Le détendeur devient alors plus dur à l'inspiration.

- chambre P.A. fermée par une membrane et remplie d'huile de silicone. Ceci permet de regagner alors de la souplesse (Supra S XR2 et Artic de Spiro, VS 10 avec kit Labrador de Beuchat)
- mettre en place un insert d'isolation thermique en plastique qui isole le piston métallique (Thermal Insulating Bushing sur MK10 Plus et MK20 de Scubapro).

#### 4.7.2. Au deuxième étage

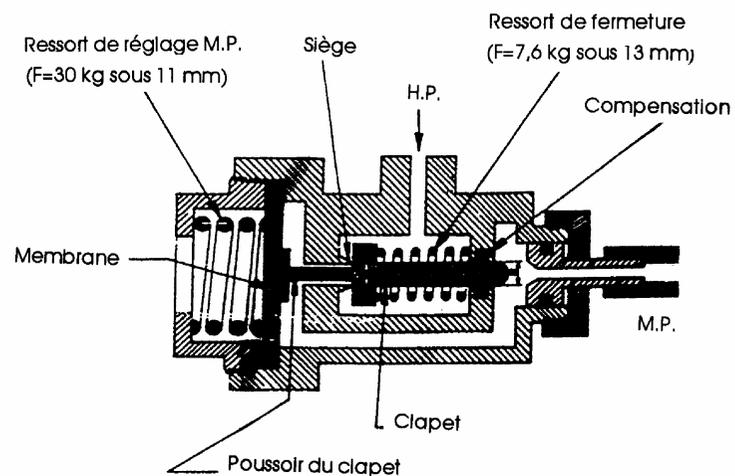
*Parades :*

- Beuchat : recouvrement ou remplacement des pièces métalliques par des pièces plastiques.
- Scubapro : éléments principaux du clapet en alliages de plastiques spéciaux qui ont la capacité de repousser les particules de glace et absence de contact direct entre pièces métalliques mobiles (M 50).
- Spiro : levier déporté vers le coté opposé, insert en laiton qui élimine le froid créé par la détente et récupère les calories de l'air expiré (XR2), échangeurs thermiques qui récupèrent les calories présentes dans l'eau (Artic).

### 4.8. Exemples de détendeurs Spiro

# AQUILON

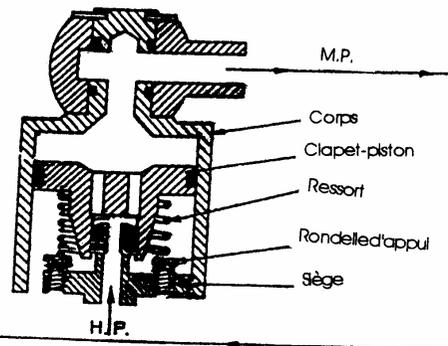
## 1er étage à membrane compensé



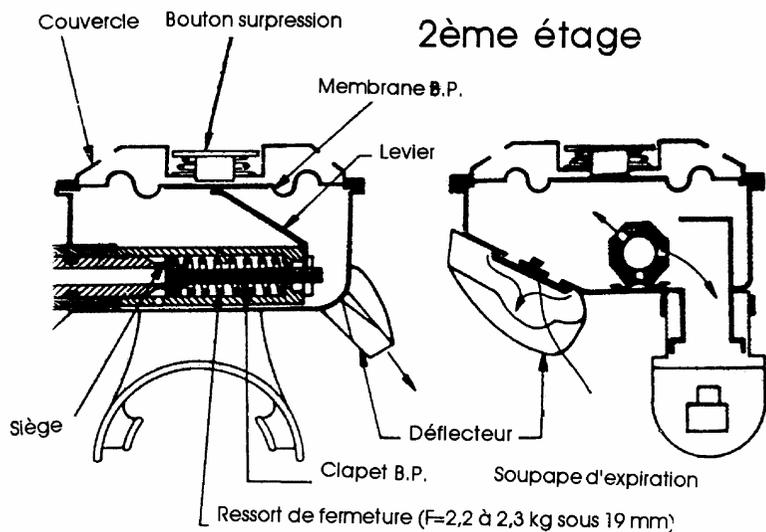
# SPIRO 8

## Brevet Cousteau-Gagnan

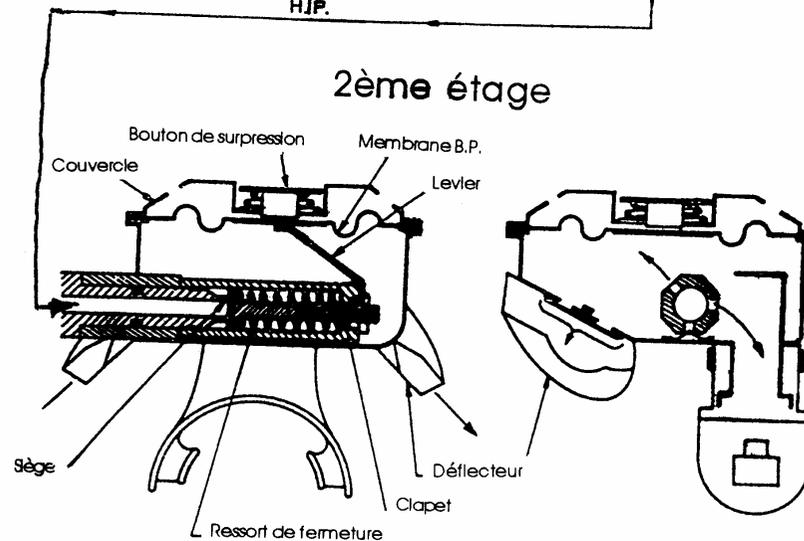
## 1er étage à piston



## 2ème étage

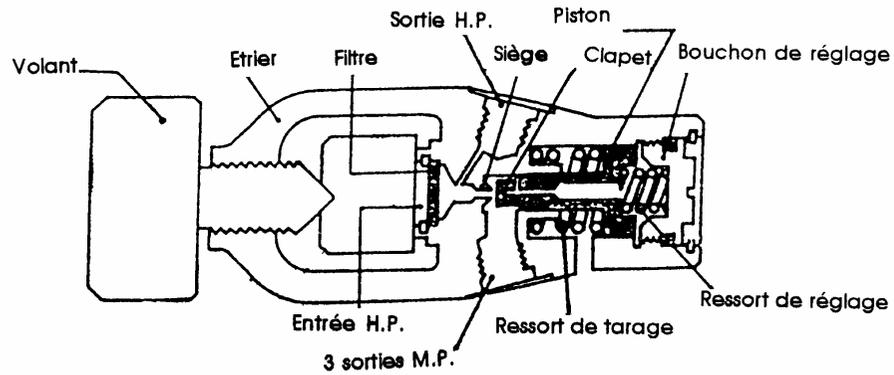


## 2ème étage

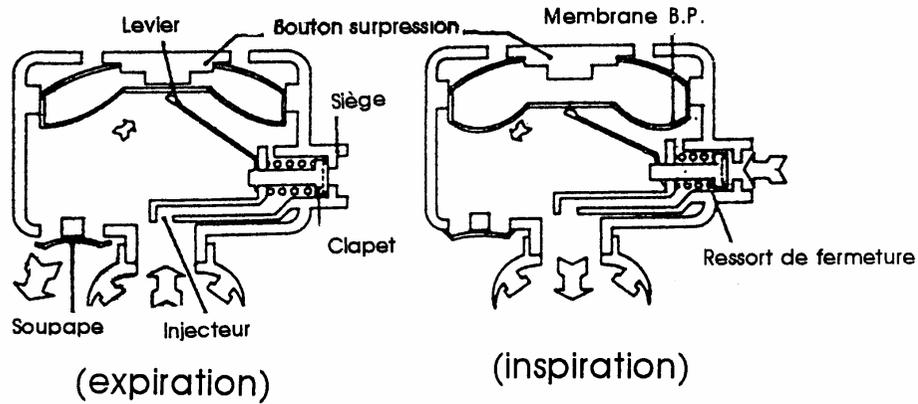


# SPIRO-CLUB

1er étage à piston non compensé

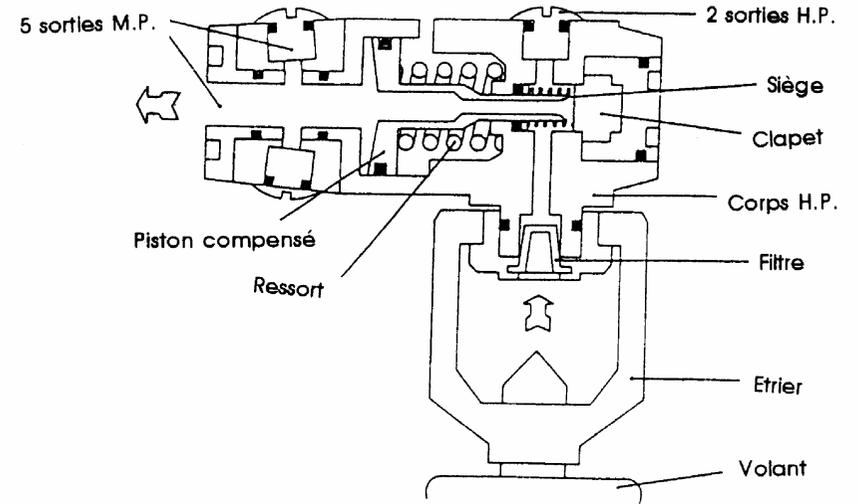


2ème étage

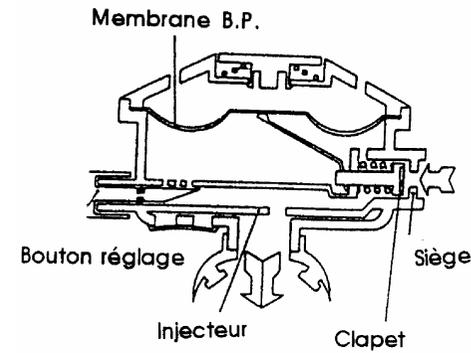


# AQUALUNG

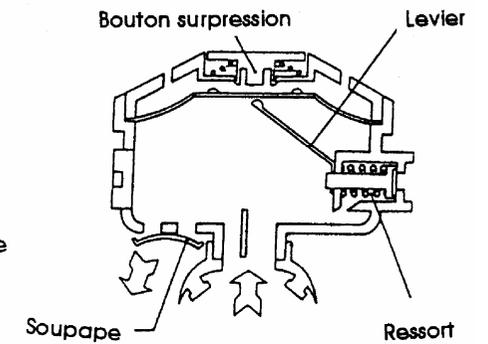
1er étage à piston compensé



2ème étage réglable (inspiration)



2ème étage XL (expiration)



## 5. LES MANOMETRES ET PROFONDIMETRES

### 5.1. Définitions

- Un **manomètre** est un appareil qui mesure la pression.
- Un **baromètre** est un appareil qui mesure la pression atmosphérique.

En plongée, un manomètre qui indique la profondeur est appelé un **bathymètre** ou un **profondimètre**.

### 5.2. Rappels

- La pression est mesurée avec les unités suivantes :
  - . bar (1 bar = 1,02 kg/cm<sup>2</sup>),
  - . mmHG (760 millimètres de mercure de moyenne au niveau de la mer),
  - . atm (1 atm = 1013 millibars = 1013 hecto Pascal = 760 mmHG),
  - . mètre d'eau (10 mètres d'eau = environ 1 bar)
- Pression absolue = Pression atmosphérique + Pression relative
- $P_1 V_1 = P_2 V_2$

### 5.3. Manomètre

- Un manomètre est gradué en bars.
- Il est taré à 0 à la pression atmosphérique ; il indique donc la pression relative (180 bars au manomètre signifie 181 bars de pression absolue)
- Le manomètre est branché sur une sortie Haute-Pression d'un premier étage d'un détendeur. Il mesure la pression d'air dans le bloc grâce à une micro-fuite (évite une perte d'air rapide lors d'une section du flexible du manomètre).

### 5.4. Baromètre

- Un baromètre est gradué en millibars ou en millimètres de mercure (mmHG).
- Il indique la pression atmosphérique ambiante (Pression atmosphérique normale au niveau de la mer = 1013 millibars).

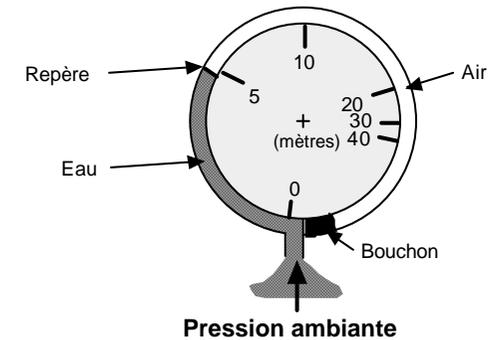
Utilité : en altitude et en météo (Si baisse de la pression atmosphérique, il y a une dépression signe de mauvais temps à venir)

### 5.5. Profondimètre ou bathymètre

### Profondimètre à capillaire

Il est composé d'un tube en verre ou en plastique, transparent, linéaire ou circulaire, fermé à une extrémité ; l'eau pénètre par l'autre extrémité et y comprime l'air. Il s'agit d'une application directe de la loi de Mariotte car le volume d'air restant est directement proportionnel à la pression absolue.

Volume d'air	Pression absolue	Profondeur (en mer)
V	P.atmos	0 m.
V / 2	2 x P.atmos	10 m.
V / 3	3 x P.atmos	20 m.



#### Avantages :

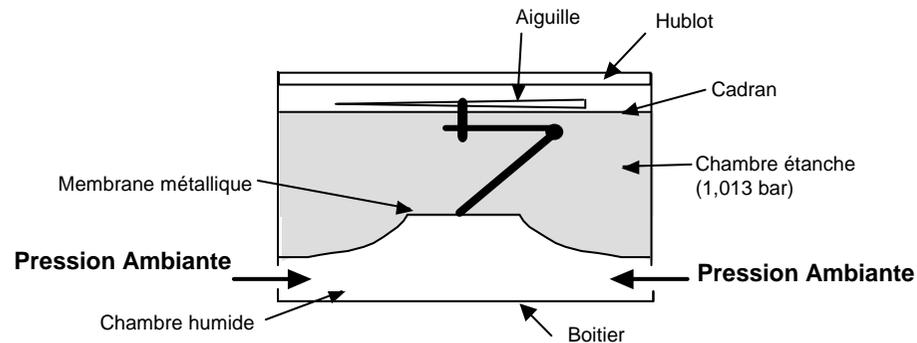
- pas de mécanisme, donc pas de dérèglement.
- économique.
- très précis entre 0 et 10 m. (pour les paliers notamment).
- en altitude, indique directement la profondeur fictive et la profondeur des paliers.

#### Inconvénients :

- imprécis dans l'espace lointain (ne pas utiliser au-delà de 20 m. de profondeur).
- en altitude, n'indique pas la profondeur réelle.
- attention à la température, il faut laisser le temps à l'air du capillaire de se mettre à la température de l'eau.

### Profondimètre à membrane

Une membrane métallique transmet la pression absolue à un mécanisme qui fait tourner une aiguille sur un cadran. La caisse dans laquelle est ce mécanisme peut contenir de l'air ou un liquide (huile).



Avantages :

- assez précis à grande profondeur.

Inconvénients :

- lecture difficile au-delà de 60 mètre (cela reste néanmoins variable suivant les modèles).
- une usure peut exister avec déformation permanente de la membrane.
- en altitude, n'indique ni la profondeur réelle, ni la profondeur fictive ; il faut tenir compte du retard.

