

THEORIE PLONGEE



NIVEAU II

INTRODUCTION

Ce document regroupe la théorie utile pour un plongeur de Niveau II.

Il est la compilation de différents cours, de différents livres et de multiples échanges avec des encadrants et des élèves de tous niveaux.

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

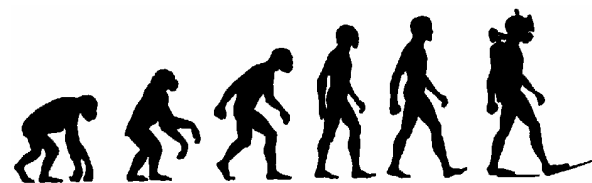
Les informations qui vont suivre vont vous permettre de préparer l'accession à la plongée autonome ; mais malheureusement cela ne suffira pas, il faudra également vous préparer au niveau physique et technique.

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

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 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 II, bonne lecture et surtout bonnes plongées !



CHAPITRE 1 : CONTENU DE L'EXAMEN.....	4
1. CONDITIONS DE CANDIDATURE.....	4
2. CONTROLE DES ACQUIS.....	4
- <i>Compétence 1a : Utiliser son matériel.....</i>	<i>4</i>
- <i>Compétence 1b : Comportement et gestes techniques en surface.....</i>	<i>4</i>
- <i>Compétence 2 : Immersions et retour en surface.....</i>	<i>4</i>
- <i>Compétence 3 : Maîtrise de la ventilation en plongée.....</i>	<i>4</i>
- <i>Compétence 4 : Réactions aux situations usuelles.....</i>	<i>4</i>
- <i>Compétence 5 : Autonomie de plongée dans l'espace médian.....</i>	<i>4</i>
- <i>Compétence 6 : Connaissances théoriques élémentaires.....</i>	<i>5</i>
CHAPITRE 2 : LES PRESSIONS.....	6
1. JUSTIFICATION.....	6
2. NOTION DE PRESSION.....	6
3. DEFINITION.....	6
4. LA PRESSION ATMOSPHERIQUE.....	6
5. PRESSION RELATIVE.....	6
6. PRESSION ABSOLUE.....	7
7. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	7
CHAPITRE 3 : LOI DE MARIOTTE.....	8
1. JUSTIFICATION.....	8
2. RAPPELS.....	8
3. MISE EN EVIDENCE.....	8
4. LOI ET FORMULE.....	8
5. APPLICATIONS CHIFFREES.....	9
6. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	9
CHAPITRE 4 : LE PRINCIPE D'ARCHIMEDE.....	10
1. JUSTIFICATION.....	10
2. RAPPELS.....	10
3. MISE EN EVIDENCE.....	10
4. LOI ET FORMULE.....	11
5. APPLICATIONS CHIFFREES.....	11
6. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	12
CHAPITRE 5 : LOI DE DALTON.....	13
1. JUSTIFICATION.....	13
2. RAPPELS.....	13
3. MISE EN EVIDENCE.....	13
4. LOI ET FORMULE.....	14
5. APPLICATIONS CHIFFREES.....	14
6. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	14
CHAPITRE 6 : LOI DE HENRY.....	15
1. JUSTIFICATION.....	15
2. RAPPELS.....	15
3. MISE EN EVIDENCE.....	15
4. LOI DE HENRY.....	15
5. DEFINITIONS ET NOTIONS.....	16
<i>a. Les cinq états de saturation.....</i>	<i>16</i>
<i>b. Notion de tension.....</i>	<i>16</i>
<i>c. Notion de gradient.....</i>	<i>16</i>
<i>d. Notions de tissus et de période.....</i>	<i>16</i>
<i>e. Les facteurs de dissolution.....</i>	<i>17</i>
6. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	17
CHAPITRE 7 : LA VISION DANS L'EAU.....	19
1. JUSTIFICATION.....	19
2. LES 4 EFFETS.....	19
<i>a. La réflexion.....</i>	<i>19</i>
<i>b. La réfraction.....</i>	<i>19</i>
<i>c. L'absorption.....</i>	<i>19</i>
<i>d. La diffusion.....</i>	<i>19</i>
3. APPLICATION A LA PLONGEE.....	19
<i>a. Sans masque.....</i>	<i>19</i>
<i>b. Avec masque.....</i>	<i>20</i>
<i>c. Remarque.....</i>	<i>20</i>
4. EXERCICES D'APPLICATION.....	20
CHAPITRE 8 : L'ACOUSTIQUE DANS L'EAU.....	21
1. JUSTIFICATION.....	21
2. DIFFERENCE DE MILIEU.....	21
3. EXERCICES D'APPLICATION.....	21
4. APPLICATIONS A LA PLONGEE.....	21
CHAPITRE 9 : PHYSIOLOGIE ELEMENTAIRE.....	22
1. JUSTIFICATION.....	22
2. L'APPAREIL CIRCULATOIRE.....	22
3. L'APPAREIL RESPIRATOIRE.....	22
4. LES SINUS.....	23
5. L'OREILLE.....	23
5. CONDITION POUR PLONGER.....	25
6. CONTRE-INDICATIONS PRINCIPALES.....	25
CHAPITRE 10 : LES ACCIDENTS MECANIQUES.....	26
1. JUSTIFICATION.....	26
2. RAPPELS.....	26
3. LE PLACAGE DU MASQUE.....	26
4. LES SINUS.....	27
5. LES OREILLES.....	27
6. LES INTESTINS ET L'ESTOMAC.....	29
7. LES DENTS.....	29
8. LA SURPRESSION PULMONAIRE.....	30
9. AUTRES ACCIDENTS.....	31
CHAPITRE 11 : LES ACCIDENTS BIOCHIMIQUES.....	32
1. JUSTIFICATION.....	32
2. RAPPELS.....	32
3. L'OXYGENE.....	32
<i>a. L'effet Lorrain-Smith : (hyperoxie chronique).....</i>	<i>32</i>
<i>b. Effet Paul Bert : (hyperoxie aiguë).....</i>	<i>32</i>
<i>c. Hypoxie - Anoxie.....</i>	<i>33</i>
4. L'AZOTE - LA NARCOSE.....	33
5. LE GAZ CARBONIQUE : L'HYPERCAPNIE.....	34
CHAPITRE 12 : L'ACCIDENT BIOPHYSIQUE.....	36
1. JUSTIFICATION.....	36
2. RAPPELS.....	36
3. CAUSES ET MECANISME.....	36
4. SYMPTOMES.....	36
<i>a. Accidents cutanés : Puces et moutons.....</i>	<i>36</i>
<i>b. Accidents ostéo-articulaires : Bends.....</i>	<i>36</i>
<i>c. Accidents neurologiques.....</i>	<i>36</i>
<i>d. Accidents centraux.....</i>	<i>37</i>
<i>e. Accidents de l'oreille interne (accidents vestibulaires).....</i>	<i>37</i>
<i>f. La Maladie De Décompression.....</i>	<i>37</i>
5. CONDUITE A TENIR.....	37
6. PREVENTION.....	38
CHAPITRE 13 : LE FROID.....	39
1. JUSTIFICATION.....	39
2. LA TEMPERATURE.....	39
<i>a. Les échanges thermiques.....</i>	<i>39</i>
<i>b. Equilibre thermique.....</i>	<i>39</i>
<i>c. Conséquences en plongée.....</i>	<i>39</i>
3. DEPERDITION CALORIFIQUE : L'HYPOTHERMIE.....	39
<i>a. Cause.....</i>	<i>39</i>
<i>b. Symptômes.....</i>	<i>40</i>
<i>c. Conduite à tenir.....</i>	<i>40</i>
<i>d. Préventions.....</i>	<i>40</i>
4. LE CHOC THERMO-DIFFERENTIEL : L'HYDROCUTION.....	40
<i>a. Cause.....</i>	<i>40</i>
<i>b. Symptômes.....</i>	<i>40</i>
<i>c. Conduite à tenir.....</i>	<i>40</i>
<i>d. Préventions.....</i>	<i>40</i>
CHAPITRE 14 : LA NOYADE.....	41
1. JUSTIFICATION.....	41
2. CAUSES.....	41
3. TYPES DE NOYADES.....	41
4. SYMPTOMES.....	41
5. CONDUITE A TENIR.....	41
6. LA PREVENTION.....	42
<i>a. Générale.....</i>	<i>42</i>

<i>b. En plongée</i>	42
CHAPITRE 15 : LES DANGERS DU MILIEU	43
1. JUSTIFICATION	43
2. LES DANGERS	43
CHAPITRE 16 : LES ACCIDENTS DE PLONGEE LIBRE	43
1. JUSTIFICATION	43
2. ACCIDENTS COMMUNS AVEC LA PLONGEE BOUTEILLE	43
<i>a. Les barotraumatismes</i>	43
<i>b. Accidents toxiques</i>	43
<i>c. Accidents de décompression</i>	43
<i>c. Froid, noyade, dangers du milieu</i>	43
3. ACCIDENTS SPECIFIQUES	44
<i>a. Durée de l'apnée</i>	44
<i>b. L'hypercapnie et la noyade</i>	44
<i>c. L'hypoxie</i>	44
<i>d. Le rendez-vous syncopal des 7 mètres</i>	45
<i>e. Surmenage cardiaque</i>	45
<i>e. Oedème aigu du poumon</i>	46
CHAPITRE 17 : UTILISATION DES TABLES M.N. 90	47
1. JUSTIFICATION	47
2. HISTORIQUE	47
3. DEFINITIONS DANS LE CADRE DE LA PLONGEE SOUS-MARINE	47
4. LES ORDINATEURS DE PLONGEE	48
4.1. Principe	48
4.2. Historique	48
4.3. Ordinateurs et tables	48
4. LES TABLES M.N. 90	49
4.1. Description	49
4.2. Utilisation dans les problèmes	50
4.3. La durée totale de remontée	50
4.4. Les limites d'utilisation de la table M.N. 90	50
5. COURBE DE SECURITE	51
6. PLONGEES SIMPLES	51
7. REMONTEES LENTES (Vitesse < 15 m/mn)	52
8. REMONTEES RAPIDES (V>17 m/mn)	52
9. DEUXIEME PLONGEE	53
<i>a. Définition</i>	53
<i>b. Intervalle > 12 heures</i>	53
<i>c. Intervalle < 15 minutes : Plongée consécutive ou additionnelle</i>	53
<i>d. 15 minutes à l'intervalle à 12h00 : Plongée successive</i>	53
10. EXERCICES A FAIRE	55
<i>Exercice 1 : Simple</i>	55
<i>Exercice 2 : Simple</i>	55
<i>Exercice 3 : Simple</i>	55
<i>Exercice 4 : Successive</i>	55
<i>Exercice 5 : Successive + Additionnelle</i>	55
<i>Exercice 6 : Additionnelle avec remontée rapide</i>	55
<i>Exercice 7 : Additionnelle</i>	55
<i>Exercice 8 : Successive</i>	55
<i>Exercice 9 : Additionnelle avec remontée rapide</i>	55
<i>Exercice 10 : Successive</i>	55
11. SOLUTIONS DES EXERCICES	56
12. TABLES DE PLONGEES M.N. 90	57
CHAPITRE 18 : LE MATERIEL	59
1. JUSTIFICATION	59
2. LA BOUTEILLE DE PLONGEE	59
<i>a. Le corps</i>	59
<i>b. Le sanglage</i>	59
<i>c. La robinetterie</i>	59
3. LA BOUTEILLE DE BOUEE	61
4. LE DETENDEUR	62
<i>a. Principe</i>	62
<i>b. Soins particuliers</i>	63
5. LES MANOMETRES ET PROFONDIMETRES	63
5.1. Définitions	63
5.2. Rappels	63
5.3. Manomètre	63
5.4. Baromètre	63

5.5. Profondimètre ou bathymètre	63
CHAPITRE 19 : REGLEMENTATION ET ORGANISATION DES PLONGEES	66
1. JUSTIFICATION	66
2. LES NIVEAUX DES PLONGEURS ET DES ENCADRANTS	66
3. LA REGLEMENTATION	67
4. LA SECURITE	68
5. LA CONDUITE DE PALANQUEE	68
6. LE SAVOIR-VIVRE	69
CHAPITRE 20 : LA PLONGEE EN FRANCE ET DANS LE MONDE	71
1. ORGANISMES	71
1.1. Structures amateurs	71
1.2. Structures professionnelles	73
2. HISTORIQUE DE LA PLONGEE ET DE SES TECHNIQUES	74

CHAPITRE 1 : CONTENU DE L'EXAMEN

1. CONDITIONS DE CANDIDATURE

- Etre licencié à la F.F.E.S.S.M.,
- Etre âgé d'au moins 16 ans (autorisation parentale pour les moins de 18 ans),
- Etre titulaire du brevet élémentaire niveau I,
- Etre en possession d'un certificat médical de non contre-indication à la plongée sous-marine établi par un médecin agréé par la F.F.E.S.S.M. ou par un médecin du sport depuis moins d'un an.
- Présenter le carnet de plongée,

2. CONTROLE DES ACQUIS

Le niveau II atteste de compétences ; il s'agit des conditions minimales d'accès aux prérogatives définies par l'arrêté du 22 juin 1998. Après le niveau II, le plongeur doit évoluer et pratiquer graduellement.

