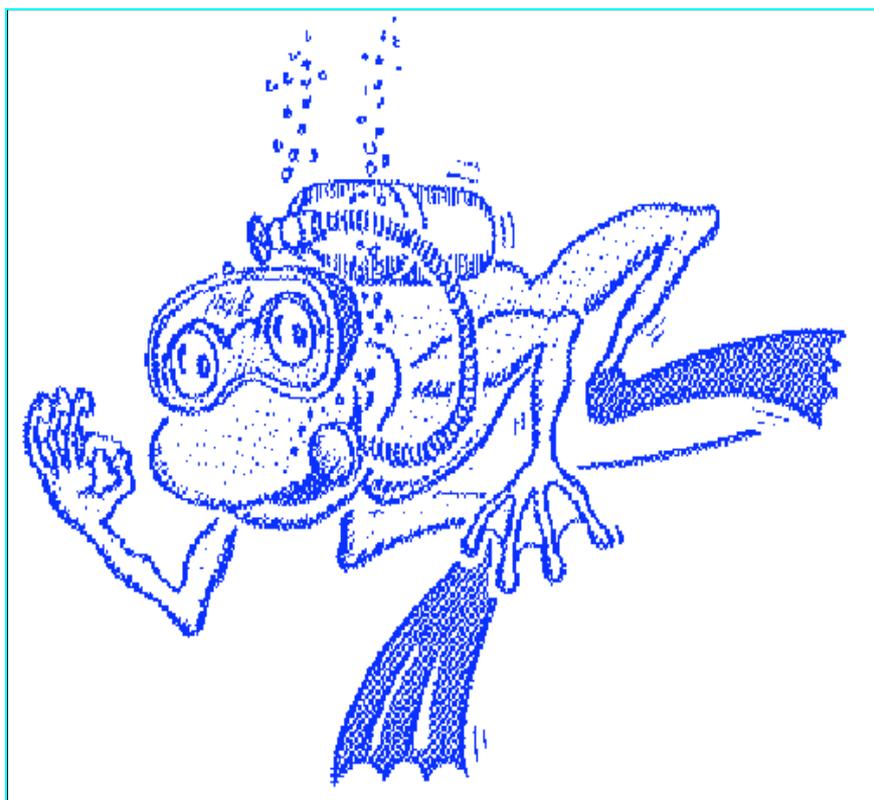


# Niveau 4



Tables des matières :

<b>LES ACCIDENTS BAROTRAUMATIQUES .....</b>	<b>11</b>
<b>La surpression pulmonaire .....</b>	<b>11</b>
• Cause.....	11
• Symptômes.....	12
• Conduite à tenir .....	12
• Prévention .....	12
<b>Accidents mécaniques ou barotraumatismes .....</b>	<b>13</b>
<b>Le placage du masque .....</b>	<b>14</b>
• Causes .....	14
• Symptômes.....	15
• Conduite à tenir .....	15
• Prévention .....	15
<b>Les sinus : .....</b>	<b>15</b>
• Cause.....	15
• Symptômes.....	16
• Conduite à tenir : .....	16
• Prévention .....	16
<b>Les oreilles : .....</b>	<b>16</b>
• Cause.....	17
• Symptômes.....	17
• Conduite à tenir : .....	17
• Prévention .....	17
<b>Les dents .....</b>	<b>17</b>
• Cause.....	18
• Symptômes.....	18
• Conduite à tenir .....	18
• Prévention .....	18
<b>La surpression stomacale ou intestinale.....</b>	<b>18</b>
• Cause.....	19
• Symptômes.....	19
• Conduite à tenir .....	19
• Prévention .....	19
<b>LES ACCIDENTS BIOCHIMIQUES.....</b>	<b>20</b>
<b>Anoxie - Hypoxie .....</b>	<b>20</b>
• Causes .....	20
• Symptômes.....	20

• Prévention .....	20
• Conduite à tenir .....	21
<b>Hyperoxie.....</b>	<b>21</b>
• Causes .....	21
• Symptômes .....	21
• Conduite à tenir .....	22
• Prévention .....	22
<b>Narcose à l'Azote.....</b>	<b>22</b>
• Causes .....	22
• Symptômes .....	22
• Conduite à tenir .....	22
• Prévention .....	23
<b>Le gaz Carbonique, l'Hypercapnie et l'Essoufflement .....</b>	<b>23</b>
• Généralités - Rappel.....	23
• Causes exogènes .....	23
• Causes endogènes .....	23
• Mécanisme et symptôme de l'hypercapnie .....	24
• Traitement .....	24
• Prévention .....	24
• Mécanisme et symptôme de l'essoufflement .....	24
• Causes .....	25
• Conduite à tenir .....	25
• Prévention .....	25
<b>LA VISION .....</b>	<b>26</b>
<b>Justification .....</b>	<b>26</b>
<b>Rappel.....</b>	<b>26</b>
<b>Les 4 effets .....</b>	<b>26</b>
<b>Anatomie.....</b>	<b>28</b>
<b>Application à la plongée.....</b>	<b>28</b>
<b>Formules .....</b>	<b>28</b>
<b>L'AUDITION.....</b>	<b>28</b>
<b>Rappel.....</b>	<b>28</b>
<b>Application à la plongée.....</b>	<b>29</b>
<b>LES PRESSIONS .....</b>	<b>29</b>

<b>Définition .....</b>	<b>29</b>
<b>Unité.....</b>	<b>29</b>
<b>Différentes pressions .....</b>	<b>29</b>
• La Pression Atmosphérique .....	29
• La pression hydrostatique .....	30
• La pression absolue:.....	30
• Application à la Plongée : .....	30
• Théorème : .....	31
• Rappel : .....	31
<b>Formule.....</b>	<b>33</b>
• Exercice.....	33
<b>THEOREMES SUR LES PRESSIONS .....</b>	<b>34</b>
<b>LE PRINCIPE D'ARCHIMEDE .....</b>	<b>35</b>
Mise en évidence du phénomène.....	35
Théorème et formules.....	35
Exercices .....	36
Applications à la plongée.....	36
Annexe .....	37
<b>LA LOI DE MARIOTTE.....</b>	<b>38</b>
Introduction.....	38
Définition .....	38
Mise en évidence .....	39
<b>LA LOI DE DALTON.....</b>	<b>40</b>
Définition .....	40
Exemple .....	40
Formules .....	40
<b>LA LOI DE HENRY .....</b>	<b>41</b>
Justification .....	41
Mise en évidence .....	41

<b>Enoncé de la loi.....</b>	<b>42</b>
<b>Facteurs influents .....</b>	<b>42</b>
<b>Applications à la plongée.....</b>	<b>42</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>43</b>
<b>ELEMENTS DE CALCUL DES TABLES .....</b>	<b>43</b>
<b>Justification .....</b>	<b>43</b>
<b>Historique des tables .....</b>	<b>43</b>
<b>Rappel.....</b>	<b>45</b>
<b>Préambule.....</b>	<b>45</b>
<b>Les tables modernes .....</b>	<b>47</b>
<b>Calcul des tables .....</b>	<b>47</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>52</b>
<b>UTILISATION DES TABLES MN90.....</b>	<b>52</b>
<b>Justification .....</b>	<b>52</b>
<b>Historique .....</b>	<b>52</b>
<b>Définitions.....</b>	<b>53</b>
<b>Utilisation des tables de plongée MN 90 .....</b>	<b>53</b>
• Profondeur et durée.....	54
• Groupe de Plongée successive .....	54
• Palier de Principe.....	54
<b>La courbe de sécurité .....</b>	<b>54</b>
<b>Méthode de calcul.....</b>	<b>55</b>
• Calcul de la durée totale de la remontée (DTR):.....	55
• Dans un problème.....	56
<b>Différentes possibilités d'utilisation de la table et exercices.....</b>	<b>56</b>
• Plongée isolée.....	56
• Remontée lente .....	56
• Remontée rapide :.....	57
• Palier Interrompu.....	59
• Plongées consécutives :.....	59
• Plongées successives :.....	61
• Remarques et cas particuliers des plongées successives.....	63

<b>UTILISATION PARTICULIERE DES TABLES.....</b>	<b>64</b>
<b>La plongée en altitude .....</b>	<b>64</b>
• Justification .....	64
• La pression atmosphérique en altitude.....	64
• Exemple d'une plongée en altitude.....	64
• Modification de la profondeur des paliers .....	65
• Utilisation pratique .....	66
• Vitesse et durée de remontée :.....	67
<b>La plongée en mélange .....</b>	<b>68</b>
• Introduction .....	68
• Correction de profondeur.....	68
• Correction de la hauteur des paliers.....	69
• Précautions d'emploi.....	69
• Conclusion.....	70
<b>PHYSIOLOGIE.....</b>	<b>71</b>
<b>L'appareil respiratoire.....</b>	<b>71</b>
• Fonctionnement .....	72
• Les voies aériennes supérieures.....	73
• Variation des volumes.....	73
• Le volume courant.....	73
• Rythme de la respiration .....	74
• Applications à la plongée.....	74
<b>L'appareil circulatoire .....</b>	<b>75</b>
• Rappel .....	75
• Anatomie.....	75
• Fonctionnement et mécanisme .....	75
• Circuits de commande :.....	76
<b>Les échanges gazeux .....</b>	<b>80</b>
• Introduction .....	80
• Etapes de la respiration .....	80
• Rendez-vous syncopale des 7 mètres.....	81
• Application à la plongée .....	81
<b>La noyade .....</b>	<b>81</b>
• Justification .....	81
• Causes et symptômes .....	81
• Conduite à tenir .....	82
• Prévention .....	82
<b>L'oreille.....</b>	<b>82</b>
• Description .....	82
• Fonctionnement .....	83
• Application à la plongée .....	83

<b>Le système Nerveux.....</b>	<b>84</b>
• Introduction.....	84
• Justification.....	84
• La cellule nerveuse : Le neurone.....	85
• Le système cérébro-spinal.....	86
• Application à la plongée.....	87
<b>Le Froid.....</b>	<b>89</b>
• Justification.....	89
• La température.....	89
• Déperditions calorifiques.....	89
• Le choc thermo différentiel ou Hydrocution.....	90
<b>Les accidents de décompression.....</b>	<b>91</b>
• Justification.....	91
• Rappels.....	91
• Causes.....	91
• Symptômes.....	91
• Conduite à tenir.....	92
• Prévention.....	92
• L'accident de décompression (Supplément).....	93
<b>LA PLONGEE ET LE MATERIEL.....</b>	<b>95</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>95</b>
<b>Le chargement.....</b>	<b>96</b>
<b>Les compresseurs.....</b>	<b>96</b>
• Description.....	96
• Principe de fonctionnement.....	96
• Compression.....	97
• Filtrage de l'air.....	97
• L'huile.....	97
<b>Les blocs.....</b>	<b>97</b>
<b>Les bouteilles.....</b>	<b>98</b>
• Réglementation.....	99
<b>Les robinets.....</b>	<b>99</b>
• Le siège du détendeur.....	100
• Le mécanisme de réserve.....	100
<b>Entretien.....</b>	<b>100</b>
<b>Les détendeurs.....</b>	<b>101</b>
• Justification.....	101
• Types de détendeurs.....	101

• Entretien quotidien.....	104
<b>Les manomètres et profondimètres .....</b>	<b>105</b>
• Type "loi de Mariotte" .....	105
• 4.2. Le tube de Bourdon.....	106
• A membrane .....	107
• Aiguille traînante .....	107
<b>Le gilet .....</b>	<b>107</b>
• L'inflateur .....	108
• Entretien .....	108
<b>Le masque.....</b>	<b>109</b>
<b>Le Tuba.....</b>	<b>109</b>
<b>Les Palmes .....</b>	<b>109</b>
<b>Le Lest .....</b>	<b>110</b>
<b>Le couteau.....</b>	<b>110</b>
<b>La boussole ou compas.....</b>	<b>111</b>
<b>Lexique .....</b>	<b>111</b>
<b>Abréviations.....</b>	<b>112</b>
<b>MATELOTAGE ET NAVIGATION .....</b>	<b>112</b>
<b>Le vocabulaire sur un bateau.....</b>	<b>112</b>
• Bout.....	113
• Taquet .....	113
• Bitte.....	113
• Pare-battage.....	113
• Ancre.....	113
• Grappin.....	114
• Gaffe .....	114
• Cap .....	114
• Amers .....	114
<b>Equipement obligatoire sur un bateau de plongeurs .....</b>	<b>114</b>
<b>Les nœuds .....</b>	<b>115</b>
• Nœud d'arrêt .....	115
• Tours de taquet .....	116
• Nœud de Chaise.....	116
• Nœud de Cabestan .....	118
• Nœud de Cabestan (préparé).....	119
• Lancer un bout.....	120

• Ranger un bout .....	120
<b>LEGISLATION ET PLONGEE .....</b>	<b>121</b>
<b>Les Associations.....</b>	<b>121</b>
• Principe .....	122
• Les différents types.....	122
<b>Création d'un Club.....</b>	<b>123</b>
• Dénomination .....	123
• Objet de l'association .....	123
• Le siège social .....	123
• La durée.....	123
• Composition .....	123
• Démarche à suivre .....	123
<b>Généralités administratives d'un Club.....</b>	<b>124</b>
• Entrée et sortie des membres.....	124
• Rôle du Comité Directeur .....	124
• Durée du mandat.....	124
• Le bureau.....	124
• Assemblée Générale .....	124
• Assemblée générale constitutive .....	124
• Assemblée générale ordinaire .....	124
• Assemblée générale extraordinaire.....	124
<b>LA FFESSM .....</b>	<b>125</b>
• Le personnel fédéral : Les bénévoles.....	125
• Le Président actuel.....	125
• Le personnel rémunéré.....	125
• Composition .....	125
• Organigramme Fédéral .....	125
• Le Comité National.....	126
• Les Comités Régionaux (ou Interrégionaux) .....	126
• Les comités régionaux .....	127
• Les Commissions.....	127
• Les Comités Départementaux .....	128
• Le Club.....	128
<b>Décentralisation des Institutions.....</b>	<b>128</b>
<b>L'assurance et ses implications .....</b>	<b>128</b>
• Notions juridiques et textes de loi .....	129
• Responsabilité et Plongée .....	129
• Le contrat d'assurance.....	130
• L'Assurance Fédérale.....	130
<b>La Licence Fédérale .....</b>	<b>131</b>

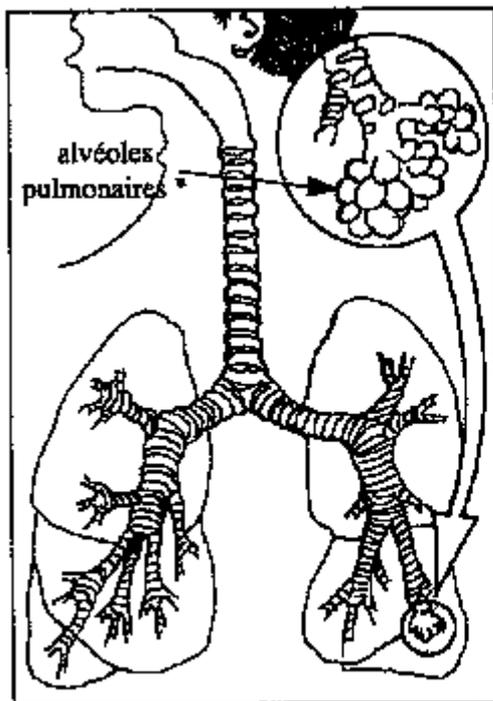
• La licence loisir .....	131
• Deux types de licences.....	131
• Licence compétition.....	131
<b>Le certificat médical.....</b>	<b>131</b>
• Délivrance de la licence .....	131
• Pratique de la plongée en scaphandre.....	132
• Baptême de plongée en scaphandre.....	132
• Brevets Fédéraux .....	132
<b>Le contrôle des blocs de plongée.....</b>	<b>132</b>
• Bouteilles tampons fixes .....	132
• Bouteilles aciers.....	132
• Transport des bouteilles .....	132
<b>La Technique : Prérogatives et Responsabilité.....</b>	<b>133</b>
• Les brevets de plongée.....	133
• Les brevets d'encadrement et d'enseignement.....	133
• Conditions de pratique de la plongée en milieu naturel.....	134
• Niveau de pratique.....	135
• Niveaux d'encadrement.....	136



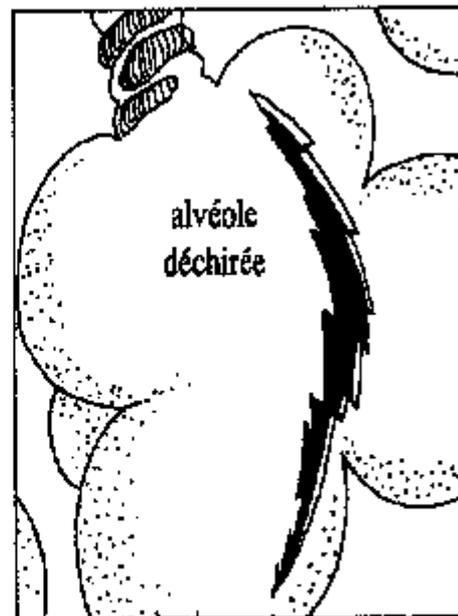
## Les accidents Barotraumatiques

Ils sont liés à la pression et aux cavités creuses : poumons, sinus, oreilles, dents, masque, intestin.

### La surpression pulmonaire



\* sacs contenant l'air des poumons et permettant les échanges gazeux avec le sang.



C'est un accident qui est souvent des plus graves mais peut heureusement être évité.

- **Cause**

La surpression pulmonaire survient lorsque le plongeur bloque son expiration lors de la remontée. Les raisons peuvent être diverses :

- méconnaissance
- crise d'asthme
- malformation anatomique
- anxiété
- remontée panique
- manœuvre de Valsalva à la remontée
- inhalation d'eau
- détendeur en panne
- apnée

Lorsque le plongeur remonte sans expirer régulièrement, l'air inspiré sous pression dans les poumons va se dilater jusqu'à la limite d'élasticité des alvéoles pulmonaires. Quand la limite d'élasticité est dépassée, des alvéoles se déchirent, les échanges gazeux ne peuvent plus s'effectuer correctement.

L'oxygène vital n'est plus ou presque plus acheminé par le sang vers les cellules de l'organisme.

### • Symptômes

Ils varient selon la gravité de l'accident :

- douleur thoracique, vomissement, cou proéminent, gonflé, air insufflé sous la peau
- difficulté à respirer, sensation de suffoquer, toux, bave ou crachats sanglants
- angoisse, visage livide, bleuissement et refroidissement des extrémités
- troubles sensitifs, troubles visuels, difficultés à parler, paralysies, maux de tête
- troubles de la conscience, convulsion, coma
- arrêt ventilatoire puis cardiaque
- mort

Symptômes signe pulmonaire : glotte, sensation d'étouffement, douleur thoracique

Symptômes signe généraux : état de choc

Symptômes signe neurologique : crise épilepsie, paralysie, perte de la parole, vertiges

Symptômes signe cutané : emphysème, gonflement

Les symptômes apparaissent très rapidement, dans l'eau ou à la sortie de l'eau.