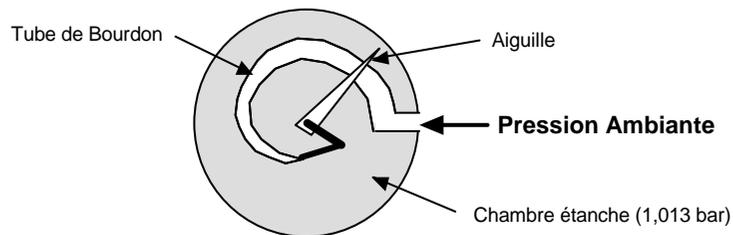
Profondimètre à tube de Bourdon (Bourdon : Physicien français né en 1849)

Il comprend un tube métallique souple et déformable en forme de point d'interrogation et de serpent, de section rectangulaire.

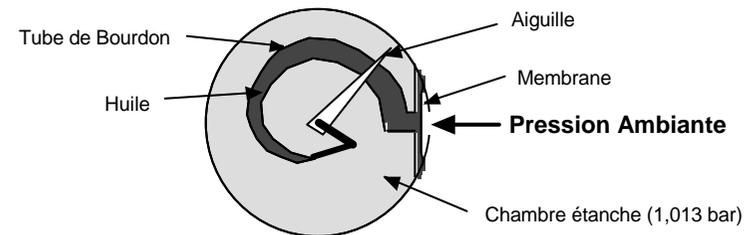
- Si la pression dans le tube est supérieure à la pression extérieure, le cercle formé par le tube se déroule.
- Si la pression dans le tube est inférieure à la pression extérieure, le cercle formé par le tube s'enroule.

Il existe des profondimètres :

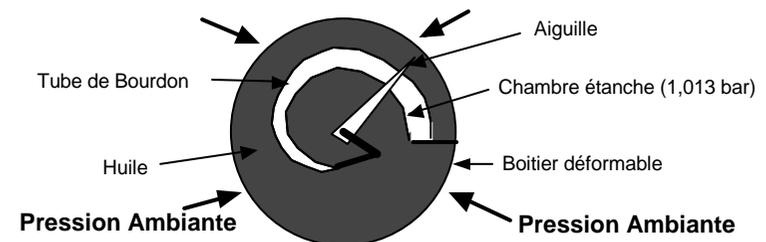
- à tube de Bourdon simple (utilisé pour les manomètres à terre),



- à tube de Bourdon et à membrane qui retransmet la pression à un liquide (huile) dans le tube,



- à tube de Bourdon fermé et à bain d'huile à l'intérieur d'un boîtier souple déformable et rempli d'huile.



Avantages et inconvénients : idem que le profondimètre à membrane

Profondimètre électronique

Il indique la profondeur en fonction de la pression absolue (comme les profondimètres à membrane ou à tube de Bourdon)

Avantage : fonctions multiples car souvent couplé à un chronomètre : profondeur précise à 10 cm près, profondeur maximale, temps d'immersion, intervalle, température, historique des plongées.

Inconvénient : Présence d'une pile à durée de vie limitée.

Remarque :

Sur les profondimètres à membrane ou à tube de Bourdon, on peut trouver :

- une aiguille traînante qui indique la profondeur maximale atteinte (si on a pensé à la remettre à zéro).
- un dispositif de remise à zéro pour supprimer le retard lors de plongées en altitude.

## 6. LES JOINTS TORIQUES

Le joint torique est la base de l'étanchéité du matériel ; détendeurs, instruments, lampes, etc... utilisent d'innombrables joints toriques.

Chaque fois que vous ouvrez votre lampe, votre appareil photo sous-marin ou votre ordinateur (à pile interchangeable), vous allez vous trouver devant des joints toriques. Le soin que vous en prendrez conditionne l'étanchéité de votre équipement.

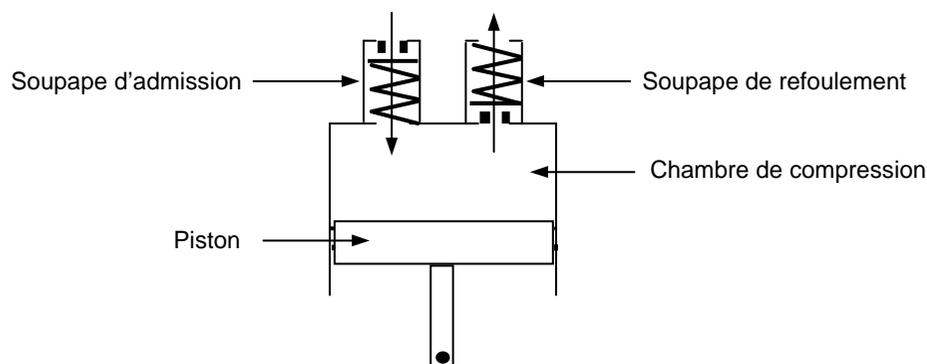
Un joint torique est un joint de section cylindrique. Il va recevoir la pression dès le début de l'immersion ; cette pression qui augmente va pousser le joint torique qui va essayer de s'enfoncer, va se déformer et se "bourrer" entre les deux pièces qui l'entourent.

Si la moindre saleté (cheveu, cil, grain de sable, de sel, ...) se trouve sur le joint, l'eau pourra passer.

Un joint torique doit être parfaitement propre, placé dans une gorge propre et prendre appui sur une surface propre ; il faut le graisser avec de la graisse au silicone pour que celui-ci puisse glisser et prendre sa place sans s'accrocher. Mais trop de graisse nuit à l'étanchéité car un paquet de graisse empêchera le joint de prendre sa place ; l'idéal est quand on voit le joint uniformément brillant.

## 7. LE COMPRESSEUR

### 7.1. Description d'un étage de compresseur



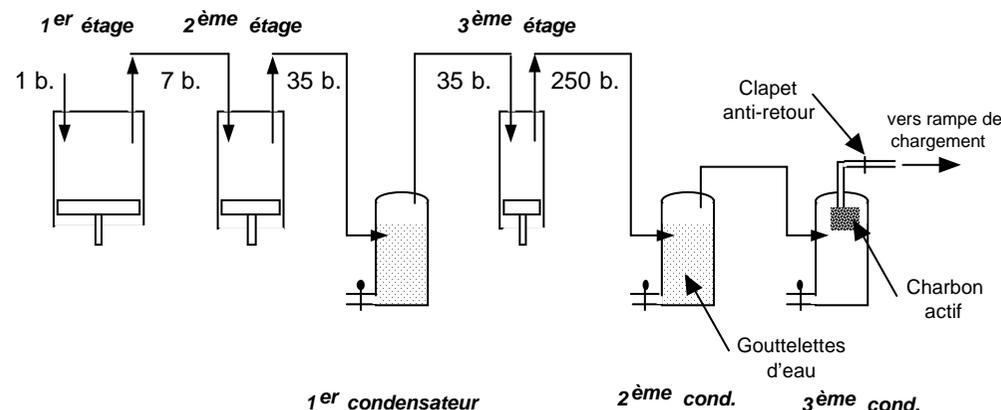
La chambre de compression et le piston sont en métal, d'où échauffement ; il faut donc huiler, tout comme un moteur thermique de voiture. L'huile est désagréable au goût et à la sensation, mais c'est surtout cancérigène au niveau alvéolaire ; il faut donc un racleur sur le piston pour enlever l'excédent d'huile sur les parois de la chambre.

### 7.2. Principe du compresseur

Les efforts à fournir pour comprimer de l'air à la pression atmosphérique et obtenir 200 ou 250 bars sont très importants. Pour faciliter cette opération, les compresseurs utilisent systématiquement trois étages successifs qui multiplient la pression de l'air par 5 à 7 : Premier étage de 1 à 7 bars, deuxième étage de 7 bars à 35 bars et troisième étage de 35 à 250 bars.

On trouve également trois condensateurs, dont le rôle est de récupérer les gouttelettes d'eau en suspension dans l'air comprimé.

Des soupapes de sécurités existent à la sortie de chaque étage et du dernier condensateur.



La liaison entre les étages du compresseur se fait par un tuyau en colimaçon pour faire baisser la température.

Toutes les 6 à 8 minutes, il faut ouvrir le clapet des condensateurs pour faire sortir l'eau qui s'y accumule ; les condensateurs sont à rééprover.

Le charbon actif est contenu dans une petite bouteille ; la cartouche de charbon actif doit être changée toutes les 9 à 15 heures (coût : 350 à 1400 F par cartouche).

Le flexible de la rampe de chargement doit être changé tous les ans.

#### 7.2.1. Les filtres

- à l'aspiration : air, poussières.
- intermédiaires : entre les étages, pour l'eau de condensation.
- séparateur huile-eau : par projection mécanique du gaz sur des parois plus froides.
- épurateur : particules d'huiles retenues par charbon actif, à changer régulièrement.

- à sec (pas toujours) : vapeur d'eau

### 7.2.2. Les huiles

Les huiles permettent de lubrifier les pièces métalliques en mouvement.

Il s'agit d'huiles minérales de 1ère qualité, spécialement utilisées pour les compresseurs de plongée, proposant une bonne protection contre la corrosion, avec une cokéfaction minimale (transformation en coke par action de la chaleur : la calamine).

### 7.3. La bouteille tampon

Les bouteilles tampons sont des réservoirs d'air comprimé à haute pression.

Objectif : gonfler les bouteilles de plongée très rapidement.

### 7.4. L'optimisation du gonflage

Gonfler successivement :

1. sur tampon à la pression la plus faible,
  2. sur tampon à la pression immédiatement plus grande, etc...
- Terminer sur le tampon à la pression la plus élevée.

### 7.5. Sécurité et réglementation xxx PasAJour

- Attention à l'emplacement de la prise d'air : pas sous le vent des gaz d'échappement du moteur, pas dans la cale fermée d'un bateau.
- Attention à la qualité de l'air d'admission : gaz, poussières, humidité, ...
- L'utilisateur d'un compresseur en est responsable : contrôles, entretien, visites, réparations, changements de pièces.
- Décanteur d'huile et bouteille tampons à faire rééprouver par le service des Mines :
  - . tous les 5 ans si mobiles
  - . tous les 10 ans si fixes
- Tenir une consigne indiquant: mode d'utilisation, précautions à prendre, vérifications à effectuer, révisions périodiques, dates de changement à opérer (charbon actif,...)
- Noter les heures et dates d'utilisation
- Dossier à disposition du service des Mines
- Ne jamais gonfler une bouteille :
  - . non contrôlée par le service des Mines
  - . dont la date de ré-épreuve est dépassée
  - . à une pression supérieure à celle indiquée
  - . réserve haute.

Contrôles à effectuer avant de charger :

- 1 - Niveau d'huile.

- 2 - Date des filtres charbon.
- 3 - Flexibles (aspect, date, doivent être attachés).
- 4 - Etat du filtre d'aspiration.
- 5 - Vidange de toutes les purges.
- 6 - Lors de la montée en pression du système, vérifier l'absence de fuites d'échauffement ou de bruit anormal..
- 7 - Pour chaque bloc, toujours purger l'eau qui est dans les sorties d'air des blocs (embruns, ...) avant de charger ; s'il y a deux sorties, purger les deux (même si on ne gonfle pas par la deuxième sortie). Il faut donc garder au minimum 10 bars à la fin de la plongée.
- 8 - Pour chaque bloc, vérifier l'état de la bouteille (joint, peinture, robinetterie, ...), la conformité à la réglementation (T.I.V., ré-épreuve) et baisser la réserve.
- 9 - Ouvrir la bouteille quand il y a assez de pression dans le flexible de chargement (180/200 bars) ; car si on ouvre la bouteille à 100 bars et qu'il reste 120 bars dans la bouteille, il y a risque de retour dans la cartouche de charbon et d'inversion des soupapes (même s'il y a un clapet anti-retour).
- 10 - Pendant le gonflage, ouvrir les purges pendant quelques secondes toutes les 10 minutes pour allonger la durée de fonctionnement des filtres.
- 11 - Fermer la vanne, fermer les robinets de conservation, ouvrir la purge, dégréer la bouteille et lever la réserve.
- 12 - Purger l'épurateur.

### 7.6. Exercices

#### Exercice 1:

Gonflage de 20 scaphandres de 12 litres à 200 bars avec un groupe de 9 tampons de 50 litres isolés 3 par 3, à la pression de 250 bars. Comment optimiser au mieux le gonflage ? Donnez les pressions finales des tampons.

Réponse : \* .xxxPasAJour  
\* .

#### Exercice 2:

On dispose de 3 tampons de 30 litres, gonflés à 200 bars. On veut gonfler une bouteille de 15 litres à 190 bars, sachant qu'elle a actuellement une pression de 20 bars.

Réponse : \* Utilisation des 3 tampons simultanément :

$$\frac{3 \times 200 \times 30 + 20 \times 15}{3 \times 30 + 15} = 174,28 \text{ bars}$$

Donc l'objectif n'est pas atteint.

\* Utilisation des 3 tampons successivement :

- 1er tampon :

$$\frac{200 \times 30 + 20 \times 15}{30 + 15} = 140 \text{ bars}$$

- 2ème tampon :

$$\frac{200 \times 30 + 140 \times 15}{30 + 15} = 180 \text{ bars}$$

- Il faut 190, donc volume à rajouter dans la bouteille :  
 $10 \times 15 = 150$  litres : à prélever sur le 3ème

tampon

- Pression restante dans le 3ème tampon :

$$\frac{200 \times 30 + 150}{30} = 195 \text{ bars}$$

# MATELOTAGE

## CHAPITRE 22 : MATELOTAGE

### 1. JUSTIFICATION

Un Prépa NIV en stage (mais également un NIV !) ne doit pas être un passager sur un bateau. Il devra s'affranchir des diverses manoeuvres inhérentes à la navigation : largage des amarres, rangement des défenses, mouillage, accostage, noeuds de sécurité.

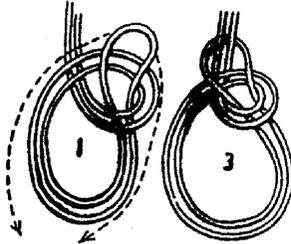
### 2. TERMINOLOGIE ET DEFINITIONS

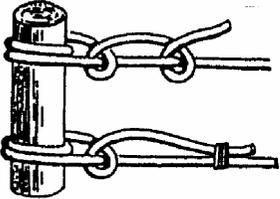
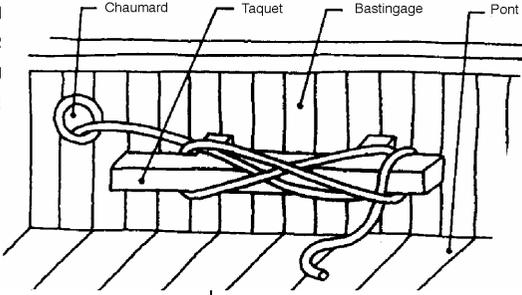
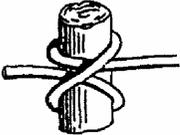
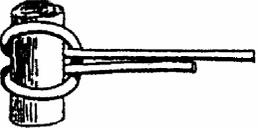
Aborder	: Toucher un autre bateau
Abri	: Port où des personnes peuvent être débarquées en toute sécurité
Accoster	: Se mettre à quai
Amarrer	: Attacher le bateau avec une amarre (un bout)
Amers (ou enseignures ou alignements)	: Croisement de 2 alignements permettant de retrouver un point précis au large d'une côte.
Ancre	: Le modèle classique est composé de deux pattes, dont l'une se pique dans le sol, et d'un jas orthogonal aux pattes.
Appareiller	: Quitter le lieu où l'on est
Assurer l'ancre	: Crocher l'ancre sur le fond
Assurer un bout	: Faire un noeud qui le maintienne en place
Aussière	: Bout de forte section
Au vent de ...	: En amont du vent par rapport à ...
Bâbord	: Gauche (en regardant vers l'avant)
Balcon	: Rambarde au-dessus du pont ou du bastingage
Barre	:
Bitte	: Pièce de métal ou de bois solidement fixée verticalement sur le quai ou le pont, autour de laquelle on amarre un bout
Bout	: Tout cordage (le mot "ficelle" est interdit !)
Câblot	: Cordage du mouillage
Cap	: Direction à suivre
Chasser	: L'ancre glisse (n'ayant pas accroché), le bateau chasse. Il faut reprendre (tirer le bout) ou choquer le mouillage
Chaumard	: Guide, encoche ou trou du bastingage où passent les amarres ou le mouillage.
Choquer	: Donner du mou à un bout
Corps-mort	: Objet très lourd ou solidement fixé au fond, remplaçant l'ancre et relié : soit à la surface par un bout et une bouée (ou coffre), soit au quai par une chaîne.
Déborder	: Repousser le quai, un bateau, ...
Déraper	: Décrocher l'ancre du fond, mouillage vertical
Dormant	: Extrémité libre d'un bout.