Il va pouvoir évoluer de manière autonome dans l'espace médian (et y intervenir) sous le contrôle d'un directeur de plongeur qui choisit le site et fixe les paramètres ; il va aussi pouvoir évoluer dans l'espace lointain encadré par un plongeur niveau IV au minimum. C'est aussi le niveau technique minimum pour l'accès à l'initiateur de club.

- Compétence 1a : Utiliser son matériel

- * Connaissances identiques à ceux du niveau I mais la gamme des matériels inclura obligatoirement le système gonflable de stabilisation, la matériel nécessaire à l'autonomie et le matériel utilisé par le groupe de plongeurs.
- * Pour l'entretien courant, connaissance de la conduite à tenir face aux pannes les plus fréquentes.

- Compétence 1b : Comportement et gestes techniques en surface

- * Connaissances identiques à ceux du niveau I mais vérifiés en milieu naturel avec l'équipement complet incluant le système gonflable de stabilisation.
- * Déplacements avec le scaphandre (distance d'environ 250 mètres)
- * Capelage et décapelage du scaphandre en surface.

- Compétence 2 : Immersions et retour en surface

- * Technique d'immersion et descente sur un fond de 20 mètres.
- * Maîtrise de la remontée instinctive selon la procédure choisie sans l'aide d'instrument.
- * Maintien d'un palier sans autre repères que les instruments personnels
- * Utilisation du parachute de palier.

- Compétence 3 : Maîtrise de la ventilation en plongée

- * Maîtrise de la ventilation dans l'espace médian avec adaptation en fonction du palmage.
- * Remontée en expiration avec embout en bouche de 10 mètres.
- * Remontée en expiration sans embout en bouche de 10 mètres mais avec reprise d'embout et cycle ventilatoire tous les 2 mètres.
- * Réaction au remplissage inopiné du masque
- * Maîtrise de l'équilibre et du poumon ballast.
- * Déplacement en apnée. Apnée expiratoire. Apnée inspiratoire.

- Compétence 4 : Réactions aux situations usuelles

- * Communication : OK / non OK, Froid, Plus d'air, Essoufflement, Sur réserve, Réserve à passer, Monter / Descendre, Mi-pression mano, Fin.
- * Réaction à la panne d'air. Maîtrise de vitesse de remontée avec les deux techniques : échange d'un embout et second détendeur.
- * Réaction à l'essoufflement et à toute situation nécessitant une assistance ou un sauvetage.

- Compétence 5 : Autonomie de plongée dans l'espace médian

- * Vérification et contrôle avant départ (codes de communications, consignes de sécurité, matériel)
- * Organisation et conduite dans la palanquée, planification du profil de plongée et de la décompression en fonction des directives, gestion d'air, du retour des consécutives ou successives éventuelles.
- * Orientation au cours de la plongée : sans instrument si les conditions le permettent ou avec si les conditions de milieu et la sécurité le rendent souhaitable.

- Compétence 6 : Connaissances théoriques élémentaires

- * Causes, symptômes, prévention et conduite à tenir pour l'ensemble des accidents pouvant survenir dans le cadre de l'autonomie ou de l'espace lointain.
- * Physiologie de base.
- * La réglementation concernant la protection du milieu, le matériel, les prérogatives et responsabilités du niveau II.
- * Utilisation pratique des tables de plongée M.N. 90. actualisées : Plongée simple, Courbe de sécurité, Plongées consécutives, Plongées successives, Remontées anormales, rapides, lentes.
- * Notions physiques simples permettant de comprendre les effets du milieu, les principes de fonctionnement du matériel, l'autonomie en air, la flottabilité.
- * Matériel. Critères de choix dans l'équipement personnel.

- Nota-Bene :

- * Les sessions de plongeur autonome niveau II sont organisées au niveau des clubs. L'acquisition de chacune des compétences 1 à 6 doit se faire au sein d'une même équipe pédagogique ; il n'y a pas de chronologie (sauf pour la compétence 5 qui doit être réalisée en fin de formation).
- * Chaque compétence, lorsqu'elle est jugée satisfaisante doit être signée au minimum par un encadrant niveau 3 (M.F.1 ou un B.E.E.S.1.).
- * Les candidats disposent de 15 mois pour acquérir le niveau.



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...

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

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

Unités : En plongée, on utilisera **le bar**. Un bar représente la pression exercée par un poids de 1 kg sur une surface de 1 cm².

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.

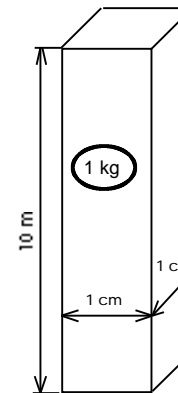
- Jusqu'à 5000 mètres d'altitude, la pression atmosphérique diminue de 0,1 bar par 1000 mètres. Ainsi à 2000 m, la pression atmosphérique est d'environ 0,8 bar et descend à 0,5 bar à 5000 m. (Attention, c'est une simplification et une moyenne).

- 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.

Considérons une colonne d'eau de 10m de haut et de 1 cm² de section. Son volume total est de 1000cm * 1cm² = 1000cm³ = 1dm³ = 1 litre. Or 1 litre d'eau a une masse de 1 kg, donc la colonne d'eau aussi. La pression exercée par la colonne sur la surface est de 1 bar (pression exercée par 1 kg sur une surface de 1cm²).



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

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 30 m est de : 3 bars.
- 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.

6. PRESSION ABSOLUE

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

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

- 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 = kg/cm^2

- P absolue = P relative + P atmosphérique.

- P relative = profondeur / 10.

3. MISE EN EVIDENCE

PROFONDEUR	PRESSION	VOLUME	EXPERIENCE
0 mètre	1 bar	6 litres	
5 mètres	1,5 bars	4 litres	
10 mètres	2 bars	3 litres	
20 mètres	3 bars	2 litres	

- 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, la pression d'un gaz est inversement proportionnelle a son volume.

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 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 : 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.

6. APPLICATIONS A LA PLONGEE

**Lorsqu'un plongeur remonte,
IL DOIT SOUFFLER TOUT AU LONG DE SA REMONTEE, FAUTE DE
QUOI IL RISQUE UNE SURPRESSION PULMONAIRE**
(éclatement des alvéoles pulmonaires).

Cette loi nous permet de :

- Calculer la capacité d'un bloc :

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

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

- 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.

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.

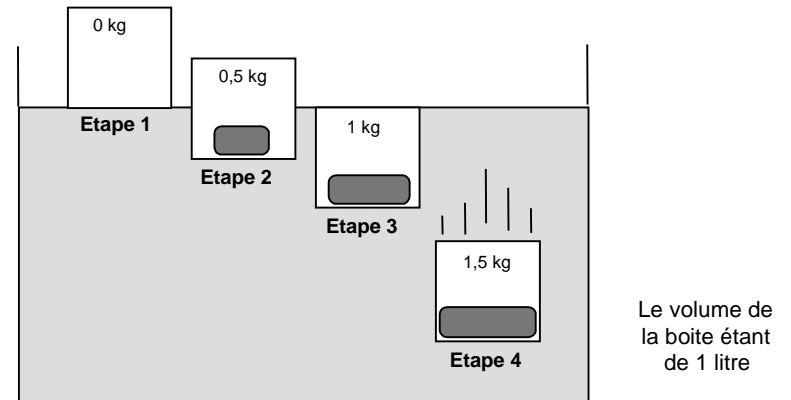
2. RAPPELS

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

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.
 - à 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.
 - à 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.
 - à C'est le cas lorsque vous êtes trop lesté.



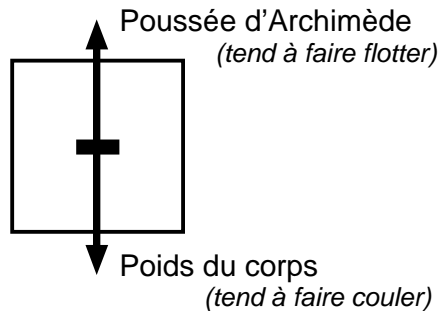
4. LOI ET FORMULE

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 :

$$\text{Poids apparent} = \text{Poids réel} - \text{Poussée d'Archimède}$$

- 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.



Attention, le poids apparent a un signe :

- Si $P_{app} > 0$ flottabilité négative à l'objet coule.
- Si $P_{app} = 0$ flottabilité nulle à l'objet est en équilibre entre 2 eaux.
- Si $P_{app} < 0$ flottabilité positive à 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 dm³. 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 : $P_{app} = +17$ kilos à elle coule.

Exercice 2 : (Sur Archimède seul).

Un plongeur se bricole un boîtier vidéo. Son volume est de 5 dm³ 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 : $P_{app} = -1$ kilos

à 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 dm³. Il descend à 40 m. Se trouvant trop lourd à cette profondeur, il décide de s'équilibrer à l'aide de sa bouée.

- Quel volume d'air doit-il introduire dans sa bouée ?
- Quelle pression minimale doit il avoir dans sa bouteille de P.A. pour pouvoir s'équilibrer sachant que sa capacité est de 0,4 litre. (1 l d'eau pèse 1 kg).

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

b) il faut au minimum 187,5 bars.

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 poids négligeable, de volume gonflé à 30 mètres égal à 70 litres. Lorsqu'on ne peut plus mettre d'air, quelle est la longueur de corde nécessaire entre le parachute et l'ancre pour remonter cette dernière.

Réponse : il faut 20 mètres de corde.

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'emballé. 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 (O₂) : le carburant.
 - * 79 % d'azote (N₂) : le diluant.
 - * 0,02 % de gaz carbonique (CO₂) : l'excitant du système respiratoire.
 - * 0,01 % de gaz rares (néon, xénon, argon, krypton,...).
- Pratiquement, sauf précisions complémentaires, on prendra :
 - * 20% de O₂.
 - * 80 % de N₂.
- $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$.

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 ————— P1 = 1 bar dont 80 l. Azote dont 20 l. Oxygène

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

100 l. d'Oxygène ————— P2 = ?

- Calculons grâce à la loi de Mariotte la pression du réservoir où les 20 l d'oxygène précédent occupent maintenant tout 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 ————— P2 = 0,2 bar

- 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 ————— P2 = 0,8 bar

4. LOI ET FORMULE

Enoncé : A température donnée, la pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qu'aurait 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 :

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

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

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 PPO₂ = 1,7 bar?

Réponse : 75 mètres.

Exercice 3: Pour quel mélange O₂ / N₂ a-t-on PPO₂ = 1,7 bars à 40 m de fond?

Réponse : 34% d'O₂ et 66% de N₂.

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 pour la plongée aux mélanges.
- Oxygénothérapie hyperbare (caisson de recompression) et normobare.
- Elaboration des tables de plongée : Recherche de la tension d'azote (TN₂) 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.