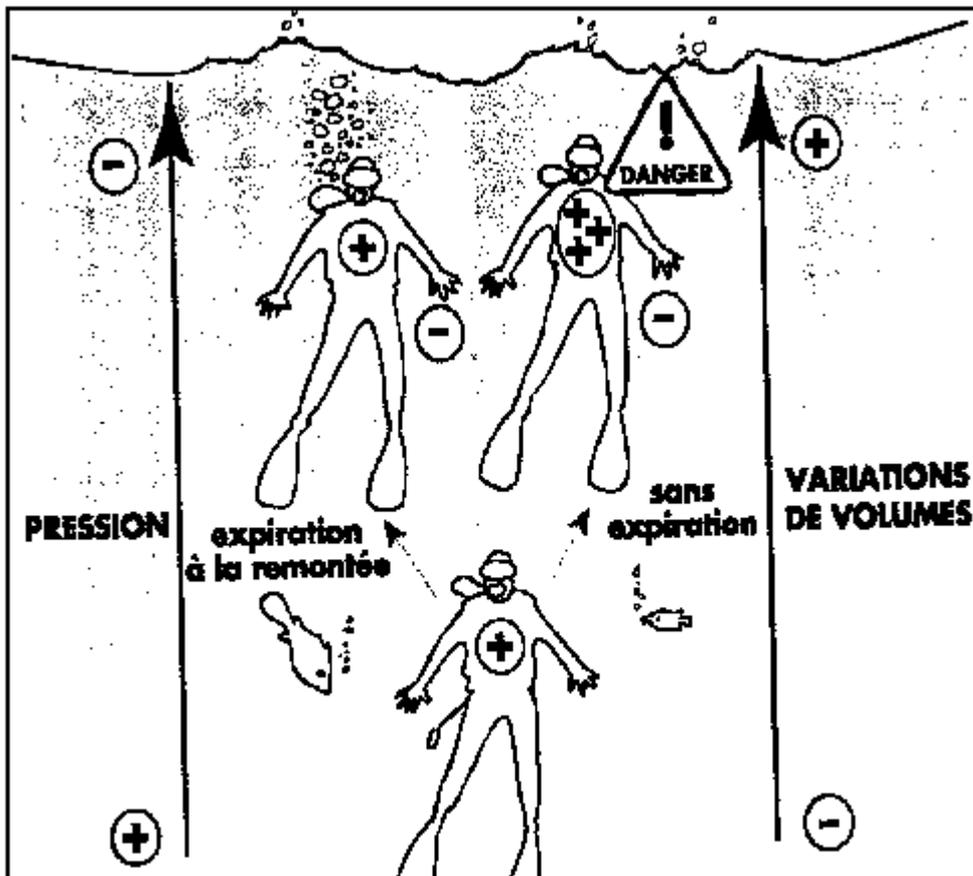
### • Conduite à tenir

- déséquiper et sortir la victime de l'eau
- allonger la victime, les jambes relevées
- entreprendre immédiatement une inhalation d'oxygène pur
- alerter les secours

### • Prévention

Pour éviter la surpression pulmonaire, il faut :

- avertir le débutant
- apprendre à plonger
- laisser un libre jeu à la respiration et surtout à l'expiration lors de la remontée
- ne jamais passer son embout à un plongeur en apnée
- rester maître de sa remontée même si elle doit être rapide
- pas de Valsalva à la remontée
- souffler si on remonte sans embout



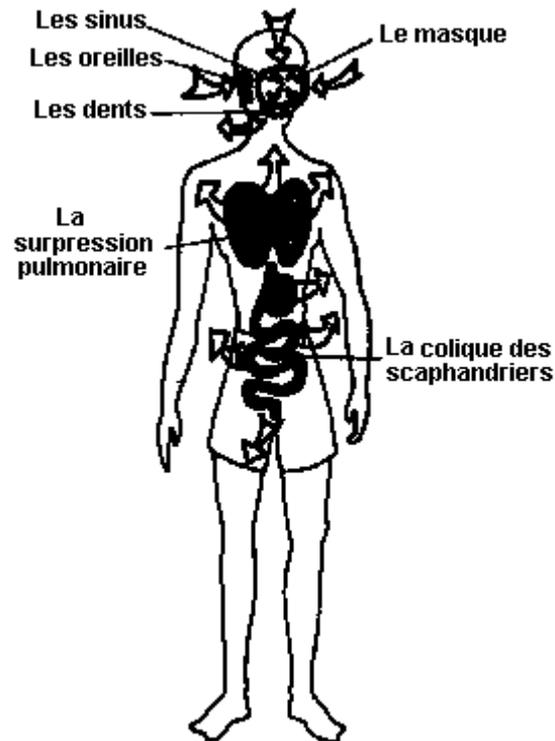
## Accidents mécaniques ou barotraumatismes

A la descente :

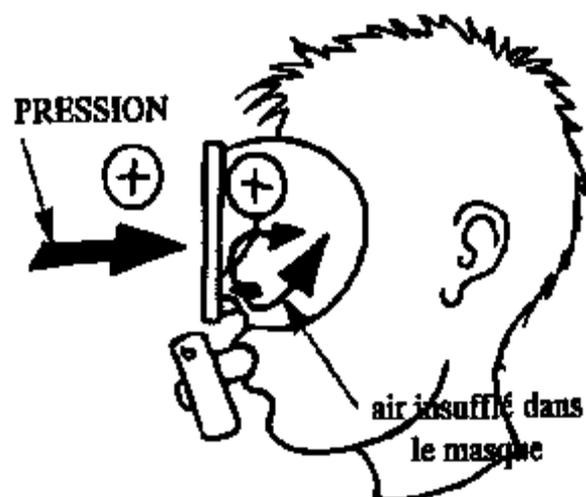
- Placage du masque
- Sinus
- Oreilles

A la remontée :

- Sinus
- Oreilles
- Dents
- Intestin et estomac
- Surpression pulmonaire



## Le placage du masque



- **Causes**

Le masque est composé d'une vitre et de parois souples en contact avec le visage. Au cours de la descente, la pression augmente et comprime le volume interne du masque jusqu'à sa limite d'élasticité.

Au-delà, si le plongeur n'équilibre pas la pression régnant dans son masque avec la pression ambiante, il y a risque de placage de masque.

S'il poursuit sa descente, le volume interne de son masque est mis en dépression, provoquant un effet de ventouse dû à l'élasticité des parois du masque.

- **Symptômes**

La dépression crée une vive douleur aux yeux et s'accompagne de troubles visuels. Si elle augmente, les yeux sont injectés de sang, les paupières gonflent et deviennent violacées. Risque de saignement de nez

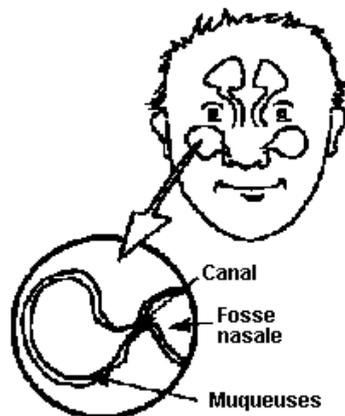
- **Conduite à tenir**

Consulter un médecin, ophtalmologiste de préférence. En cas de saignement du nez, penchez la tête en avant en appuyant fortement sur la narine.

- **Prévention**

Souffler de l'air par le nez à la descente.

## Les sinus :



- **Cause**

Les sinus sont des cavités osseuses en contact avec les voies respiratoires. Les principaux sont les sinus frontaux et les sinus maxillaires.

Si les voies de communication entre le sinus et les fosses nasales sont obstruées, l'équilibre des pressions ne peut se faire. En effet, l'air contenu dans les fosses nasales est comprimé au cours de la descente, mais celui contenu dans les sinus est alors en dépression et agit comme

une ventouse. Cette dépression a pour effet de provoquer une hypersécrétion de la muqueuse du sinus, un afflux sanguin provoquant un œdème, un décollement de cette muqueuse. L'obturation d'un sinus peut être due à une sinusite, un kyste, ou un simple rhume. Certaines malformations sont des contre-indications à la plongée.

- **Symptômes**

Violente douleur faciale, en générale au front ou à la mâchoire supérieure. Il a l'impression d'avoir les dents arrachées. La douleur est localisé au niveau du front ou sous les yeux. A la sortie de l'eau, le masque est rempli de mucosités. Il peut parfois y avoir un saignement de nez.

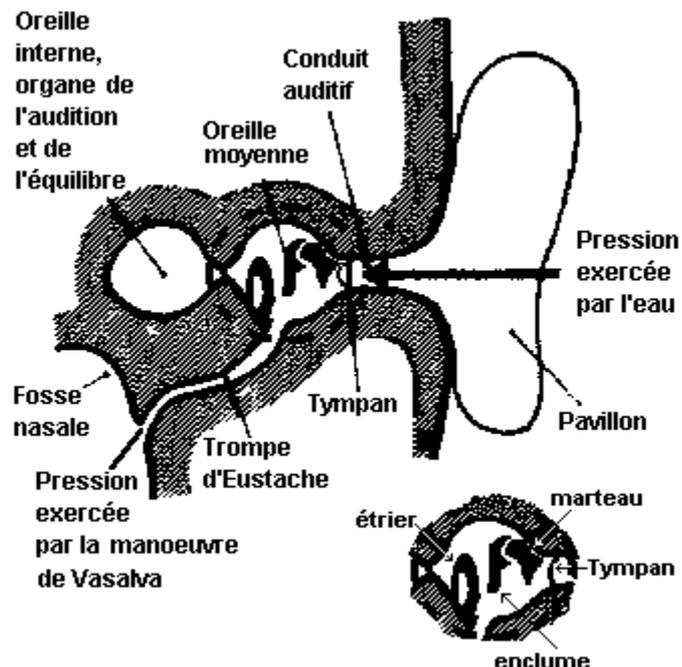
- **Conduite à tenir :**

Consulter un médecin ORL. Ne pas plonger avec une rhinite ou une sinusite.

- **Prévention**

Ne jamais forcer, plonger en bonne santé. A la descente, remonter de quelques mètres. A la remontée, redescendre de quelques mètres. Essayer de se moucher fortement dans l'eau.

## Les oreilles :



- **Cause**

Quand le plongeur descend, la pression augmente et agit sur le tympan : membrane souple qui se déforme. Déchirure du tympan. Manœuvre de Vasalva faite en remontant ou trop tardive.

- **Symptômes**

Petite douleur légère jusqu'à une douleur plus violente. Bourdonnement, sensation de froid, vertige, syncope.

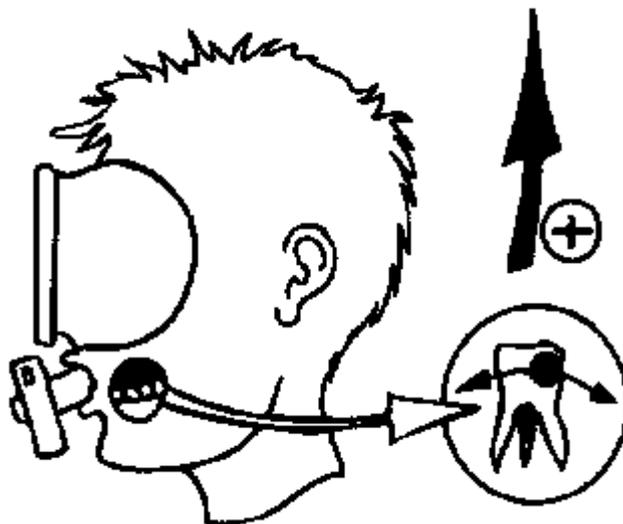
- **Conduite à tenir :**

Consulter un médecin ORL.

- **Prévention**

Bien équilibrer, ne jamais forcer, proscrire les cotons tiges. Effectuer la manœuvre de Vasalva, Frenzel (Nez pincé, la base de langue est contractée au maximum vers le haut et en arrière contre le voile du palais), BTV (Béance Tubulaire Volontaire : elle consiste à reproduire les mouvement provoqué par le bâillement). Descendre doucement.

## Les dents



- **Cause**

De l'air peut s'infiltrer par les fissures d'un plombage défectueux ou dans une dent cariée, lors de la plongée. L'air est en pression ambiante, lors de la remontée, le volume d'air est en augmentation.

- **Symptômes**

Le plongeur ressent une violente douleur dentaire qui peut se substituer en surface, à la sortie de l'eau. Risque de syncope.

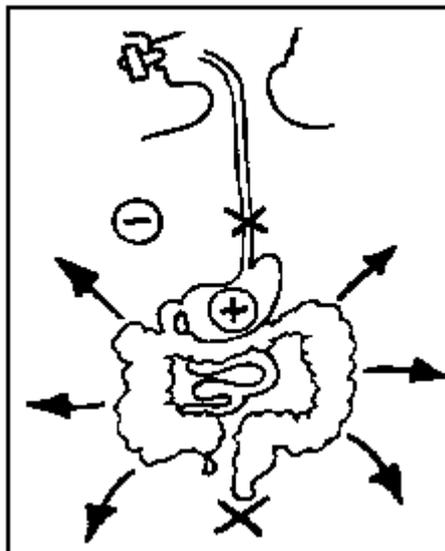
- **Conduite à tenir**

Consulter un dentiste.

- **Prévention**

Subir un examen bucco-dentaire.

## La surpression stomacale ou intestinale



- **Cause**

En respirant, l'homme avale à chaque inspiration une quantité d'air plus ou moins importante qui est augmentée à chaque déglutition. Les gaz comprimés lors de la plongée ne peuvent s'évacuer et se dilatent lors de la remontée.

- **Symptômes**

La surpression due à la baisse de la pression ambiante provoque de violentes douleurs abdominales pouvant entraîner une syncope.

- **Conduite à tenir**

Consulter un médecin. Si la douleur est aiguë, évacuer l'accidenté vers un caisson hyperbare.

- **Prévention**

Évitez les déglutitions répétitives lors de la plongée. Ayez une alimentation saine, évitez les féculents et les boissons gazeuses.

## Les accidents Biochimiques

Notre organisme accepte d'être confronté aux gaz courants (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Co<sub>2</sub>) à l'intérieur de certaines limites de pressions ou de pressions partielles. Le franchissement de ses limites entraîne des troubles spécifiques à chaque cas.

### Rappel :

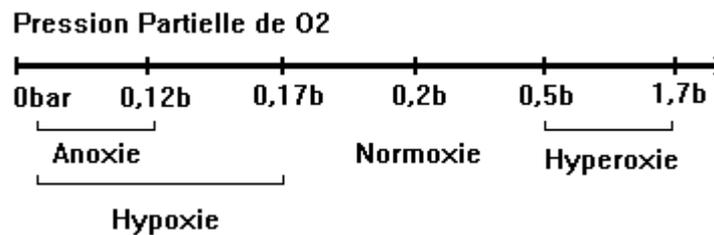
Composition de l'air :

20,9 % de O<sub>2</sub>

79 % de N<sub>2</sub>

0,07 % de gaz rares

0,03 % de Co<sub>2</sub>



## Anoxie - Hypoxie

### • Causes

Mélange pauvre en O<sub>2</sub>  
 Plongée en apnée trop longue  
 Hyperventilation

### • Symptômes

Arrêt respiratoire et paralysie des jambes  
 La perte de connaissance est brutale

### • Prévention

Contrôler le bon fonctionnement de l'appareil respiratoire  
 Contrôler le mélange gazeux utilisé  
 Éviter les apnées trop longues et rapprochées

Eviter l'Hyperventilation (vertiges)  
Avoir de l'oxygène

- **Conduite à tenir**

Respiration d'un mélange normotoxique ou hyperoxique  
Repos  
Traitement de la noyade s'il y a

## Hyperoxie

Concerne les plongeurs professionnels, les traitements avec de l'oxygène.

- **Causes**

Respiration d'O<sub>2</sub> pur ou en mélange sous pression partielle supérieure à 0,5 bar (intoxication pulmonaire)

- **Symptômes**

Signes avertisseurs :

- rythme cardiaque élevé
- sensation d'essoufflement
- vertiges
- rétrécissement du champ visuel
- nausées
- secousses musculaires

Pression partielle > à 0,5 bar (effet Lorrain Smith) :

- douleurs ou brûlures au niveau du sternum
- toux
- fièvre
- trouble ventilatoire

Pression partielle > à 1,7 bar (effet Paul Bert) :

Plongée trop profonde : supérieure à 75 mètres :

- crises convulsives
- peau rose
- trouble de la vision
- crampes
- morsure de la langue

- émission d'urine
- perte de connaissance

- **Conduite à tenir**

Remonter en urgence et faire baisser la pression de O2 en deçà du seuil critique.

- **Prévention**

Pas d'oxygène plus de 2 heures.

## Narcose à l'Azote

- **Causes**

Effet biologique de l'azote qui agit au niveau du système nerveux central lorsque la pression partielle est très élevée.

Les troubles apparaissent dès 30 mètres pour les individus les plus sensibles, et, en moyenne, dès que la PpN2 atteint 4 bars. A 60 mètres, *tout le monde* est narcosé, même et surtout ceux qui prétendent le contraire.

- **Symptômes**

Ils sont variables d'un individu à l'autre et peuvent varier d'un jour à l'autre. On peut observer :

- Troubles de la vision
- Vertiges
- Disparition de la notion de durée
- Sensation de solitude
- Lecture fréquente des instruments sans qu'il y est interprétation de ses lectures
- Retard de réponse sur signe
- Gestes répétitifs
- Perte de connaissance

- **Conduite à tenir**

- Remonter de quelques mètres.
- Ne jamais plonger seul
- Respecter les profondeurs limitées

- Bonne connaissance de soi-même

- **Prévention**

Il n'y a pas de prévention satisfaisante et préventive. Toutefois, on peut :

- Prendre conscience des risques de la narcose
- Se maintenir en bonne condition physique
- S'entraîner progressivement aux plongées profondes

## Le gaz Carbonique, l'Hypercapnie et l'Essoufflement

- **Généralités - Rappel**

On se souvient que l'adaptation du rythme et/ou de l'amplitude ventilatoire est commandé (entre autres) par des informations en teneur sanguine en CO<sub>2</sub>.

Les causes conduisant à une augmentation non supportable du CO<sub>2</sub> peuvent être classées en causes externes (exogènes) : c'est l'hypercapnie ou interne (endogène) telle que l'essoufflement.

0,003 % dans l'air de CO<sub>2</sub>

Pression Partielle dans l'air de CO<sub>2</sub> : 0,03 bar

- **Causes exogènes**

Au niveau de la Bouteille	Au niveau du Détendeur	Au niveau du Tuba
Mauvaise qualité de l'air	Mal réglé	Espacement des respirations
Fin de bouteille : tirage + fort de l'air		
Bloc mal ouvert		

- **Causes endogènes**

- Effort
- Peur, Angoisse
- Froid

- **Mécanisme et symptôme de l'hypercapnie**

La teneur maximum en CO<sub>2</sub> que nous pouvons supporter sans troubles est de 1%, soit la pression atmosphérique PpCO<sub>2</sub> = 0,01 bar. Au delà les problèmes commencent :

<b>Si la PpCO<sub>2</sub> atteint :</b>	
0,02 bar (2% en surface)	Augmentation de la fréquence ventilatoire
0,03 bar (3% en surface)	Maux de tête
0,04 bar (4% en surface)	Maux de tête violents - Sensation d'oppression
0,06 bar (6% en surface)	Suffocation
0,07 bar (7% en surface)	Perte de connaissance
Au delà	Mort

Exemple :

Si la pression partielle de CO<sub>2</sub> en surface atteint 2%

	<i>10 mètres</i>	<i>20 Mètres</i>	<i>30 mètres</i>	<i>40 mètres</i>
<b>2% de CO<sub>2</sub></b>	4%	6%	8%	10%

$$P_p = P_a * (x/100)$$

$$P_p = 2b * (2/100)$$

$$P_p = 0,04 \text{ bar}$$

- **Traitement**

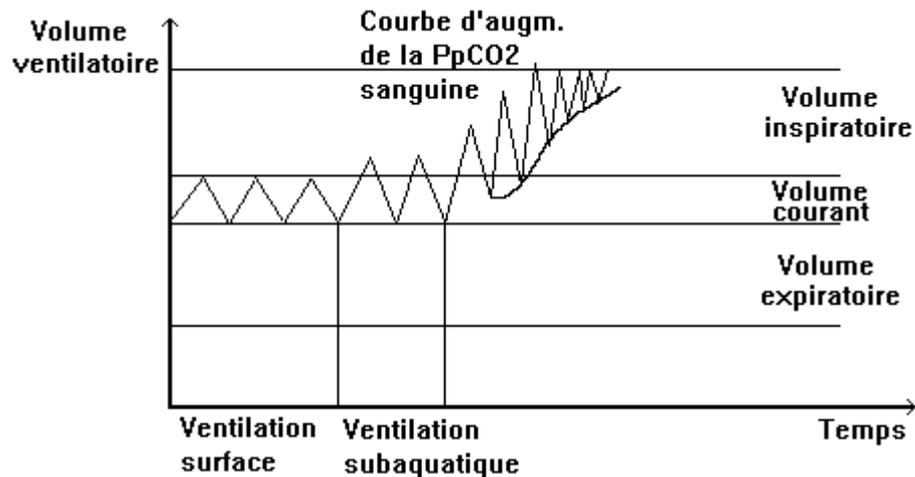
- Remonter au 1er signe d'hypercapnie, cad au début du processus

- **Prévention**

- Attention à la prise d'air pour le gonflage des bouteilles

- **Mécanisme et symptôme de l'essoufflement**

Le diagramme ventilatoire varie de la manière suivante :



### • Causes

Les causes conduisant à l'enclenchement de ce mécanisme peuvent être nombreuses : réaction au froid, effort non contrôlé et angoisse.

### • Conduite à tenir

- Arrêt des efforts
- Remonter pour faire baisser la PpCO<sub>2</sub>
- Baisser la réserve
- Expirer à fond
- Se raisonner
- Alerter

Au premier signe exprimé ou visible d'augmentation du rythme ventilatoire, remonter le plongeur en maintenant le détendeur en bouche. En effet, deux types de situation peuvent se présenter :

- Plongeur débutant : il aura probablement pas mal de difficultés à « récupérer » en immersion et il faudra de toute manière le remonter.
- Plongeur confirmé : il aura probablement déjà tenté de combattre son début d'essoufflement et devra être remonté pour reprendre un rythme normal.

### • Prévention

La prévention de l'essoufflement reste avant tout du domaine de l'information et de la connaissance de ses propres limites. Une mauvaise orientation de la palanquée dans un courant, un effort violent non contrôlé (ex : mise en place du mouillage), un froid intense, un mauvais palmage de sustentation conduisent à l'augmentation importante du rythme

ventilatoire et, par la même, à un risque d'essoufflement. C'est la maîtrise de la technique individuelle personnelle qui est la meilleure prévention.

Matériel	Plongeur
Bon air	Pas d'effort
Bouteille bien ouverte	Bien se ventiler
Détendeur révisé	Bonne condition physique
Tuba pas trop long	Bon psychique
Bonne combinaison	

- Ne pas plonger avec un début d'essoufflement

## La Vision

### Justification

Voir sous l'eau la taille, la forme, les couleurs et surtout de bien voir.