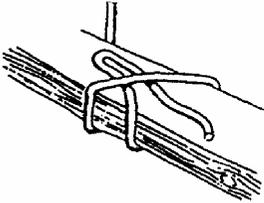
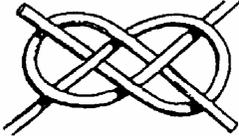
Drisse : Bout de faible section servant à hisser voiles et pavillons  
 Eclaircir : Ranger, nettoyer (le pont ou un cordage par exemple)  
 Ecoper : Vider l'eau du bateau  
 Ecoute : Bout de faible section servant à régler les voiles  
 Faire tête : Mettre le bateau bout' au vent, le mouillage ayant bien croché  
 Frapper un bout sur ... : faire un noeud sur ... , qui le fixe  
 Gaffe : Long bâton en bois ou en aluminium, terminé par une pointe et un crochet, servant à repousser ou à crocheter  
 Gîte (= roulis) : Inclinaison de côté du bateau  
 Grappin : Petite ancre à 4 pattes sans jas  
 Guindeau : Treuil servant à relever l'ancre (ou mouillage)  
 Larguer : Lâcher, laisser filer  
 Lover : Enrouler un cordage  
 Mille : 1 mille marin = 1852 mètres (= 1 minute d'angle de la circonférence terrestre)  
 Mouiller : Jeter l'ancre, ancrer  
 Noeud : Vitesse de 1 mile à l'heure = 1,852 km/h  
 Pare-battage (ou défense) : Boudin de chaque coté du bateau pour protéger la coque des chocs extérieurs (quai ou autres bateaux)  
 Poupe : Arrière du bateau  
 Proue : Avant du bateau  
 Raidir (ou embraquer ou reprendre) : Tendre un bout pour reprendre le mou et le fixer  
 Rouler : Remuer d'un bord à l'autre (houle)  
 Se mettre à couple : Se placer bord à bord d'un autre bateau  
 Sous le vent de ... : En aval du vent par rapport à ...  
 Taquet : Pièce de bois ou de métal fixée au bastingage, au pont ou au mât pour amarrer un bout.  
 Tanguer : Remuer de l'avant à l'arrière (houle)  
 Tirant : Extrémité du bout, accrochée au bateau, on ne peut avoir d'action sur elle.  
 Touligne : Ligne légère, munie d'une pomme à son extrémité, qui permet de le lancer loin avec précision.  
 Tribord : Droite (en regardant vers l'avant)

### 3. LES NOEUDS

#### 3.1. Les noeuds d'amarrage

Nom	Utilité	Avantage / Inconvénient	
		Avantage	Inconvénient
Noeud de chaise 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le plus utile de tous</li> <li>- transport d'un blessé assis (il s'assoit dans la boucle)</li> <li>- amarrage à un anneau, une bitte, un mât, ...</li> <li>- attacher une bouée, une gueuse, ...</li> <li>- à savoir faire très vite, les yeux fermés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le meilleur : très solide, très sûr, facilement largable même mouillé ou sous tension</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- une ma...</li> <li>- tient te...</li> <li>- l'autre n...</li> <li>- libre, la...</li> <li>- l'annea...</li> <li>- l'avant...</li> <li>- rotation...</li> <li>- de la m...</li> <li>- constitu...</li> <li>- lâche a...</li> </ul>
Noeud de chaise double 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- travaux de longue durée</li> <li>- transport d'un blessé couché (une boucle sous les aisselles, l'autre sous les cuisses ou les genoux)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- avec les...</li> <li>- derrière...</li> <li>- et tirer...</li> <li>- poigne...</li> <li>- plier un...</li> <li>- un noe...</li> <li>- deux b...</li> <li>- on obtie...</li> <li>- que l'or...</li> <li>- assurer...</li> <li>- du noe...</li> </ul>
Demi-clef 		<ul style="list-style-type: none"> <li>- les deux boucles ne sont pas réglables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demi-n...</li> <li>- sont ge...</li> <li>- sens</li> </ul>

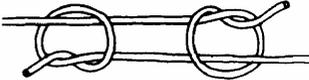
<p>Tours morts et deux demi-clefs</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- saisir un espar</li> <li>- amarrage à une bitte ou un mât</li> <li>- brelage (assemblage de deux pièces de bois par exemple)</li> <li>- à ne pas faire à un anneau</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- faire un tour par deux de dernière per permettre d vite.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- si amar on peut demi-c cabesta</li> </ul>
<p>Noeud de cabestan Demi-clef à capeler (?)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- saisir un espar</li> <li>- amarrage à une bitte ou un mât</li> <li>- brelage (assemblage de deux pièces de bois par exemple)</li> <li>- à ne pas faire à un anneau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- difficile à défaire tendu et mouillé</li> <li>- le compléter par 2 demi-clefs pour éviter le serrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sur une bitte</li> <li>- bras croisés, saisir le bouts avec les 2 mains</li> <li>- décroiser les bras</li> <li>- décroiser le bas</li> <li>- décroiser le haut</li> <li>- poser le noeud sur une bitte, tendre et au besoin terminer par 2 demi-clefs</li> <li>* Sur un mât</li> <li>- faire un tour</li> <li>- le bouc du bord</li> <li>- les deux bouts</li> <li>- être in</li> <li>- terminer avec 2 demi-clefs</li> </ul>  		<ul style="list-style-type: none"> <li>- peut être fait sur un objet lisse</li> <li>- ne tient qu'en traction permanente</li> <li>- si l'objet est lisse, on pourra défaire le noeud de loin, en tirant sur une des extrémités</li> <li>- ne tient que si l'on tire simultanément sur les deux brins</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- faire un tour</li> <li>- passer la boucle</li> <li>- faire un tour</li> <li>- ressortir la boucle</li> </ul>
<p>Tours de taquet</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- amarrer un bout au taquet d'un bateau</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- prendre un tour de taquet,</li> <li>- choquer ou raidir,</li> <li>- faire 2 ou 3 tours croisés</li> <li>- terminer avec une demi-clef</li> </ul>			

<p>Noeud de drisse Noeud de batelier</p> 		<ul style="list-style-type: none"> <li>- peut être largué instantanément</li> <li>- ne tient que si l'objet est rugueux ou a des angles vifs, et s'il y a traction permanente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tour me l'extrémité dans le tour</li> </ul>  <p>Noeud de carrick</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- beau, solide et pratique</li> <li>- ne se serre pas quand il est mouillé</li> <li>- assez difficile à défaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- un bou</li> <li>- avec l' passe brin de sous la sous la</li> </ul>
			<p>Noeud de ris</p>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- noeud</li> </ul>

### 3.2. Les noeuds reliant deux cordages : noeuds d'ajut

#### 3.2.1. Cordages de même diamètre :

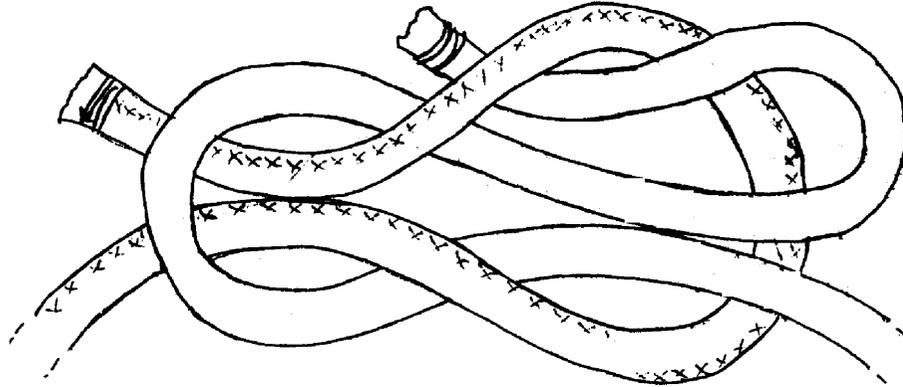
#### 3.2.2. Cordages de diamètres différents

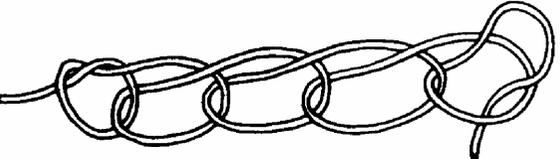
Nom	Utilité	Avantage Inconvénient	Technique Nom	Utilité	Avantage Inconvénient	
<p>Noeud plat</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- terminer un amarrage</li> <li>- réunir deux cordages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- permet de séparer plus facilement les deux cordages que le noeud de vache</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- superposition de deux noeuds simples, mais dont les brins sortent</li> </ul> <p>Noeud d'écoute simple Noeud de tisserand</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hisser un pavillon sur une drisse</li> <li>- fixer un filin sur une boucle, un oeil ou un cosse</li> <li>- lier un bout à une manille</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- se serre à la traction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- avec le ganse</li> <li>- avec le dans la et pass</li> </ul>
<p>Noeud de vache</p> 		<ul style="list-style-type: none"> <li>- moins solide que le noeud plat s'il n'est pas tendu</li> <li>- serré, il est très difficile à défaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- c'est celui que l'on fait quand on rate un noeud plat</li> </ul> <p>Noeud d'écoute double</p> 		<ul style="list-style-type: none"> <li>- plus solide que le simple</li> <li>- plus facile à défaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la tract</li> <li>- Idem q faisant la gans</li> </ul>
<p>Noeud de pêcheur</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fils de pêche par exemple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- très dur à défaire</li> <li>- noeud presque définitif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les deux bouts sont coté à coté, brins inversés</li> <li>- on fait chaque bout et on tire.</li> </ul> <p>Deux demi-clefs et génopés</p> 			
<p>Noeud d'agui</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- excellent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 noeuds de chaise pris l'un dans l'autre</li> </ul> <p>Noeud d'agui</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- le plus sur : tient en toutes circonstances</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 nou dans l'</li> </ul>



### 3.3. Les noeuds d'arrêt

Noeud de ris :

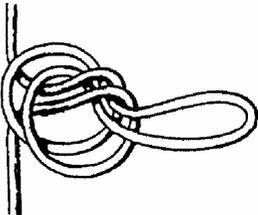
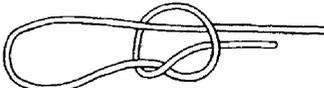
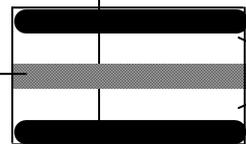
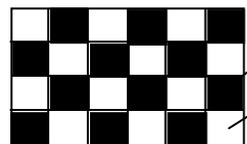
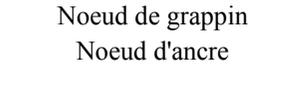


Nom	Utilité	Avantage Inconvénient	
Demi-noeud 	- à l'extrémité d'une manoeuvre courante pour l'empêcher de dépasser la poulie ou le margouillet qu'elle traverse. - fixer provisoirement un cordage qui n'aura pas à forcer.	- difficile à défaire	
Noeud en huit 	- Idem Demi-noeud	- le meilleur car ne se serre pas	- à l'extrémité un noeud passant de rente
Noeud de capucin 	- Idem Demi-noeud	- se serre, possible seulement pour les petites écoutes	- comme tourner et tirer.
Noeud de chaînette 	- Ranger un long bout fin, en lovant ensuite la chaînette	- quand on tire, aucun noeud ne subsiste	- c'est un coulant - pour le brin da

### 3.4. Les noeuds spécifiques



- à compléter par une gènepe  
- noeud définitif

Nom	Utilité	Avantage Inconvénient	Technique
Noeud de plein poing 	- isoler une partie de bout abîmée	- difficile à défaire	<b>4. LE BATEAU DE PLONGEE xxxPasAJour</b> - noeud simple fait avec le bout gansé au niveau de la derplongée est un bateau de 5ème catégorie (appelé catégorie C depuis le 16 Juin 1996) ; il est limité à moins de 5 miles d'un abri et doit avoir une capacité permettant de réserver au minimum 0,8 m <sup>2</sup> par plongeur. Il doit résister en toute sécurité à une mer de 2 mètres et un vent de force 6.  <b>4.1. Equipement</b> Le matériel de sécurité obligatoire pour un bateau de 5ème catégorie se compose de
Noeud de jambe de chien 	- raccourcir un bout sans avoir accès aux extrémités - raccourcir sans couper		- faire deux ganses opposées et tendre - engins flottants correspondant au nombre de personnes - passer la plus grande gaine par personne + 10% - passer la plus petite gaine dans une boucle (en fer ou en fer à cheval) sur le bout tendu - 1 trousse de secours - pavillon national et pavillon alpha - pavillons C (charlie) et N (november) : détresse / demande d'assistance lorsqu'il se trouvent hissés ensemble en haut du mas, N au dessus de C.
Noeud coulant simple 			- noeud simple gansé <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>Charlie (Oui)</b></p>  <p>Rouge</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>November (Non)</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Bleu</p> <p>Blanc</p> <p>Bleu</p> </div> </div>
Noeud de laguis 	- relever		- noeud de chaise coulant - 1 corne de brume - 1 compas de route - 1 lampe étanche - 1 boule noire de mouillage - 1 aviron ou 2 pagaies
Noeud de grappin Noeud d'ancre 	- relie le bout à la chaîne de mouillage ou à anneau d'une ancre		- 1 taquet de remorquage - 1 filin de remorquage (20 mètres minimum) - 1 gaffe - 1 barre franche

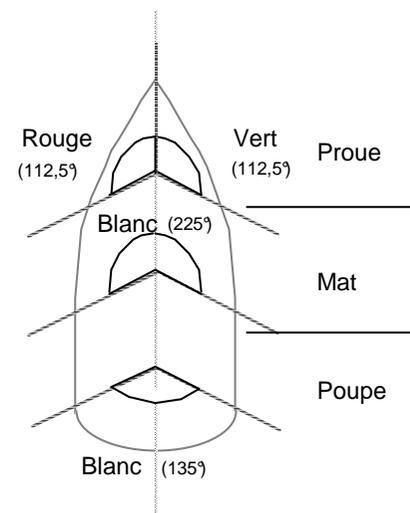
- 3 feux rouges à main
- 2 ancres
- 1 écope
- 1 carte de la région
- 1 coupe-circuit
- 1 jeu d'outils de démontage
- 1 injecteur ou bougies de rechange
- 1 courroie de rechange
- 1 ou 2 extincteurs
- acte de francisation
- permis A
- plaque du fabricant

A ce matériel de sécurité obligatoire pour un bateau, se rajoute également le matériel de sécurité spécifique à la plongée :

- VHF sur le bateau et téléphone au centre
- Matériel d'oxygénothérapie (bouteille de 5 litres minimum avec manodétendeur, masques faciaux et 2 insufflateurs)
- Pharmacie avec 2 litres d'eau douce, aspirine, ciseaux, compresses, pince à épiler, pansements, coton, gaze, éther, antiseptique.
- Bloc de secours gréé avec détendeur
- Echelle de remontée + mousqueton + pendeurs + bonets
- Moyen de rappel des plongeurs en immersion
- Liste avec les numéros de téléphone de : caisson, pompiers (18), C.R.O.S.S., police, gendarmerie maritime, médecin (15).
- Tables de plongées
- Papier et stylo-bille
- Si possible, une annexe

## 4.2. Feux

Les feux de navigation de nuit sont :



Au mouillage, éteindre les feux de navigation et mettre une lampe blanche visible sur 360° en haut du mat.