2. RAPPELS

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

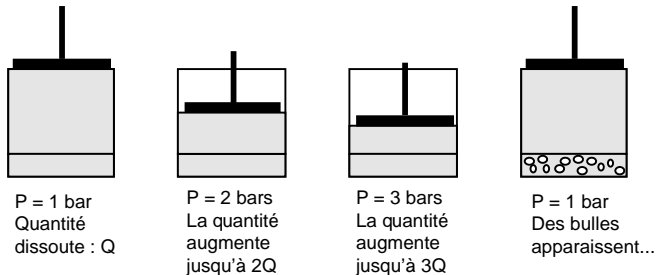
3. MISE EN EVIDENCE

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 :
- à 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 :
- à 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.

5. DEFINITIONS ET NOTIONS

a. Les cinq états de saturation

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

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 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.

b. 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.

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

- A sous saturation, la tension augmente vers la valeur de la pression partielle ambiante.

- A sursaturation, la tension diminue vers la valeur de la pression partielle ambiante.

c. 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.

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

d. 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 brûlé 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 mn (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 mn mettra 30 mn pour dissoudre la moitié du gradient, puis 30 mn pour dissoudre la moitié du reste,...

e. Les facteurs de dissolution

FACTEUR DE DISSOLUTION	APPLICATION A LA PLONGEE	INCIDENCE SUR LA QUANTITE DISSOUTE	FACTEUR
Nature du gaz	Plongée à l'hélium ou l'hydrogène	A tout moment	Constant
Nature du liquide	Différents tissus		
Température. Si T diminue, la quantité dissoute augmente	Considérée constante à 37°C Mais attention à l'eau froide (< à 12°C)		
Pression	Profondeur		
Temps	Durée de la plongée	Avant la saturation	Variable
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		

- 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.

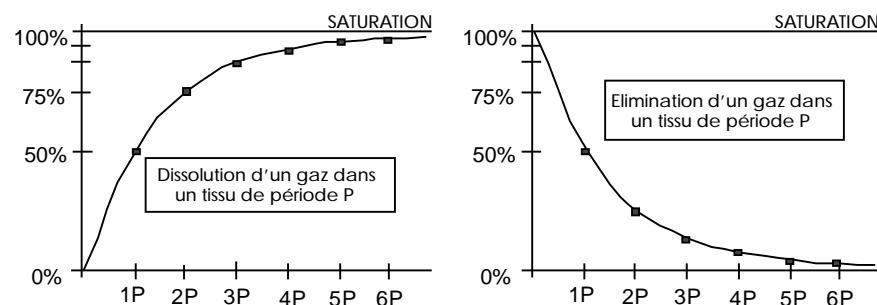
6. APPLICATIONS A LA PLONGEE

- * 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.

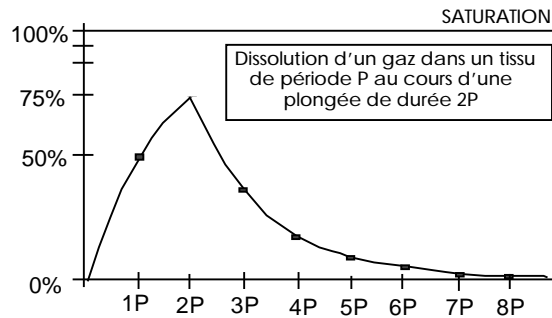
- A la remontée, l'azote doit être éliminé, sans qu'aucun tissu ne soit jamais en état de dépassement de son seuil de sursaturation critique. Cela nécessite de limiter la vitesse de remontée et de faire des paliers.

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 à tissus 40', 75' et 120' jusqu'à 38 m.
tissus 7', 30', 60', et 120' de 40 à 85 m.

* M.N. 90 à 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 le tableau d'inhalation
d'O₂ 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.

CHAPITRE 7 : LA VISION DANS L'EAU

1. JUSTIFICATION

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

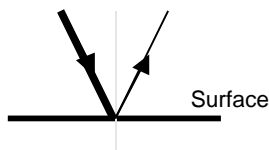
- On voit plus gros.
- Les objets sont rapprochés.
- Le champ de vision est rétréci.
- Les couleurs disparaissent, sauf si on éclaire avec une lampe.
- En eau trouble, la lampe est peu efficace.

Nous allons voir pourquoi.

2. LES 4 EFFETS

a. La réflexion

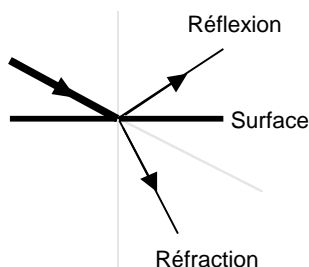
Tout se passe comme si la surface de l'eau agissait comme un miroir. Une partie des rayons est réfléchi.



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

b. La réfraction

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



c. L'absorption

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

<i>PROFONDEUR</i>	<i>INTENSITE LUMINEUSE</i>	<i>DISPARITION DES COULEURS</i>
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).

d. 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

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

b. 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.

c. 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.

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.

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. L'APPAREIL CIRCULATOIRE

C'est grâce à cette appareil que notre sang (5 litres, c'est à dire 7 à 8 % du poids du corps) va pouvoir se diffuser dans l'organisme et remplir ses fonctions. Il comprend :

- **Le coeur** est un muscle creux, gros comme le poing, qui envoie le sang dans les cellules par ses contractions à la manière d'une pompe aspirante et refoulante. Il bat environ entre 60 et 80 coups par minute pour un adulte au repos.
- **La petite circulation** entre le coeur et les poumons permet d'échanger le CO₂ contre l'O₂ 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 CO₂ aux cellules et leur donne de l'O₂.

C.F. SCHEMA DE LA CIRCULATION.

3. 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 CO₂. La fréquence respiratoire est d'environ 15 à 20 cycles par mn. Le besoin est d'environ 20 m³ d'air par jour.

L'appareil respiratoire se décompose en trois parties:

- **Les voies aériennes supérieures** : Elles servent à amener l'air aux poumons et à le réchauffer au passage (nez, bouche, sinus, pharynx, larynx, trachée...).
- **Les voies aériennes inférieures** : Elles assurent les échanges d'O₂ et de CO₂ entre l'air et le sang (poumons, bronches, bronchioles et alvéoles). La surface de contact dans les alvéoles est d'environ 100 à 150 m².

- **Les organes mécaniques** : Ils assurent la ventilation des voies aériennes (côtes, sternum, muscles intercostaux, diaphragme et rachis).

Revenons aux poumons pour, plus tard, mieux comprendre la surpression pulmonaire :

Capacités :	Volume de réserve inspiratoire :	1,5 à 2,5 litres.
	Volume courant :	0,5 litre.
	Volume de réserve expiratoire :	1,5 litres.
	<u>Volume résiduel :</u>	<u>1 à 1,5 litres.</u>
	Capacité totale :	5 à 6 litres.

Attention, lorsque l'on expire à fond, il reste de l'air dans nos poumons qui ne sera pas renouvelé. C'est ce qu'on appelle **le volume mort**. 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.

CF. SCHEMA DES POUMONS

4. 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 qui recouvre toutes les voies aériennes supérieures. Les sinus sont reliés au rhino-pharynx par des conduits 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.

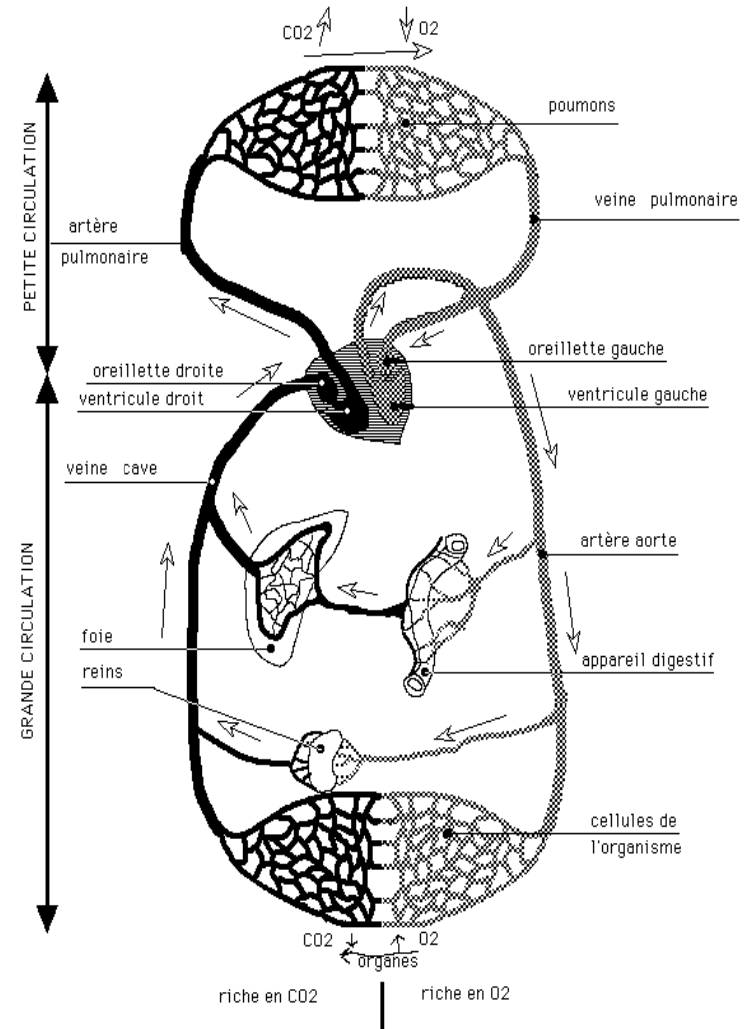
5. L'OREILLE

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

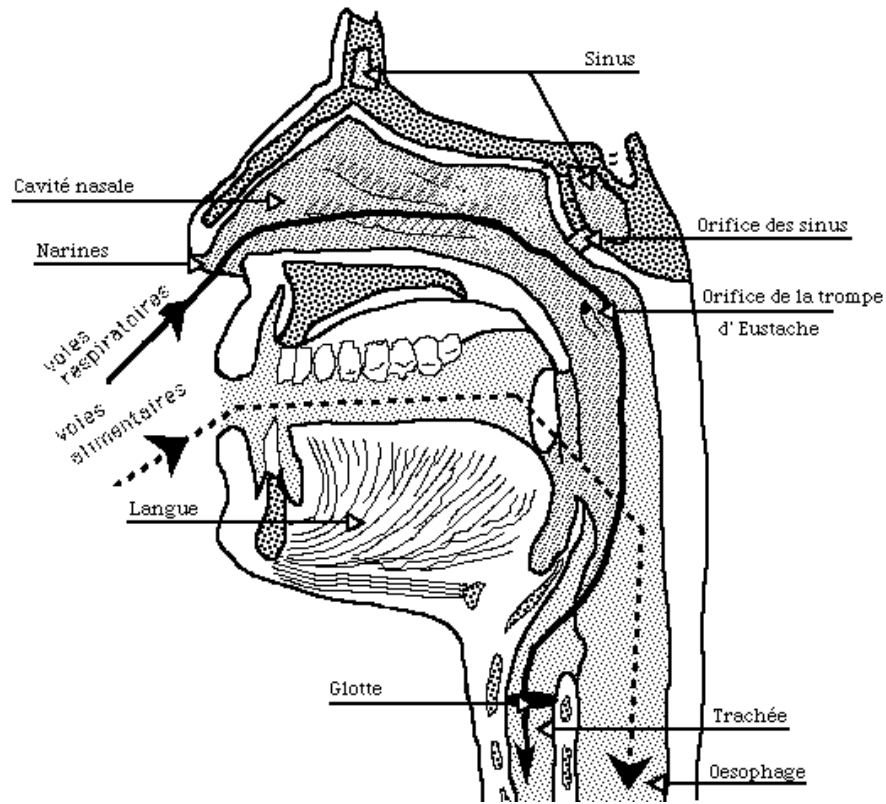
- **L'oreille externe** : partie noyée lors de la plongée. C'est la partie visible composée du pavillon, du conduit auditif externe et du tympan.
- **L'oreille moyenne** : partie ayant pour rôle d'amplifier les sons avant transmission à l'oreille interne et d'équilibrer les pressions de part et d'autre du tympan. Elle comprend la caisse du tympan (marteau, enclume, étrier, fenêtre ovale) et la trompe d'Eustache.
- **L'oreille interne** : partie où siègent les fonctions d'audition (cochlée) et d'équilibration (canaux semi-circulaires, utricule et saccule).