### Rappel

Vitesse de la lumière :

300 000 km/s dans l'air  
225 000 km/s dans l'eau

### Les 4 effets

- La réflexion (effet miroir)
- La diffusion
- L'absorption

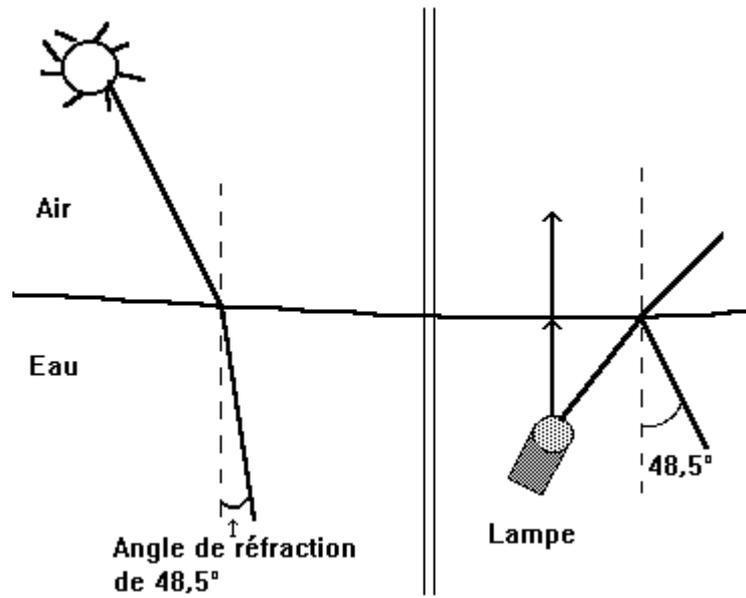
Intensité lumineuse:

0 mètre	1 mètre	10 mètres	20 mètres	40 mètres
100 %	40 %	14 %	7 %	1,5 %

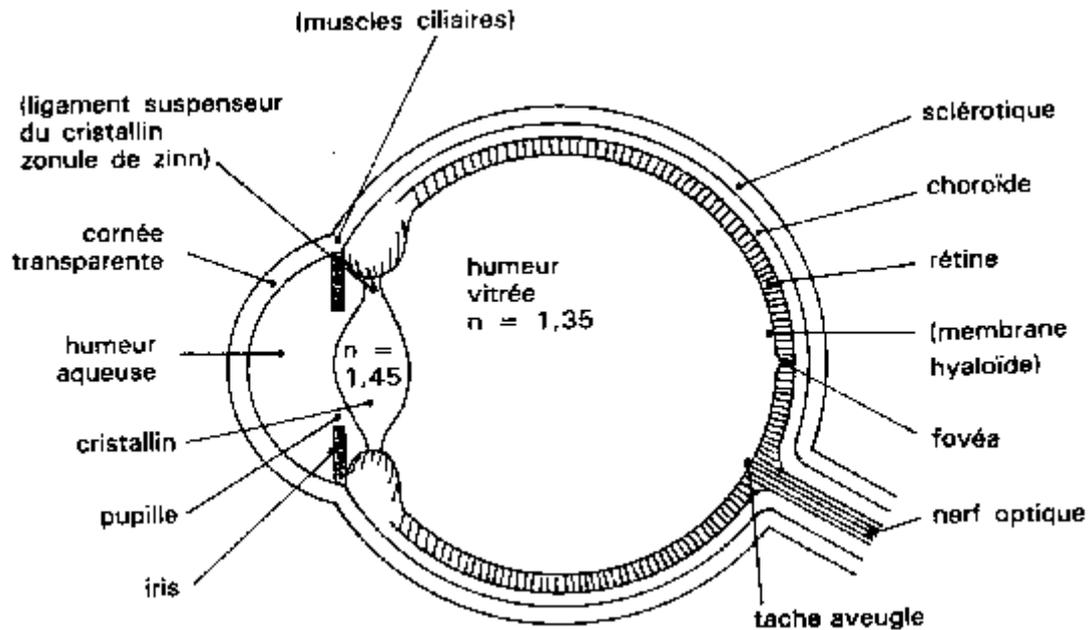
2mètres	5 mètres	10 et 15 m	25 et 65 m	> 65 m
---------	----------	------------	------------	--------

Rouge modifié	Disparition du rouge	Disparition de l'orangé	Disparition du bleu, vert et violet	Disparition du monochrome vert
---------------	----------------------	-------------------------	-------------------------------------	--------------------------------

- La réfraction ( changement de direction)



## Anatomie



## Application à la plongée

Une vision floue. Avec le masque, il existe 3 inconvénients :

- Le grossissement ( $\times 4/3$ )
- Mauvaise appréciation des distances ( $+ \text{proche de } 3/4$ )
- Réduction du champ visuel

## Formules

**Distance apparente = Distance réelle  $\times 3/4$**

**Taille apparente = Taille réelle  $\times 4/3$**

## L'audition

## Rappel

C'est une vibration qui se propage de poche en poche et dans un milieu non vide.

Air : 330 m/s      Eau : 1500 m/s

## Application à la plongée

Pétard de rappel, choc sur bouteille, cris sous l'eau, le sondeur....

# LES PRESSIONS

## Définition

Si P = Pression

Si F = Force

Si S = Surface

**$P = F/S$**

Une pression est le résultat d'une force appliquée à une surface. 1 liquide ou 1 solide n'est pas compressible, seul les gaz le sont.

La pression au sein d'un fluide (eau, air) s'exerce en tous sens et se répartit uniformément.

## Unité

Courante en plongée mais incorrecte scientifiquement, c'est le Kgf/cm<sup>2</sup> (kgf = F en Kg / S en cm<sup>2</sup>)

L'unité l'égale est le **BAR** :

**1 bar = 1 kg / 1 cm<sup>2</sup>**

Remarque : Tous les 1000 mètres enlever 0,1 bar

## Différentes pressions

La pression atmosphérique : 1 bar au niveau de la mer

La pression relative : 1 bar tous les 10 mètres en dessous de la surface de la mer

La pression absolue : combinaison des deux

- **La Pression Atmosphérique**

Cause : Le poids de l'air qui entoure la terre (donc ce poids diminue avec l'altitude)

Au niveau de la mer :

Cette pression atmosphérique est de 1 Bar  
ou 1013 Hecto pascal  
ou 1 Atmosphère  
ou 760 mm Hg (Mercure)

- **La pression hydrostatique**

= la pression dans l'eau  
= la pression relative

Cause : Poids de l'eau

Référence à Torricelli :

Colonne de 10 mètre d'eau sur une section de 1 cm<sup>2</sup>, donc volume :  
 $1000\text{cm}^2 * 1\text{cm}^2 = 1000\text{cm}^3$   
soit 1 dm<sup>3</sup> = 1 litre = 1 kg  
donc la pression de notre colonne ainsi décrite est de 1 bar

Ainsi la pression relative sera égale à la profondeur en mètre / 10.  
Ex : Profondeur 15 mètres = 1.5 Bars

- **La pression absolue:**

Correspond à la pression réelle subie dans l'eau.

**Pression Absolue = Pression Atmosphérique + Pression Relative**

Exemples :

Pression Absolue à 10 m : 2 Bars  
Pression Relative à 25 m : 2.5 Bars  
Pressions Absolue à 19 m : 2.9 Bars

Inversement :

3.2 Bars de Pression Absolue : 22 m  
 $(3.2 - 1) * 10 = 22$   
5.1 bar de Pression Absolue : 41 m

- **Application à la Plongée :**

Le plongeur va subir ses pression :

- A la descente les pressions vont augmenter
- A la remontée les pressions vont diminuer

Ses variations vont avoir des conséquences sur l'homme (accident), sur le matériel.

- **Théorème :**

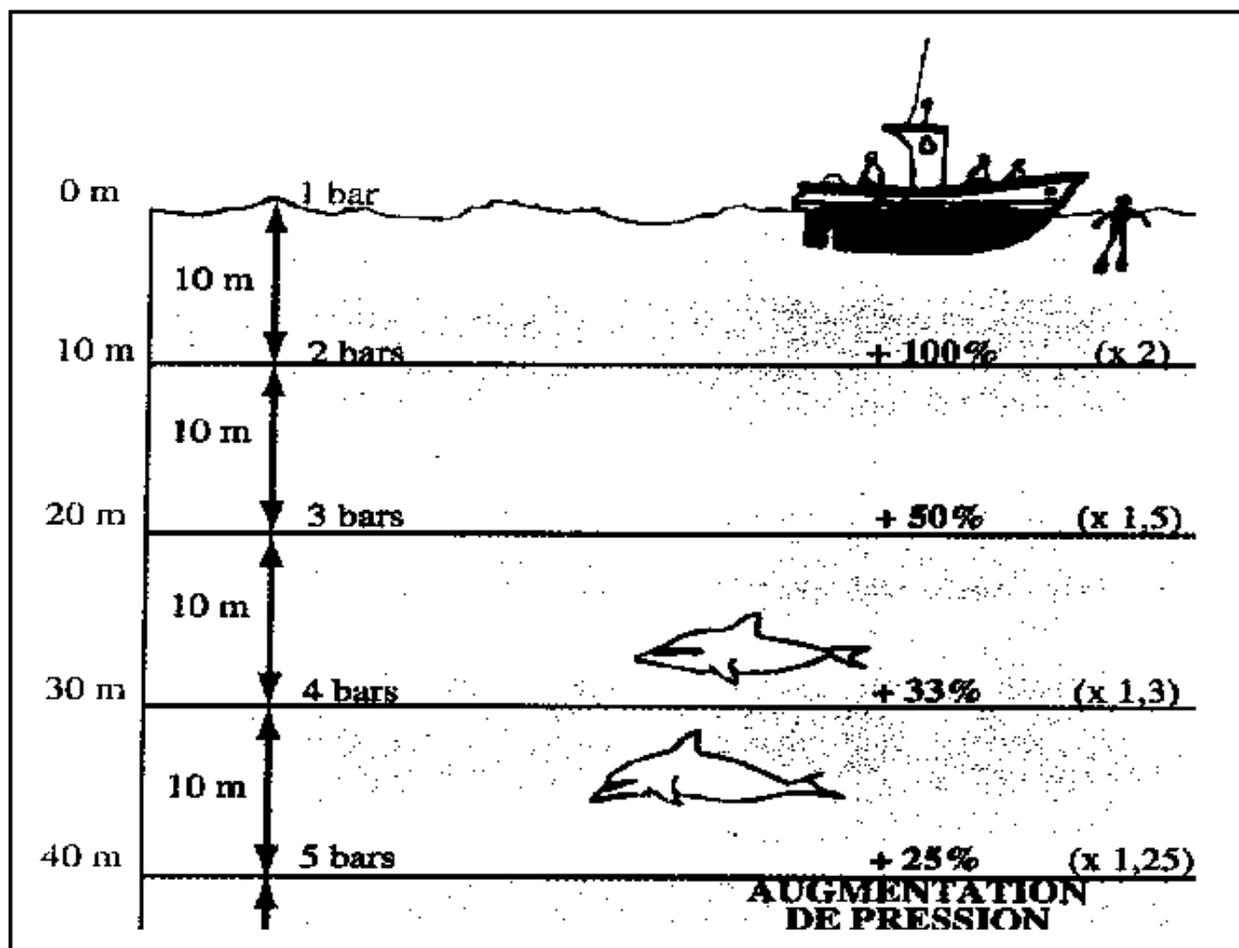
Pression atmosphérique = 1 bar = 760 mm hg = 1013 hecto Pascal

Pression relative = ( Profondeur \* Pression volumique ) / 10

Pression absolue = pression atmosphérique + pression relative

- **Rappel :**

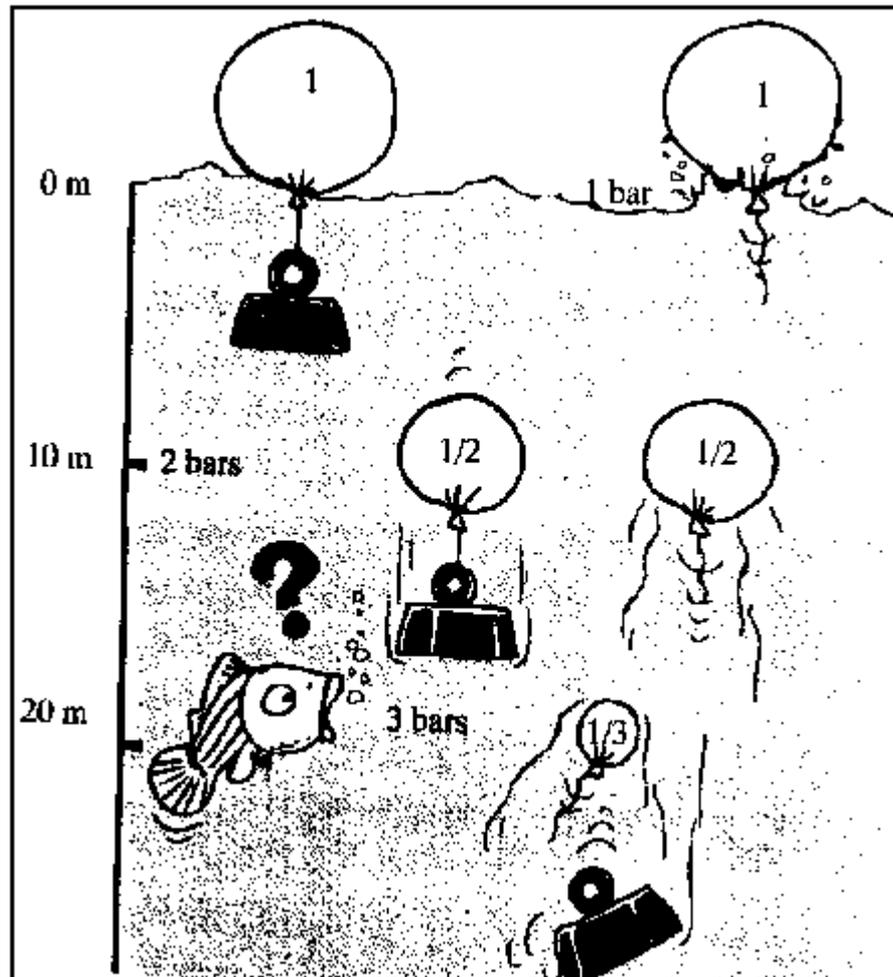
Profondeur	Pr. Relative en Bar	Pr. Atmosph. en Bar	Pr. Absolue en Bar
0 m	0	1	1
10 m	1	1	2
20 m	2	1	3
30 m	3	1	4
40 m	4	1	5



Pour un même écart de profondeur, 10 mètres, la pression ne varie pas de la même manière en pourcentage.

Proportionnellement, les plus grandes variations de pression se situent entre 10 mètres et la surface.

Ces variations de pression auront des conséquences sur l'organisme d'où la nécessité d'être plus particulièrement vigilant entre 10 mètres et la surface, notamment pour prévenir les accidents Barotraumatiques.



Nous pouvons constater que lorsque la pression augmente le volume du ballon diminue et inversement à la remontée.

De plus, comme pour la pression, nous pouvons remarquer que proportionnellement les plus grandes variations de volume ont lieu entre 10 mètres et la surface.

## TABLEAU DES VARIATIONS DE PRESSIONS

0 mètre	Pression Atmosphérique 1 Bar	Ballon de 12 Litres
-10 m	Zone Rouge 2b + 10m	6 Diminution de moitié
-20 m	3b + 20m	4 Diminution de moitié
-30 m	4b	3
-40 m	5b	2.4
-50 m	6b + 40m	2 Diminution de moitié
-60 m	7b	1.71
-70 m	8b	1.5

### Formule

A température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il subit.

$$(P * V) / T = (P1 * V1) / T1$$

Charles : Pression / Température = Constante

Gailussac = Volume / Température = Constante

La température est exprimée en degré *Kelvin* . Température en degré Kelvin = Température en °Celcius + 273°

#### • Exercice

Un bloc de 12l gonflé à 180 bars à une température de 15°, quelle est sa pression si la température est de 50 ° ?

$$\begin{aligned} (P * V) / T &= (P1 * V1) / T1 \\ (180 * 12) / (15^\circ + 273^\circ) &= (x * 12) / (50^\circ + 273^\circ) \\ 2160 / 288 &= (x * 12) / 323 \\ (7.5 * 323) / 12 &= x \\ x &= 202 \text{ bars} \end{aligned}$$

## THEOREMES SUR LES PRESSIONS

### La pression atmosphérique :

On considère en plongée que 1 bar = 760 mmHg

$$\text{P. Atmosphérique en Bar} = \frac{\text{P. Atmosphérique en mmHg}}{760}$$

### La densité :

La pression relative varie avec la densité de l'eau. La densité n'a pas d'unité, c'est un rapport avec une référence (eau douce ou l'air).

### Le poids volumique :

Le poids volumique est le poids par unité de volume

$$P_v = \frac{\text{Poids en Kg}}{\text{Volume en dm}^3}$$

### La pression relative :

La pression relative augmente si le poids volumique augmente. On obtient la relation :

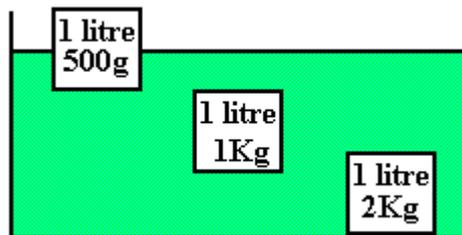
$$\text{P. Relative} = \frac{\text{Prof.en m} * P_v}{10}$$

**Poussée d'Archimède = Volume \* Densité**

## LE PRINCIPE D'ARCHIMEDE

### Mise en évidence du phénomène

Soit 3 cubes de 1 litres de volume pesant respectivement 500g, 1kg et 2kg. Mettons ces cubes dans un bassin et observons :



Le cube de 500g flotte, il y a donc une force qui le pousse vers le haut.

Le cube de 1kg reste en équilibre entre deux eaux, il y a équilibre entre le poids et la force qui pousse le corps vers le haut. **Cette force est donc égale au poids du corps.**

Le cube de 2kg coule, le poids est supérieure a la force qui pousse le corps vers le haut.

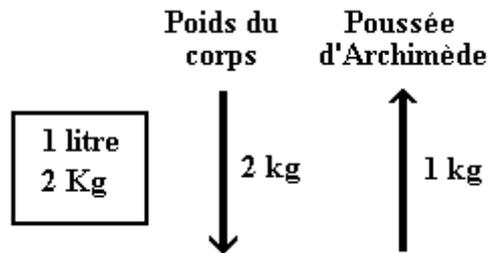
*La flottabilité du corps dépend donc de son poids et de son volume.*

### Théorème et formules

***Tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du volume de fluide déplacé par le corps.***

Dans le cas du plongeur le fluide est de l'eau.

Soit un corps de 2kg qui a un volume de 1 litre. Il déplace donc 1 litre d'eau. Or 1 litre d'eau pèse 1kg, d'où la poussée d'Archimède (P.Arch) est une force verticale de 1kg dirigée de bas en haut.



Le poids réel est plus grand que la poussée d'Archimède : le corps va couler. On appelle poids apparent (P.App) la différence entre le poids réel et la poussée d'Archimède.

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

Si le Poids Apparent est supérieur à 0 alors le corps coule : il y a flottabilité négative

Si le Poids Apparent est égal à 0 alors il y a équilibre : il y a flottabilité nulle

Si le Poids Apparent est inférieur à 0 alors le corps flotte : il y a flottabilité positive

## Exercices

- Soit une amphore de 15dm<sup>3</sup> pesant 32kg, quel est son Poids Apparent ?

$$\text{P.App} = \text{Poids réel} - \text{Poussée d'Archimède}$$

$$\text{P.App} = 32 \text{ kg} - 15 \text{ dm}^3$$

$$\text{P.App} = 17 \text{ kg}$$

- Soit un boîtier de caméra de 5 dm<sup>3</sup> pesant 4 kg, quel poids faut-il ajouter à l'intérieur pour que le boîtier soit en équilibre ?

$$\text{P.App} = \text{Poids réel} - \text{Poussée d'Archimède}$$

$$\text{P.App} = 4 \text{ kg} - 5 \text{ dm}^3$$

$$\text{P.App} = -1 \text{ kg}$$

Soit 1 kg à rajouter pour que la flottabilité soit nulle.

## Applications à la plongée

- Poumon-ballast
- Calcul de lestage et de levage
- Utilisation de la bouée, contrôle de la vitesse de remontée

## Annexe

Soit  $V_{\text{Objet}}$  le volume d'un objet et  $Pv_{\text{Objet}}$  son poids volumique, d'où

$$P_{\text{Réel}} = V_{\text{Objet}} * Pv_{\text{Objet}}$$

La poussée d'Archimède correspond au poids du volume de fluide déplacé, d'où :

$$P_{\text{Arch}} = V_{\text{Objet}} * Pv_{\text{liquide}}$$

On obtient  $P_{\text{App}} = V_{\text{Objet}} * Pv_{\text{Objet}} - V_{\text{Objet}} * Pv_{\text{Objet}}$ , soit en simplifiant :

$$P_{\text{App}} = V_{\text{Objet}} * (Pv_{\text{Objet}} - Pv_{\text{Liquide}})$$

Le poids volumique dépend de la densité du fluide (de l'eau pour le plongeur). Or le poids volumique de l'eau de mer est de 1.03 kg/litre (du au sel).

Le volume d'un plongeur est de 70 litres, d'où :

$$\text{En eau douce : } P_{\text{Arch}} = 70 * 1 = 70 \text{ kg}$$

$$\text{En eau de mer : } P_{\text{Arch}} = 70 * 1.03 = 72.1 \text{ kg}$$

Ceci explique la différence de lestage (*environ 2 kg*) nécessaire en eau douce et en eau de mer.