Lors des plongées de nuit, mettre les feux des navires à capacité de manoeuvre limitée : rouge, blanc, rouge verticalement sur le mat.

## 4.3. Mouillage

Il est composé d'un câblot (cordage), d'une chaîne et d'une ancre

### 4.3.1. Le câblot

Sa longueur doit être au minimum de 3 fois en Méditerranée et 5 fois en Atlantique la hauteur d'eau sous le bateau.

Son diamètre doit être de 14 mm pour un bateau de moins de 6,50 mètres et de 18 mm pour un bateau de moins de 9 mètres.

### 4.3.2. La chaîne

Sa longueur doit être au minimum de 1,5 fois en Méditerranée et 2 fois en Atlantique la longueur du bateau (avec un minimum de 10 mètres)

Son diamètre doit être de 8 mm pour un bateau de moins de 6,50 mètres et de 10 mm pour un bateau de moins de 9 mètres.

Le rôle de la chaîne est de faire travailler l'ancre à plat et d'amortir le mouvement de la houle et du câblot.

### 4.3.3. L'ancre

Le poids de l'ancre doit être au minimum de 10 kilos pour un bateau de moins de 6,50 mètres et de 12 kilos pour un bateau de moins de 9 mètres.

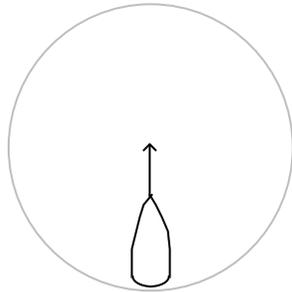
Il existe différents types d'ancres :

- grappin classique : faible encombrement, pour les petites embarcations
- grappin parapluie : pour les pneumatiques
- Danforth ou Fob : pour les fonds de rochers
- CQR ou charrue : pour les fonds de sables
- Marrel : pour les grosses unités (embarcations)

### 4.3.4. Les différents types de mouillage

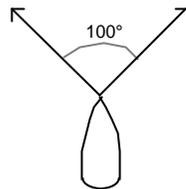
- mouillage classique avec cercle d'évitage :

Par petits fonds : on lâche 3 fois la profondeur par temps calme (4,5 à 6 fois par gros temps).



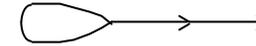
- affourchage :

Par vent très fort ou pour un mouillage de longue durée : 1 mouillage à bâbord et 1 à tribord espacés d'un angle de 100°.



- empennelage :

Par vent très fort ou pour un mouillage de longue durée : 1 mouillage de sécurité devant le mouillage principal.



- embossage :

Lorsqu'un grand cercle d'évitage est impossible : 1 mouillage à la proue et 1 à la poupe.



## 5. REGLEMENTATION

### 5.1. Permis

Depuis le 1er Janvier 1994 :

- carte mer : navigation de jour, à moins de 5 miles d'un abri, puissance moteur de 6 à 10 ch.
- permis mer côtier : toute navigation dans la limite de 5 miles d'un abri
- permis mer hauturier : toute navigation sans limite de distance

### 5.2. Règles de base de navigation

- Vitesse maximum dans un port : 3 noeuds
- Chenal tribord pour entrer ou sortir d'un port
- Vitesse maximum hors du port, dans la bande fictive de 300 mètres par rapport à la côte : 5 noeuds (sauf chenal spécial)
- Priorité à tribord excepté pour les navires privilégiés (en train de pêcher ou marche à la voile)
- Si face à face, chacun s'écarte sur son tribord
- Dépassement indifférent à bâbord ou à tribord

Le pavillon Alpha doit être rigide, multidirectionnel et doit se trouver au-dessus d'un support de 1,50 mètres. Il indique que des plongeurs se trouvent autour du bateau et impose une vitesse maximum de 3 noeuds dans une zone de 100 mètres de rayon autour. Si un bateau aperçoit des bulles, il doit débrayer en attendant que les bulles s'éloignent.

Ne pas naviguer avec le pavillon Alpha hissé.

### 5.3. Demande d'assistance

Pour effectuer une demande d'assistance, il faut utiliser :

- coup de feu,
- corne de brume,
- sifflet, cloche,
- feux à main,
- fumigène,
- fusées à parachute,
- pavillons N et C (placé verticalement, N au-dessus de C),
- pavillon + boule de mouillage,
- émission S.O.S.,
- émission de Mayday sur Canal VHF 16 vers d'autres navires et le C.R.O.S.S.,

# SECOURISME

## CHAPITRE 23 : RANIMATION ET OXYGENOTHERAPIE

### 1. VIGILANCE - ETAT DE CHOC

#### **1.1. Vigilance**

Définition : Etat de veille d'un organisme dans lequel les facteurs de sécurité sont intacts.

Examen initial de la victime :

- Degré de conscience.
- Ventilation ?
- Circulation ?
- Réaction à la douleur ?
- Etat des pupilles.
- Couleur peau.

Quatre stades de vigilance :

- Evanouissement : victime inconsciente pendant une durée brève, mais ventilation non arrêtée.
- Perte de connaissance : victime inconsciente pendant plus d'une minute, avec ventilation non arrêtée.
- Syncope bleue : arrêt bref ou prolongé de la ventilation (victime violacée).  
Syncope blanche : arrêt bref ou prolongé de la ventilation et de la circulation (victime pâle, livide).
- Coma : victime inconsciente pendant une longue durée, mais ventilation non arrêtée.

#### **1.2. Etat de choc**

Perturbations provoquées par une absence d'alimentation des cellules en oxygène (de type circulatoires, ventilatoires, digestives ou nerveuses).

La victime présente alors une très grande angoisse, car elle a peur de mourir : yeux éteints, respiration superficielle et rapide, pouls rapide, peau pâle froide et moite, sueurs, nausées.

\* Conduite à tenir :

- Déterminer et faire cesser la cause possible du choc.
- Coucher le blessé à l'horizontal (en P.L.S. s'il est inconscient).
- Eviter le refroidissement et assurer son confort physique et moral.
- Evacuer d'extrême urgence à l'hôpital.

- Ne jamais donner à boire à un blessé.

## 2. INTERVENTION DU SECOURISTE

L'intervention du secouriste est exposée ici de façon générale ; elle est valable dans tous les cas et pas seulement pour des accidents de plongée. Elle consiste en quatre points successifs:

### **Protéger - Examiner - Alerter - Secourir**

### **Protéger - Examiner - Alerter - Secourir**

Mais avant tout cela, le plus important est de garder son sang froid, de ne pas paniquer et de rester calme quelque soient les circonstances.

#### **1) Protéger**

Qui ?

Soi-même, le ou les victimes, les badauds.

De quoi ?

De l'aggravation de l'accident, du sur-accident, de l'incendie

Comment ?

Sur la route, se garer convenablement : balisage, feu de détresse, triangle (plus de 200 m., dans les deux sens), couper le contact des véhicules en cause, ne pas fumer.

En cas d'incendie, attaquer tout de suite les flammes avec un extincteur dont le mode d'emploi est à lire avant, se baisser au ras du sol, fermer les portes et les fenêtres.

Pour les accidents de plongée, il faut sortir la victime de l'eau et la mettre en sûreté sur le bateau ou le quai.

#### **2) Examiner**

Ø Etablir le degré de conscience de la victime : Questions - Réponses.

Lui demander son nom, son adresse, les circonstances de l'accident, etc...

Si pas de réponse, lui demander de serrer la main ou de faire un geste.

Pincer le bras de la victime. Donner une petite claque.

Ø Vérifier le fonctionnement de l'appareil ventilatoire :

Coller sa joue à la bouche et au nez de la victime pour détecter un flux d'air chaud éventuel et poser la main sur la poitrine.

En cas d'absence de ventilation, faire immédiatement deux insufflations fortes en Bouche à Bouche.

Ø Vérifier le fonctionnement de l'appareil circulatoire :

Prendre le pouls carotidien.

Ø Chercher de possibles hémorragies ou fractures sous les vêtements.

#### **3) Alerter**

Quand ?

Après le bilan rapide effectué précédemment.

Qui ?

Sapeurs Pompiers (18) ou SAMU (15) ou Police - Gendarmerie (17).

En mer, alerter le C.R.O.S.S. (Canal 16 sur la VHF)

Comment ?

Demander à un passant, un automobiliste ou un copain.

Utiliser un téléphone (gratuit à partir des cabines publiques ; connaître les numéros de téléphone utiles avant !) ou les bornes sur autoroute.

De quoi ?

Il faut que le message soit net, concis et complet.

Indiquer : origine de l'appel (qui suis-je ? ou suis-je ?), le type et le lieu précis de l'accident, le nombre et l'état apparent des victimes et les risques particuliers.

Une règle d'or : ne jamais raccrocher le premier.

#### **4) Secourir (rapidement et avec calme)**

Rechercher toutes les victimes en questionnant si nécessaire.

Couvrir la(les) victime(s).

Ne rien donner à boire (SAUF ACCIDENT DE DECOMPRESSION).

Surtout ne pas déplacer, sauf en cas de danger immédiat (feu, chute,...).

Observer attentivement la victime (attention aux hémorragies cachées par les vêtements) et compléter le bilan.

Ne rien faire si on est pas sûr de ses gestes ; ne pas jouer au médecin.

Si la victime est consciente, la rassurer, lui parler, lui tenir la main.

Si la victime est inconsciente, prendre les mesures suivantes :

<i>FONCTION VENTILATOIRE</i>	<i>FONCTION CIRCULATOIRE</i>	<i>GESTES A ACCOMPLIR</i>
OUI	OUI	Mise en P.L.S.
NON	OUI	L.V.A. B.à B. Oxygénothérapie
NON	NON	L.V.A. B.à B. et M.C.E. Oxygénothérapie

En cas d'hémorragie, si la plaie est accessible et sans corps étranger, effectuer une compression directe avec les doigts ou la main au niveau de la plaie. Dans le cas contraire, effectuer un des points de compression (carotide à la base du cou, derrière la clavicule, pli de l'aîne). Le garrot doit être banni sauf cas de force majeure ou si les méthodes précédentes sont impossibles à réaliser efficacement.

En cas de brûlures, arroser abondamment par ruissellement d'eau fraîche pendant plusieurs minutes.

En cas de fracture, s'il n'y a pas de risque de sur-accident, faire le bilan des lésions sans déplacer la victime et attendre les secours médicalisés.

### **3. METHODE DE RANIMATION**

#### **3.1. Position latérale de sécurité (P.L.S.)**

A faire en cas de perte de connaissance lorsque la victime respire.

- Chaque fois que cela est possible, isoler la victime du sol par une toile, couverture, ...
- La victime est allongée sur le dos.
- S'agenouiller d'un côté de la victime, écarté du corps le bras de la victime le plus proche de soi en angle droit et mettre le bras opposé sur la poitrine.
- Mettre une de ses mains sur la hanche opposée et l'autre sur l'épaule opposée.
- Mettre tout doucement la victime sur le côté en la tirant vers soi.

- Lui coincer la cheville supérieure dans le creux du genou et la caler avec le genou supérieur.
- Rabattre légèrement la tête vers l'arrière.
- Ouvrir la bouche et surveiller la victime.

#### **3.2. Libération des voies aériennes (L.V.A.)**

- Libérer la victime en défaisant éventuellement cravate, chemise. En plongée enlever la combinaison (Ne pas hésiter à couper si nécessaire).
- Bascule de la tête en arrière sans brutalité pour mettre la tête en hyperextension.
- Ouverture de la bouche.
- Extraire de la bouche, avec deux doigts recouverts d'un morceau de tissu, des objets solides, demi-solides, ou liquides.

#### **3.3. Bouche à bouche (B.à.B.)**

A faire lorsque la respiration est inexistante ou très faible (moins de 6 ventilations par minute). Tester la respiration toutes les 3 à 4 insufflations.

- Libérer les voies aériennes.
- Mettre une main sur le front et pincer le nez.
- Mettre l'autre main sur le menton et maintenir la mâchoire ouverte.
- Insuffler rapidement (2 insufflations rapides et ensuite 15 insufflations par minute, soit une toutes les 4 secondes) en vérifiant que le thorax se soulève.
- Vérifier l'expiration.
- Remplacer dès que possible par l'oxygénothérapie à 15 litres/min.

Le sauveteur doit respirer normalement à vitesse normale et à volume normal ; il ne faut pas inspirer plus pour la victime

#### **3.4. Massage cardiaque externe (M.C.E.)**

- Mettre la victime impérativement sur une surface plane et dure.
- Relever brusquement les deux jambes, les remettre à plat et vérifier la circulation.
- Mettre la tête en hyperextension (comme le bouche à bouche).
- Placer le talon (bas de la paume) d'une main au tiers inférieur du sternum.
- Placer l'autre main au-dessus de la première et relever les doigts.
- Exercer sur la poitrine de la victime une compression verticale de 4 à 5 cm de hauteur sans plier les coudes environ 80 fois par minute (compter un et deux et trois ...).
- Rythme si bouche à bouche et massage cardiaque externe simultané :  
A un sauveteur : 2 BAB + 15 MCE + 2 BAB + 15 MCE + 2 BAB + ...  
A deux sauveteurs : 2 BAB + 5 MCE + 1 BAB + 5 MCE + 1 BAB + ...
- Il ne faut plus déplacer la victime et ne s'arrêter qu'à l'arrivée des secours ; en aucun cas, il ne faut statuer sur l'état de vie ou de mort de l'accidenté.

#### **3.5. Oxygénothérapie**

## Buts :

- Lutter contre le manque d'oxygène dans les tissus (syncopes après apnées, noyades, accidents de décompression, etc...).
- Permettre une meilleure élimination de l'azote par les poumons.

L'administration d'oxygène aux plongeurs victimes d'accident est indispensable. On ne doit pas attendre l'aggravation des signes, d'autant que cet oxygène ne présente aucune contre-indication chez le plongeur. Son emploi doit donc être démystifié et pour être efficace, chacun doit connaître parfaitement l'utilisation du matériel. En effet, un bon bouche à bouche est plus efficace qu'une mauvaise ventilation au masque.