CF. SCHEMA DE L'OREILLE

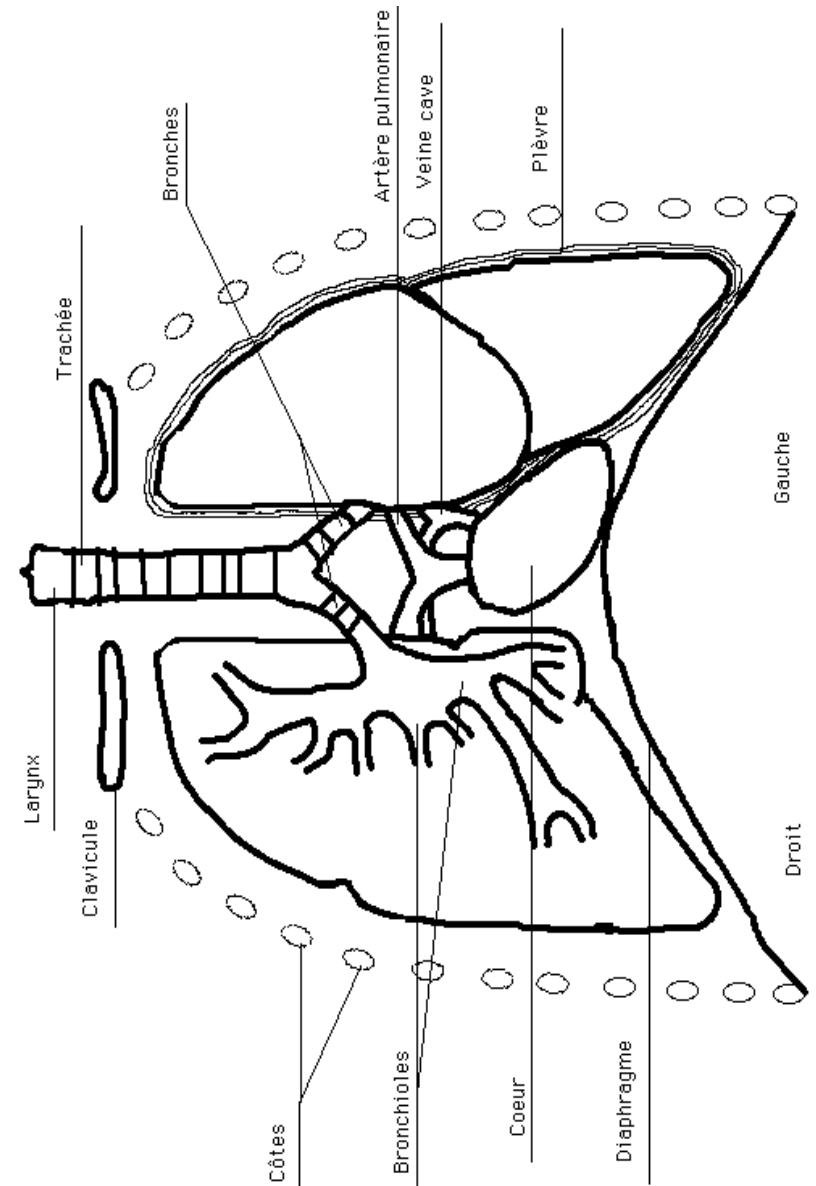
SCHEMA DE LA CIRCULATION



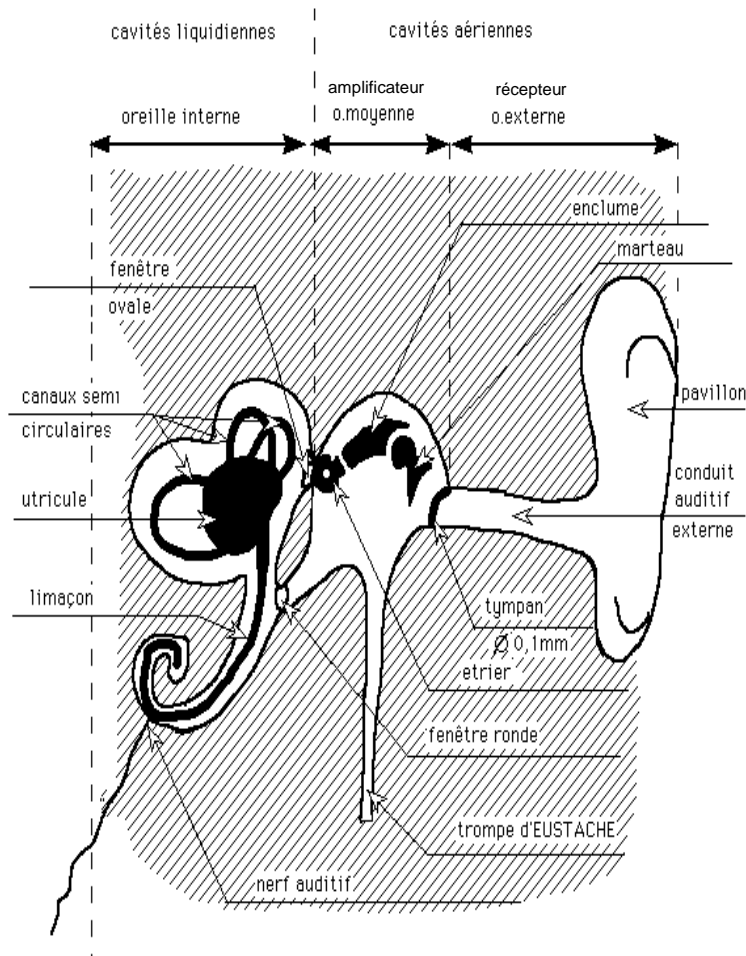
VOIES AERIENNES SUPERIEURES.



SCHEMA DES POUMONS



SCHEMA DE L'OREILLE



5. 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 !).

6. CONTRE-INDICATIONS PRINCIPALES

Les contre-indications principales sont les suivantes :

Asthme - Rhume des foies - Bronchite - Sinusite - Otite - Surdité unilatérale - Perforation du tympan - Jaunisse (jusqu'à 60 jours après la guérison) - Diabète - Troubles reinaux - Femmes enceintes - Période d'indisposition menstruelle - Epilepsie - Hypertension majeure - Névrose - Troubles caractériels - Déséquilibre psychique - Rhumatisme - Traumatismes crâniens - Affectation oculaires - Dents en mauvais  tat - Fatigue - Repas arrosé - ...

De manière générale, toute séquelles d'accidents, toute atteinte pulmonaire, cardiaque, neurologique, psychiatrique, ORL, ophtalmologique, endocrinologique demande un avis médical pour la pratique de la plongée.

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

CHAPITRE 10 : 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).
- 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 à sensation de sucions, troubles de la vision, douleurs, hémorragies oculaires ou nasales ...
- Au retour à 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 :

- 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 par le nez dans le masque au fur et à mesure de la descente.

4. LES SINUS

Causes :

Des obstructions peuvent se produire dans certaines parties des sinus ; elles sont 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) et état 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.
- 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..
- Suspendre la plongée et consulter un médecin O.R.L.

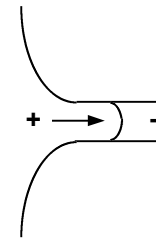
Prévention :

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

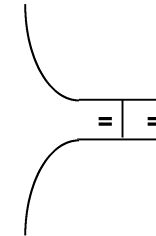
5. LES OREILLES

Causes :

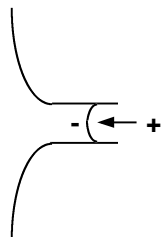
- A la descente : Voici ce qui va se passer au niveau du tympan.



- 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 coté du tympan s'équilibreront naturellement.



- 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 coté du tympan et il y aura déformation, voire rupture du tympan. C'est également ce qui risque d'arriver si le conduit auditif externe est bouché.

Symptômes :

- Douleur légère puis de plus en plus violente. Ceci peut entraîner une otite barotraumatique, voire une rupture du tympan si on continue à descendre
- "Coup de poignard" et sensation de froid et de crépitements dans l'oreille.
- Vertiges.
- Syncope.
- En surface, si on fait Valsalva on perçoit un sifflement dans l'oreille.

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.

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	avaler la salive	langue plaquée contre palais, prononcer KE	avaler 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 détendeur	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.
- * 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.
- * Protéger les oreilles du froid et du vent avec une cagoule

6. LES INTESTINS ET L'ESTOMAC

Causes :

- De l'air avalé dans l'estomac.
- Une fermentation alimentaire au cours de la plongée.
- Une dilatation, à la remontée, de cet air emmagasiné.

Symptômes :

- Douleurs à l'abdomen.
- Ventre bombé, tendu, douloureux. Envie d'évacuer les gaz sans y parvenir.

Conduite à tenir :

- Essayer d'évacuer les gaz par voie buccale ou rectale.
- Consulter un médecin et 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.

7. 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.
- * L'eau froide et l'air détendu donc froid peut entraîner une douleur sur une dent.

- 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 casser la dent et provoquer une syncope dans les cas extrêmes.
- * Descellement d'un couronne dentaire

Symptômes :

- Violente douleur dentaire (ne pas confondre avec une douleur d'origine sinusienne).

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.
- 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. 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.

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, entraînant une rupture des alvéoles pulmonaires.

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.
- Apnéiste ayant pris de l'air au fond (à ne jamais faire).

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.

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 :

- Alerter les secours d'urgence.
- Déséquiper, mettre au sec, réchauffer et réconforter.
- Si la victime est consciente, mettre en position semi-assise pour l'aider à ventiler.
- Mettre sous O₂ normobar.
- Administrer de l'aspirine (0,5 g puis la même dose une demi-heure plus tard)
- Faire boire 0,5 litre d'eau douce toutes les demi-heures. Faire uriner si possible.
- Mise en caisson de recompression thérapeutique avec assistance cardio-respiratoire.

IL FAUT ALLER TRES VITE.

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 !!)
- 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.

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.



9. AUTRES ACCIDENTS

- Le coup de ventouse (squeeze) : Spécifique aux scaphandriers Pieds lourds. Lors d'une descente trop rapide, une dépression se crée dans le casque rigide et le plongeur y est aspiré.
- La remontée en ballon (blow-up) : Spécifique aux scaphandriers Pieds lourds et à Casques et aux porteurs de volumes constants. Lors d'un mauvais fonctionnement des purges, l'air se dilate trop vite à la remontée et le plongeur remonte très vite sans aucun contrôle (bonhomme Michelin). Le plongeur se retrouve alors avec les bras en croix et la tête en bas ; il n'a plus les moyens d'atteindre une purge.

CHAPITRE 11 : 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) : O₂ et CO₂ ; L'azote servant seulement de transporteur et de diluant aux deux autres.

2. RAPPELS

- Composition précise de l'air : 20,9% d'O₂, 79% de N₂, 0,03% de CO₂
- Loi de Dalton : énoncé et formules $PP = P_{\text{totale}} \times \%$

3. L'OXYGENE

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

- Cause :

PP O₂ > 0,5 bar pendant plus de 2 heures.

- 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 O₂ dès les premiers troubles en entrecoupant avec de l'air.
- * Traitement médical.

- Prévention :

- * Ne jamais laisser PP O₂ > 0,5 bar pendant plus de 2 heures.
- * Ceci n'entre pas dans vos prérogatives car ne concerne que la plongée professionnelle, la plongée aux mélanges ou l'oxygénothérapie hyperbare.

b. 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^{ème} siècle (en 1878).

- Causes :

PP O₂ > 1,6 bars.

- Symptômes :

- * Face rose. Troubles de la vision.
- * Contractions musculaires et crampes.
- * Crises d'épilepsie. Secousses musculaires.
- * Perte de connaissance. Inertie. Fatigue.