- Exercice :

Soit un phare de 4dm<sup>3</sup> qui pèse 3120 grammes. On veut l'équilibrer dans de l'eau dont le poids volumique est de 1.03 kg/dm<sup>3</sup> avec un lest dont le poids volumique est de 11.03 kg/dm<sup>3</sup>. On ne peut coller ce lest qu'à l'extérieur du projecteur. Quel est le poids du lest ?

$$P_{\text{App}} = \text{Poids Réel} - \text{Poussée d'Archimède}$$

$$P_{\text{App}} = 3.12 \text{ kg} - (4 * 1.03)$$

$$P_{\text{App}} = -1 \text{ kg}$$

$$\text{Poids Apparent du lest : } V_{\text{Objet}} * (Pv_{\text{Objet}} - Pv_{\text{Liquide}})$$

$$V_{\text{Objet}} * (11.03 - 1.03)$$

$$V_{\text{Objet}} = 1 / (11.03 - 1.03)$$

$$V_{\text{Objet}} = 1 / 10 \text{ soit } 0.1 \text{ dm}^3 * 11.03 = 1.103 \text{ kg}$$

## LA LOI DE MARIOTTE



### Introduction

Cette loi sur la compressibilité des gaz a des conséquences importantes pour nous plongeurs, car elle intervient tout au long de notre activité. Elle nous est parfois utile (gilet de sécurité, compresseur, combinaison étanche, parachute, etc...) mais est malheureusement la cause de tous les accidents Barotraumatiques, et intervient aussi dans les accidents de décompressions et leurs traitements.

### Définition

L'abbé Edmé Mariotte, physicien français a défini la loi qui porte son nom en 1676. En voici la définition :

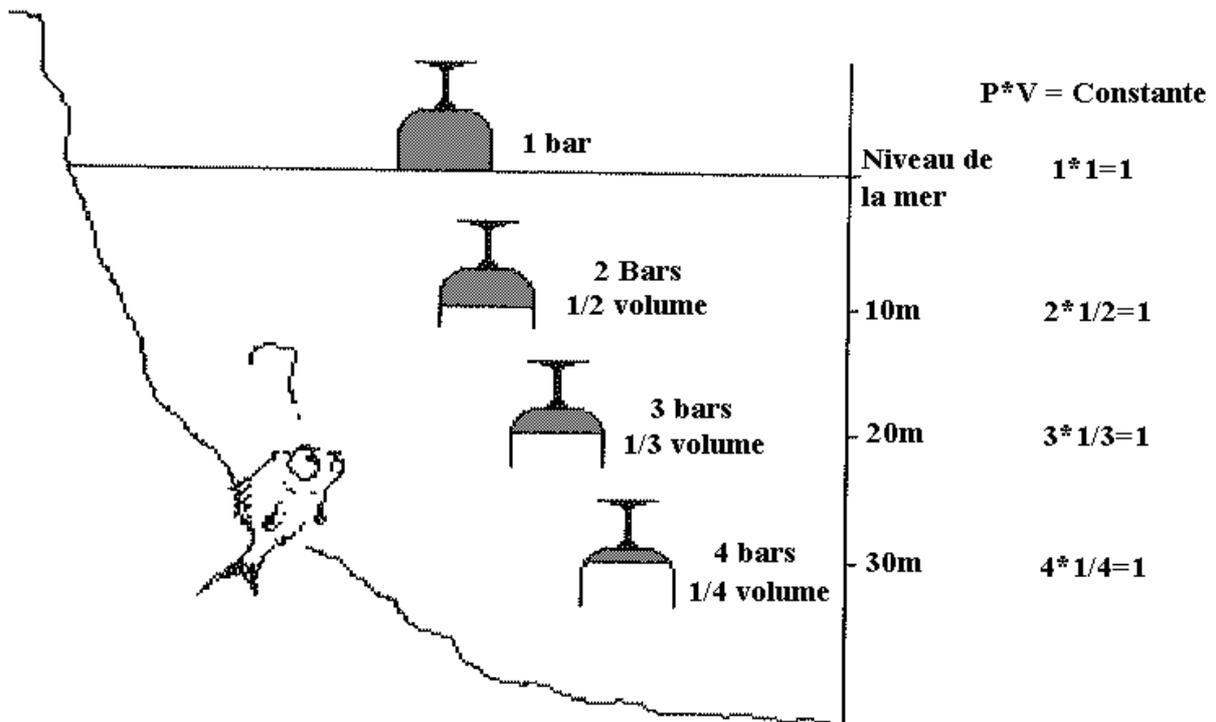
« *A température constante, le volume d'une masse gazeuse est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoit* ».

Soit :  $(P \times V) / T = \text{constante}$  dans laquelle T est exprimée en degrés Kelvin (°K).

## Mise en évidence

Prenons un verre gradué, retournons le à la surface de l'eau. L'air emprisonné à l'intérieur de celui-ci est à une pression d'environ 1 bar (pression atmosphérique). Immergeons le maintenant à 10 mètres dans la même position : le volume d'air n'occupera plus que la moitié du verre, la pression d'eau ayant doublé.

Continuons à descendre : à 20 mètres (3 bars), il ne restera plus qu'un tiers du volume d'air initial et l'eau occupera les  $\frac{3}{4}$  du récipient à 30 mètres (4 bars).



Il est très important de remarquer que les variations relatives de pression suivent un rythme constant, contrairement aux variations du volume qui elles sont très importantes près de la surface. Une descente de 30 m à 70 m produit la même variation de volume que de la surface à 10m. Ceci explique le nombre important d'accidents dans cette zone.

## LA LOI DE DALTON

Les différents gaz qui composent l'air auront une action sur l'organisme du plongeur suivant la pression à laquelle ils seront respirés. Il est important de savoir calculer la pression partielle de chacun des composants de l'air, et notamment de l'Azote et de l'Oxygène.

### Définition

La loi de Dalton nous dit :

*« 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 le volume total ».*

### Exemple

Un plongeur respire à 40 mètres de l'air comprimé. Grâce à son détendeur il respire de l'air à la pression à laquelle il se trouve. Cette pression est de 5 bars, donc l'air est soumis à la même pression. Cet air est composé de 20% d'oxygène et 80% d'azote. Si l'oxygène était seul, il occuperait toute la place et aurait une pression de 5 bars. Mais comme il n'occupe que 20% du volume total, sa pression est de 20/100 de la pression du mélange. Cette pression que l'on appelle pression partielle est donc de :

$$(20/100) * 5 = 1 \text{ bar}$$

De même si l'azote était seul, il occuperait toute la place et aurait une pression de 5 bars. Mais comme il n'occupe que 80% du volume, sa pression est de 80/100 de la pression du mélange à savoir :

$$(80/100) * 5 = 4 \text{ bar}$$

Nous constatons que la somme de ces deux pressions partielles (1 et 4) est bien égale à 5 bars, qui est la Pression Absolue du mélange.

### Formules

- **Pression Partielle =  $(x / 100) * P.Absolue$**
- **Pression Absolue = Pression Partielle \*  $(100 / x)$**

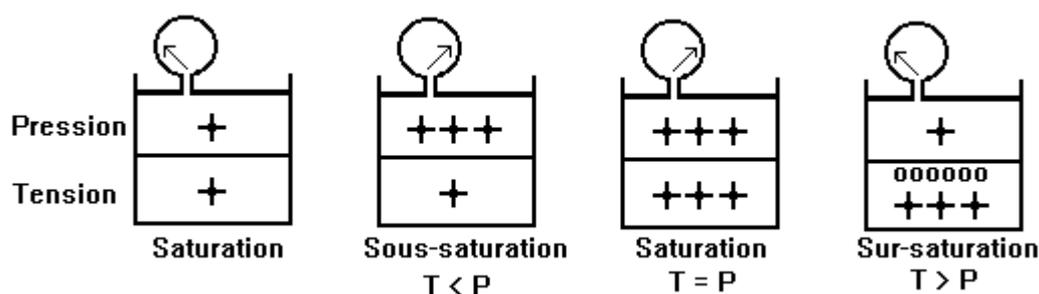
## La loi de Henry

### Justification

A température donnée et constante, on met au contact un gaz sous pression et un liquide. On mesure périodiquement la quantité de gaz dissoute, dans le liquide. On constate que la quantité de gaz dissoute augmente jusqu'à une valeur limite qui reste constante.

### Mise en évidence

Si on renouvelle l'expérience avec une pression de gaz triple de la valeur précédente, on mesure, lorsque l'équilibre est atteint à nouveau, une quantité dissoute triple de la précédente. Une fois ce second équilibre atteint, si on fait diminuer la pression du gaz au dessus du liquide pour retrouver la valeur de la première expérimentation, on constate que le gaz dissout retourne vers l'état gazeux, jusqu'à ce que la quantité restant à l'état dissout dans le liquide reprenne la valeur de la première expérience.



On appelle :

Saturation : l'état d'équilibre (initial ou final).

Sous-saturation : l'étape au cours de laquelle le liquide absorbe le gaz en le dissolvant.

Sur-saturation : l'étape au cours de laquelle le liquide restitue le gaz dissout préalablement pour tendre vers une nouvelle valeur de saturation.

Remarque : lors de la diminution de pression qui conduit à une sursaturation du liquide, et à une restitution de l'excédent de gaz dissout, les molécules gazeuses se regroupent pour former des micro-bulles :

- au voisinage de la surface de contact, si la vitesse de la baisse de pression est « faible ».
- au sein même du liquide si la vitesse de baisse de pression est « rapide ».

## Enoncé de la loi

*« A température donnée et à saturation, la quantité de gaz dissoute dans un liquide est proportionnelle à la pression du gaz au-dessus du liquide. »*

On parlera de **tension** d'un gaz lorsqu'on sera en phase dissoute dans un liquide, et de **pression partielle** d'un gaz dans un mélange lorsqu'on sera en phase gazeuse.

## Facteurs influents

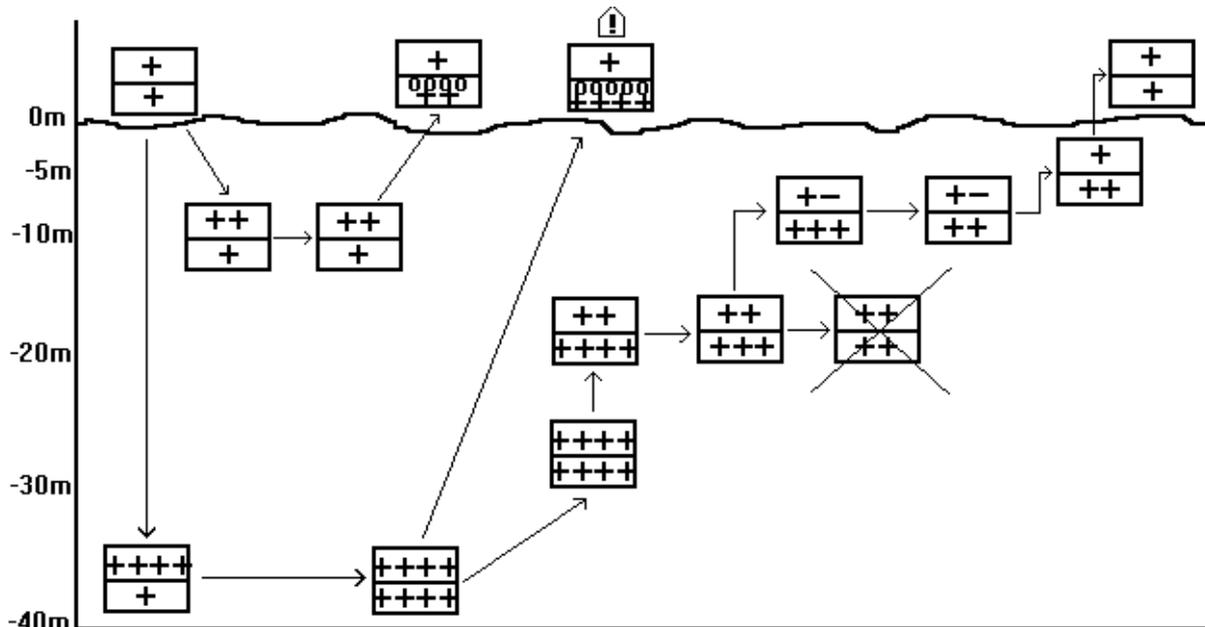
Plusieurs facteurs influent sur la dissolution des gaz dans les liquides.

En général	Equivalent en plongée	La dissolution augmente si :
Nature du gaz	Azote	X
Nature du liquide	Compartiment concerné	L'irrigation sanguine croît
Pression du gaz	Profondeur	La profondeur augmente
Température	Constante 37° C	La température diminue
Durée	Temps de plongée	Le temps augmente
Agitation	Travail physique au cours de la plongée	L'irrigation sanguine croît
Surface	Sensiblement constante pour un individu donné	La surface augmente

## Applications à la plongée

Calcul des tables, palier, accident de décompression (traitement hyperbare à l'oxygène).

## Résumé



## Éléments de calcul des tables

### Justification

Comme déjà vu au niveau 2, c'est l'azote qui va intervenir au cours de la plongée, de la remontée et après notre retour en surface.

Notre organisme est constitué à plus de 70% d'eau et peut donc être assimilé à un liquide vis à vis de la dissolution des gaz. Lors de la remontée l'azote sort du sang sous forme de petites ou grosses bulles, d'où un risque d'accident.

### Historique des tables

Les techniques de plongée utilisées jusqu'au 19<sup>e</sup> siècle (principalement celles des « cloches ») n'entraînait pas de pathologie particulière pour les ouvriers sous-marins, et) dehors des aspects Barotraumatiques (oreilles, sinus, etc.). Ces techniques ne permettaient ni de descendre très profond, ni de rester très longtemps en immersion (approvisionnement en air).

A partir de 1839, on commence à utiliser, pour les fondations d'ouvrages (piles de petit, assises de quai) le tube de TRIGGER, enfoncé verticalement dans l'eau et mis sous pression d'air pour permettre le travail des ouvriers qui, travaillaient au sec, pouvaient rester jusqu'à 7 heures sous 3 bars de pression. Les premiers accidents de décompression apparurent. A la même époque, l'anglais SIEBE invente et perfectionne le premier scaphandre à casque.

Ce matériel est aussitôt adopté par la Marine Nationale et les scaphandriers parviennent rapidement à 40 et même 60 mètres pour des durées de 30 mn et plus.

Il a fallu attendre la fin du 19<sup>e</sup> siècle pour qu'un physiologiste français, Paul Bert étudie les effets de la pression sur l'organisme humain. En 1871, la fin des travaux auxquels Benoit Rouquayrol apporta son concours (un des inventeurs, fabricant français de scaphandre à casque), il publie son « traité scientifique de la pression barométrique », dans lequel il montre que l'organisme humain est assimilable à un liquide, que l'on peut rester un temps infini à 10 mètres de profondeur et remonter directement en surface, qu'au delà de cette profondeur, le temps devient un paramètre crucial, que l'on peut remonter en surface après une immersion supérieure à 10m à condition de remonter à vitesse uniforme et lente. De son côté, l'Amirauté britannique crée une commission de travail sur les problèmes de la plongée en scaphandre,

dans laquelle œuvre un physiologiste anglais, d'origine indienne, J. S, Haldane.

Haldane conclut que notre organisme peut être assimilé à trois liquides de caractéristiques différentes, le « A », le « B » et le « C ». Il montre qu'après une plongée, la diminution de pression provoque parfois, selon le temps et la profondeur atteinte, un dégazage anarchique de l'un des trois liquides. Il convient alors de stopper la diminution de pression (stopper la remontée) jusqu'à retour aux contritions acceptables de désaturation du liquide en question.

Pour faciliter la détermination des conditions à observer au cours de la remontée après une plongée donnée, Haldane détermine des profondeurs d'arrêt fixes : 10, 20, 30 pieds, etc. c'est à dire 3m, 6m, 9m, etc... Il publie (en 1903) des tables de remontée.

Mais les accidents continuent, handicapant ou tuant des centaines de scaphandriers. Car c'est bien de centaines qu'il s'agit : le scaphandre à casque apporte une facilité (relative), un accès aux profondeurs importantes (40 et même 60m) qui répond à un important besoin, tant en travaux de génie civil, qu'en intervention sur épave (la cargaison !). En effet, le scaphandrier, profession à hauts risques, est rémunéré à un haut niveau de salaire par rapport aux autres ouvriers de l'entreprise, mais il est payé à la tâche. Alors, comment faire comprendre que pour ½ heure de travail payé à -40m, il fallait passer ½ heure non payée pour remonter ? Plus de 95% des scaphandriers de cette époque, qui s'est prolongée quasiment jusqu'à la guerre de 1940, y ont laissé leur peau pour cette raison là !

Autre événement crucial dans noire histoire des tables de plongée : l'invention, en 1936, du scaphandre autonome par le Commandant Le Prieur. A ce moment la Marine Nationale porte un intérêt

supplémentaire à l'utilisation des techniques de plongée dans le cadre d'opérations militaires. Mais il fallait traiter sérieusement les problèmes liés la décompression.

De commission spécialisée en groupe d'étude, la Marine crée finalement le C.E.R.S (Groupe d'étude et de Recherche

Sous-marines). Le CERS, transpose en système métrique les tables de l'U.S. Navy, et met au point le calcul des plongées successives (notion de majoration). Il édite, en 1950 les Tables de Décompression que les plongeurs de la Royale utiliseront, puis mise à jour en 1965, et pour terminer refonte complète en 1990 pour aboutir aux Tables MN90 que nous utilisons actuellement.

Avec les cloches à plongeur, ils y avaient aussi des accidents de plongées qu'on appelait maladie des caissons (en réalité ADD)

Paul Bert (Physicien Français, 1833-1886) découvre que ces accidents proviennent de la dissolution de l'azote dans les tissus. Il recommande une remontée lente

John Haldane (Physicien Indien d'origine Britannique, 1892-1964) détermine que la tension du gaz dans l'organisme doit être inférieure à 2 fois la pression absolue. Il définit une limite approximative du rapport :



Au delà de cette limite, il y a dégazage incontrôlé

## Rappel

Composition de l'air	20% O <sub>2</sub> (consommé) 80% N <sub>2</sub> (non consommé)
Dalton ?	$PP = P_{abs} * X\%$
Tension ?	C'est la "pression" d'un gaz dissous dans un liquide
Henry ?	$Tf = PP$
Période ?	C'est le temps nécessaire pour atteindre la moitié de la saturation

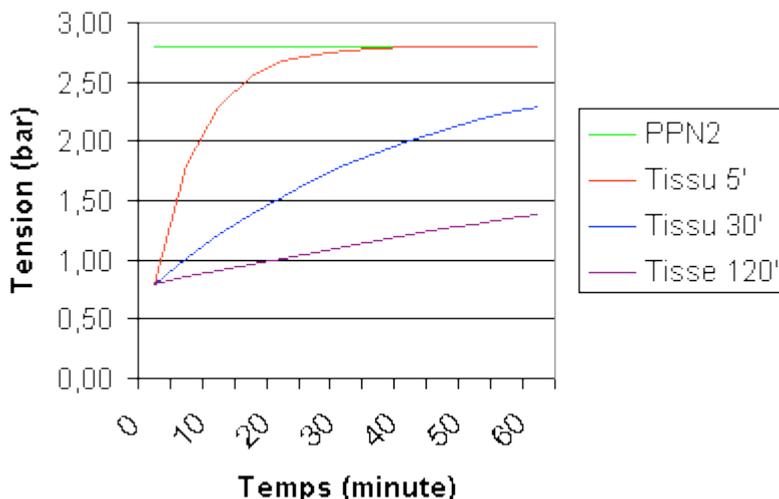
## Préambule

Nous savons que notre corps est constitué de différents tissus ou compartiments. Chaque tissu à une période différente. C'est à dire que sa vitesse de saturation et de désaturation sera plus ou moins grande.

Exemple :

Soit un plongeur ayant 3 tissus (5 min, 30 min et 120 min) qui plonge à 25 mètres pendant 1 heure.

Voyons la courbe de saturation des 3 tissus



On peut donc déterminer les états de saturation de chaque tissu. La formule donnant la tension d'azote au bout d'une période est la suivante :



TN<sub>2</sub> : Tension d'azote dans le tissu  
 Ti : Tension initiale du tissu  
 Tf : Tension finale du tissu = PPN<sub>2</sub> (Voir Henry)

Mais cela ne suffit pas pour calculer des tables.

❶ On appellera **Gradient** l'écart des pressions partielles ou tension d'azote entre 2 états de saturation :

$$\begin{aligned}
 \text{Pabs} = 1 \text{ b} : \text{PpN}_2 &= \text{Pabs} * x/100 & \text{Pabs} = 5 \text{ b} : \text{PpN}_2 &= \text{Pabs} * x/100 \\
 \text{PpN}_2 &= 0.8 \text{ b} & \text{Ppn}_2 &= 4 \text{ b} \\
 \text{Gradient} &= 4 - 0.8 = 3.2 \text{ bars}
 \end{aligned}$$

❷ La **Période** est le temps nécessaire pour dissoudre la moitié du Gradient.

❸ Le **Coefficient de saturation** est la Tension / Pression Absolue

$$\text{Cs} = \frac{\text{TN}_2 \text{ dans le compartiment}}{\text{Pression Absolue}} \quad \text{ou} \quad \text{[Redacted]}$$

Ce rapport qui augmente au cours de la remontée ne peut dépasser une valeur limite, propre à chaque compartiment, appelée : **Coefficient de sur-saturation Critique (Csc)**. Ce coefficient dépend de la tension en azote dans le tissu et de la pression absolue

## Les tables modernes

Les tables de plongées sont issues d'essais cliniques. Le principe consiste à faire effectuer à une personne des plongées virtuelles en caisson afin de déterminer le seuil acceptable de bulles d'azote dans son organisme. Des modèles mathématiques sont alors élaborés et sont sensés représenter le comportement d'une personne sous pression. Ces modèles mathématiques évoluent régulièrement avec les statistiques sur les milliers de plongées effectuées par nous plongeurs

Ainsi, la Marine Nationale a élaboré en 1990 une table avec 12 tissus ayant chacun des caractéristiques de saturation et de limite de sursaturation propres.