## Description :

Une bouteille d'oxygène est similaire à une bouteille de plongée : elle est caractérisée par un volume en eau, ses paramètres sont gravés sur le corps de la bouteille (numéro d'identification, date d'épreuve, poids à vide, volume intérieure, pression d'épreuve, pression maximale d'utilisation) ; elle nécessite une visite au service des Mines tous les 5 ans.

Le bloc manodétendeur est constitué d'un manomètre et d'un détendeur (ne jamais utiliser un détendeur plongée sur une bouteille d'oxygène).

Les débitmètres sont gradués de 0 à 15 litres/minute.

## Procédure :

- Il y a en général deux robinets à ouvrir : ouverture O<sub>2</sub> et débit-litre.
- Pour remplacer la respiration : utiliser un masque insufflateur manuel avec ballon-réserve.
- Pour aider la respiration : utiliser un masque inhalateur (ou masque à haute concentration) ou un insufflateur manuel avec ballon-réserve. Il faut veiller à garder en permanence le ballon-réservoir d'oxygène gonflé.  
Il est également possible au sauveteur de servir d'intermédiaire : il respire lui-même de l'air enrichi en oxygène au ballon puis insuffle à la victime en bouche à bouche.
- Régler dans TOUS les cas le débit à 15 litres/minute. Faire néanmoins attention à l'autonomie.
- Amener progressivement le masque sur la bouche.
- Calculer l'autonomie d'oxygène en fonction de la durée du trajet : mieux vaut un peu d'oxygène tout le temps que de l'oxygène au début et plus du tout à la fin.
- Communiquer aux secours l'heure exacte de début de l'oxygénothérapie et le débit
- Ne pas graisser les vis, ne pas toucher les vis à la main, ne pas utiliser à proximité d'une flamme et ne jamais tenter de démonter les détendeurs et les débitmètres.
- INTERDIRE de fumer en présence d'oxygène pur.

## Les 10 commandements du "bon" plongeur.

- I Seul tu ne plongeras point !  
Avec un inconnu, double sera ta vigilance !
- II Qu'en bonne forme tu plongeras  
Sans envie tu t'abstiendras !
- III Ton matériel tu vérifiera  
Avec soins tu l'entretiendras !
- IV Sans couteau, montre, profondimètre  
point tu ne t'immergeras !
- V Ton lestage tu étudiera !  
Largable rapidement, il sera
- VI Soif de record, tu ne convoiteras  
La "40" mètres te suffiras !
- VII Faune et flore tu respecteras  
De nous estime tu auras !
- VIII Dans la courbe tu plongeras  
Des risques, tu éviteras !
- IX Au premier frisson tu remonteras  
Point de honte tu auras
- X Ta remontée tu respecteras  
Près de la surface tu ralentiras

# REGLEMENTATION

## CHAPITRE 24 : REGLEMENTATION ET ORGANISATION DES PLONGEES

### 1. JUSTIFICATION

- Pour des raisons évidentes de sécurité, la fédération a fait des règles. Même si nous nous sentons au-dessus d'elles, nous devons les respecter car elles ont été faites par des plongeurs plus expérimentés que nous.

**NE LES TRANSGRESSONS PAS.**

- La mer est également à tout le monde. Pour que tout le monde en profite des lois ont été faites. Si nous voulons que la plongée ne soit pas montrée du doigt et que nos enfants puissent aussi en profiter avec plaisir,

**RESPECTONS LA MER, RESPECTONS CES LOIS.**

- Une belle plongée dépend aussi bien du comportement du chef de palanquée que de celui des plongeurs. Elle dépend souvent du savoir-vivre de la palanquée. Pour s'en mettre plein les yeux en sécurité,

**NE PLONGEONS PAS EGOÏSTE.**

### 2. LES NIVEAUX DES PLONGEURS ET DES ENCADRANTS

En France, l'Etat réglemente la pratique de la plongée sous-marine en structure ; les deux principaux textes sont publiés dans le Code du Sport : arrêté du 28 février 2008 et ses annexes. Et plus précisément pour la plongée à l'air : **Code du Sport, articles A322-71 à A322-87 et annexes III-14 à III-17**

#### **2.1 LES NIVEAUX DES PLONGEURS**

C'est annexe III-14 du Code du Sport

<i>NIVEAU DE PREROGATIVE DES PLONGEURS</i>	<i>ANCIENS BREVETS FFESSM ET F.S.G.T.</i>	<i>BREVETS C.M.A.S.</i>
Niveau I	Brevet élémentaire	Plongeur 1 étoile *

Autonome Niveau II	1 <sup>er</sup> échelon	Plongeur 2 étoiles **
Autonome Niveau III	autonome	Plongeur 3 étoiles ***
Capacitaire Niveau IV	2 <sup>ème</sup> échelon	Plongeur 3 étoiles ***
Niveau V	2 <sup>ème</sup> échelon + qualification directeur de plongée	

FFESSM : Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins  
F.S.G.T. : Fédération Sportive Gymnique du Travail  
C.M.A.S. : Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques

## 2.2 LES NIVEAUX DES ENCADRANTS

C'est annexe III-15 du Code du Sport

NIVEAU DE L'ENCADREMENT	Enseignement bénévole			Enseignement rémunéré
	FFESSM	F.S.G.T.	C.M.A.S.	BREVETS D'ETATS
Niveau 1	Niveau II + Initiateur			
Niveau 2	Niveau IV + ( initiateur ou stage péda. )	Aspirant	1 étoile *	Stagiaire péda.
Niveau 3	Moniteur fédéral 1er degré	Moniteur adjoint	2 étoiles **	B.E.E.S. 1
Niveau 4	Moniteur fédéral 2 <sup>ème</sup> degré	Moniteur fédéral	3 étoiles ***	B.E.E.S. 2
Niveau 5				B.E.E.S. 3

## 3. LES PREROGATIVES DU NIVEAU IV

### \* Plongées d'exploration

- Plonger en total autonomie (pas d'encadrement ni de directeur de plongée obligatoire) entre plongeurs niveaux III minimum, sans limite de profondeur à deux minimum et trois maximum.

### \* Plongées techniques

- Plonger encadré par un encadrant niveau 4 sans limite de profondeur avec un effectif maximum de 3 autonomes niveau III minimum.

### \* Encadrement

- Un plongeur niveau IV possède des prérogatives d'encadrement.

## 4. LES NORMES D'ENCADREMENT.

(Arrêtés du 20/09/1991 et du 17/07/1992)

Niveau Plongeur	Espace autorisé	Exploration en milieu naturel			
		Encadrement minimum	Nb élèves maximum	Option	Présence sur les lieux
Débutant	proche	N. IV	4	N. IV	N. V
Déb. fin formation N.I	médian	N. IV	4	N. IV	N. V
I	médian	N. IV	4	N. IV	N. V
N.I fin formation N.II	10 mètres	Aucun	5 équipes de 2 <sup>(2)</sup>	-	E3 + N. IV en surface dont 1 équipé
II	médian	Aucun	2 ou 3	-	N. V
II	lointain	N. IV	4	N. IV	N. V

(<sup>2</sup>) Avec utilisation et après formation à l'utilisation de la montre, du profondimètre, des tables et de la bouée.

III, IV et V	-	Aucun	2 ou 3	-	-
--------------	---	-------	--------	---	---

I peuvent plonger entres eux sous la responsabilité du directeur de plongée.  
(Les fosses sont considérés comme en milieu naturel).

- Tout manquement délibéré à cet arrêté pourrait entraîner des poursuites pénales, qu'il y ait ou non accident.

Niveau Plongeur	Espace autorisé	Enseignement en milieu naturel			
		Encadrement minimum	Nb élèves maximum	Option	Présence sur les lieux
Baptême	proche	E1 ou N. IV	1	N. IV	E3
Débutant	proche	E1	4	N. IV	E3
Déb. fin formation N.I	médian	E2	4	N. IV	E3
I	médian	E2	4	N. IV	E3
II	médian	E2	4	N. IV	E3
II	lointain	E3	2	N. IV	E3
III, IV et V	-	E4	3	E3	E3

- L'encadrant doit toujours plonger avec un bloc à double sortie et deux détendeurs complet (2 premiers étages et 2 deuxièmes étages).

*Exception : sauf en piscine avec une profondeur maximum de 6 mètres.*

- Tout plongeur à partir du NII doit être équipé d'un système de sécurité gonflable (bouée, jacket, ...).

*Exception : sauf dans les bassins dont la profondeur n'excède pas six mètres.*

- En piscine de moins de 6 mètres de fond : un breveté initiateur peut diriger les plongées et exercer la surveillance de surface et de plus, les plongeurs niveau

- \* Chaque plongeur est généralement équipé de :
  - Palmes, Masque, Tuba, Ceinture, Bouteille.

- \* De plus, le chef de palanquée doit avoir :

### **OBLIGATOIREMENT**

- Une bouée gonflable avec un gaz comprimé.
- Une montre.
- Un profondimètre.
- Des tables de plongée M. N. 90 ou équivalent.
- Un deuxième détendeur complet ouvert monté sur une deuxième sortie.

### **POUR UNE SECURITE TOTALE**

- Un couteau.
- Un parachute de palier si on plonge d'un bateau.
- Un compas (ou boussole).
- Une lampe.

\* Il faudra considérer, lorsqu'il s'agit de plongeurs autonomes niveau II qu'il n'y a pas de chef de palanquée ; par conséquent tous les plongeurs devront avoir le matériel obligatoire (hormis le deuxième détendeur qui reste facultatif).

## **5. LA REGLEMENTATION**

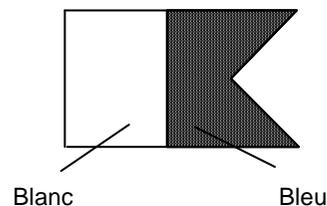
Il est formellement interdit de

- Plonger dans les zones interdites.
- De remonter quoi que ce soit.
- D'avoir scaphandre et fusils à bord du même bateau.
- De toucher à un gisement d'objets ayant un intérêt archéologique, historique ou artistique.
- De gonfler une bouteille à une pression supérieure à la pression d'utilisation.
- D'utiliser une bouteille non ré-éprouvée selon les règles.
- De transporter les blocs gonflés dans les transports en commun.

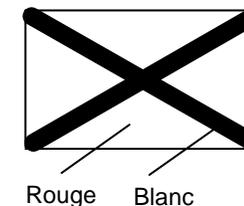
Il est obligatoire de

- Signaler la présence de plongeurs avec le Pavillon Alpha voire la Croix de Saint-André obligeant les navires de passage à ne s'approcher à moins de 100 mètres.

**Pavillon Alpha**



**Croix de Saint-André**



Le pavillon Alpha doit être rigide, de dimension 80 cm x 80 cm, et être placé à 1,50 mètre au-dessus de son support.

- Déclarer à la D.R.A.S.S.M. ou aux affaires maritimes tout gisement d'objets.
- Respecter les prérogatives FFESSM Tout accident survenu en dehors de ces règles peut être taxé d'homicide involontaire ou de coups et blessures involontaires devant un tribunal sans couverture de l'assurance fédérale.

## **6. LA SECURITE**

### **\* Avant la plongée**

- Demander la météo : état de la mer, vent
- Faire attention à l'alimentation.
- Se renseigner sur les coordonnées du caisson de recompression le plus proche.
- Se renseigner sur le lieu de plongée et des dangers particuliers : visibilité, température, profondeur et nature des lieux de mouillage, horaire des marées, courants, houle
- Vérifier le matériel personnel, celui des autres et celui commun.
- Se fixer des limites à ne pas dépasser.

### **\* Pendant la plongée**

- Attention au milieu (faune, flore, filets, vagues, ...).

### **\* Après la plongée**

- Ne pas faire d'efforts.
- Pas d'apnées.
- Pas de montée en altitude pendant 8H30.

## **7. LES PLONGEES PROFONDES**

### **\* Lestage**

Il faut préférer une combinaison de 5,5 mm d'épaisseur pour une plongée profonde (au lieu de 7 mm), car cela nécessite moins de plomb pour compenser la flottabilité.

Au fond, plus on est lesté, plus il y a des problèmes ; par exemple, obligation de gonfler la stab pour compenser avec consommation inutile d'air.

Mais attention à ne pas enlever trop de plombs, car les paliers doivent être réussis au retour d'une profonde.

#### \* Instruments

Les tables sont limitées à 65 mètres ; certains ordinateurs peuvent aller plus loin. Mais il faut être conscient de la prise du risque ; si l'ordinateur tombe en panne, comment va-t-on calculer les paliers ?

#### \* Ceinture

Nécessite un largage rapide, mais sûr. Penser à la ceinture élastique, car la ceinture en Nylon risque de tomber sur les genoux à une certaine profondeur, car notre corps sera comprimé par la pression.

#### \* Autonomie et consommation

Penser qu'il restera toujours la pression ambiante dans la bouteille ; par exemple à 90 mètres, il y a 10 bars de pression ambiante, donc il y a 10 bars dans la bouteille qui ne peuvent être consommés, même si le manomètre signale leur présence.

Simulation pour une plongée profonde extrême à 90 mètres avec une consommation de 20 l/min :

- Consommation pendant la descente : au moins 4 minutes pour atteindre 90 mètres (on calcule à la demi-profondeur) : 20 l/min à 45 mètres pour 4 min = 400 litres déjà consommés.
- Consommation pendant la remontée : au moins 6 minutes pour remonter (on calcule à la demi-profondeur) : 20 l/min à 45 mètres pour 6 min = 600 litres consommés.

Avec un bloc de 12 litres, il reste  $2400 - 400 - 600 = 1400$  litres d'air disponibles. Donc moins de 7 minutes à 90 mètres, sans compter les paliers, ni l'équilibrage avec la stab !

C'est donc totalement inconscient de faire des plongées profondes avec un bloc de 12 litres.

#### \* Toxicité des gaz

- Azote : de 3,8 à 6,3 bars : A 6,3 bars, on est obligatoirement narcosé, même si on arrive parfois à le contrôler
- Oxygène : de 1,7 à 2 bars : hyperoxie  
moins de 0,17 bars : début de l'hypoxie

#### \* Entraînement cardio-vasculaire

C'est absolument nécessaire, car le diaphragme (muscle responsable de la respiration) est un muscle très sensible ; une crampe du diaphragme est possible et très douloureuse et entraîne une grande difficulté pour respirer.

De plus tous les muscles du corps ne sont pas habitués à véhiculer un même volume d'air qui pèse dix fois plus lourd (à 90 mètres). Un air plus lourd est visqueux et beaucoup moins fluide.

Enfin, il est également nécessaire de transporter la ceinture de plomb, devenue quasiment inutile en profondeur.

#### \* Saturation

On ne fait pas de profonde l'après-midi. Il faut absolument savoir dans quel état de saturation on se trouve.

#### \* Visibilité

Faire attention aux fonds clairs (par exemple, en Mer Rouge) : à 50 mètres, on voit le fond qui est à 80 ou 90 mètres. Or le fond est attirant, surtout pour quelqu'un qui est en limite de narcose !

#### \* Equipe

Plonger en binôme, mais chacun plonge "seul" dans le cadre du binôme. Ce n'est pas humainement possible de demander à quelqu'un qui n'a que 30 % des ses moyens psychologiques, dès 55/60 mètres de sauver son binôme !

#### \* Réglementation

Elle impose le niveau III minimum.