- Conduite à tenir :

- * Baisser PP O₂, donc remonter lentement.
- * Traitement médical.

- Prévention :

- * Bonne condition physique et entraînement progressif à la plongée très profonde à l'air.
- * Ne jamais dépasser PP O₂ > 1,7 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'O₂).
Réponse : 70 mètres.

- Remarque : Par sécurité, la plongée sportive est limitée à 60 mètres.

c. Hypoxie - Anoxie

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

- Causes :

PP O₂ < 0,17 bar.

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

PP O₂ < 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 O₂ chute brusquement en dessous de 0,17 bar, il y a perte de conscience sans signes avertisseurs.

- Conduite à tenir :

- * Augmenter PP O₂, donc remonter.
- * Oxygénothérapie normobar pour combler la dette d'O₂.
- * Evacuation et traitement médical.

- Prévention :

- * Jamais PP O₂ < 0,17 bar : ne pas dépasser ses limites en apnée ; entraînement technique et bonne condition physique.
- * Concerne uniquement l'alpiniste, le plongeur professionnel, mais aussi les apnéistes.

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 et morale et le contexte.
- * L'augmentation de PP CO₂ dans les poumons est un facteur très aggravant.

- Descente dans le bleu trop rapide (ne pas dépasser 25 à 30 mètres par minute).
- Palmage intense au fond.
- Mauvaises conditions de plongée : eau trouble, sombre, froide avec du 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.

- Conduite à tenir :

- * Faire baisser PP N₂ en remontant d'une dizaine de mètres. Si les symptômes ont disparu, on peut continuer la plongée sans redescendre, sinon on remonte en surface.
- * 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 profonde.
- * Ne pas se basculer brusquement tête en bas.
- * Eviter 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.

5. LE GAZ CARBONIQUE : L'HYPERCAPNIE

- Causes :

- * Augmentation de PP CO₂ ; le **seuil de toxicité du CO₂** 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 ₂	21 %	16 %
N ₂	79 %	79 %
CO ₂	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, palmes inadaptées, mauvais mélange binaire.
- 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 CO₂ par l'organisme lui-même.

L'eau étant 800 fois plus dense que l'air, elle entraîne donc une production plus importante de CO₂. 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.
- Favorisation de l'accident de décompression.

- Symptômes :

- * Accélération du rythme et de l'amplitude respiratoire, maux de tête.
- * Ventilation superficielle, respiration haletante, sueurs, cyanose.
- * Panique et conduite irraisonnée (lâcher d'embout), ralentissement du rythme respiratoire, nausées, torpeur, vertiges
- * 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 CO₂ et surtout pour faire baisser la masse volumique de l'air..

Si maux de tête au retour :

- * Bien se ventiler. Au besoin, oxygène normobar.
- * Eviter le soleil. Ne pas prendre froid.
- * Mieux se ventiler aux plongées suivantes (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 (palmage trop rapide, lestage trop grand).
- * Bien se ventiler (apnées expiratoires de contrôle de temps en temps).
- * Bonnes conditions physiques et psychiques.
- * Ne pas s'immerger avec un début d'essoufflement en surface.

CHAPITRE 12 : 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**.

2. RAPPELS

- Composition de l'air (20 % O₂ et 80 % N₂).
- Loi de Henry (énoncé).
- 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 : méconnaissance, problème matériel, erreurs, panique, ...

Pendant la plongée :

La quantité de N₂ dissous augmente plus ou moins selon les tissus.

A la remontée :

- N₂ reprend sa forme gazeuse dès qu'il y a sursaturation :
 - à sous la formes de micro-bulles convoyées par le sang et éliminées par la respiration.
- Si la remontée est trop rapide, les bulles grossissent avant l'échange pulmonaire :
 - à Blocage de la circulation sanguine = embolie gazeuse.
- Si à un moment, on dépasse la sursaturation critique, il y a un dégazage incontrôlé sous forme de grosses bulles :
 - à Blocage de la circulation aggravé par la remontée qui grossit encore les bulles et les transforment en manchons gazeux dans les vaisseaux.
 - à En plus, compression des terminaisons nerveuses.
- Tout blocage de la circulation provoque une anoxie des cellules situées en aval.

- Si à la remontée, on pratique Valsalva, ou on gonfle sa bouée à la bouche :
 - à 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.

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.

Certains accidents aigus sont déjà possibles au palier.

a. Accidents cutanés : Puces et moutons

Ces démangeaisons et boursoufflures sont bénins mais peuvent annoncer un accident grave.

b. Accidents ostéo-articulaires : Bends

Une douleur lancinante à une articulation, un membre ou un muscle débouchant vers une immobilisation due à la douleur.

c. Accidents neurologiques

- Fatigue générale, pâleur, angoisse.
- Déficit musculaire (hypomotricité)
- Douleur violente au niveau des omoplates ou des vertèbres lombaires.
- Fourmillement dans les membres ou les jambes. Engourdissement.
- Impossibilité d'uriner.
- Nystagmus (les yeux qui se "promènent" d'où impossibilité de fixer son regard)
- Perte des sens.
- Paralysie partielle (monoplégie, hémiplégie, tétraplégie ou paraplégie).
- Paraplégie due à un dégazage au niveau de la moelle épinière.

d. Accidents centraux

- Accident cérébral

Coma due 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.

e. Accidents de l'oreille interne (accidents vestibulaires)

- Vertiges, nausées, audition difficile ou impossible.
- Dû à un dégazage dans l'oreille interne, ce qui perturbe l'audition et l'équilibre.
- 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).

f. La Maladie De Décompression

Suite à l'intervention du système immunitaire, c'est une maladie autonome, 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.

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
- Alerter les secours. Sécher, réchauffer, rassurer.
- Oxygénothérapie normobare (9 à 15 l / mn en faisant attention à l'autonomie).
- SI l'accidenté est CONSCIENT :
 - * Administrer un comprimé d'aspirine 0,5 g d'aspirine non effervescente, puis 30 minutes plus tard un second comprimé.
 - * Faire boire un demi litre d'eau douce par demi-heure.
 - * Faire uriner si possible.

NE JAMAIS REIMMERGER.

NE JAMAIS RECOMPRIMER DANS UN CAISSON MONOPLACE.

- Transporter d'urgence vers un centre de recompression (caisson multiplaces).
- 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.

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.
 - * 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,...) .
- Ne pas plonger si la houle rend les paliers impossibles.
- Si efforts importants pendant la plongée (courant,...) ou fatigue pendant la remontée :
 - * Ne pas allonger les paliers au pifomètre.
 - * Seul le palier de trois mètres peut être prolongé sans risque.
- 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 excessif pendant la plongée (palmage, ...).
- Pas d'efforts importants après la plongée.
- Pas d'apnée après la plongée.
- 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 sur le centre de recompression le plus proche.
- Avoir une caisse de secours opérationnelle (O₂, aspirine, eau douce, VHF,...).

CHAPITRE 13 : LE FROID

1. JUSTIFICATION

- 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 réanimation.

2. LA TEMPERATURE

a. Les échanges thermiques

- Rayonnement ou radiation :

Réchauffement du milieu environnant par rayonnement (le soleil chauffe l'atmosphère terrestre par rayonnement).

- 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.

- Convection :

Transmission de la chaleur par contact entre les molécules mobiles d'un fluide. 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.

b. Equilibre thermique

- La température centrale du corps est de 37 °C.
- La température cutanée est de 33-34 °C.
- L'équilibre est assuré pour un homme sans protection :
 - * A 25-28 °C dans l'air.
 - * A 33-34 °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 augmente de 35 %.

c. 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 givent dans de l'eau pourtant à 3 °C.

3. DEPERDITION CALORIFIQUE : L'HYPOTHERMIE

a. 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.
- Risques accru chez l'enfant.

b. Symptômes

- Léger frisson (mini-production locale de chaleur)
- Chair de poule (création d'un sur-épaisseur cutanée améliorant l'isolation).
- Crampes, tremblements, diminution de l'habileté, irritabilité.
- Augmentation des rythmes cardiaques et respiratoires.
à Favorise l'essoufflement et l'accident de décompression.
- Arythmie cardiaque et baisse de la tension artérielle.
- Rigidité musculaire, engourdissement.
- Syncope et mort.

c. Conduite à tenir

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

Au retour :

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

JAMAIS D'ALCOOL.

- Prévenir l'état de choc en surveillant.
- Inhalation d'O₂ si nécessaire.
- Au besoin, douche ou bain chaud progressif.
- Faire des repas riche en calories.

d. Préventions

- Régime alimentaire : 4500 à 5500 calories / jour (au lieu de 2500 pour un adulte sédentaire). Ne jamais plonger à jeun.
- 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.
- Être 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.

4. LE CHOC THERMO-DIFFERENTIEL : L'HYDROCUTION

a. Cause

- Passage brusque de la température terrestre à celle de l'eau nettement plus froide.
- Aggravé par une exposition préalable au Soleil.
- 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 coeur qui peut s'arrêter en quelques secondes... C'est l'hydrocution.

b. Symptômes

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

c. Conduite à tenir

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

d. 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.
- Bonne alimentation et bonne forme physique.

CHAPITRE 14 : 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 CO₂, 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 ; augmentation de la masse sanguine, septicémie, désamorçage du cœur, fibrillation cardiaque.
- Noyade en **eau de mer** : le plasma sanguin passe dans les poumons ; sang plus épais, oedème pulmonaire, baisse de la tension artérielle (jamais de fibrillation).
- **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, provoquent : diarrhée importante, passage d'eau dans le sang, risque de régurgitation.
- **Eau inhalée** : toujours en faible quantité, l'eau inhalée empêche les échanges gazeux de s'effectuer.

4. SYMPTOMES

Lorsque de l'eau a été avalée, il existe 4 stades en fonction de l'importance de l'eau inhalée : aucune (aquastress), modérément (petit hypoxique, gêne respiratoire), ou plus (grand hypoxique et anoxique, somnolence et coma).

5. CONDUITE A TENIR

- **Protéger** : Sortir le noyé de l'eau

NE PAS RECHAUFFER.

- **Bilan** : Faire un premier bilan des fonctions vitales : conscience, respiration, circulation
- **Alerter** : Alerter les secours et des secouristes.
- **Secourir** : pratiquer les premiers gestes de secourisme (oxygénothérapie, bouche à bouche et massage cardiaque si nécessaire). La ranimation entre dans les prérogatives de tous les diplômés après l'autonome niveau II.

- 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

a. 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 repas bien arrosé...
- Prudence en bateau (mettre des gilets de sauvetage ou des combinaisons).

b. 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.

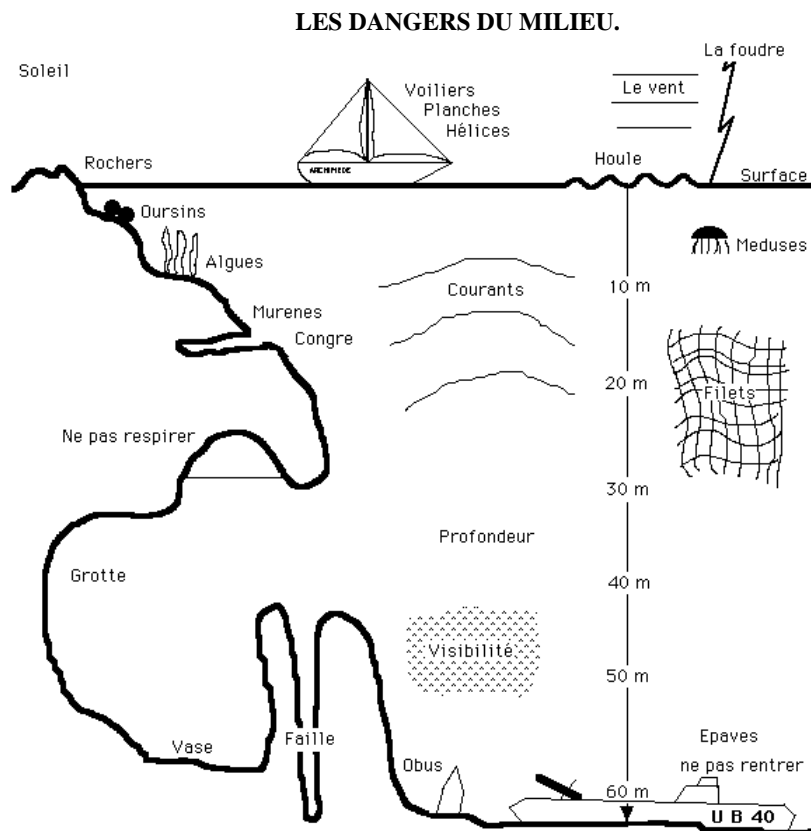


CHAPITRE 15 : LES DANGERS DU MILIEU

1. JUSTIFICATION

- L'eau n'est pas notre milieu naturel.
- Il est donc évident que ce milieu nouveau a ses propres dangers.