Tissu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Période (min)	5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
Sc	2,72	2,54	2,38	2,20	2,04	1,82	1,68	1,61	1,58	1,56	1,55	1,54

## Calcul des tables

Nous n'entrerons pas ici dans des calculs complexes de tables, mais traiterons par un exemple le cas d'un plongeur avec 2 tissus qui effectue une plongée. Le but est de bien faire comprendre les méthodes de calculs au commun des plongeurs.

### **Données de l'exemple :**

Soit un plongeur ayant 2 tissus :

- un tissu de période 10 minutes
- un tissu de période 30 minutes

Les coefficients de sursaturation critique seront celles des tables MN90 :

- $Sc(10') = 2,38$
- $Sc(30') = 1,82$

Notre plongeur effectue une plongée à 26 mètres pendant 1 heure.

### **Calculons la tension dans les 2 tissus à la fin de la plongée (sans la remontée)**

<u>Pour le tissu 10 minutes</u>	<u>Pour le tissu 30 minutes</u>
La tension initiale (à la surface) est de	

$T_i = 1 \cdot 80 / 100 = 0,8 \text{ bar}$	$T_i = 1 \cdot 80 / 100 = 0,8 \text{ bar}$
La tension finale (à 26 m, soit 3,6 bars) est de	
$T_f = PPN2 = 3,6 \cdot 0,8 = 2,88 \text{ bar}$	$T_f = PPN2 = 3,6 \cdot 0,8 = 2,88 \text{ bar}$
Calculons la tension au bout de 10 minutes	
Cela représente la 1 <sup>ère</sup> période	
$TN2(10)_{\dot{a}10'} = T_i + (T_f - T_i) / 2$ $TN2(10)_{\dot{a}10'} = 0,8 + (2,88 - 0,8) / 2$ $TN2(10)_{\dot{a}10'} = 1,84 \text{ bars}$	
Calculons la tension au bout de 20 minutes	
Cela représente la 2 <sup>ème</sup> période	
La tension initiale est maintenant de 1,84 bars	
$TN2(10)_{\dot{a}20'} = T_i + (T_f - T_i) / 2$ $TN2(10)_{\dot{a}20'} = 1,84 + (2,88 - 1,84) / 2$ $TN2(10)_{\dot{a}20'} = 2,36 \text{ bars}$	
Calculons la tension au bout de 30 minutes	
Cela représente la 3 <sup>ème</sup> période	Cela représente la 1 <sup>ère</sup> période
$TN2(10)_{\dot{a}30'} = T_i + (T_f - T_i) / 2$ $TN2(10)_{\dot{a}30'} = 2,36 + (2,88 - 2,36) / 2$ $TN2(10)_{\dot{a}30'} = 2,62 \text{ bars}$	$TN2(30)_{\dot{a}30'} = T_i + (T_f - T_i) / 2$ $TN2(30)_{\dot{a}30'} = 0,8 + (2,88 - 0,8) / 2$ $TN2(30)_{\dot{a}30'} = 1,84 \text{ bars}$
Calculons la tension au bout de 40 minutes	
Cela représente une 4 <sup>ème</sup> période	
$TN2(10)_{\dot{a}40'} = 2,62 + (2,88 - 2,62) / 2$ $TN2(10)_{\dot{a}40'} = 2,75 \text{ bars}$	
Calculons la tension au bout de 50 minutes	
Cela représente la 5 <sup>ème</sup> période	
$TN2(10)_{\dot{a}50'} = 2,75 + (2,88 - 2,75) / 2$ $TN2(10)_{\dot{a}50'} = 2,82 \text{ bars}$	
Calculons la tension au bout de 60 minutes	
Cela représente la 6 <sup>ème</sup> période	Cela représente la 2 <sup>ème</sup> période
$TN2(10)_{\dot{a}60'} = 2,82 + (2,88 - 2,82) / 2$ $TN2(10)_{\dot{a}60'} = 2,85 \text{ bars}$	La tension initiale est de 1,84 bars  $TN2(30)_{\dot{a}60'} = T_i + (T_f - T_i) / 2$ $TN2(30)_{\dot{a}60'} = 1,84 + (2,88 - 1,84) / 2$ $TN2(30)_{\dot{a}60'} = 2,36 \text{ bars}$

$$T1 = T0 + (Tf - T0) \cdot 50\%$$

$$T2 = T0 + (Tf - T0) \cdot 75\%$$

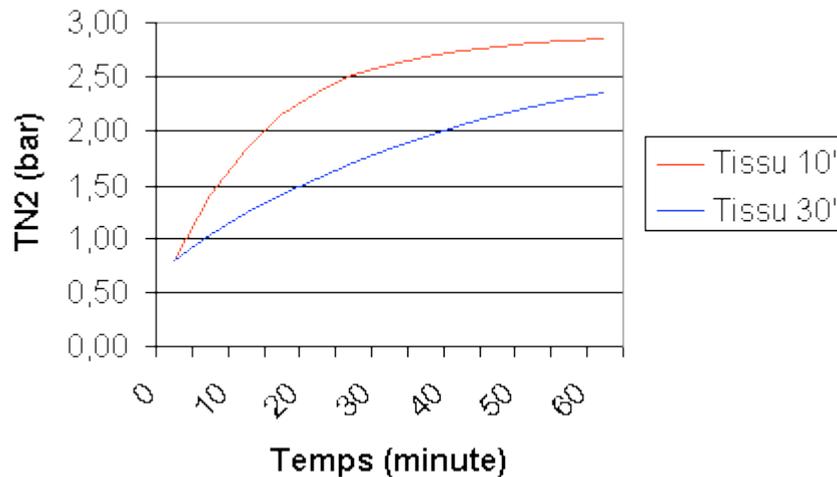
$$T3 = T0 + (Tf - T0) \cdot 87.5\%$$

$$T4 = T0 + (Tf - T0) \cdot 93.75\%$$

$$T4 = 0.8 + (2.4 - 0.8) * 93.75\%$$

$$T4 = 0.8 + (1.6 * 93.75\%)$$

### Représentation graphique



On connaît donc maintenant la tension dans nos 2 tissus à la fin de la plongée

- $TN2(10') = 2,85$  bars
- $TN2(30') = 2,36$  bars

### Imaginons que notre plongeur remonte à la surface sans faire de palier

Nous ne prendrons pas un compte la vitesse de remontée

Calculons le rapport de sursaturation (**S**) à la surface

$S(10') = TN2(15') / Pabs$	$S(30') = TN2(30') / Pabs$
$S(10') = 2,85 / 1$	$S(30') = 2,36 / 1$
$S(10') = 2,85$	$S(30') = 2,36$
Or $Sc(10') = 2,38$	Or $Sc(30') = 1,82$
D'où $S(10') > Sc(10')$	D'où $S(30') > Sc(30')$

La sursaturation des 2 tissus dépasse la sursaturation critique. Il y a dégazage incontrôlé

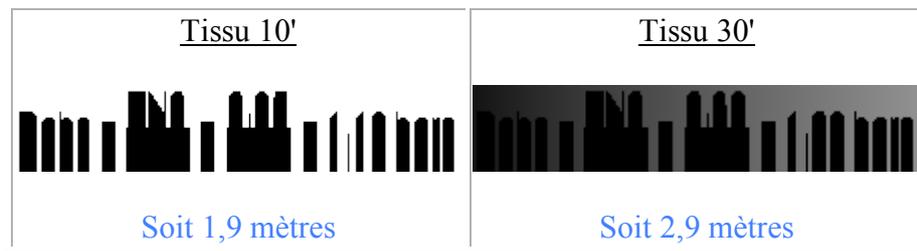
➔ **Il y a un accident de décompression**

Notre plongeur doit donc faire des paliers. Mais lesquels ?

Nous savons que  donc 

Nous pouvons donc calculer la pression absolue minimale que peut supporter un tissu. **On peut donc en déduire la profondeur à laquelle le palier doit être fait.**

Calculons donc la hauteur du palier pour chaque tissu



Le tissu qui impose le palier le plus profond est appelé **tissu directeur**. Ici, c'est le tissu 30 minutes qui impose un palier à 2,9 mètres soit 3 mètres

☛ **Notre plongeur doit donc effectuer un palier à 3 mètres. Mais de quelle durée ?**

Calcul de la durée

Calculons la tension d'azote dans le tissu 30' au bout de 30 minutes (une période) au palier 3 mètres

$$TN2 = T_i + (T_f - T_i) / 2$$

Avec  $T_i = 2,36$  bar (Tension au début du palier)  
et  $T_f = PPN_2$  à 3m =  $1,3 * 0,8 = 1,04$  bars

$$TN2 = 2,36 + (1,04 - 2,36) / 2 = 1,7 \text{ bars}$$

Vérifions si nous pouvons remonter à la surface avec cette tension

$$S = TN2 / P_{abs}(surface) = 1,7 / 1 = 1,7 < S_c (= 1,82)$$

Le rapport de sursaturation est inférieur à la sursaturation critique. Notre plongeur peut donc remonter à la surface après un palier de 30 minutes à 3 mètres

Vérifions que cela est aussi possible avec le tissu de 10 minutes

En arrivant au palier, la tension dans le tissu de 10' est de 2,85 bars

Au bout d'une période, soit 10 minutes, à 3 mètres

$$TN2(10)_{à10'} = 2,85 + (1,04 - 2,85) / 2 = 1,94 \text{ bars}$$

Au bout de 20 minutes

$$TN2(10)_{à20'} = 1,94 + (1,04 - 1,94) / 2 = 1,49 \text{ bars}$$

Au bout de 30 minutes

$$TN2(10)_{à30'} = 1,49 + (1,04 - 1,49) / 2 = 1,27 \text{ bars}$$

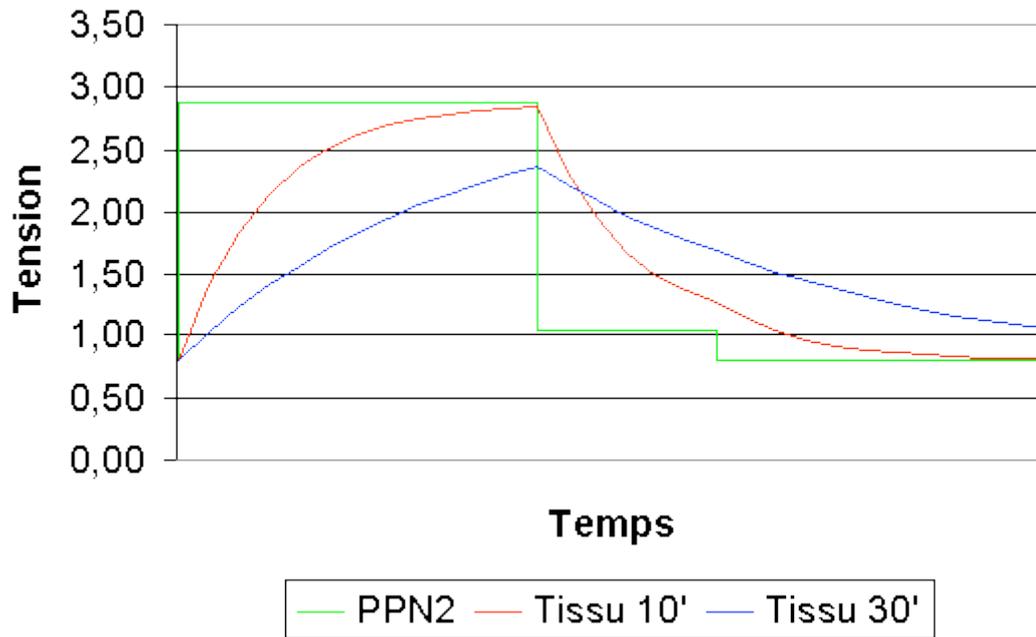
Vérifions si nous pouvons remonter à la surface avec cette tension

$$S = TN2(10) / P_{abs}(surface) = 1,27 / 1 = 1,27 < S_c (= 2,38)$$

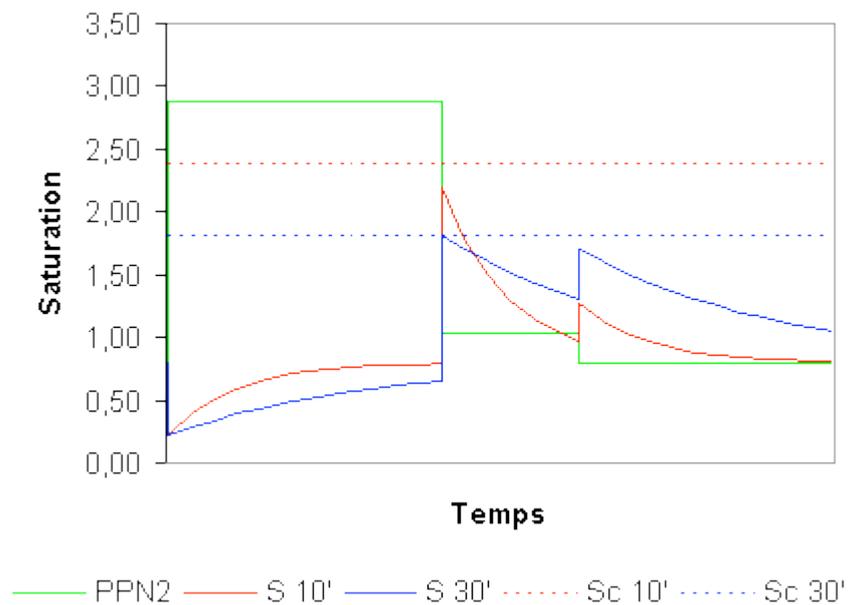
La sursaturation est inférieure à la sursaturation critique

☞ Notre plongeur peut donc remonter à la surface après un palier de 30 minutes à 3 mètres

Représentation graphique de la tension des 2 tissus



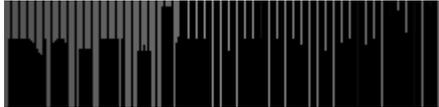
Représentation graphique de l'évolution des rapports de saturation



## Conclusion

Nous avons vu ici, par un exemple simple, un exemple de calcul de table. La réalité est beaucoup plus complexe car on doit utiliser des formules donnant la tension dans un tissu à n'importe quel moment (et pas seulement à une période).

Pour information, la formule est la suivante



T : Période du tissu considéré  
 $\wedge$ T : Instant considéré pour le calcul

De plus, pour le calcul des tables MN90, sont pris en compte la vitesse de remontée, car pendant cette phase certains tissus vont désaturés alors que d'autres vont continuer à saturer.

Les ordinateurs utilisent ce genre de formule, appelé algorithme, pour calculer à chaque instant la tension dans nos différents tissus.

## Utilisation des tables MN90

### Justification

Pour éviter un accident de décompression il faut

- remonter à 15 m/mn max..
- effectuer des paliers

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

### Historique

En 1990, la table GERS65 (Groupe d'Etudes et de Recherches Sous-marine) est remplacée par la nouvelle table de la Marine Nationale.

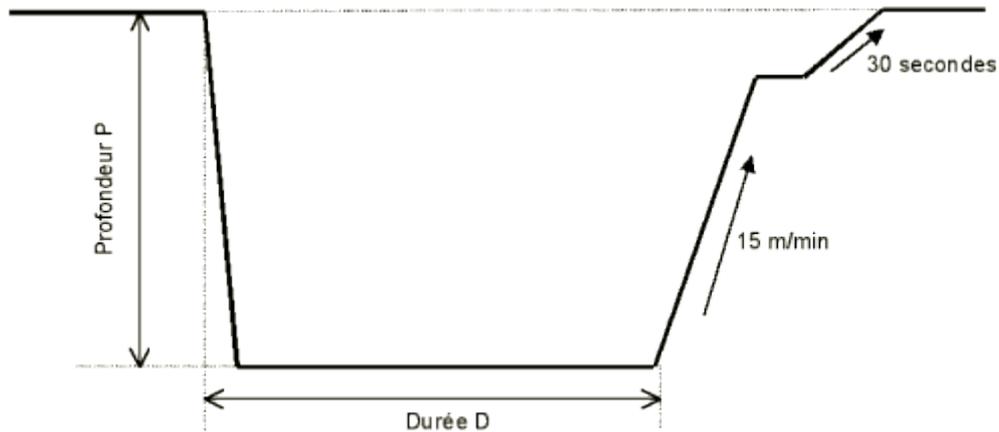
Les modifications portent essentiellement sur le nombre de tissus pris en compte dans la méthode de calcul.

En 1994, la Marine Nationale passe l'intervalle dans lequel une 2<sup>ème</sup> plongée est considérée comme successive de 8h30 à 12h00.

En 1998, la CEPISMER (Commission d'Etudes Pratiques d'Intervention Sous La Mer) modifié le mode d'emploi des tables de plongée MN90.

Les modifications interviennent seulement dans l'utilisation de la table

## Définitions



### Paramètres d'une plongée

- P : Profondeur maximum de la plongée
- D : Durée de la plongée sans le temps de remontée

### Vitesse de remontée

- La vitesse de remontée du fond au premier palier est de 15 m/min
- Le temps de remontée entre chaque palier et le dernier palier et la surface est de 30 secondes

## Utilisation des tables de plongée MN 90

Exemple :

Profondeur	Durée	Durée des paliers à				Groupe
		12 m	9 m	6 m	3 m	
42 m	5					C
	10				2	E
	15				5	G
	20			1	12	I

25			3	22	J
30			6	31	L
35			11	37	M
40		1	16	43	N
45		3	21	47	*
50		6	24	50	*
55		8	29	55	*
1h00		13	30	60	*

- **Profondeur et durée**

→ Il faut toujours aller dans le sens de la sécurité

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

- **Groupe de Plongée successive**

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

- **Palier de Principe**

Par sécurité on effectuera toujours au minimum un palier de 3 minutes à 3 mètres

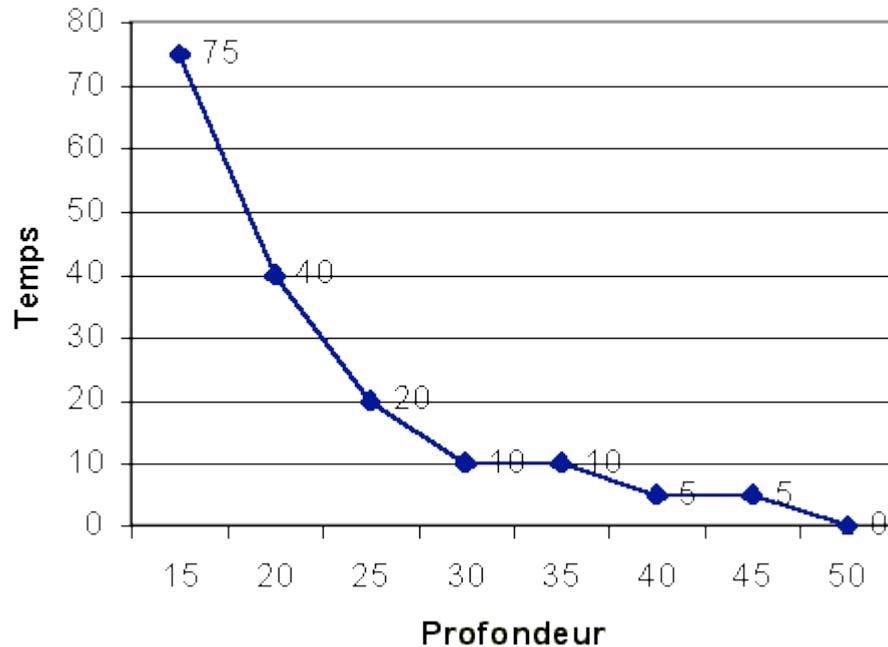
## La courbe de sécurité

Cette courbe donne le temps max. que l'on pourrait rester à une profondeur donnée sans faire de palier

Profondeur (en mètres)	Durée max. (en minutes)
9.25	infinie
15	75
20	40
25	20
30	10
35	10

40	5
45	5
50	0

### Courbe de Sécurité



### Méthode de calcul

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

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

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

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

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

#### Exemple :

1. soit une plongée à 20 mètres sans palier

$$DTR = 20 / 15 = 1,33 \text{ soit } 2 \text{ minutes}$$

2. soit une plongée à 28 mètres avec un palier de 12 minutes à 6 mètres

$$\text{Distance de remontée} = 28-3 = 25 \text{ mètres}$$

$$DR = 25 / 15 = 1,66 \text{ min}$$

$$DTR = 1,66 + 12 + 0,5 = 14,16 \text{ soit } 15 \text{ minutes}$$

- **Dans un problème**

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

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

## Différentes possibilités d'utilisation de la table et exercices

*N.D.A. : On effectuera toujours dans les exercices un palier de principe de 3 minutes à 3 mètres*

- **Plongée isolée**

C'est la première plongée ou la seule plongée de la journée ou d'une plongée après 12h00 de la sortie précédente.