La FFESSM recommande la zone des 50 mètres ; les tables autorisent un dépassement accidentel à 65 mètres ; la norme européenne EN250 indique 50 mètres maximum, car le matériel est fabriqué et testé pour cette profondeur maximum. Donc si on fait plus, on est hors normes, donc pas d'assurances !

## 8. LA CONDUITE DE PALANQUEE

#### \* Avant la plongée

- Prendre en compte les facteurs de sécurité, de normes d'encadrement ; connaître le niveau des autres pour la formation des palanquées, en se basant toujours sur les niveaux les plus bas. Définir s'il s'agit de plongée techniques ou d'explorations, les

- durées et profondeurs maximum. Vérifier les certificats, les licences et les dates des dernières plongées pour chaque plongeur.
- Vérifier le matériel des autres : équipement, pression bloc, robinet ouvert, sanglage
- Définir la conduite à tenir si on se perd.
- Demander des explications sur le site.
- Un chef de palanquée n'est pas là pour forcer les autres à le suivre dans SA plongée.

Sur le bateau :

- Vérifier le bon équilibrage du bateau pendant le chargement des blocs
- Bien choisir le lieu de mouillage, et vérifier l'ancre
- Vérifier la possibilité de largage rapide du mouillage
- Pavillon Alpha et Croix de Saint-André
- Briefing par les chefs de palanquées
- Bout à l'arrière
- Un responsable capable de manoeuvrer le bateau doit rester à bord
- Prévenir quelqu'un qui reste à terre

#### \* Pendant la plongée

Toujours avoir en tête l'ensemble SECURITE / INTERET d'une plongée.

- Le chef de palanquée se met à l'eau en premier et en sort le dernier.
- Le guide de palanquée centralise toutes les informations des plongeurs et des instruments afin que le moins à l'aise ce jour là soit en sécurité.
- Tout plongeur se doit de **dire NON** à ses propositions s'il ne se sent pas capable de le suivre.
- Tout plongeur peut lui signaler un doute sur ses décisions. Mais dans ce cas c'est lui qui tranche après re-vérification.
- S'immerger le long du mouillage (l'orientation sera plus facile).
- Vérifier le lestage bloc plein et bloc presque vide avec gilet vide.
- Partir contre le courant pour faciliter le retour.
- Eviter une plongée au profil inversé (toujours commencer par la profondeur la plus grande).
- Si possible, rester dans la courbe de sécurité.
- Eviter le croisement de palanquées.
- Rester groupé et se compter souvent.
- Essayer de terminer la plongée le long du mouillage pour faciliter les paliers.

#### \* L'orientation pendant une plongée

- Départ au mouillage pour essayer d'y revenir, car les paliers sous le bateau c'est la sécurité

- Se retourner de temps en temps pour vérifier que tout le monde est là, mais aussi pour repérer la forme du paysage (utile pour le retour) et le profil du fond : déclivité, profondeurs, flore.
- A l'aller, repérer de quel coté se trouve le tombant (gauche/droite) ; de quel coté se trouve le soleil.
- Tenir compte du temps (si le retour est plus long que l'aller, il est possible qu'on ait manqué le bateau).
- Repérer les suspensions dans l'eau ; cela peut signifier qu'on est déjà passé par là.
- Repérer le sens du courant.

#### \* Où faire son palier ?

- sur le tombant : permet de joindre l'utile (points d'appui) à l'agréable (quelque chose à voir !).
- au mouillage : pour palier court quand la mer est calme en surface.
- au pendeur : permet d'avoir une source d'air de secours au palier (bloc ou narguilé).
- à la barre : barre glissée à 3 mètres sous le bateau ; convient pour de nombreux plongeurs.
- avec un parachute de palier : d'utilisation aisée avec un peu d'entraînement : manier avec précaution en présence de courant si le bateau ne dérive pas avec les palanquées.
- sur une balise fixée au fond et reliée à une balise de surface : délicat avec du courant ou beaucoup de plongeurs.
- sur une ligne de palier : pendeur fixé sur une grosse bouée (dérivante ou reliée au bateau).

#### \* Après la plongée

- Déséquipement le plus rationnel possible.
- Rangement du matériel, rinçage, stockage.
- Surveiller ses compagnons : si une fatigue intense apparaît, consulter un médecin fédéral.
- Donner les paramètres de la plongée au directeur de plongée et à ses compagnons.
- Donner le nom des poissons et des organismes vus pendant la plongée.
- Faire les remarques nécessaires sur les exercices effectués et/ou donner des conseils (critiques constructives).
- Pas d'alcool, plutôt des boissons chaudes.

#### \* Plongée de nuit

- xxx PasAJour.

## 9. LE SAVOIR-VIVRE

- Jeter un coup d'oeil de temps en temps sur les autres (surtout le serre-file).
- Si on voit quelque chose, le signaler aux autres pour que tout le monde en profite.
- Si on veut aller quelque part, le signaler au chef de palanquée afin d'y aller ensemble.
- Ne pas railler un plongeur ayant passé sa réserve ou interrompu la plongée. Un jour, l'autre n'est pas en forme, un jour c'est nous.
- Ne pas plonger si on ne se sent pas. Rien ne sert d'aller à l'eau pour avoir envie de remonter au bout de 3 minutes et gêner ainsi la plongée des autres.
- Penser qu'il y a d'autres plongeurs derrière nous. Eviter donc de labourer le fond ou de les gêner avec des gestes brusques et inconsidérés (coups de palmes, ...).
- Pour éviter aux autres de passer leur plongée à surveiller ou courir après un plongeur égoïste :

### **SE RAPPELER QUE L'ON PLONGE EN EQUIPE.**

- Eviter les zones de pêche.
- Ne pas trifouiller les casiers et leur contenu, juste regarder.

## 10. LA CHARTE DU PLONGEUR RESPONSABLE

En février 2002, la Charte Internationale du Plongeur Responsable est lancée par l'association Longitude 181 et elle a été adoptée après par la FFESSM. Cette charte est un guide. Ce n'est pas une somme de contraintes. Ses propositions doivent être envisagées au cas par cas, tant les sites de plongée et les situations diffèrent d'un lieu à l'autre. Son objet est de pousser chacun à s'interroger et à mettre en place les conditions de plongée optimales pour une préservation et un partage équitable des richesses de la mer.

### \* Préparez votre voyage

- Choisissez une agence de voyage qui adhère à une charte éthique.
- Privilégiez les Centres de Plongée Responsable qui sont concernés par la protection des fonds marins (retraitement des déchets et des eaux usées, utilisation de bouées de mouillage) et qui s'investissent dans le développement local.
- Renseignez-vous sur les écosystèmes marins que vous allez découvrir.
- Informez-vous sur les habitants du pays qui vous accueille: traditions, économie, ressources.

### \* Avant la plongée

- Remettez-vous en forme. Si vous n'avez pas plongé depuis longtemps, entraînez-vous à gérer votre flottabilité : poumon-ballast, gilet, lestage optimal.
- Informez-vous sur le site de plongée que vous allez découvrir, cela rendra votre plongée bien plus riche. Vous ne serez plus seulement un plongeur-spectateur passif dans un monde dont vous ignorez le langage, vous saurez lire les premiers mots du grand livre de la vie marine. Parce que vous saurez identifier les animaux, vous pourrez connaître leur comportement, vous saurez où les chercher pour les découvrir. Vous saurez voir une incroyable faune cachée.
- Demandez une projection-présentation de l'écosystème à votre centre de plongée.
- Demandez la liste des espèces menacées, la liste des espèces protégées, les réglementations les concernant.
- Renseignez-vous sur les actions menées par le centre de plongée en matière de protection du milieu sous-marin (bouées de mouillage...).

### \* Sur le bateau

- Ne jetez rien par dessus bord.
- Refusez les assiettes et gobelets en plastique qui mettent des dizaines d'années à se dégrader.
- Demandez l'installation de poubelles sur le pont pour y déposer les mégots de cigarette (leur dégradation prend des mois), les déchets en plastique, les emballages en aluminium, etc...
- Veillez à bien fixer détendeurs de secours, consoles et manomètres, afin qu'ils ne pendent pas et ne s'accrochent pas dans la flore et la faune fixées qu'ils endommageraient
- Choisissez des palmes courtes, peu agressives.

### \* En plongée

- Dès la mise à l'eau, pensez à vérifier votre lestage, et ajustez-le si nécessaire.
- Pensez à palmer doucement, pour ne pas heurter la vie fixée
- Evitez le contact avec plantes et animaux fixés. Ils sont fragiles, la multiplication des chocs les détruit.
- Ne prélevez rien, sauf des images.
- Ne harcelez pas les animaux. S'ils se sont réfugiés dans leur cachette, ne les forcez pas, ils sont déjà stressés. Patientez sans bouger jusqu'à ce qu'ils retrouvent leur calme, et sortent à nouveau.
- Evitez de nourrir les poissons. Vous pervertissez leur comportement et déséquilibrez l'écosystème.

#### \* Après la plongée

- Efforcez-vous d'économiser l'eau douce. C'est le bien le plus précieux.
- Demandez des installations qui évitent le gaspillage d'eau douce : bac de rinçage pour les équipements, douches à débit contrôlé.

#### \* Au cours du séjour

- N'hésitez pas à sortir du centre de plongée, de l'hôtel : Il y a tout autour un monde qui attend de vous rencontrer.
- N'achetez pas de souvenirs arrachés à la mer dent de requin, carapace de tortue, étoile de mer, hippocampe et autres poissons séchés, corail, coquillages.
- Boycottez les restaurants qui servent de la soupe d'ailerons de requin, de la viande de tortue et de cétacés, ainsi que des poissons capturés par des moyens destructifs (dynamite, cyanure, etc..)
- Demandez aux restaurateurs comment sont pêchés les produits de la mer qu'ils proposent, et quels accords ils ont avec les pêcheurs locaux.



# **CHAPITRE 25 : LA PLONGEE EN FRANCE ET DANS LE MONDE**

## **1. ORGANISMES**

La manière dont se découpe la plongée en France est relativement simple. Les plongeurs sont regroupés au sein de 2 fédérations et les moniteurs disposent de 2 syndicats pour faire valoir leurs droits.

Ces organismes sont reconnus par le Ministère de la Jeunesse et des Sports, qui organise à la fois les composantes sportives et professionnelles de la discipline ; c'est lui qui organise et délivre le brevet d'Etat, celui de plongée existant depuis 1974.

Sur le plan sportif, seule la FFESSM a reçu délégation du ministère pour l'organisation des compétitions.

C'est le Ministère qui a défini un cadre dans lequel s'inscrivent les brevets délivrés par chaque structure, ce sont les niveaux de plongeurs.

### **1.1. Structures fédérales**

#### **1.1.1. La Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins (F.F.E.S.S.M.)**

##### **Historique**

En 1948, M. Borelli crée à Marseille la Fédération des Sociétés de Pêche à la Nage et d'Etudes Sous-Marines. Un an plus tard, à l'initiative du Dr Clerc, proche de la F.S.G.T., la Fédération des Activités Sous-Marines voit le jour sur la Côte d'Azur.

Ces deux organismes seront regroupés à Marseille en 1955 sous le nom de Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins.

##### **Présentation activités**

La FFESSM compte à l'heure actuelle plus de 150 000 adhérents, regroupe environ 2000 clubs associatifs, 200 structures commerciales agréées et 6000 moniteurs. Elle délivre environ 60000 brevets par an.

Les activités proposées par la FFESSM sont découpées en 14 commissions :

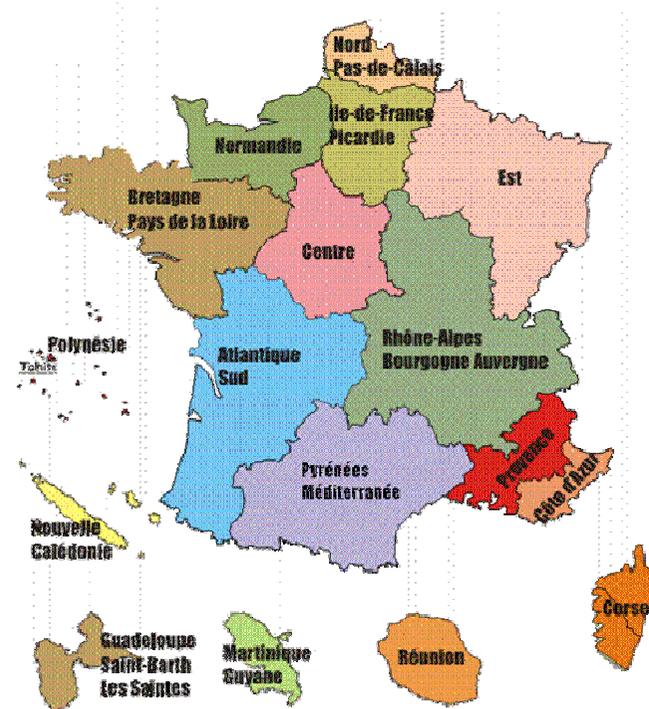
- Technique
- Plongée libre (randonnée et apnée)
- Plongée souterraine
- Nage avec palmes
- Hockey subaquatique
- Nage en eau vive
- Pêche sous-marine
- Tir sur cible subaquatique
- Orientation subaquatique

- Environnement et Biologie subaquatiques
- Audiovisuelle (photo et vidéo)
- Archéologie subaquatique
- Médical et prévention
- Juridique

et des activités transversales pour les jeunes ou pour les handicapés.

### **Organigramme**

La FFESSM siège à Marseille, elle est présidée par Roland Blanc et possède 17 représentations régionales ou interrégionales.



Ces comités régionaux et inter-régionaux sont eux-mêmes composés de 90 comités départementaux.

#### **1.1.2. Les clubs de plongées**

Le premier club de plongée voit le jour en 1935 à Saint-Raphaël ; à partir de 1946 apparaissent d'autres clubs sur la Côte d'Azur et en 1947, le premier club de l'intérieur à Paris.

Un club de plongée est une association à but non lucratif régie par la loi du 1er Juillet 1901 qui doit être affiliée à la FFESSM

### **1.1.2.1. Assurance**

#### - Responsabilité Civile

(Code Civil de 1804, Articles 1382, 1383, et 1384 ; Loi du 16/07/1984, Article 37)

En collectivité, une assurance en Responsabilité Civile est obligatoire pour :

- les organismes (club, centre, école, ...)
- chaque plongeur (sauf pour un baptême)

Cette assurance couvre les dommages causés à un tiers, mais elle ne couvre pas les dommages causés à soi-même.

Tous les clubs adhérant à la FFESSM sont assurés par l'intermédiaire des droits annuels d'affiliation.

La licence FFESSM de chaque plongeur comprend une assurance en Responsabilité Civile au tiers avec défense et recours dans le monde entier.

#### - Assurance complémentaire

(Loi du 16/07/1984, Article 38)

Elle permet de couvrir les dommages causés à soi-même, mais elle n'est pas obligatoire mais très fortement conseillé ; les organisateurs ou moniteurs doivent informer les pratiquants de leur intérêt à souscrire une assurance complémentaire.

Il est possible de souscrire une assurance complémentaire spécifique sur la licence fédérale de la FFESSM

#### - Responsabilité pénale

(Nouveau Code Pénal, Articles 121-3, 221-6, 222-19, 223-1 à 224-9)

Aucune assurance ne couvre la responsabilité pénale, c'est à dire les sanctions en cas de faute ou d'infraction.

Le nouveau Code Pénal a des conséquences directes au regard des activités subaquatiques.