2. LES DANGERS



CHAPITRE 16 : 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 très dangereuse car les risques sont méconnus.

2. ACCIDENTS COMMUNS AVEC LA PLONGEE BOUTEILLE

a. Les barotraumatismes

- Oreilles, Masque, Sinus, Dents.

b. Accidents toxiques

- Essoufflement de surface (tuba, ...).

c. 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.

c. Froid, noyade, dangers du milieu

3. ACCIDENTS SPECIFIQUES

a. Durée de l'apnée

- Rappels physiologique :

- * Effort musculaire : O₂ consommé et CO₂ fabriqué.
- * Rôle de la circulation sanguine et de la respiration : Apport O₂ et élimination CO₂.

- 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 :

- * Chercher l'air partout : masque, estomac, ...
- * Faire des mouvements de diaphragme et de la luerette pour utiliser l'air des bronches et des voies aériennes supérieures.
- * 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 CO₂ est plus important.

b. L'hypercapnie et la noyade

- Causes :

- * Mauvaise préparation à l'apnée.
- * Efforts musculaires très important.
- * Augmentation importante de la tension en CO₂ 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.

c. L'hypoxie

- Causes :

- * Hyperventilation excessive baisse anormale du taux de CO₂.
- * Disparition du besoin d'inspirer syncope au fond lorsque la PPO₂ 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, ne 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 CO₂ **sans** modifier la PP O₂ 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 CO₂ et **non** par un manque d'O₂.
- * 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.

d. Le rendez-vous syncopal des 7 mètres

- Causes :

- * Descente : tête en bas, l'irrigation cérébrale est maximale avec un sang oxygéné. La PP O₂ augmente avec la pression absolue, d'où une sensation de confort.
- * Au fond : production de CO₂ et consommation d'O₂.
- * A la remontée :
 - . visage levé vers la surface mauvaise irrigation du cerveau avec, en plus, un sang chargé en CO₂. La PP O₂ chute rapidement ; la PP CO₂ 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 CO₂ et **non** par un manque d'O₂.

e. 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.

e. 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

- 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

- Remarques :

- * L'entraînement à l'apnée augmente la capacité totale et diminue le volume résiduel.
- * Les records de profondeur sont battus à force d'entraînements intenses et rigoureux. Les plongeurs recréent le réflexe des mammifères marins qui consiste en un afflux de sang autour des alvéoles. 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.

CHAPITRE 17 : 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 dessaturation sans danger pour l'organisme.
- Pour éviter un accident de décompression, il faut remonter sans vitesse excessive.
- Un plongeur niveau II doit donc être capable de calculer ses paliers dans n'importe quelles conditions.

2. HISTORIQUE

Au milieu du 19^{ème} 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^{ème} 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.

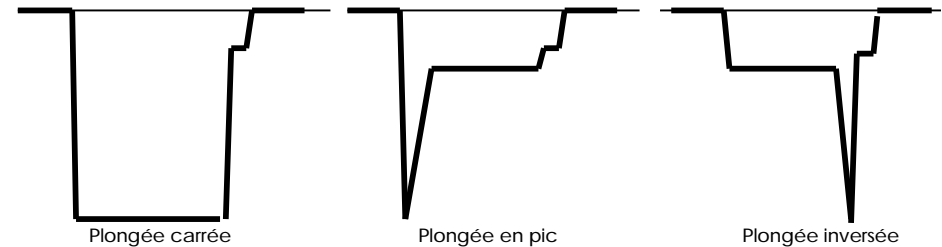
La durée de plongée se décompte par minute entière ; toute minute entamée est considérée comme minute entière écoulée.

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.

- Tables utilisées :

- * M.N. 90 (Marine Nationale) : Pour nous, plongeurs sportifs.
- * C.O.M.E.X. , M.T. 92 (Ministère Travail) : Pour la plongée professionnelle.
- * PADI, US NAVY, NAUI, BSAC88, BUHLMANN, ... : autres tables utilisées dans le monde.

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 II) ; par contre, dans la pratique, un plongeur autonome est libre d'utiliser le système de décompression de son choix (tables ou ordinateur de plongées).

4. LES ORDINATEURS DE PLONGEE

4.1. 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.

4.2. Historique

Différentes générations d'ordinateurs de plongées sont apparus successivement :

- la 1ère génération : apparue dans les années 1980.
- 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.

4.3. Ordinateurs et tables

Faut-il donc abandonner les tables ?

4.3.1. 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.

4.3.2. 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).

4.3.3. 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.

4.3.4. 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.

4. LES TABLES M.N. 90

4.1. 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.

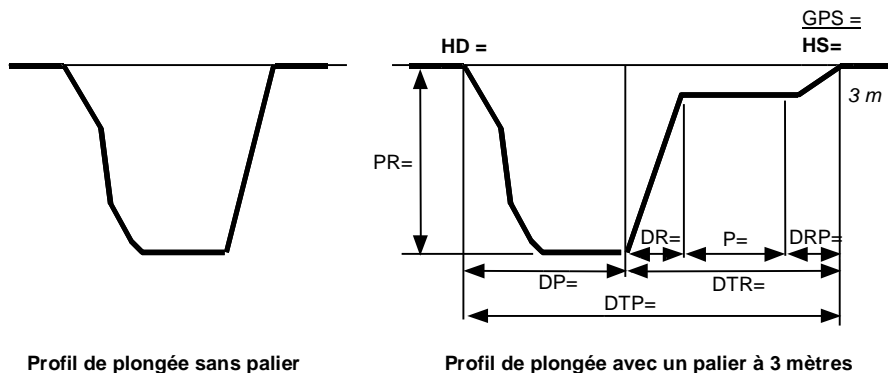
Elles sont prévues pour être utilisées dans certaines conditions :

- Elles ne permettent d'effectuer que **2** plongées par 24 heures; la 3^{ème} 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^{ème} étage du détendeur et les poumons soient à la même profondeur.

4.2. 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,...



- 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.

4.3. 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).

4.4. 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 dessaturation 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.

5. 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 cœur :

10 m. = 330 min.	25 m. = 20 min.
12 m. = 135 min.	30 m. = 10 min.
15 m. = 75 min.	35 m. = 10 min.
20 m. = 40 min.	40 m. = 5 min.

- 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.

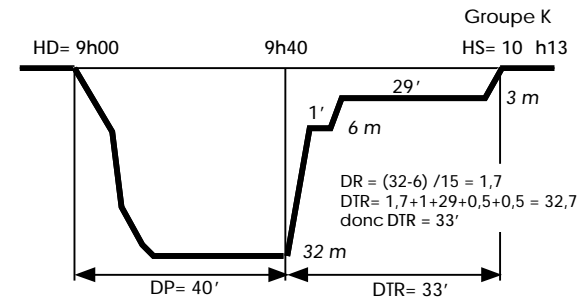
6. PLONGEES SIMPLES

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.

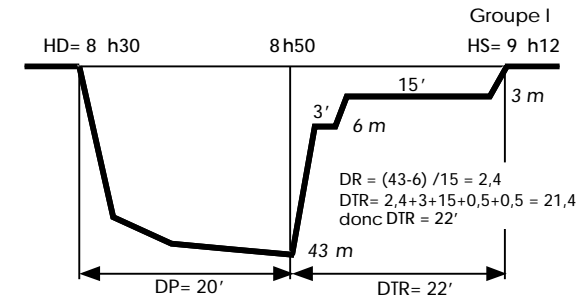
- Exercice n°1 : Un plongeur s'immerge à HD = 9h00 (HD = Heure de Départ). Il descend à PR=32 mètres et amorce sa remontée à 9h40. Paliers, Heures de sortie (HS), Groupe de plongée?

Réponse :



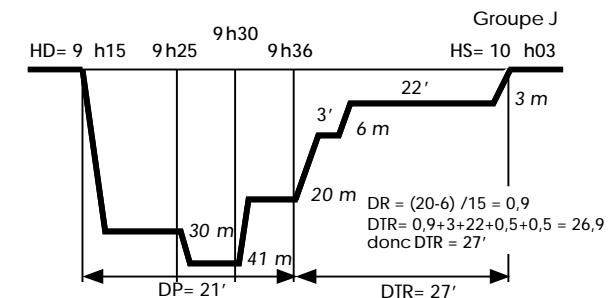
- Exercice n°2 : Un plongeur s'immerge à HD = 8h30. Il descend à PR=43 mètres et amorce sa remontée à 8h50. Paliers, Heures de sortie, Groupe de plongée?

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 :



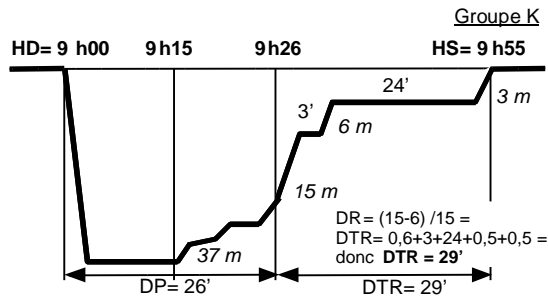
7. REMONTEES LENTES (Vitesse < 15 m/mn)

- 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 :



8. 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**.

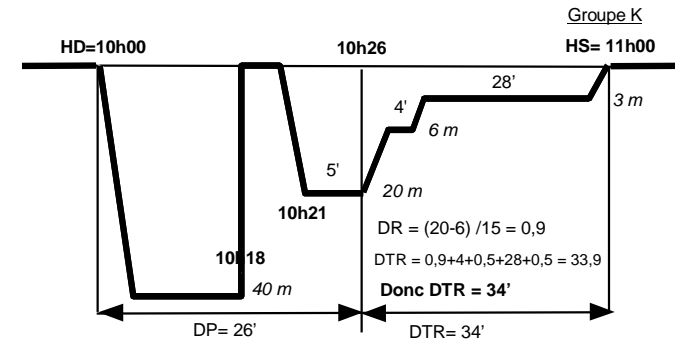
- On calcule alors les paliers pour la profondeur maximum atteinte et un temps totalisant celui de la première immersion, le temps passé en surface et les 5 min au palier de mi-profondeur.

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 :



9. 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.

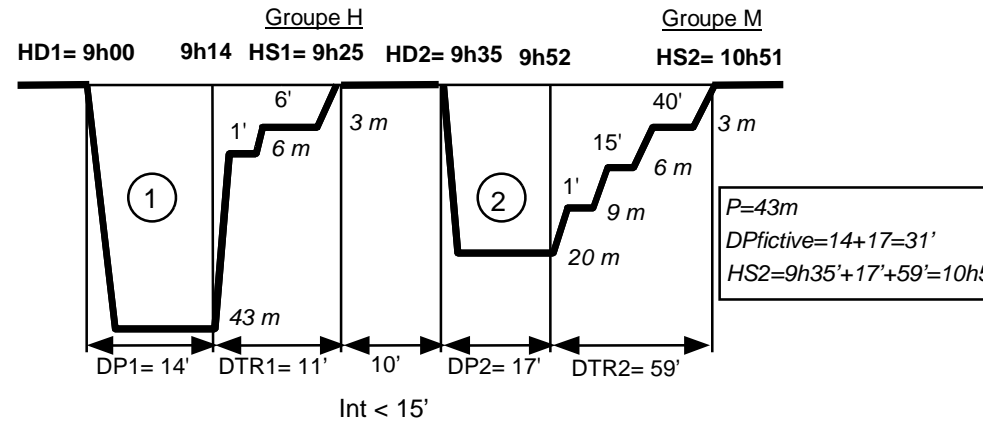
c. Intervalle < 15 minutes : Plongée consécutive ou additionnelle

- On calcule les paliers de la deuxième plongée avec :

- * PR à la plus grande profondeur atteinte sur l'ensemble des deux plongées.
- * DP à 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 à Profondeur maximale de la deuxième plongée.
- * DP à 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.