### Exercices :

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

Solution :  
 $P = 22 \text{ mètres}$   
 $D = 35 \text{ minutes}$   
 Palier de sécurité de 3 minutes à 3 mètres, Groupe H  
 $DR = (22-3)/15 = 1,26$   
 $DTR = 1,26 + 3 + 0,5 = 4,76 \text{ soit } 5 \text{ minutes}$   
 $\text{Heure de Sortie} = 9h00 + 0h35 + 0h05 = 9h40$

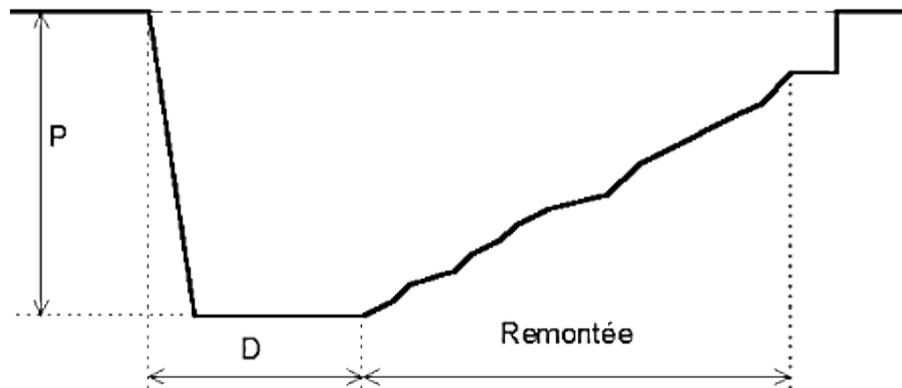
*Jean-Marcel plonge à 11h00 à une profondeur de 26 mètres. Au bout de 26 minutes il remonte. Donner l'allure de la plongée et calculer l'heure de sortie ?*

Solution :  
 $P = 26 \text{ mètres}$   
 $D = 26 \text{ minutes}$   
 Palier : 6 minutes à 3 mètres, Groupe H  
 $DR = (26-3)/15 = 1,53$   
 $DTR = 1,53 + 6 + 0,5 = 8,03 \text{ soit } 9 \text{ minutes}$   
 $\text{Heure de Sortie} = 11h00 + 0h26 + 0h09 = 11h35$

- **Remontée lente**

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

Exemple :



Exercice :

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

Solution :  
 $P = 41$  mètres  
 $D = 15 + 10 = 25$  minutes  
 Palier : 3 minutes à 6 mètres  
 22 minutes à 3 mètres, Groupe J  
 $DR = (19 - 6) / 15 = 0,86$   
 $DTR = 0,86 + 3 + 0,5 + 22 + 0,5 = 26,86$  soit 27 minutes  
 Heure de Sortie = 8h00 + 0h25 + 0h27 = 8h52

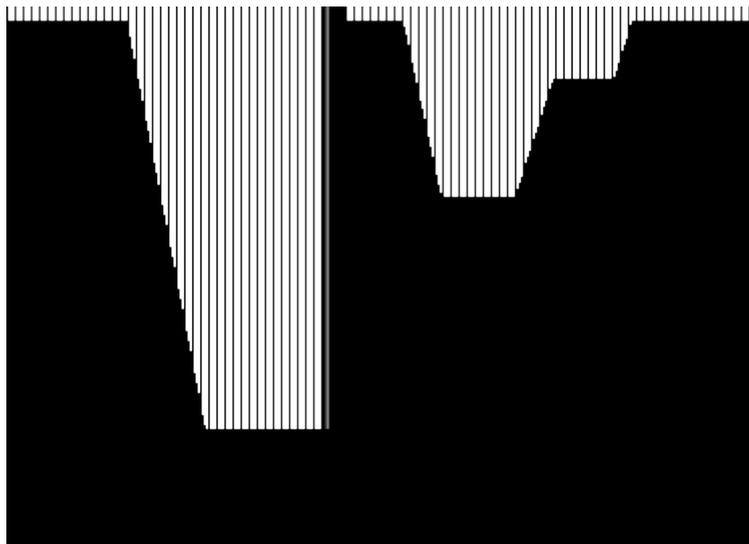
Daniel plonge à 9h00 à une profondeur de 40 mètres. A 9h08 il commence une remontée lente de 10 mètres/minutes. A 9h10 il joue avec des poissons pendant 10 minutes. Donner l'allure de la plongée ainsi que l'heure de sortie ?

Solution :  
 $P = 40$  mètres  
 $D = 10 + 10 = 20$  minutes  
 Palier : 1 minute à 6 mètres  
 9 minutes à 3 mètres, Groupe H  
 Au moment de la remontée il se trouve à  $40 - 2 * 10 = 20$  mètres  
 $DR = (20 - 6) / 15 = 0,93$   
 $DTR = 0,93 + 1 + 0,5 + 9 + 0,5 = 11,93$  soit 12 minutes  
 Heure de Sortie = 9h00 + 0h20 + 0h12 = 9h32

- **Remontée rapide :**

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

Exemple :



La procédure préconisée dans ce cas est :

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

#### Exercice :

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

Solution :  
 $P = 20$  mètres  
 $D = 10 + 3 + 5 = 18$  minutes  
 Palier de sécurité de 3' à 3 m, Groupe D  
 Au moment de la remontée il se trouve à  $20/2 = 10$  mètres  
 $DR = (10-3)/15 = 0,46$   
 $DTR = 0,46 + 3 + 0,5 = 3,96$  soit 4 minutes  
 Heure de Sortie = 10h00 + 0h18 + 0h04 = 10h22

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

Solution :  
 $P = 30$  mètres  
 $D = 15 + 1 + 2 + 5 = 23$  minutes  
 Palier : 4 minutes à 3 mètres, Groupe H  
 Au moment de la remontée il se trouve à  $30/2 = 15$  mètres  
 $DR = (15-3)/15 = 0,8$   
 $DTR = 0,8 + 4 + 0,5 = 5,3$  soit 6 minutes  
 Heure de Sortie = 10h00 + 0h23 + 0h06 = 10h29

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

Solution :  
 $P = 43$  mètres  
 $D = 10 + 3 + 5 = 18$  minutes  
 Palier : 3 minutes à 6 mètres

$$15 \text{ minutes à } 3 \text{ mètres, Groupe I}$$

$$\text{Au moment de la remontée ils se trouvent à } 43/2 = 21,5 \text{ mètres}$$

$$DR = (21,5-6)/15 = 1,03$$

$$DTR = 1,03 + 3 + 0,5 + 15 + 0,5 = 20,04 \text{ soit } 21 \text{ minutes}$$

$$\text{Heure de Sortie} = 15h00 + 0h18 + 0h21 = 15h39$$

- **Palier Interrompu**

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

### Exercice

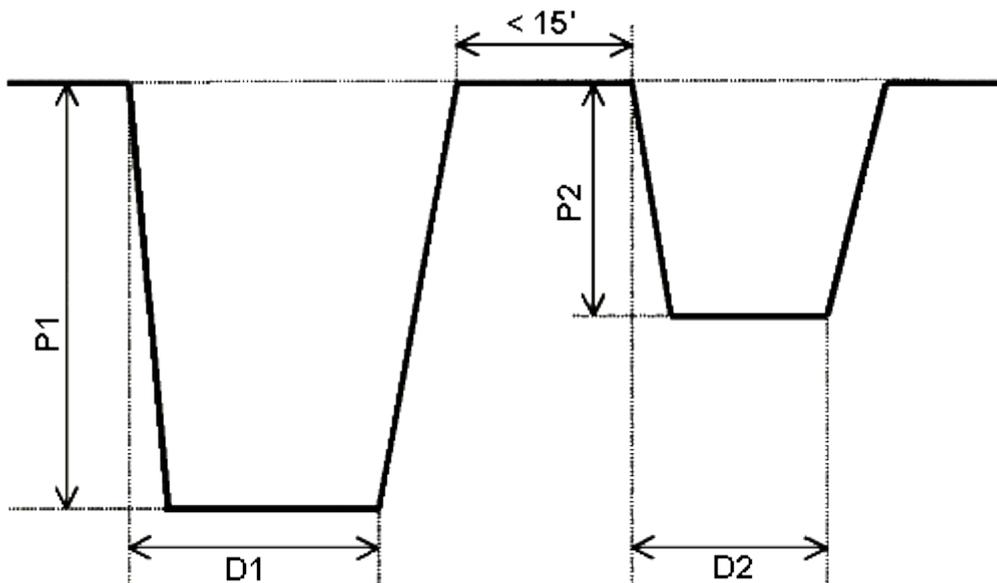
Christian plonge à 10h00 à une profondeur de 39 mètres. Après 20 minutes il remonte. A 10h27, pendant son palier à 3 mètres, il a une panne d'air, il remonte chercher une bouteille. Donner l'allure de la plongée ainsi que ce qu'il doit faire, calculer l'heure de sortie ?

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

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

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

- **Plongées consécutives :**



Si l'intervalle entre deux plongées est strictement inférieur à 15 minutes, on parle de plongée consécutive.

Les paliers de la 1<sup>ère</sup> plongée se déterminent normalement d'après les paramètres de la 1<sup>ère</sup> plongée.

Pour calculer les paliers de la 2<sup>ème</sup> plongée, on utilise la table comme si on avait fait une seule plongée avec les paramètres :

- **Profondeur = maximum entre P1 et P2**
- **Durée = D1 + D2**

### Exercice

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

Puis il passe 14 minutes en surface

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

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

*Solution :*  
 P1 = 40 mètres  
 D1 = 12 minutes  
 Palier : 4 minutes à 3 mètres, Groupe G  
 $DR = (40-3)/15 = 2,46$   
 $DTR = 2,46 + 4 + 0,5 = 6,96$  soit 7 minutes  
 Heure de sortie 1<sup>ère</sup> plongée = 8h00 + 0h12 + 0h07 = 8h19  
 Heure de départ 2<sup>ème</sup> plongée = 8h19 + 0h14 = 8h33  
 P2 = max. entre 40 et 22 = 40 mètres (fictifs)  
 D2 = 12 + 6 = 18 minutes (fictives)  
 Palier : 1 minute à 6 mètres  
 9 minutes à 3 mètres, Groupe H  
 $DR = (22-6)/16 = 1,06$  (on est à 22 mètres)  
 $DTR = 1,06 + 1 + 0,5 + 9 + 0,5 = 12,06$  soit 13 minutes  
 Heure de sortie 2<sup>ème</sup> plongée = 8h33 + 0h12 + 0h13 = 8h52

Jean-Luc rencontre lors d'une plongée (départ 10h00, P = 15 mètres, durée 30 minutes) une sirène.

Après le retour en surface il met 9 minutes pour changer de bouteille

Puis il repart chercher la sirène jusqu'à 34 mètres. Après 10 minutes de recherche vaine il décide de remonter.

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

*Solution :*  
 P1 = 15 mètres  
 D1 = 30 minutes

Palier de sécurité de 3' à 3m, Groupe E  
 $DR = (15-3)/15 = 0,8$  minute  
 $DTR = 0,8 + 3 + 0,5 = 4,3$  soit 5 minutes  
 Heure de sortie 1ère plongée = 10h00 + 0h30 + 0h05 = 10h35  
 Heure de départ 2ème plongée = 10h31 + 0h09 = 10h44  
 $P2 = \text{max. entre } 15 \text{ et } 34 = 34$  mètres  
 $D2 = 30 + 10 = 40$  minutes (fictives)  
 Palier : 5 minutes à 6 mètres  
 34 minutes à 3 mètres, Groupe L  
 $DR = (34-6)/15 = 1,86$  minutes  
 $DTR = 1,86 + 5 + 0,5 + 34 + 0,5 = 41,86$  soit 42 minutes  
 Heure de sortie 2ème plongée = 10h44 + 0h10 + 0h42 = 11h36

• **Plongées successives :**

Si l'intervalle entre deux plongées est supérieur ou égal à 15 minutes et inférieur ou égal à 12h, on parle de plongées successives.

Il faut savoir qu'après un plongée nous sommes en état de sursaturation, admissible heureusement. La tension d'azote encore présente dans notre organisme est donnée par le « groupe de plongée successive ».

Il faut en tenir compte lors de la deuxième plongée, car on s'immerge avec une tension d'azote supérieure à la normale.

Les tables nous permettent donc de calculer une majoration, c'est à dire un temps fictif que l'on aurait du passer à la profondeur de la deuxième plongée, pour accumuler cette quantité d'azote.



**Durée de la deuxième plongée = D2 + majoration**  
 (Attention c'est une durée fictive)

**Règle de calcul :**

1. Avec la table « Détermination de l'azote résiduel » on détermine la quantité d'azote encore dissous dans notre corps au début de la deuxième plongée

<u>Détermination de l'azote résiduel (échantillon)</u>									
Groupe de plongée successive	Intervalles								
	15 min	30 min	45 min	1h00	.....	10h30	11h00	11h30	12h00

A	0,84	0,83	0,83	0,83	.....				
B	0,88	0,88	0,87	0,86	.....				
C	0,92	0,91	0,90	0,89	.....				
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
O	1,41	1,36	1,32	1,27	.....	0,82	0,81	0,81	0,81
P	1,45	1,40	1,35	1,30	.....	0,82	0,82	0,81	0,81

### Remarque

On prendra comme intervalle celui juste inférieur à l'intervalle réel (sens de la sécurité)

### Exemple

Après la première plongée la groupe est O. L'intervalle entre les deux plongées est de 55 minutes. Quelle est la tension d'azote résiduelle ? *On prend pour intervalle, la colonne 45', d'où on trouve que la tension d'azote résiduelle est de 1,32*

2. Puis on peut trouver d'après la profondeur de la deuxième plongée et le tableau "Détermination de la majoration" le temps qu'il faut ajouter à cette plongée

### Détermination de la majoration (échantillon)

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

Remarque Pour le taux d'azote résiduel on prend celui juste supérieur ou égal (sens de la sécurité)

Pour la profondeur il faut prendre la même que celle prise en compte pour les paliers : donc la profondeur supérieure ou égale

### Exemple

Au départ de la deuxième plongée à 19 mètres, la tension d'azote résiduelle était de 1,40. Quelle est la majoration ?

*On prend comme profondeur 20m et 1,42 comme tension d'azote. On trouve une majoration de 85 minutes*

### Exercice

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

Intervalle = 2h00

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

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

*Solution :*

*P1 = 40 mètres*

*D1 = 12 minutes*

*Palier : 4 minutes à 3 mètres, groupe G*

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

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

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

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

*Azote résiduel = 0,96*

*P2 = 22 mètres*

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

*Palier de sécurité de 3' à 3m, groupe G*

*DR = (22-3)/15 = 1,26*

*DTR = 1,26 + 3 + 0,5 = 4,76 soit 5 minutes*

*Heure de sortie 2ème plongée = 10h19 + 0h06 + 0h05 = 10h30*

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

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

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

*Solution :*

*P1 = 40 mètres*

*D1 = 15 minutes*

*Palier : 4 minutes à 3 mètres, groupe G*

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

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

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

*Heure de départ 2ème plongée = 14h00*

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

*P2 = 40 mètres*

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

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

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

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

### • Remarques et cas particuliers des plongées successives

Avant la plongée successive, il est nécessaire de connaître la profondeur de celle-ci, pour pouvoir déterminer la majoration

- Cela évite de faire une gymnastique cérébrale sous l'eau
- Cela évite les surprises de paliers très longs qui pourraient être incompatible avec la réserve d'air !

Cas particulier 1 :

Majoration calculée pour une plongée à 30 m et l'on trouve le fond à 25 m

➔ **Maintenir la majoration calculée et rentrer dans la table de plongée à 30 m**

Cas particulier 2 :

Majoration calculée pour une plongée à 30 m et l'on trouve le fond à 35 m

➔ **Maintenir la majoration calculée et rentrer dans la table de plongée à 35 m**

## Utilisation particulière des tables

### La plongée en altitude

- **Justification**

La particularité en altitude, est que la pression atmosphérique y est plus faible qu'au niveau de la mer. Cela a une très grande importance, car les tables ont été calculées pour une sortie de l'eau à la pression atmosphérique de 1 bar.

L'utilisation des tables, tel quelle, pourrait donc déclencher un accident de décompression en altitude, à une pression ambiante plus faible. Il faudrait donc calculer des tables pour toutes les altitudes afin de plonger en sécurité. Cela ne serait pas très pratique, en raison de la quantité de tables qu'il faudrait avoir !

Il faut donc trouver un moyen d'utiliser les tables actuelles en altitude ?

- **La pression atmosphérique en altitude**

Si la pression atmosphérique n'est pas donnée, on admettra qu'elle diminue de 0,1 bar tous les 1000 mètres.

Exemple :

Quelle est la pression atmosphérique au niveau d'un lac à 1500 m ?

$$P_{atm} = 1 - 0,1 * 1500 / 1000 = 0,85 \text{ bar}$$

La pression atmosphérique peut aussi être donnée en mmHg.

Or on sait que 1 bar équivaut à 760 mmHg

Exemple :

La pression atmosphérique est de 570 mmHg . En bar ?

$$P_{atm}(\text{bar}) = P_{atm}(\text{mmHg}) / 760 = 0,75 \text{ bar}$$

- **Exemple d'une plongée en altitude**

Soit un plongeur qui effectue une plongée à une profondeur de 20 mètres dans un lac à 5000 mètres d'altitude

Pression atmosphérique = 0,5 bar

Pression relative à 20 m = 2 bars

Pression absolue à 20 m = 2 + 0,5 = 2,5 bars

PPN2 à 20 m = 2,5 \* 0,8 = 2 bars

Imaginons que notre plongeur arrive à saturation et sorte de l'eau. Nous pouvons calculer le rapport de sursaturation



Essayons maintenant de voir comment il faudrait plonger en mer pour obtenir le même rapport de sursaturation



D'où  $PPN_2 = 4$  bars

Pour obtenir un rapport de sursaturation de 4, il faut aller plonger à une profondeur où la pression partielle d'azote est de 4 bars

Cela correspond à une pression absolue de   
**Soit une profondeur de 40 mètres**

Ainsi en altitude, dans l'exemple ci dessus, la pression atmosphérique ayant diminué de moitié, nous nous trouvons dans la même situation que si nous avions plongé au niveau de la mer à une profondeur double.

Nous pouvons utiliser la table calculée pour les plongées en mer, à condition d'entrer dans cette table avec une profondeur corrigé inversement proportionnellement à la variation de la pression atmosphérique

### ➡ Cette profondeur s'appelle la PROFONDEUR FICTIVE

- **Modification de la profondeur des paliers**

Soit notre plongeur qui plonge dans le même lac à 5000 mètres, à une profondeur de 20 mètres pendant 30 minutes.

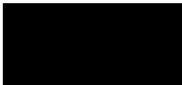
Considérons que ce plongeur n'est formé que d'un tissu de 30 minutes.

Pression absolue à 20 m = 2,5 bars

Pression partielle de  $N_2$  à 20 m = 2 bars

Pression partielle de  $N_2$  à 0 m =  $0,5 * 0,8 = 0,4$  bars

Calculons la tension du tissu 30' au bout de la plongée

$$TN_2 = \text{} = 1,2 \text{ bars}$$

Sachant que  $C_s$  du tissu 30 minutes est de 1.82, nous pouvons déterminer la pression absolue du palier nécessaire



$$\text{Profondeur} = (\text{Pabs} - \text{Patm}) * 10$$

$$\text{Profondeur} = (0,66 - 0,5) * 10 = 1,60 \text{ mètres}$$

➡ **Notre plongeur doit donc effectuer un palier à 1,60 mètres**

Dans ce cas notre profondeur fictive pour le calcul du palier est de 40 mètres  
 Considérons notre plongeur qui effectue la même plongée en mer mais à la profondeur fictive  
 (pour trouver les paliers de la plongée en altitude)

$$\text{Patm} = 1 \text{ bar}$$

$$\text{PPN2 à } 0\text{m} = 0,8 \text{ bar}$$

$$\text{Pabs à } 40\text{m} = 5 \text{ bars}$$

$$\text{PPN2 à } 40\text{m} = 5 * 0,8 = 4 \text{ bars}$$

Calculons la tension au bout de la plongée

$$\text{TN2} = \text{PPN2 à } 40\text{m} = 2,4 \text{ bars}$$

Nous pouvons déterminer la pression absolue du palier nécessaire



Cela correspond à un palier à 3,2 mètres

➡ **C'est la double du palier qui est nécessaire en altitude**

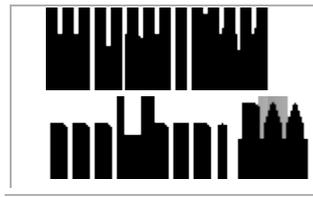
La profondeur des paliers en altitude varie proportionnellement à la variation de pression

### • Utilisation pratique

Notation :

PAM : Pression Atmosphérique à la Mer  
 PAA : Pression Atmosphérique en Altitude  
 PR : Profondeur Réelle de la plongée  
 PF : Profondeur Fictive de la plongée  
 PRP : Profondeur Réelle du palier  
 PFP : Profondeur Fictive du palier

Formules :



Remarques :

Toujours  $PF > PR$   
Toujours  $PFP > PRP$

PR et PRP sont les profondeurs réelles où se trouve le plongeur, alors que PF et PFP sont les profondeurs sur les tables

• **Vitesse et durée de remontée :**

La vitesse de remontée, afin de garder les mêmes rapports, doit varier proportionnellement à la variation de pression. Dans la pratique, pour éviter des calculs délicats, nous prendrons pour le calcul de la durée de remontée les profondeurs fictives.

Le temps de remontée entre les paliers reste de 30 secondes.

Exemple concret :

Patrick et Daniel vont plonger à la Kruth (altitude 1000 m) à une profondeur de 25 mètres pendant 52 minutes. Ils partent en plongée à 11h00. Heure de sortie ?

$PAA = 1 - 0.1 = 0.9$  bar  
PR = 25 mètres

D'où  $PF = 25 * (1 / 0.9) = 27,8$  mètres

On prend sur la table 28 mètres et 55 minutes et on trouve pour les paliers :

2 minutes à 6 mètres  
36 minutes à 3 mètres  
Groupe M

Mais ce sont des profondeurs fictives.