Le respect strict de la législation en vigueur et des normes fixées devient alors impératif afin d'éviter de commettre des imprudences qui peuvent être lourdes de conséquences et être considérées comme un homicide volontaire.

Des manquements délibérés à des obligations de sécurité imposées par la loi ou les règlements peuvent engager la responsabilité d'un plongeur, d'un encadrant, d'un club (et son président), et même des collectivités locales s'il s'avèrent que l'une des ces personnes physiques ou morales n'est pas intervenue à temps pour éviter l'accident.

Il faut savoir qu'en aucun cas le consentement de la victime peut constituer un fait justificatif.

Attention donc à rester au plus près de la profondeur limite (20 ou 40 mètres) sans d'interprétation personnelle des "espaces" ; attention également au nombre maximum de plongeurs dans une palanquée.

### **1.1.2.2. Certificat médical**

En collectivité, il est fortement conseillé sauf pour un baptême et est valide pendant 1 an.

Il est néanmoins obligatoire au niveau de la FFESSM et peut être délivré par un médecin généraliste pour le Niveau I mais doit être délivré par un médecin titulaire d'un CES en médecine du sport, un DU de médecin hyperbare, un DU de médecine de la plongée ou par un médecin agréé par la FFESSM pour tous les niveaux supérieurs.

Prévoir également une autorisation parentale pour les mineurs en faisant préciser par le signataire qu'il est informé des risques encourus par la pratique de la plongée sous-marine.

### **1.1.2.3. Création d'un club ou d'une association xxxPasAJour**

### 1.1.3. La Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques (C.M.A.S.)

Créée en 1959 à Monaco par une quinzaine de pays, à l'initiative du Commandant Cousteau, la CMAS réunit actuellement plus de 100 nations et 180 organisations. C'est une fédération internationale qui regroupe des fédérations nationales de plongeurs. Elle a deux rôles essentiels : consultation et administration sur les plans technique et médical, et délivrance de brevets par équivalence.

En France, il existe une totale équivalence entre les brevets FFESSM et les brevets CMAS, matérialisé par une carte double-faces FFESSM/CMAS.

### 1.1.4. Les autres structures fédérales

#### 1.1.4.1. En France

La **F.S.G.T.** (Fédération Sportive Gymnique du Travail) comprend également des plongeurs. Fondée en 1936, elle compte actuellement 280 000 licenciés, tous sports confondus. Les adhérents ont la possibilité de pratiquer tous les sports avec la même licence.

Cette fédération est très liée avec des comités d'entreprise.

La **F.F.H.** (Fédération Française Handisport) développe depuis longtemps la plongée et délivre ses propres brevets aux plongeurs.

## 1.2. Structures professionnelles

### 1.2.1. En France

En 1963, Yves Normand et Marco Israël créent à Paris le **S.N.M.P.** (Syndicat National des Moniteurs de Plongée). Cette amicale de moniteurs a aidé à l'accès au professionnalisme pour les moniteurs de plongée et lutte actuellement pour la reconnaissance des moniteurs PADI, NAUI et BSAC. Il compte dans ses rangs environ 400 adhérents, moniteurs fédéraux, brevets d'Etat, formateurs NAUI, PADI et BSAC, ainsi que des plongeurs de Niveaux IV et V.

En 1972, Daniel Mercier fonde l'**A.N.M.P.** (Association Nationale des Moniteurs de Plongée), qui revendique la défense des moniteurs d'Etat ; cette association regroupe environ 400 moniteurs d'Etat.

Le **C.E.D.I.P.** (European Committee of Professional Diving Instructors), créé en 1993, réunit des syndicats de moniteurs professionnels issus pour l'instant de 7 pays (Suisse, Belgique, Allemagne, Autriche, Italie, Espagne et France avec l'A.N.M.P.).

Ce groupement permet au plongeur européen de bénéficier de reconnaissance de ses compétences quand il se rend dans un des pays membres. A noter que chaque pays conserve son propre mode de formation.

### 1.2.2. Dans le monde

La **P.A.D.I.** (Professional Association of Diving Instructors) est un système privé qui regroupe la plus grande organisation d'écoles de plongées dans le monde. Son mode de fonctionnement est assez différent de celui des organismes affiliés à la CMAS. La démarche P.A.D.I. s'articule autour de 4 axes :

- l'enseignement standardisé et modularisé.
- une approche "marketing" de la plongée avec des manuels d'auto-apprentissage, des questionnaires de révision, des cassettes vidéos, des supports audiovisuels,...
- la formation de moniteurs.
- et enfin les plongeurs sont formés de manière particulière : profondeur limitée et pas de palier car les plongées se déroulent toujours dans la courbe de sécurité.

Les brevets P.A.D.I. sont :

- *Open Water Diver* : techniques de bases avec plongées en milieu naturel, organisation de plongées, utilisation des tables. Ceci permet une autonomie limitée à 18 mètres.
- *Advanced Open Water Diver* : techniques complémentaires pour les plongées plus profondes (combinaison étanche, parachute, photo) ou sur des sites particuliers (altitude, épave, courant,...). Il y a aussi des spécialités (Nitrox, sous glace, grotte,...)
- *Rescue Diver* : techniques de sauvetage et d'assistance : organisation et administration des secours.
- *Divemaster* : permet d'acquérir les éléments permettant de tenir un rôle de Directeur de Plongée ou de guide de palanquée.
- *Assistant Instructor* : préparation à la formation d'instructeur.
- *Instructor*

La P.A.D.I., créée aux Etats-Unis en 1966, est très présente dans les pays à dominante anglo-saxonne mais rayonne dans le monde entier avec 174 pays où elle est reconnue.

Il existe également de multiples organismes, provenant essentiellement du monde anglo-saxon avec des équivalences de brevets pas toujours accordés :

- National Association of Underwater Instructors (**N.A.U.I.**) en Australie,
- Scuba School International (**S.S.I.**)
- **B.S.A.C.**,..

## **2. HISTORIQUE DE LA PLONGEE ET DE SES TECHNIQUES**

Dès l'Antiquité, les hommes ont compris que l'apnée avait des limites étroites : brièveté du séjour au fond (une centaine de secondes), profondeur ne dépassant guère 20 mètres et vue floue sous l'eau.

Tout au long des siècles, ils ont donc cherché à respirer sous l'eau, puis à améliorer les conditions de la plongée, afin notamment de récupérer des cargaisons à bord des navires qui sombraient sur des rochers.

### **Les tubes respiratoires**

Pour prolonger la durée de la plongée, Aristote (IV<sup>ème</sup> siècle avant notre ère) proposa de faire respirer le plongeur à travers un long tube soutenu à la surface par un flotteur. Cette idée fut reprise par Pline l'Ancien (I<sup>er</sup> siècle), Végèce (IV<sup>ème</sup> siècle) et Léonard de Vinci à la Renaissance.

Mais ce système était impraticable pour deux raisons :

- La respiration du plongeur s'effectue à la pression atmosphérique à travers le tube, alors que le thorax est soumis à la pression absolue ambiante (1,2 bar à 2 mètres).

Les muscles doivent donc vaincre la pression hydrostatique, mais étant peu puissants, au-delà d'un mètre, le plongeur est rapidement épuisé et sa respiration se bloque.

- Le tube présente un volume mort important : L'air expiré ne sera pas rejeté dans l'atmosphère mais oscillera dans le tube selon les mouvements respiratoires.

### **L'utilisation des marmites**

Aristote décrit une autre technique : les plongeurs en apnées viennent reprendre leur respiration dans des récipients amenés au fond pleins d'air.

Cette technique engendra par la suite les cloches à plongeurs (Halley, 1691), les tourelles modernes, ainsi que le scaphandre pieds-lourds au début du XIX<sup>ème</sup> siècle.

Pendant des siècles, la plongée autonome resta du domaine du rêve. L'appareillage nécessaire devait permettre à un homme de plonger et de travailler en sécurité à quelques dizaines de mètres de profondeur pendant quelques dizaines de minutes en toute liberté de mouvement.

Bien que réalisé empiriquement, notamment le premier appareil en circuit fermé de Borelli en 1680, il faudra attendre la découverte des lois essentielles - l'hydrostatique (Pascal, 1653), compression des gaz (Boyle et Mariotte, 1661-1676) et physiologie (Lavoisier, 1788) - pour que les inventions dans le domaine de la plongée apparaissent.

### **Scaphandre à hauts risques**

Le premier scaphandre utilisable fut réalisé en 1819 par l'Anglais Siebe ; il s'agissait d'un casque rigide équipé de hublots posé sur les épaules. L'air était fournie par une pompe à piston manœuvrée en surface par plusieurs hommes.

En 1837, il rajoute une soupape latérale qui pouvait être manœuvrée par la tête du plongeur qui pouvait ainsi régler son poids relatif.

Mais l'autonomie est absente, l'ombilical, entre le plongeur et la pompe, est une gêne pour se déplacer et pénétrer dans des cavités (grottes, cales, ...).

### **Plonger sans fil à la patte**

En 1828, l'Anglais James, puis Condert en 1835, conçoivent le premier scaphandre autonome avec un réservoir d'air comprimé. Le robinet, réglé par le plongeur en fonction de la profondeur, ne permettait qu'un débit continu.

Mais il restait à inventer un système de réglage automatique du débit en fonction de la profondeur et de la consommation d'air du plongeur.

C'est Benoît Rouquayrol qui construisit le premier appareil qui fournit de l'air respirable détendu à la pression ambiante : le "régulateur à gaz" actuellement appelé détendeur, destiné au départ au sauvetage dans les mines.

C'est Auguste Denayrouze qui l'adapte à la plongée en 1865 ; le détendeur Rouquayrol-Denayrouze pèse alors 28 kilos, mais est robuste et fiable. Appelé "aérophore", il peut être utilisé avec un réservoir d'air comprimé ou avec l'air comprimé par une pompe à piston en surface.

Néanmoins l'appareil tomba peu à peu dans l'oubli pour des raisons essentiellement psychologique jusqu'au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle.

### **"Plongée sans câble"**

En 1926, Fernex et Le Prieur réalisent un modèle de scaphandre autonome léger quand il est immergé. Ainsi l'homme n'est plus attaché au fond par la lourdeur des appareils et du lest, il évolue librement comme un poisson. Techniquement, il est moins évolué que l'appareil de Rouquayrol-Denayrouze ; le détendeur débite en permanence, il faut sans cesse retoucher le réglage du manodétendeur en fonction de la variation de la profondeur et de la demande respiratoire du plongeur.

Simultanément en 1942, Commehines et Gagnan construisirent un détendeur à la demande léger de faibles dimensions.

Celui de Gagnan était destiné à détendre le gaz de ville pour l'utiliser dans les moteurs à explosion des autobus. C'est le Lieutenant de vaisseau Cousteau à Marseille qui l'adapta à la plongée en 1945 ; c'est le détendeur CG45 (pour Cousteau/Gagnan), ancêtre du Mistral (1955) et du Royal Mistral (1963) qui intègre l'embout Aquastop.

En 1957, le détendeur à 2 étages, tel que nous le connaissons actuellement, fut inventé par Bronnel et Gauthier (c'est l'Aquamatic de la Spirotechnique). Le principe de la compensation est apparu dans le milieu des années 60.

### **Les nouvelles possibilités**

Mis à part quelques améliorations de détail, les progrès récents résident surtout dans les modalités de mise en oeuvre des appareils : la plongée avec d'autres mélanges que l'air, la plongée à saturation utilisent des principes connus avant 1950.

Cependant 40 ans ont été nécessaires pour mettre au point les techniques qui permettent aujourd'hui à l'homme de dépasser quelques dizaines de mètres pour atteindre 700 mètres de fond, y séjourner et y effectuer un travail efficace.

**...FIN**

## GLOSSAIRE

Acétylcholine	: Neurotransmetteur modérateur.	Bends	: Accident de décompression au niveau articulaire.
Adrénaline	: Hormone produite par la glande surrénale jouant un rôle primordial dans le fonctionnement du système nerveux sympathique (neurotransmetteur accélérateur).	Binaire	: Composé de deux éléments.
Aéroembolie	: Amas gazeux.	Biochimique	: Résultant de la vie chimique.
Alternobarique	: Déséquilibre de pression alterné.	Biophysique	: Etude des phénomènes de la vie par des méthodes physiques.
Alvéole pulmonaire	: Cavité naturelle présent dans le tissu du lobule pulmonaire ; lieu des échanges gazeux du poumon, l'hématose, facilité par la présence de surfactant.	Blowing up	: Terme anglais de la remontée en ballon.
Amnésie	: Perte totale ou partielle de la capacité de mémoriser l'information et/ou de se rappeler l'information mémorisée.	Bradychardie	: Ralentissement des battements du coeur.
Anévrisme	: Dilatation d'une artère ou de la paroi du coeur.	B.T.V.	: Béance Tubaire Volontaire : pour ouvrir la trompe d'Eustache.
Anoxie	: Insuffisance d'apport en oxygène aux organes et tissus vivants.	Bulbe rachidien	: Partie inférieure de l'encéphale, qui constitue un centre nerveux important.
Apnée	: Arrêt volontaire ou non de la respiration de durée variable, sans arrêt cardiaque.	Buse	: En métal ou plastique, permet de diriger un flux de gaz et de l'accélérer par rétrécissement.
Archimède	: .	Calorie	: Unité de mesure de l'énergie libérée par la chaleur.
Artériosclérose	: Maladie dégénérative de l'artère due à la destruction des fibres musculaires lisses et des fibres élastiques la constituent. Diminution du diamètre des artères.	Carbémoglobine	: Combinaison de l'hémoglobine et du CO <sub>2</sub> .
Arythmie	: Trouble du rythme cardiaque de nature physiologique ou pathologique.	Carbonaté	: Riche en CO <sub>2</sub> .
Aspirine	: Médicament analgésique, antipyrétique, anti-inflammatoire et anti-agrégant plaquettaire d'usage très courant. Nom de marque dans certains pays, il est du domaine public en France. (acide acétylsalicylique).	Carboxyhémoglobine	: Combinaison de l'hémoglobine et du CO.
Asthénie	: Etat de faiblesse générale caractérisé par une diminution du pouvoir fonctionnel de l'organisme ne disparaissant pas avec le repos.	Carie	: Maladie détruisant les structures de la dent, évoluant de la périphérie (émail) vers le centre de la dent (pulpe dentaire).
Asthme	: Affection caractérisée par des crises de dyspnée témoignant d'une contraction brutale des muscles des bronches. L'asthme touche 2 à 5 % de la population. Son traitement repose sur l'inhalation de broncho-dilatateurs.	C.A.T.	: Conduite A Tenir.
B.A.B.	: Bouche A Bouche : Assistance respiratoire d'urgence applicable dans l'attente de secours médicalisés.	Cérumen	: Substance de consistance molle, d'aspect cireux, située au fond du conduit auditif externe sécrétée par les glandes sébacées et cérumineuses.
Barotraumatisme	: Toute manifestation pathologique liée à des variations de pression à l'intérieur de l'organisme.	Chémorécepteur	: Centre sensitif artériel.
		Clapet	: En métal ou plastique, mobile et s'appuyant sur son siège, permet l'ouverture ou la fermeture d'un conduit.
		Cochlée	: Partie de l'oreille interne dévolue à l'audition.
		Collapsus	: Chute sévère de la pression artérielle systolique (la maxima) au-dessous de 8.
		Conduction	: Action de transmettre de proche en proche.
		Conjonctive	: Membrane muqueuse transparente qui recouvre la face interne des paupières et tapisse une partie du globe oculaire.
		Conjonctivite	: Inflammation de la conjonctive ; fréquentes et souvent bénignes.
		Convection	: Mouvement pris par un fluide.
		Cyanose	: Coloration mauve ou bleutée de la peau due à la présence d'un taux anormalement élevé d'oxyhémoglobine dans le sang.
		Delonca	: voir B.T.V.
		Densité	: Rapport de la masse d'un corps à celle d'un même volume en eau.