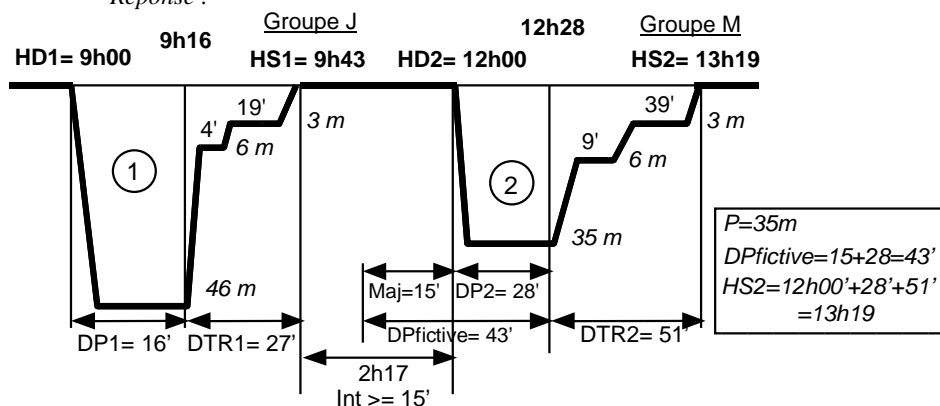
- Méthode : toujours dans le sens de la sécurité, c'est à dire :

* 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?

Réponse :



- 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.

10. 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 37 m. - Durée 11' - Il percute sa bouée 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 19 m. pendant une durée de 5 minutes.

On demande : *Heure de sortie, paliers, groupe de plongée successive ?*

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 percute sa bouée, il met 3 minutes pour rejoindre son premier palier.

On demande : *Heure de sortie, paliers, groupe de plongée successive ?*

Exercice 7 : Additionnelle

* Heure de départ 8H45 - Profondeur 32 m. - Heure de sortie de l'eau 9H14.

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 percute à 10h45 et remonte instantanément.

On demande : *Heure de sortie, paliers, groupe de plongée successive ?*

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 ?*

11. SOLUTIONS DES EXERCICES

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. DP = 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 = $34/15 = 2,27$ min - DP = $5+34 = 39$ min - DRP = $0,5 + 0,5 = 1$ min - DTP = $36 + 2,27 + 39 + 1 = 78,27 = 79$ min.
- 2. GPS = L.

Exercice 3

- * Paramètres: 30 m et 35 min - Paliers 17 min à 3 mètres - GPS = J - DR = $29/15 = 1,93$ min - DP = 33 min - P = 17 min - DRP = 0,5 min - DTP = $33 + 1,93 + 17 + 0,5 = 52,43 = 53$ 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 de sortie : 16 H 06 - GPS : G.
- 3. Paliers : 6 minutes à 3 mètres - Heure de sortie : 16 H 24 - GPS : H.

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 - GPS : J.

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 - GPS : I.

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 03 - GPS : N.

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 - GPS : J.

12. TABLES DE PLONGEES M.N. 90

P	T	S		X ₁
		3m		
6	15			A
	30			B
	45			C
	75			D
	105			E
	135			F
	180			G
	240			H
	315			I
	360			J
	15			B
	30			C
45			D	
60			E	
90			F	
105			G	
135			H	
165			I	
195			J	
255			K	
300			L	
360			M	
15			B	
30			C	
45			D	
60			F	
75			G	
105			H	
120			I	
135			J	
165			K	
180			L	
240			M	
255			N	
315			O	
330			P	
360	1		P	
5			A	
15			B	
25			C	
35			D	
45			E	
55			F	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55			E	
80			H	
90			I	
105			J	
120			M	
15			B	
30			C	
45			D	
55		</		

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	0,81	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 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	2	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	4	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 18 : LE MATERIEL

1. JUSTIFICATION

- Tout utilisateur d'une bouteille de plongée doit connaître les règlements en vigueur 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

a. Le corps

- Matière :

Acier, aluminium ou bientôt peut-être, fibre de carbone.

- Capacité :

Elle est exprimée en litres d'eau.

- * Mono de 12 litres à $2,4 \text{ m}^3$ à 200 bars ou $2,1 \text{ m}^3$ à 176 bars.
- * Mono de 15 litres à 3 m^3 à 200 bars.
- * Bi de 2*8 litres à $3,2 \text{ m}^3$ à 200 bars ou $2,8 \text{ m}^3$ à 176 bars.
- * Bi de 2*12 litres à $4,8 \text{ m}^3$ à 200 bars (corailleurs).

- Inscriptions :

- * 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 M25×2).

- 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 :

- * Le transport d'un bloc gonflé est interdit dans les transports collectifs et réglementé dans les véhicules personnels (législation sur le transport de matières dangereuses).
- * 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 à tous les 2 ans.
 - Bouteilles mobiles en Acier visité tous les ans (T.I.V.) à tous les 5 ans.
 - Bouteilles mobiles en Aluminium à tous les 5 ans.Une épreuve est en fait un test en pression à l'eau, réalisé sous la responsabilité d'un inspecteur des mines

b. 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.

c. La robinetterie

- 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.

- 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. 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.

- Sortie :

Contrôler et mouiller le joint torique avant de gréer le détendeur.

- Réserve :

* Elle fonctionne grâce à un ressort taré (de 30 à 50 bars), qui appuie sur un clapet qui peut obturer l'arrivée d'air.

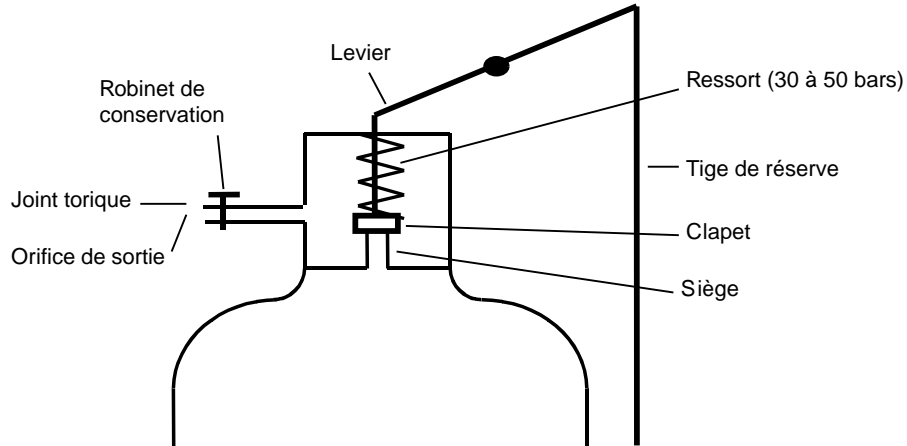
* $P > 30$ bars, l'air sort.

* $P = 30$ bars, on respire difficilement.

* $P < 30$ bars, on n'a plus d'air.

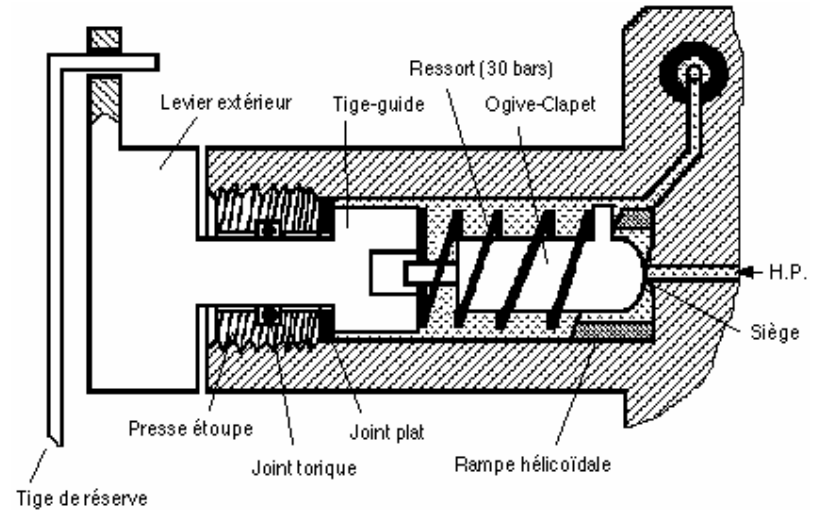
On comprime alors le ressort en tirant sa réserve, ce qui libère les derniers bars.

Voici un schéma de principe du mécanisme de réserve :

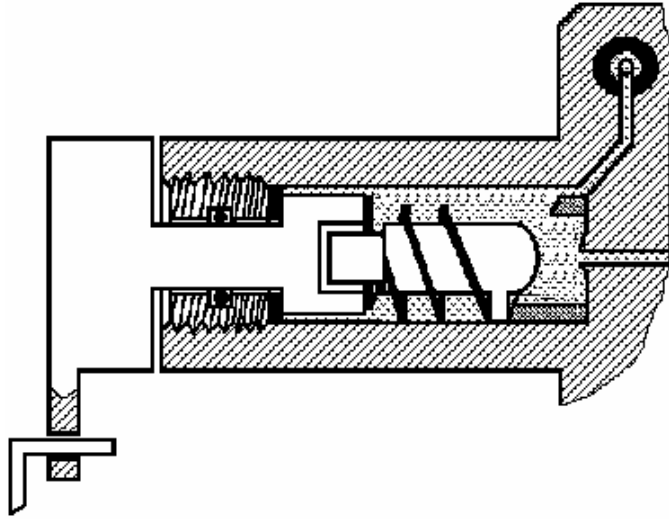


ainsi qu'un dessin se rapprochant plus de la réalité d'une réserve à rampe hélicoïdale semi-étanche ; on peut constater l'utilisation d'un cardan qui permet à l'olive-obus de se déplacer sans que la tige-guide ne se déplace :

Hypothèse 1 : Réserve en position **haute** 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 :



Hypothèse 2 : Réserve en position **basse** d'où libération de la sortie d'air, quelquesoit 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 :



- Utilisation :

- * Attention aux chocs sur la réserve qui occasionnent des fuites ou une impossibilité de passer sur réserve en plongée.
- * Plonger réserve haute même 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.

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.

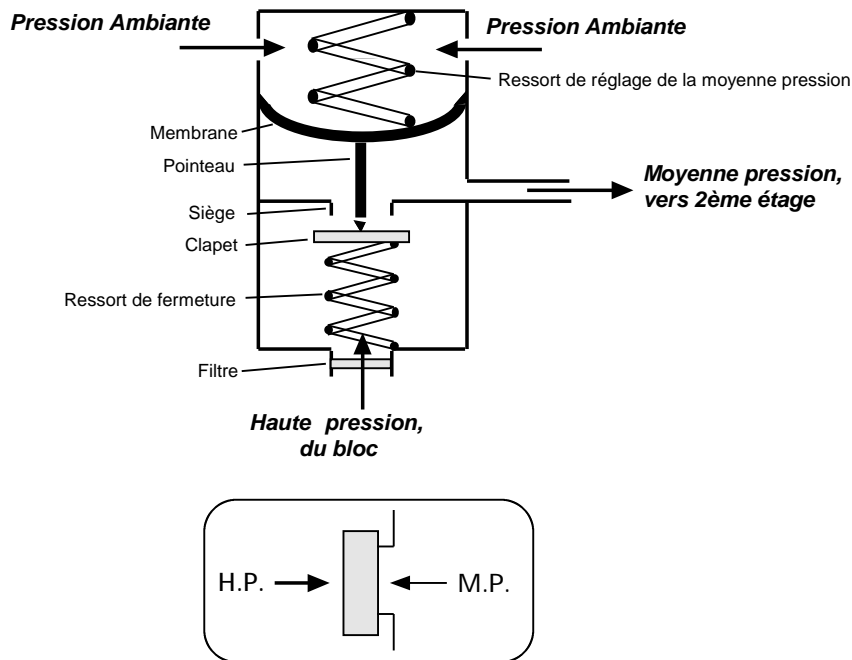
4. LE DETENDEUR

a. 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.