D'où  $PRP2' = PFP2' * (0.9 / 1) = 6 * 0.9 = 5,4$  mètres  
Et  $PRP36' = PFP36' * (0.9 / 1) = 3 * 0.9 = 2,7$  mètres

Notre plongeur doit donc effectuer les paliers suivants :

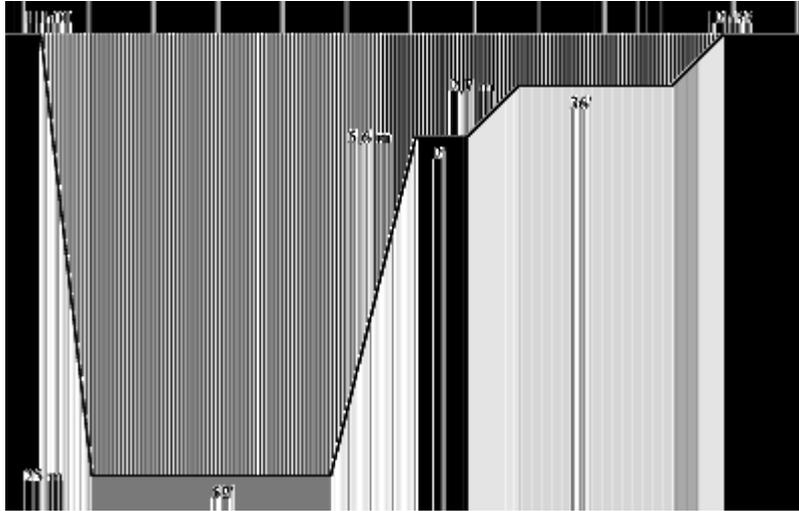
2 minutes à 5,4 mètres  
36 minutes à 2,7 mètres

Calculons la DTR

$DR = (PF - PFP) / 15 = (27.8 - 6) / 15 = 1,45$  minutes

$$DTR = 1,45 + 2 + 0.5 + 36 + 0.5 = 40,45 \text{ soit } 41 \text{ minutes}$$

$$\text{D'où HS} = 11\text{h}00 + 0\text{h}52 + 0\text{h}41 = 12\text{h}33$$



## La plongée en mélange

- **Introduction**

Nous ne parlerons pas ici des mélanges utilisés pour la plongée professionnelle, mais simplement des plongées avec un mélange enrichi en oxygène : Le Nitrox par exemple.

Bien que nous parlions de mélange enrichi en oxygène, le but n'est pas d'augmenter la concentration d'oxygène, ce qui serait plutôt un handicap, mais de diminuer celui de l'azote.

- **Correction de profondeur**

Les tables ont été calculées pour une concentration de 80% de N<sub>2</sub> et 20% d'O<sub>2</sub>. Si cette concentration change, les pressions partielles vont aussi changer et on ne pourra pas utiliser les tables tel quelles.

Il faut donc trouver une profondeur fictive sur la table où la pression partielle de N<sub>2</sub> est identique.

Soit :

PAbs : Pression Absolue réelle  
 PAbsF : Pression Absolue Fictive  
 X% : La concentration en Azote

Soit  $PPN_2(\text{mélange})$ , la pression partielle d'azote pour le mélange à la pression absolue réelle



Soit  $PPN_2(\text{air})$ , la pression partielle d'azote pour de l'air à la pression absolue fictive que nous recherchons



Or nous recherchons une pression absolue fictive pour avoir les deux  $PPN_2$  identiques

$$PPN_2(\text{air}) = PPN_2(\text{mélange})$$



### Exemple

Soit une plongée à 30 mètres avec un mélange à 60% de  $N_2$  et 40% d' $O_2$

$$P_{Abs} = 4 \text{ bars}$$

$$P_{absF} = 4 * 60 / 80 = 3 \text{ bars}$$

$$D'où PF = 20 \text{ mètres}$$

**C'est cette profondeur fictive qui servira à déterminer les paliers.**

Mais doit-on aussi corriger la hauteur des paliers ?

- **Correction de la hauteur des paliers**

La hauteur des paliers a été calculé par rapport à la pression absolue (voir le cours sur les éléments de calculs de table). Elle est donc indépendante de la concentration.

On n'a donc pas besoin de corriger la hauteur des paliers.

- **Précautions d'emploi**

En diminuant la concentration de  $N_2$ , la concentration d' $O_2$  augmente. Il faut donc toujours vérifier la toxicité de l'oxygène par rapport à son mélange et à la profondeur de la plongée

Exemple :

Soit notre plongée à 30 mètres avec un mélange de 60% de N2 et 40% d'O2 :

$$P_{abs} = 4 \text{ bars}$$

$$PPO_2 = 4 * 40 / 100 = 1,6 \text{ bars}$$

$$PPO_2 < 1,7 \text{ bars}$$

*Notre mélange n'est donc pas toxique*

### Exemple concret :

Carmen et Patrick partent en plongée avec un mélange 60-40 N2O2. Ils plongent à 8h00 sur une épave à 32 mètres pendant 1 heure. Heure de sortie ?

$$P_{Abs} = 4,2 \text{ bars}$$

Vérifions la toxicité de l'oxygène

$$PPO_2 = 4,2 * 40 / 100 = 1,68 < 1,7$$

=> L'oxygène n'est pas toxique, la plongée est faisable

Calculons la pression absolue fictive

$$P_{AbsF} = P_{Abs} * X\% / 80 = 4,2 * 60 / 80 = 3,15$$

D'où PF = 21,5 mètres

Pour le calcul des paliers on prend sur la table 22 mètres et 60 minutes :

20 minutes à 3 mètres

groupe K

$$DR = (32-3) / 15 = 1,93 \text{ minutes}$$

$$DTR = 1,93 + 20 + 0,5 = 22,43 \text{ minutes soit } 23 \text{ minutes}$$

$$\Rightarrow \text{HS} = 8\text{h}00 + 1\text{h}00 + 0\text{h}23 = 9\text{h}23$$

Ernest et Daniel font la même plongée mais sans mélange

On prend sur la table 32 mètres, 60 minutes :

15 minutes à 6 mètres

46 minutes à 3 mètres

Groupe N

$$DR = (32-6) / 15 = 1,73$$

$$DTR = 1,73 + 15 + 0,5 + 46 + 0,5 = 63,73 \text{ soit } 64 \text{ minutes}$$

$$\Rightarrow \text{HS} = 8\text{h}00 + 1\text{h}00 + 0\text{h}64 = 10\text{h}04$$

**Soit 41 minutes après Carmen et Patrick**

- **Conclusion**

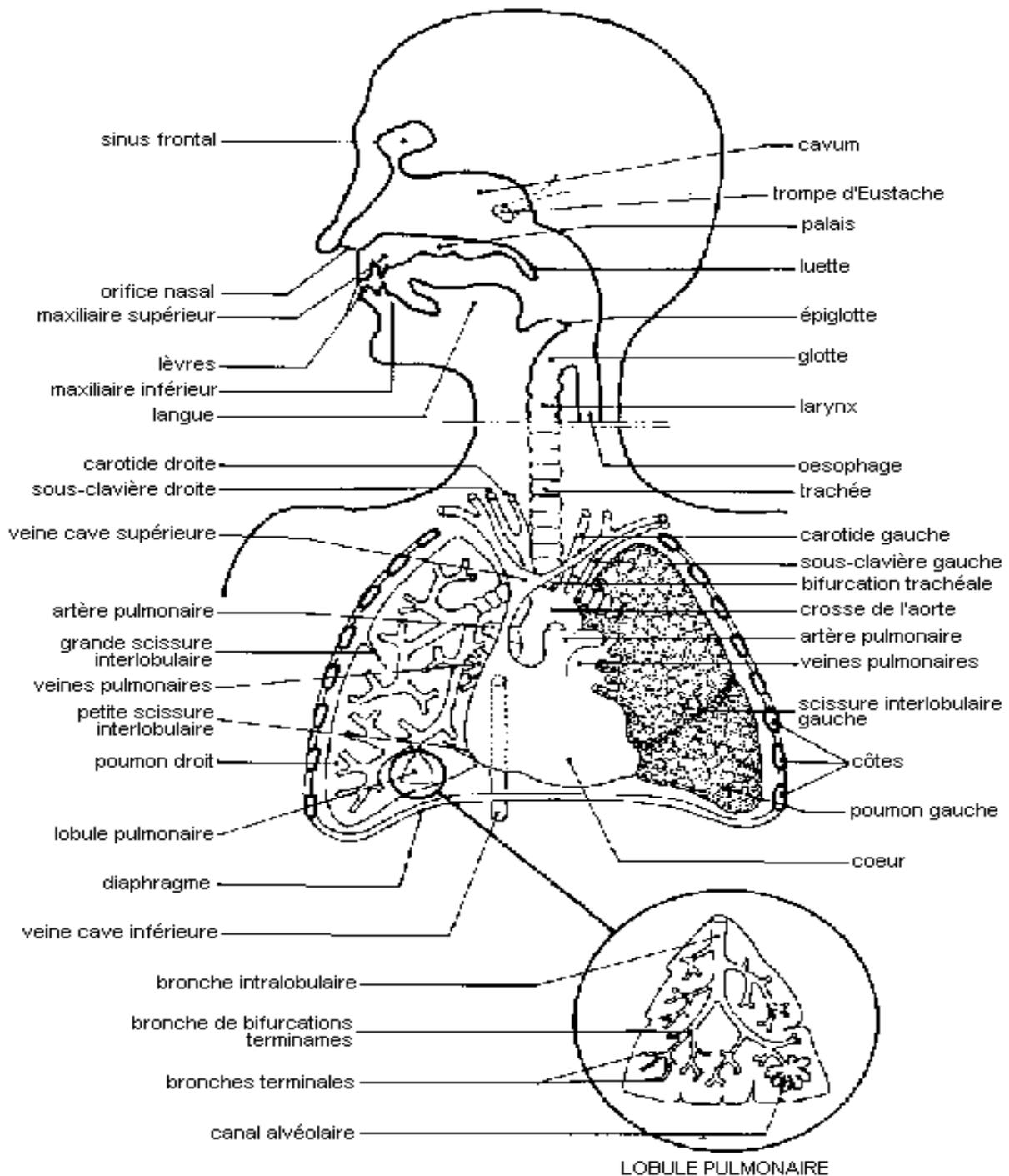
Les mélanges, type Nitrox, diminuent considérablement la durée des paliers mais ils limitent

aussi la profondeur de la plongée

Ce genre de plongée reste encore occasionnel et il est toujours conseiller de les faire dans une structure spécialisée ayant du matériel adapté au mélange

## Physiologie

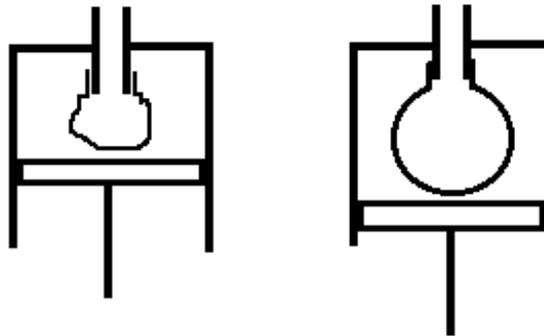
### L'appareil respiratoire



### • Fonctionnement

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

**l'inspiration.** Lors du relâchement de ces muscles, l'air contenu dans les poumons est rejeté à l'extérieur. C'est l'**expiration.**



- **Les voies aériennes supérieures**

Bouche : apport d'air en inspirant

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

- **Variation des volumes**

Les mouvements d'inspirations et d'expirations s'enchaînent pour former un cycle dont la cadence est, au repos chez l'adulte, d'environ 12 à 15 par minutes.

Les variations de volumes engendrées au cours de ce cycle sont (en moyenne) :

Rythme moyen au repos :

Volume de réserve inspiratoire :	2.5 litres	}	Capacité vitale 4.5 litres		Capacité totale 6 litres
Volume courant :	0.5 litres				
Volume de réserve expiratoire :	1.5 litres				
Volume résiduel :	1.5 litres				

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

*Le volume de réserve inspiratoire*

Après une inspiration calme, c'est le volume de l'air respiré en supplément grâce à une inspiration forcée. Il est de 2,5 litres en moyenne, mais est évidemment très variable suivant l'âge, la taille, le sexe, l'état physiologique de l'individu.

L'inspiration forcée est notamment pratiquée par le plongeur en libre (sans bouteille) qui s'apprête à plonger en apnée (apnée veut dire arrêt respiratoire) et qui a besoin d'emmagasiner dans ses poumons une grande quantité d'air.

### Le volume de réserve expiratoire

C'est le volume d'air supplémentaire expiré après une expiration calme, grâce à une expiration forcée. Il est d'environ 1,5 litres, et variable selon les individus pour les mêmes raisons. L'expiration forcée est notamment pratiquée par un sportif avant ou après un effort physique important, Elle est conseillée pour la préparation à la plongée en apnée ou dès que l'on sent les premiers symptômes d'un essoufflement pendant une plongée. En effet, elle permet de diminuer le taux de gaz carbonique contenu dans l'air alvéolaire, grâce à une plus grande dilution de l'air résiduel.

### Le volume d'air résiduel

Après l'expiration forcée, il reste encore dans les poumons, les bronches, la trachée artère et les fosses nasales une certaine quantité de gaz que l'on ne peut expirer : c'est le volume résiduel. Il est d'environ 1 litre, lui aussi variable selon les individus.

### La capacité vitale

C'est la somme des volumes de gaz expiré après une expiration forcée qui a été précédée d'une inspiration forcée, soit :

	<i>Volume courant</i>	<i>0,5 litres</i>
+	<i>Volume de réserve inspiratoire</i>	<i>2,5 litres</i>
+	<i>Volume de réserve expiratoire</i>	<i>1,5 litres</i>
	<i>Capacité vitale</i>	<i>4,5 litres</i>

Bien entendu cette capacité vitale est-elle aussi variable suivant les personnes. La capacité totale C'est la somme du volume de la capacité vitale et du volume résiduel

	<i>Capacité vitale</i>	<i>4,5 litres</i>
+	<i>Volume résiduel</i>	<i>1 litre</i>
	<i>Capacité totale</i>	<i>5,5 litres en moyenne</i>

#### • Rythme de la respiration

- Inspiration / Apnée inspiratoire
- Expiration / Apnée expiratoire

#### • Applications à la plongée

- ❑ Phénomènes mécaniques :
  - Poids volumique de l'air augmente = difficulté de respiration
  - Dilatation de l'air à la remontée = surpression pulmonaire
- ❑ Phénomènes biochimiques : Augmentation des Pp
  - Accident O<sub>2</sub>
  - Accident N<sub>2</sub>
  - Accident CO<sub>2</sub>

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

## L'appareil circulatoire

- **Rappel**

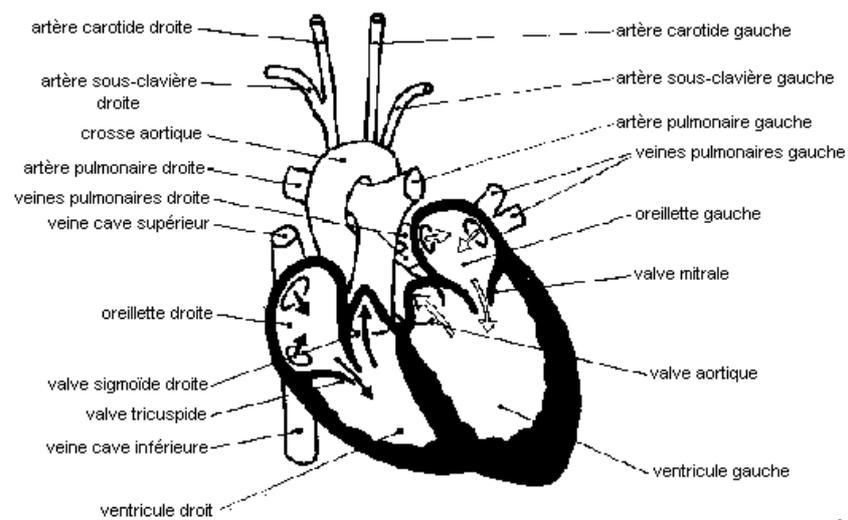
L'appareil circulatoire comporte 3 parties principales :

- ☑ Le sang
- ☑ Les vaisseaux
- ☑ Le cœur

- **Anatomie**

### Le cœur

Organe vital par excellence, le cœur peut se représenter selon le croquis ci-dessous :



- **Fonctionnement et mécanisme**

Deux parties (droites et gauche) jouent le rôle de pompes à sang disposées en « série », c'est à dire, l'une à côté de l'autre. Le cœur « droit » reçoit les retours veineux des veines caves dans l'oreillette droite et assure, par contraction de la paroi de l'oreillette, le transfert du volume sanguin qui s'y trouvait dans le ventricule droit, au travers d'un « clapet anti-retour » : la valvule tricuspide.

Dans la phase suivante du cycle de fonctionnement, la contraction du ventricule droit expulse le volume sanguin, au travers de la valvule sigmoïde droite, vers l'artère pulmonaire qui le conduit aux capillaires alvéolaires pour procéder aux échanges gazeux.

Après ce passage au niveau alvéolaire, la sang retourne vers le cœur « gauche » par 4 veines pulmonaires. Il est reçu dans l'oreillette gauche qui le transmet, par contraction, au travers de la valvule mitrale, au ventricule gauche. Celui ci au cours de sa contraction, expédie au travers de la valvule sigmoïde gauche (ou aortique) son volume sanguin vers la grande circulation en empruntant l'aorte.

Le mouvement est cyclique et se répartit en 3 temps :

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| - contraction des 2 oreillettes (D et G)            | systole auriculaire   |
| - contraction des 2 ventricules                     | systole ventriculaire |
| - temps de repos (le muscle cardiaque « récupère ») | diastole              |

La répartition des temps de travail et de repos est d'environ 40% travail et 60%, de repos. Cette proportion varie au cours de l'adaptation circulatoire à l'effort. La fréquence de ce cycle est d'environ 40 à 80/minutes. (au repos pour une moyenne d'individus).

#### • **Circuits de commande :**

Ils sont de 2 types : commande réflexe, commande automatique.

##### Commande réflexe :

Au sein même du tissu cardiaque sont implantées des cellules nerveuses spécialisées, organisées en tissus nodaux. On trouve :

- le noyau sinusal (KEITH et FLACK), générant des impulsions excitatrices du muscle cardiaque à une fréquence de 120 à 130/mn.
- le noyau septal (ASCHOFF et TAWARA), générant des impulsions à la fréquence de 40 à 60/mn.
- le faisceau de HIS, générant des impulsions à la fréquence de 25 à 35/mn. La fréquence résultante du battement cardiaque est le produit d'un équilibre entre ces 3 centres excitateurs.

Il est au repos, en moyenne, de 40 à 80 battements /mn. C'est la **Régulation Intrinsèque**.

##### Commande automatique :

Il s'agit d'adapter le débit sanguin aux besoins du moment. Cette adaptation est décelée par un ensemble de capteurs :

- Sensibilité générale : distension des vaisseaux,
- Baro-récepteurs (crosse aortique - sinus carotidien),
- Volurécepteurs (paroi de l'oreillette droite),
- Capteurs osmo-sensibles : concentration sanguine mesurée dans l'hypothalamus,
- Chémo-récepteurs (Tensions en O<sub>2</sub>, en CO<sub>2</sub>, acidité, ions carbonates, Ca<sup>+++</sup>, etc.)

Les informations mesurées sont transmises à des centres d'analyse et de décision : médullaires, bulbaires ou supra-bulbaires ou restent à disposition de centres locaux répartis.

En fonction des corrections éventuelles à apporter, les ordres sont transmis par les voies habituelles : ortho-sympathiques (accélération) ou para-sympathiques (ralentissement). Les composantes utilisées sont l'acétylcholine (ralentisseur) ou la noradrénaline (accélérateur). La voie principale d'action sur le rythme cardiaque est le nerf pneumo-gastrique. Ces ordres modificateurs interviennent sur l'équilibre existant entre les tissus nodaux du muscle cardiaque et le point de consigne du rythme est adapté à la nouvelle situation.

Les centres locaux de commande agissent sur les sphincters péri-capillaires et assurent la vaso-dilatation ou la vaso-constriction de ces circuits périphériques. C'est la **Régulation Extrinsèque**.

Les effets de cette régulation se manifestent par la modification :

- du débit pompe (fréquence),
- de la pression artérielle,
- de la résistance du réseau sanguin (dilatation ou constriction),

*Remarque : Contrairement au système ventilatoire, il n'y a pas de niveau de commande volontaire du système circulatoire. A la mise à l'eau, sa température fraîche sur le visage provoque un réflexe de bradycardie (diminution du rythme cardiaque) qui est compensé dans les minutes suivantes. Pour un sujet ayant au départ, un rythme « lent », ce réflexe (le réflexe vagal) peut entraîner une perte de connaissance par défaut d'irrigation cérébrale, C'est une contre-indication à la Plongée.*

### Les vaisseaux

On distingue les artères et les veines. Les artères transportent le sang du cœur vers l'extérieur, les veines de l'extérieur vers le cœur.