Dépression	: A une pression inférieure.	Histamine	: Amine jouant le rôle d'un médiateur chimique dans de nombreuses allergies.
Diabète	: Toute maladie caractérisée par l'élimination excessive d'une substance dans les urines (diabète insipide, rénal, gestationnel ou par défaut le diabète sucré due à une hyperglycémie).	Homéothermie	: Constance de la température du corps indépendamment de celle qui existe à l'extérieur de l'organisme assurée par l'hypothalamus.
Diastole	: Période de relaxation musculaire et de remplissage des ventricules cardiaques.	Hydrocution	: Syncope réflexe provoquée par une immersion brutale dans l'eau froide.
Doppler	: Examen utilisant les ultrasons pour mesurer la vitesse de circulation sanguine.	Hyperbare	: Supérieur à la pression atmosphérique.
Dyspnée	: Gêne respiratoire ressentie par un malade.	Hypercapnie	: Augmentation de la concentration de CO <sub>2</sub> dans le sang (PP supérieur à 42 mmHG) signe de l'hypoventilation alvéolaire.
Emphysème	: Présence d'air localisée dans les tissus (pulmonaire, sous-cutanée, ...).	Hyperoxie	: Trop d'O <sub>2</sub> .
Endogène	: Qualifie tout ce qui émane de l'organisme.	Hyperpression pulmonaire	: Augmentation de la pression intra-alvéolaire.
Endolymphe	: Liquide de l'oreille interne.	Hypertension artérielle	: Elévation anormale, permanente ou paroxystique, de la pression sanguine au repos.
Epistaxis	: Saignement de nez.	Hyperventilation	: Ventilation forcée, très profonde.
Epithélium	: Tissu qui recouvre les surfaces de l'organisme vers l'extérieur (peau, muqueuses des orifices naturels) ou vers l'intérieur (coeur, tube digestif) ou qui constitue les glandes.	Hypervolémie	: Augmentation du volume sanguin circulant.
Ethmoïde	: Petit os médian faisant partie à la fois du crâne et de la face situé immédiatement en arrière du nez entre les deux orbites contenant des cavités, des sinus.	Hypocapnie	: Diminution de la concentration de CO <sub>2</sub> dans le sang.
Exogène	: Qualifie tout ce qui provient de l'extérieur de l'organisme.	Hypotension artérielle	: Diminution de la tension artérielle.
Exsangue	: Vide de son sang.	Hypothalamus	: Région située à la base du cerveau, au-dessus de l'hypophyse ; il assure un double rôle de contrôle des sécrétions hormonales et de contrôle de l'activité du système nerveux végétatif.
Frenzel	: Méthode d'équilibrage de l'oreille.	Hypothermie	: Abaissement de la température du corps (inférieure à 35°C).
Géode	: Cavité osseuse pathologique.	Hypovolémie	: Diminution du volume sanguin efficace.
Glotte	: Région du larynx comprise entre les cordes vocales.	Hypoxie	: Diminution de la concentration d'O <sub>2</sub> dans le sang.
Glycogène	: Glucide constitué de très longues chaînes ramifiées de molécules de glucose formant la principale réserve de glucose de l'organisme.	Infarctus du myocarde	: Nécrose d'une partie du myocarde consécutive à une obstruction brutale d'une artère coronaire.
Hématie	: Cellule sanguine transportant l'oxygène des poumons vers les tissus (globule rouge).	Inhibition	: Suspension d'un acte ou d'une fonction par une force contraire.
Hématose	: Processus physiologique permettant la transformation dans les poumons du sang veineux chargé de CO <sub>2</sub> en sang artériel chargé d'O <sub>2</sub> .	Ischémie	: Diminution ou arrêt de la circulation artérielle dans une région plus ou moins étendue d'un organe ou d'un tissu.
Hématosé	: Riche en O <sub>2</sub> .	Joule	: Unité de mesure d'énergie.
Hémiplégie	: Paralysie affectant la moitié du corps (gauche ou droite).	Laryngocèle	: Hernie du larynx. Petite poche emplies d'air.
Hémoglobine	: Protéine contenue dans les globules rouges auxquels elle donne leur couleur, et qui véhicule l'O <sub>2</sub> , le CO <sub>2</sub> et le CO dans le sang.	Leucocyte	: Cellule du sang humain qui jouent un rôle dans la défense contre les agents étrangers à l'organisme (globules blancs).
Hémolyse	: Destruction des globules rouges.	Levier	: En métal ou plastique, permet de démultiplier une force.
Henry	: .	Lorrain-Smith	: Physiologiste ayant découvert l'accident portant son nom.
		Mariotte	: .
		Masse volumique	: Quotient de la masse d'un corps sur son volume.

M.C.E.	: Massage Cardiaque Externe : Etape capitale de la ranimation cardio-respiratoire, pratiquée en cas d'arrêt cardiaque.	Oxygénothérapie	: Traitement par enrichissement en oxygène de l'air inspiré.
M.D.D.	: Maladie De Décompression.	Oxyhémoglobine	: Combinaison de l'hémoglobine et de l'O <sub>2</sub> .
Membrane	: En caoutchouc, métal ou plastique, permet de transmettre une pression ambiante, en assurant une étanchéité.	Paraplégie	: Paralysie des deux membres inférieurs.
Métabolisme	: Ensemble des transformations subies dans un organisme vivant.	Parésie	: Déficit partiel de la motricité. Stade précédent une paralysie (engourdissement).
Mouton	: Boursofflure ou marbrure de la peau.	Pathologie	: Etude du développement et des manifestation des maladies.
Mydriase	: Dilatation anormale de la pupille d'un oeil qui peut avoir été frotté par un doigt en contact avec le produit. Il s'en suit des troubles passagers de la vision.	Paul Bert	: Physiologiste français.
Myéline	: Graisse phosphorée gainant les fibres nerveuses.	Pérylympe	: Liquide de l'oreille interne extérieur à la cochlée.
Myocarde	: Muscle cardiaque.	Périoste	: Membrane fibreuse blanchâtre gaineant l'os, à l'exception des surfaces articulaires.
Narcole	: Ivresse des profondeurs.	Péristaphyllin	: Nom des muscles entourant la trompe d'Eustache.
Neurologique	: Intéressant le système nerveux.	Ph	: Grandeur chimique mesurant le caractère plus ou moins acide ou basique d'une solution aqueuse.
Neurotoxique	: Toxique pour le système nerveux.	Phrénique	: Qui concerne le diaphragme. Nom du principal nerf moteur de la respiration.
Neurotransmetteur	: Substance chimique sécrétée par certains neurones pour transmettre l'influx nerveux vers d'autres cellules.	Plèvre	: Membrane recouvrant presque complètement le poumon, composé de deux feuillets.
Normobar	: A la même pression que la pression atmosphérique.	Pneumogramme	: Enregistrement des mouvements respiratoires.
Normoxie	: Taux normal d'O <sub>2</sub> .	Pneumothorax	: Epanchement d'air dans la plèvre, entre ses deux feuillets.
Oedème	: Rétention pathologique de liquide dans les tissus de l'organisme (poumon, cerveau, oeil,...).	Pointeau	: En métal, permet de transmettre le mouvement au clapet et de réguler le flux d'air ; plus il est pointu, plus la force exercée est forte.
Ophthalmologiste	: Médecin qui se consacre à l'étude de la structure et du fonctionnement des yeux ainsi qu'aux maladies qui les concernent.	Polypnée	: Augmentation de la fréquence respiratoire.
O.R.L.	: Oto-rhino-laryngologue : Médecin qui se consacre à la physiologie des oreilles, du nez et de la gorge.	PP	: Pression Partielle.
Osmose	: Transfert d'eau d'une solution diluée (hypotonique) vers une solution concentrée (hypertonique) au travers d'une membrane semi-perméable.	Pré-requis	: Elément clé à maîtriser avant un autre.
Ostéo-arthrite	: Toute affection inflammatoire aiguë ou chronique qui frappe les articulations.	Puce	: Accident de décompression cutanée sous forme de picotements.
Ostéo-nécrose	: Mort d'un fragment de tissu osseux due à une interruption de la circulation sanguine, aboutissant à un infarctus osseux.	Quadriplégie	: voir Tétraplégie.
Ostias	: Conduits sinusiens.	Réflexogène	: Réaction réflexe.
Ostium	: Conduit sinusien.	Ressort	: Permet d'imprimer une force pressante ou de lui résister ; il est caractérisé par sa longueur non comprimée, sa longueur maximale comprimée, son diamètre, sa section et la nature du métal.
Otite	: Inflammation des cavités de l'oreille moyenne, de la muqueuse qui les tapisse et du tympan.	Rétine	: Membrane tapissant la face interne de l'oeil et contenant les cellules qui permettent de capter le signal lumineux.
O.T.B.	: Otite Barotraumatique.	Révolution cardiaque	: Systole auriculaire + Systole ventriculaire + Diastole.
Otorragie	: Ecoulement de sang provenant de l'oreille.	Rhinite	: Inflammation de la muqueuse des fosses nasales.
		Rhume de cerveau	: Forme de rhinite aiguë.
		Saturation	: Etat d'équilibre entre deux éléments (Pression = Tension).

Second souffle	: Adaptation des rythmes cardiaques et respiratoires à l'effort tout en continuant la même activité (marathonien, par exemple).	Trombose	: Phénomène pathologique consistant en la formation d'un caillot dans une artère ou une veine
Shunt	: Passage anormal du sang d'une cavité à une autre.	Toynbee	: Méthode d'équilibration de l'oreille.
S.N.H.P.	: Syndrome Nerveux des Hautes Pressions (accident toxique à l'hélium).	Traumatisme	: Ensemble des troubles physiques et des lésions d'un tissu, d'un organe ou d'une partie du corps provoqués accidentellement par un agent extérieur.
Soupape	: En caoutchouc, métal ou plastique, permet d'assurer le passage d'un gaz ou d'un liquide dans un sens et pas dans l'autre.	Turbidité	: Etat d'un liquide trouble.
Sous saturation	: Etat de déséquilibre entre deux éléments (Pression > Tension).	Urée	: Substance azotée provenant de la destruction des protéines d'origine alimentaire ou constitutives des tissus humains.
Spasme	: Contraction involontaire non rythmée d'un muscle isolé ou d'un groupe musculaire.	Valsalva	: Epreuve respiratoire consistant à effectuer une expiration forcée, la glotte fermée.
Spasmophilie	: Syndrome lié à un état d'hyperexcitabilité neuromusculaire chronique.	Vasoconstriction	: Diminution du diamètre des vaisseaux sanguins.
Spirométrie	: Examen servant à mesurer les volumes et les débits pulmonaires.	Vasodilatation	: Augmentation du diamètre des vaisseaux sanguins.
Sphénoïde	: Os du crâne.	Venturi	: Entraînement dans le mouvement d'un volume gazeux environnant.
Spume	: Mélange d'air et d'eau.		
Squeeze	: Terme anglais du coup de ventouse.		
Surdité	: Diminution très importante ou inexistence totale de l'audition.		
Surfactant	: Substance tapissant l'intérieur des alvéoles pulmonaires.		
Surpression	: A la pression supérieur à la normale.		
Sur saturation	: Etat de déséquilibre entre deux éléments (Pression < Tension).		
Syncope	: Perte de connaissance, brève, complète, brutale et réversible, consécutive à une diminution de l'oxygénation cérébrale.		
Systole	: Phase du cycle cardiaque correspondant à la contraction des oreillettes, puis à celle des ventricules.		
Tachycardie	: Accélération des battements du coeur.		
Taravana	: Accident de décompression spécifique des plongeurs en apnée d'Océanie.		
Ternaire	: Comprenant trois éléments.		
Tétraplégie	: Paralysie touchant simultanément les quatre membres.		
Thermog�n�se	: Lutte pour maintenir une certaine température.		
Thermolyse	: Excrétion de la chaleur interne.		
Thérapie	: Méthodes de traitement.		
Thrombocyte	: Cellule sanguine sans noyau jouant un rôle important dans la coagulation du sang et l'inflammation (plaquette).		

## **BIBLIOGRAPHIE**

### **Cours et support de cours :**

Théorie Niveau IV Capacitaire 1995/96 PUC. Pascal Chauvière.  
Théorie Niveau IV Capacitaire 1994 CIP Nice.  
Théorie Niveau IV Capacitaire 1992 Cap Cerbère.

### **Catalogues constructeurs et importateurs :**

Spiro 1994, 1996  
Scubapro 1996  
Beuchat 1996  
Décathlon 1995/96  
Ordinateurs de plongée Suunto Solution Alpha et EON.

### **Livres :**

Plongée Subaquatique. Philippe MOLLE et Pierre REY, Ed. Amphora  
Plongée de loisir et professionnelle en sécurité. Philippe MOLLE. Ed. Amphora  
Enseigner et organiser la plongée. Philippe MOLLE. Ed. Amphora  
Code Vagnon. Plongée Secourisme. Denis JEANT. Ed. du plaisancier

### **Spécial bio :**

Guide des poissons de la Méditerranée. Ed. Delachaux et Niestlé  
Découvrir ... le Méditerranée. Steven WEINBERG.  
Découvrir ... l'Atlantique du Nord et la Manche. Steven WEINBERG.  
Découvrir ... la Mer Rouge et l'Océan Indien. Steven WEINBERG.

### **Documents fédéraux :**

CTN : Manuel du moniteur  
Info-Est No 38 (Novembre 1995) : Accidents dentaires et plongée

### **Articles de revues et journaux :**

Apnée No 75 (Mars 1996) : Les accidents et les lésions de l'oreille  
Info-santé OCP Pharmacie No 190 : Otites, prévenir avant tout !  
Info-santé OCP Pharmacie No 192 : L'asthme, de la gêne aux complications  
Mer & Océans Spécial Plongée No 1 (Novembre 1995) : Juniors : la plongée découverte  
Océans No 229 (Janvier-Février 1996) : Les "profondes".  
Océans No 231 (Mai-Juin 1996) : Les bobos des plongeurs ; Plongée en altitude.  
Océans No 232 (Juillet-Aout 1996) : Plongez la nuit ; La descente.  
Octopus No 1 (Février-Mars 1996) : La plongée au Nitrox ; CFPS ; Médicaments.  
Octopus No 2 (Juin-Juillet 1996) : Accidents, les chiffres en baisse.

Octopus No 3 (Aout-Septembre 1996) : La plongée profonde ; Pharmacie pour voyages.

Octopus No 6 (Février-Mars 1997) : Pourquoi fait-on des paliers.

Plongée Magazine No 14 (Juin-Juillet 1996) : La théorie en plongée ; les papiers du plongeur ; Justice et assistance.

Plongée Magazine No 15 (Aout-Septembre 1996) : Ordinateur et ADD ; Bouées et assistance ; Les épreuves des blocs

Subaqua No 146 (Mai-Juin 1996) : Nitrox : les limites des mélanges suroxygénés.

Subaqua No 147 (Juillet-Aout 1996) : Code pénal et plongée ; Aspirine : des c...omprimés et déc...ompression