- Principe du premier étage : Celui fixé sur la bouteille.

* Il filtre et détend l'air à la pression ambiante + 9 bars, transformant ainsi la Haute Pression en Moyenne pression.



* 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.

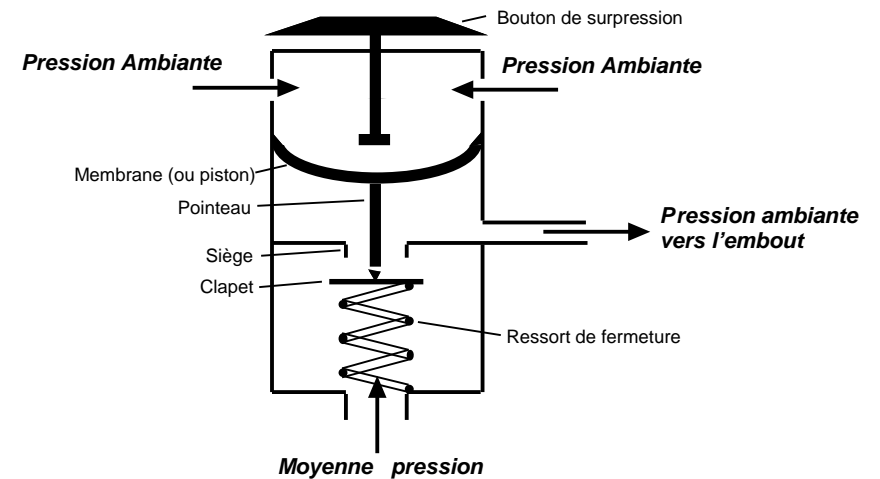
* L'air passe dans la deuxième chambre où il est détendu à la pression ambiante + 9 bars grâce à l'action du ressort.

* Le pointeau remonte à l'arrêt de la dépression et referme la chambre.

* L'air sort vers le deuxième étage en moyenne pression.

- Principe du deuxième étage : Celui que l'on a en bouche.

* Il détend la moyenne pression à la pression ambiante.



* 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.

b. Soins particuliers

- Pas de chocs ni d'écrasement.
- Ne pas le laisser gréer 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.
- Demander conseils avant d'en acheter un.

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/cm²),
 - . 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)

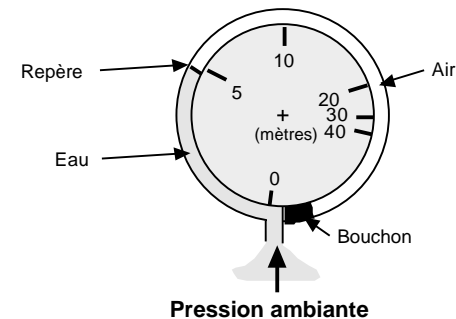
5.5. Profondimètre ou bathymètre

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 :

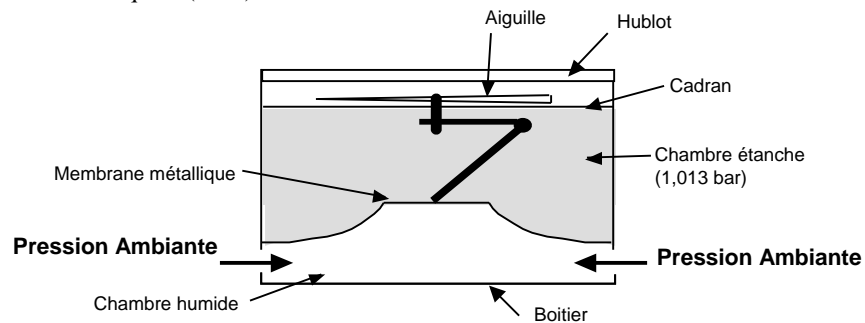
- pas de mécanisme, donc pas de dérèglement.
- économique.
- très précis entre 0 et 10 m. (pour les paliers notamment).
- en altitude, indique directement la profondeur fictive et la profondeur des paliers.

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.

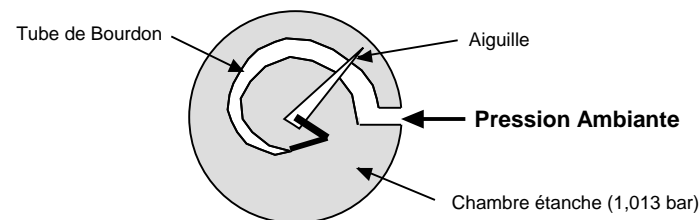
Profondimètre à tube de Bourdon (Bourdon : Physicien français né en 1849)

Il comprend un tube métallique souple et déformable en forme de point d'interrogation et de serpent, de section rectangulaire.

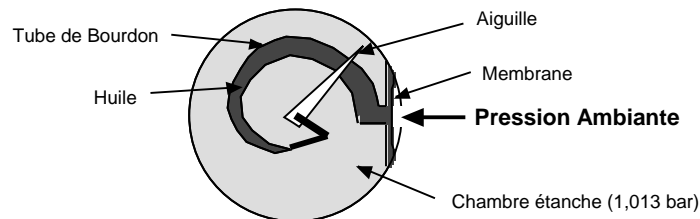
- Si la pression dans le tube est supérieure à la pression extérieure, le cercle formé par le tube se déroule.
- Si la pression dans le tube est inférieure à la pression extérieure, le cercle formé par le tube s'enroule.

Il existe des profondimètres :

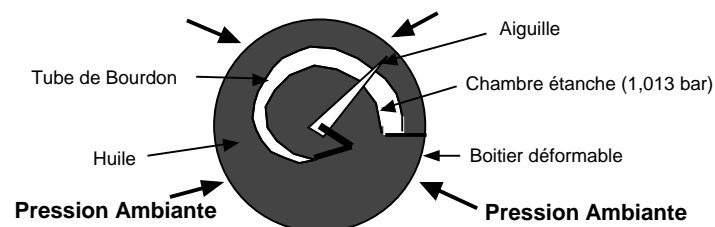
- à tube de Bourdon simple (utilisé pour les manomètres à terre),



- 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.

CHAPITRE 19 : 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

<i>NIVEAU DE PREROGATIVE DES PLONGEURS</i>	<i>ANCIENS BREVETS F.F.E.S.S.M. ET F.S.G.T.</i>	<i>BREVETS C.M.A.S.</i>
Niveau I	Brevet élémentaire	Plongeur 1 étoile *
Autonome Niveau II	1 ^{er} échelon	Plongeur 2 étoiles **
Autonome Niveau III	autonome	Plongeur 3 étoiles ***
Capacitaire Niveau IV	2 ^{ème} échelon	Plongeur 3 étoiles ***
Niveau V	2 ^{ème} échelon + qualification directeur de plongée	

F.F.E.S.S.M. : 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

P.A.D.I. : Professional Association of Diving Instructor

NIVEAU DE L'ENCADREMENT	Enseignement bénévole			Enseignement rémunéré
	F.F.E.S.S.M.	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 2ème degré	Moniteur fédéral	3 étoiles ***	B.E.E.S. 2
Niveau 5				B.E.E.S. 3

2. LES PREROGATIVES

* Définition :

- Directeur de plongée

Les plongeurs niveaux I et II plongent sous la direction d'un directeur de plongée qui doit être présent sur le site ; lors de plongées d'exploration, il s'agit au minimum d'un plongeur niveau V ; lors de plongées techniques, d'un encadrant niveau 3.

La qualification de directeur de plongée du plongeur niveau V est limité à son club.

En piscine de moins de 6 mètres, les brevetés initiateur (encadrants niveau 1 et 2) ont la qualification de directeur de plongée.

- Espaces

L'espace proche est la zone des 5 mètres, l'espace médian, la zone des 20 mètres et l'espace lointain, la zone des 40 mètres.

* Plongées d'exploration

- Plonger en total autonomie dans l'espace médian à deux minimum et trois maximum en suivant les paramètres donnés par un directeur de plongée.
- Plonger encadré par un capacitair niveau IV minimum dans l'espace lointain avec un effectif de 4 autonomes niveau II maximum avec un directeur de plongée sur le site.

* Plongées techniques

- Plonger encadré par un encadrant niveau 2 dans l'espace médian avec un effectif de 4 autonomes niveau II maximum.
- Plonger encadré par un encadrant niveau 3 dans l'espace lointain avec un effectif de 2 autonomes niveau II maximum.

* 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 de deux manières.
- 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).

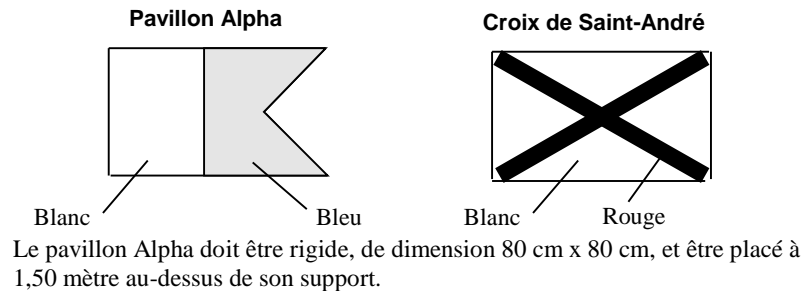
3. LA REGLEMENTATION

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-évaluée 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 à ne s'approcher à moins de 100 mètres.



- Déclarer à la D.R.A.S.S.M. ou aux affaires maritimes tout gisement d'objets.
- Respecter les prérogatives F.F.E.S.S.M. 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.

4. 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.

5. LA CONDUITE DE PALANQUEE

* Avant la plongée

- Prendre en compte les facteurs de sécurité, de normes d'encadrement ; connaître le niveau des autres.
- 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.

* Pendant la plongée

Toujours avoir en tête l'ensemble SECURITE / INTERET d'une plongée.

- 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.
- 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.
- 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 côté se trouve le tombant (gauche/droite) ; de quel côté 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.

* 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 ou donner des conseils.
- Pas d'alcool, plutôt des boissons chaudes.

6. 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 gâcher 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.

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

CHAPITRE 20 : 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 F.F.E.S.S.M. 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, c'est les niveaux de plongeurs.

1.1. Structures amateurs

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 F.F.E.S.S.M. compte à l'heure actuelle plus de 150 000 adhérents, regroupe 2000 clubs, 9000 moniteurs (7000 moniteurs fédéraux et 2000 brevetés d'Etat).

Les principales activités proposées par la F.F.E.S.S.M. sont :

- Technique
- Biologie subaquatique
- Archéologie subaquatique
- Audiovisuelle
- Plongée souterraine
- Orientation subaquatique
- Médical
- Pêche sous-marine et apnée
- Nage avec palmes
- Nage en eaux-vives
- Hockey subaquatique
- Tir sur cible

Organigramme

La F.F.E.S.S.M. siège à Marseille, elle est présidée par Francis Imbert et possède 16 représentations régionales.

Ces comités régionaux et inter-régionaux sont eux-mêmes composés de 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 F.F.E.S.S.M.

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 F.F.E.S.S.M. 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 F.F.E.S.S.M.

- 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 F.F.E.S.S.M. 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 ou par un médecin agréé par la F.F.E.S.S.M. 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.

1.1.3. 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 70 nations. 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 F.F.E.S.S.M. et les brevets C.M.A.S., matérialisé par une carte double-faces F.F.E.S.S.M./C.M.A.S.

1.1.4. Les autres structures

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.

1.1.4.2. 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 C.M.A.S.

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.**,

1.2. Structures professionnelles

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.

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^{ème} 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 Plin l'Ancien (I^{er} siècle), Végèce (IV^{ème} 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^{ème} 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 fourni 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. 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^{ème} 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.

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