#### *Les artères :*

Les artères décrites comme des canalisations souples, sont le siège de la pression la plus élevée du circuit sanguin. La diminution de cette pression (perte de charge) tout au long de la distribution du fluide sanguin jusqu'aux zones d'utilisation, est très faible (de 1 à 2 mmhg). Les artères se ramifient en conduits de plus en plus faible en diamètre, artérioles, puis capillaires. Ce sont les capillaires qui irriguent localement les différents tissus de notre organisme. A l'autre extrémité des capillaires, le retour veineux se rassemble sous forme de veinules, puis de veines

➡ **Les veines** décrites comme des canalisations semi rigides, assurent le retour du fluide sanguin vers le cœur. Le mouvement de retour ne peut plus être assuré la seule pression du sang sortant des tissus drainés.

La présence de valvules, anti-retour, et l'aide apportée localement par un massage musculaire réparti le long des circuits principaux, permet d'acheminer le sang jusqu'au cœur. La perte de charge est importante (16 à 20 mmHg entre l'extrémité veineuse du capillaire et l'oreillette droite).

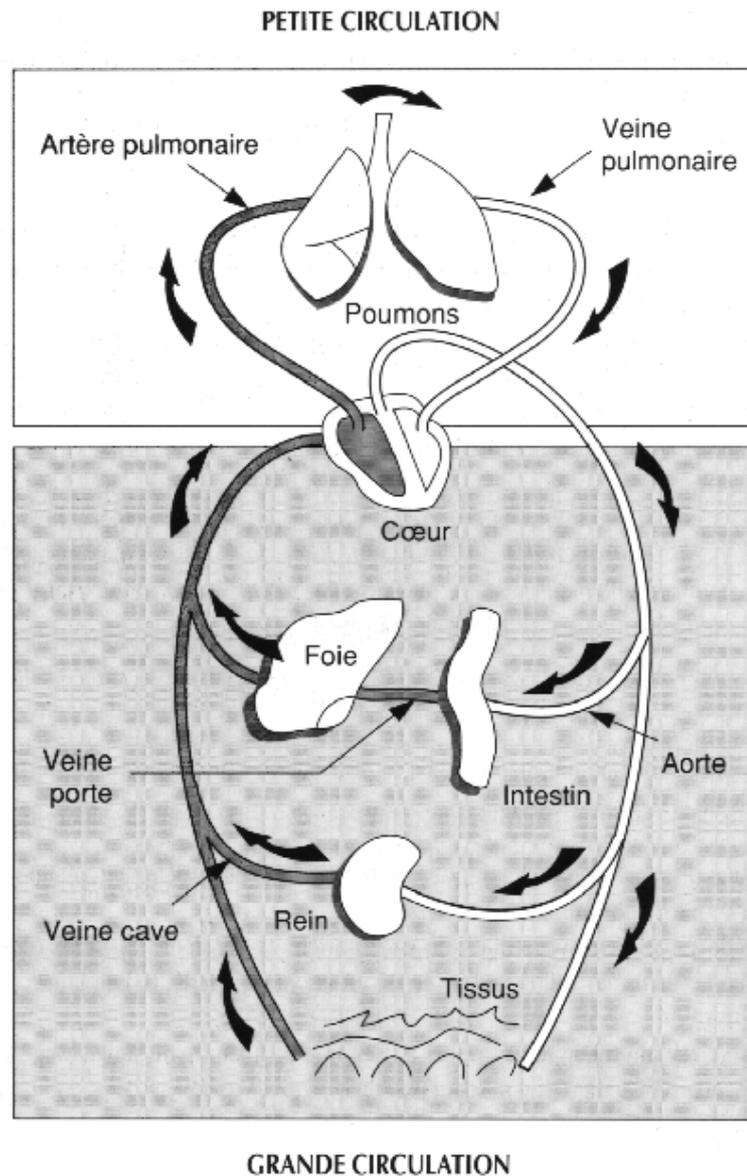
*Nota : Ces contractions locales musculaires aidant les retours veineux ne sont assurées qu'à l'état de veille de l'individu. Bien qu'étant des mouvements réflexes, ils n'appartiennent pas aux réflexes vitaux du métabolisme basal. Ceci explique qu'il vaut mieux s'allonger pour dormir.*

### ➡ **La circulation**

La disposition schématique théorique de la distribution sanguine est reprise dans le croquis ci dessous.

Plus qu'une disposition géographique de la grande et de la petite circulation, il faut retenir une disposition fonctionnelle.

- **la grande circulation**, véhiculant du sang enrichi en oxygène, débarrassé des déchets de l'organisme, alimente tous les tissus et organes de l'être humain.
- **La petite circulation** permet d'amener au système ventilatoire du sang chargé en O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, afin d'évacuer ces gaz vers l'extérieur.



### *Le sang*

Le sang, « fluide essentiel » comme le nommaient les médecins du 17<sup>e</sup> siècle, est composé de la façon suivante :

- **Le plasma** : comprenant plus de 70% d'eau, ce liquide transporte, en solution des sels minéraux (magnésium, potassium, sodium pour les principaux), des protéines (hormones), des nutriments (glucides, acides aminés, déchets du métabolisme, lipides ... )
- **Les globules rouges** ou hématies (environ 5 millions par mm<sup>3</sup>, de sang qui interviennent dans le transport des principaux gaz (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ... ). Les hématies sont pourvues, dans les éléments de leur enveloppe cytoplasmique, d'une protéine particulière : l'Hémoglobine
- Les **globules blancs** ou leucocytes (environ 6000 par mm<sup>3</sup> de sang) qui interviennent dans les processus de défense immunitaire.

- **Les plaquettes** ou thrombocytes (environ 300 000 par mm<sup>3</sup> de sang) qui jouent un rôle important dans les phénomènes de coagulation.

## Les échanges gazeux

### • Introduction

Les apports et les rejets gazeux nécessités par la vie, d'une part, et la pratique sportive d'autre part, s'effectuent au niveau alvéolaire par diffusion rapide au travers des différentes parois rencontrées.

### • Etapes de la respiration

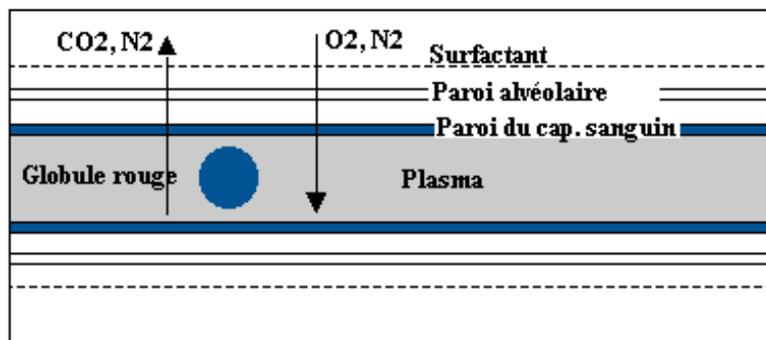
#### La ventilation

Si on analyse l'air inspiré et l'air expiré dans des conditions standard (c'est à dire 760 mmHg, 0°C.sec), on trouve :

Valeurs en %	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Air inspiré	20	0.03	79
Air expiré	16	4.3	79
mmHg	100	40	

#### L'hématose

Il s'agit, au tout premier stade, de la dissolution des gaz alvéolaires dans un liquide tapissant l'intérieur du sac alvéolaire : **le surfactant**. Ce film liquide a également un autre rôle : celui de tensio-actif, empêchant, à l'expiration, le placage des parois alvéolaires l'une contre l'autre.



Le transport s'effectue principalement dans le circuit sanguin sous 3 formes :

- Combinée à l'hémoglobine des hématies
- Dissoute dans le plasma
- Combinée sous forme de sels minéraux, dans le plasma

	Combinée hémoglobine	Dissoute plasma	Combiné sels minéraux
O <sub>2</sub>	20 ml	0.3 ml	Non
CO <sub>2</sub>	50 ml	2.5 ml	38 ml
N <sub>2</sub>	Non	1 ml	Non

### Etape tissulaire

On notera que les formes de transport des gaz sous forme combinée reprennent, au niveau tissulaire, la forme dissoute qui est la seule à permettre la diffusion vers les liquides interstiels et les cellules du tissu elles-mêmes.

Là encore, les échanges vont avoir lieu par différence de tension entre l'intérieur et l'extérieur du capillaire et les tissus irrigués par ce capillaire. On appelle pression oncotique la pression hydrostatique qui règne au sein des liquides interstiels et qui est sensiblement égale à 25 mmHg.

- **Rendez-vous syncopale des 7 mètres**

Accident à la plongée en apnée. A la remontée ou en surface : perte de connaissance, noyade.

- **Application à la plongée**

- Intoxication au monoxyde de carbone
- Syncope, mort

## La noyade

- **Justification**

Inondation des voies aériennes qui peut aller jusqu'à la mort.

- **Causes et symptômes**

### Noyade primaire

Inondation des voies aériennes, panique. 4 stades :

- ❖ Aqua-stress : inhalation d'un peu d'eau
- ❖ Petit hypoxique : petit encombrement, gêne

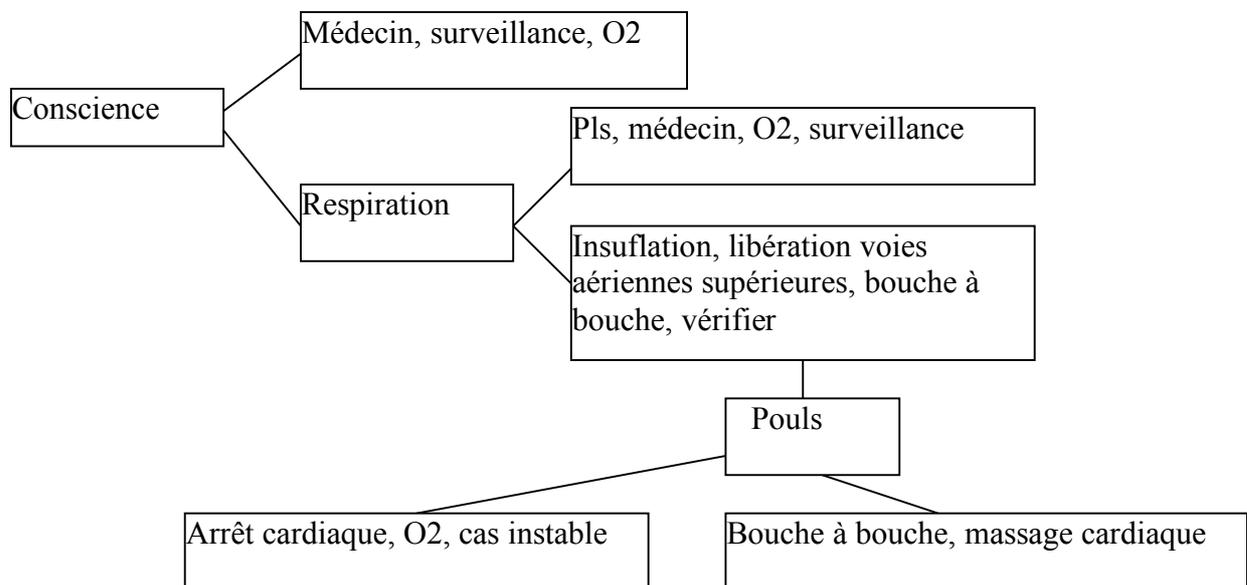
- ❖ Grand hypoxique : respiration difficile
- ❖ Stade anoxique : inondation, lésion des alvéoles, perte de conscience, plus de respiration, arrêt cardiaque

### Noyade secondaire

Noyade qui survient après une perte de connaissance (mauvaise qualité d'air dans la bouteille, hydrocution, froid, etc.)

- **Conduite à tenir**

Sortir la victime hors de l'eau, alerter les secours, réanimation :

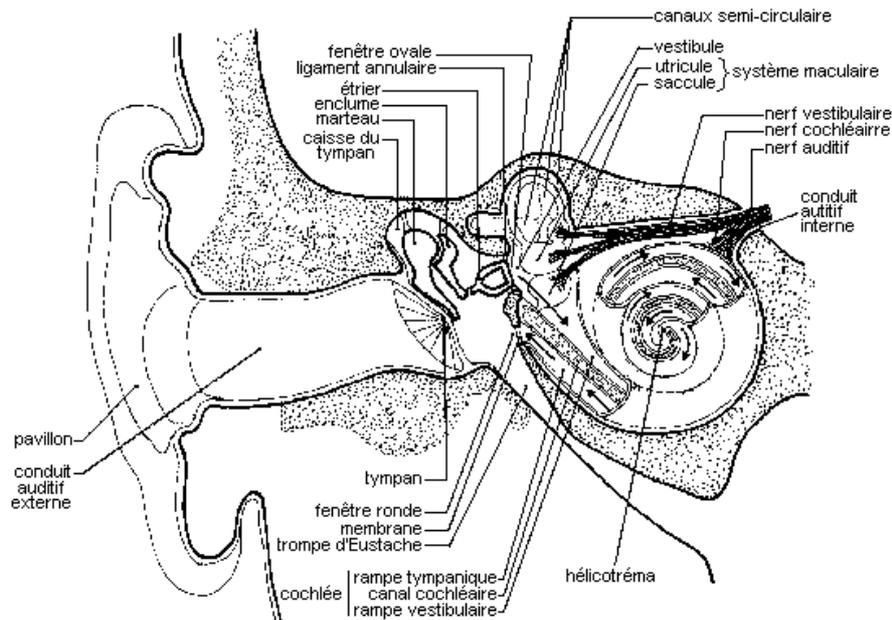


- **Prévention**

Savoir nager, ne pas se surestimer, être en bonne forme physique, avoir une bonne combinaison, ne pas plonger seul, pas d'hyperventilation.

## L'oreille

- **Description**



### • Fonctionnement

L'oreille est l'organe le plus sollicité au cours de la plongée. Son rôle dans le fonctionnement du corps humain est double : c'est l'organe d'audition et de l'équilibre.

#### *Audition*

La vibration mécanique ambiante, collectée par le pavillon est acheminée par le conduit auditif externe jusqu'au tympan qui se met à vibrer. Les osselets de l'oreille moyenne transmettent ces vibrations à la fenêtré ovale, qui les transmet à son tour à l'endolymphe et la périlymphe de l'oreille interne. Ces vibrations sont ensuite conduites par la Cochlée jusqu'à l'hélicotréma, ensemble ponctuel de cellules nerveuses d'ordre électrique. Le nerf cochléaire, branche du nerf auditif, envoie ces informations jusqu'à la zone spécialisée du cortex cérébral qui interprète le son capté.

#### *Equilibre*

L'oreille interne comporte, dans sa partie supérieure, un ensemble de trois canaux appelés « canaux semi-circulaires », remplis de lymphe, disposés selon trois plans et dont les parois sont garnies de cellules spécialisées et sensibles à la pression générale de la lymphe, à la vitesse de déplacement, à la rotation dans l'espace, aux accélérations diverses. Ces informations, nécessaires au positionnement et aux sensations de déplacement dans l'espace, sont transmises au cervelet par une autre branche du nerf auditif, le nerf vestibulaire. Ces informations sont analysées de manières différentielles par l'encéphale pour traduire et interpréter les signaux captés.

### • Application à la plongée

Au cours de la plongée, l'oreille subit les variations de pression générales dues à l'immersion. On remarquera que l'oreille moyenne est une cavité interne remplie d'air qui doit être maintenue en permanence en équipresssion avec la pression ambiante.

La trompe d'Eustache permet de remplir cette fonction :

- De manière manuelle au cours de la descente (Manœuvre de Valsalva, etc.). Seul un accroissement de la pression des fosses nasales (glotte bloquée, nez pincé, expiration forcée) ou « manœuvre » des muscles en question ouvrent le passage.
- De manière automatique au cours de la remontée (l'oreille moyenne se trouve alors à une pression plus élevée que celles des fosses nasales et l'excédent de volume d'air s'écoule naturellement)

Mais il faut noter que toute différence de pression gauche-droite de l'oreille moyenne se répercute sur l'oreille interne et le système vestibulaire d'où sensation de déséquilibre, de vertiges.

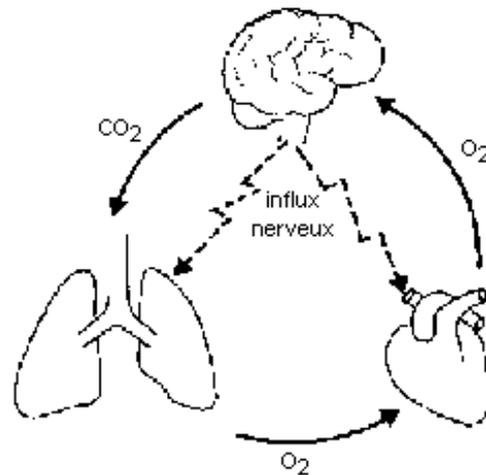
## Le système Nerveux

### • Introduction

Organe essentiel à la régulation de l'organisme : respiration, circulation, fonction vitale, perception (entendre, voir, choc avec la peau), acte moteur (bouger, courir, etc.), parole, intelligence. Toute perturbation du système nerveux peut entraîner des troubles graves, des séquelles ou un accident de décompression (paralysie).

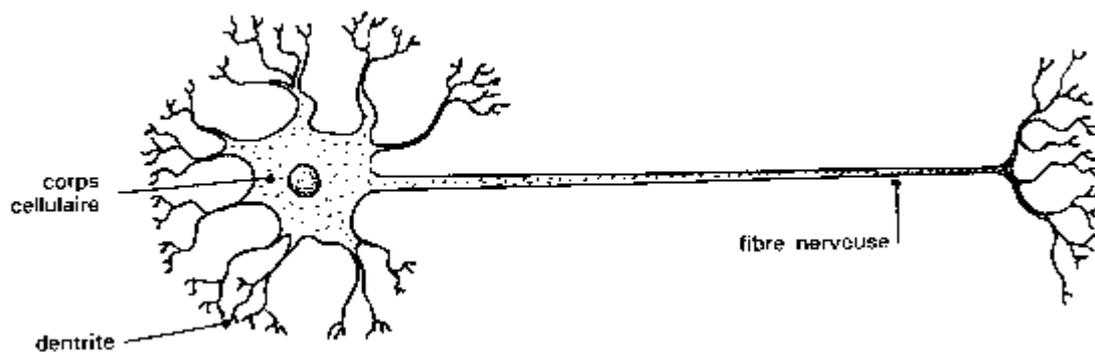
### • Justification

Nous avons vu l'importance des appareils circulatoire et respiratoire en plongée. Leur interdépendance avec le système nerveux justifie ce cours :



Si un de ces 3 organes subit une lésion, les 2 autres ne tardent pas à présenter des troubles graves !

- **La cellule nerveuse : Le neurone**



**Dendrite** : Reçoit l'information et la transmet au corps cellulaire

**Fibre nerveuse** :

- ❑ Longueur variable (atteint 1m. dans le nerf sciatique)
- ❑ Entourée d'une gaine de myéline qui capte l'azote = problème de désaturation.
- ❑ Véhicule l'influx nerveux.

Le corps en contient plusieurs dizaines de milliards. Plusieurs dizaines de milliers disparaissent chaque jour et ne sont jamais remplacés.

**Amas de neurones enchevêtrés**, reliés par leurs dendrites = centres nerveux ( ex: moelle épinière).

Faisceau de fibres = nerf qui relie un centre nerveux à un ou plusieurs organes.

Il existe deux sortes de nerf :

- ❑ Sensitifs
- ❑ Moteurs

Il y a deux systèmes nerveux :

- ❑ Le système cérébro-spinal
- ❑ Le système neurovégétatif

- **Le système cérébro-spinal**

*Le système nerveux central*

**L'encéphale :**

3 méninges qui enveloppent et protègent :

- ❑ pie-mère
- ❑ arachnoïde
- ❑ dure-mère

Le cerveau :

- ❑ Mou et aqueux
- ❑ Gris de l'extérieur et blanc de l'intérieur
- ❑ 2 hémisphères
- ❑ Siège des facultés intellectuelles, de la motricité, de la sensibilité

Le cervelet :

- ❑ Protubérance postérieure
- ❑ Assure, entre autre, l'équilibre du corps en synergie avec l'oreille

**Le tronc cérébral (transmission entre encéphale et moelle épinière) :**

Le cerveau de base :

- ❑ Donne les ordres au système neurovégétatif

Le bulbe rachidien :

- ❑ Cordon reliant le cerveau à la moelle épinière
- ❑ Commande notamment les grandes fonctions vitales
  - Circulation
  - Respiration
- ❑ Le tronc cérébral commande toute la vie végétative (nouveau né)

**La moelle épinière :**

Long cordon, entouré par 3 méninges (idem encéphale). Dans le canal médullaire (vertèbres, muscles et ligaments). S'épanouit au niveau des vertèbres lombaires en « queue de cheval ».

Fonction :

- ❑ Transmet les informations
- ❑ Centre des réflexes

*Le système nerveux périphérique :***12 paires de nerfs crâniens, reliés au cerveau assurent:**

- ❑ L'innervation des organes sensoriels (vue, ouïe, goût)
- ❑ La déglutition, la phonations, etc...
- ❑ Certaines fonctions neurovégétatives

**31 paires de nerfs rachidiens :**

- ❑ Reliant la moelle épinière aux muscles, ligaments, tendons, peau, etc...
- ❑ Système de la motricité et de la sensibilité

**L'acte réflexe :**

- ❑ Exemple : main posée sur objet brûlant
- ❑ Le circuit de l'influx est appelé « arc réflexe »

*Le système neurovégétatif*

Divisé en deux systèmes :

- ❑ Le système sympathique } commandés par
- ❑ Le système parasymphatique } le cerveau basal

C'est un système indépendant de la commande volontaire. Assure un équilibre harmonieux des activités des vicères ou des organes des sens, par un double jeu.

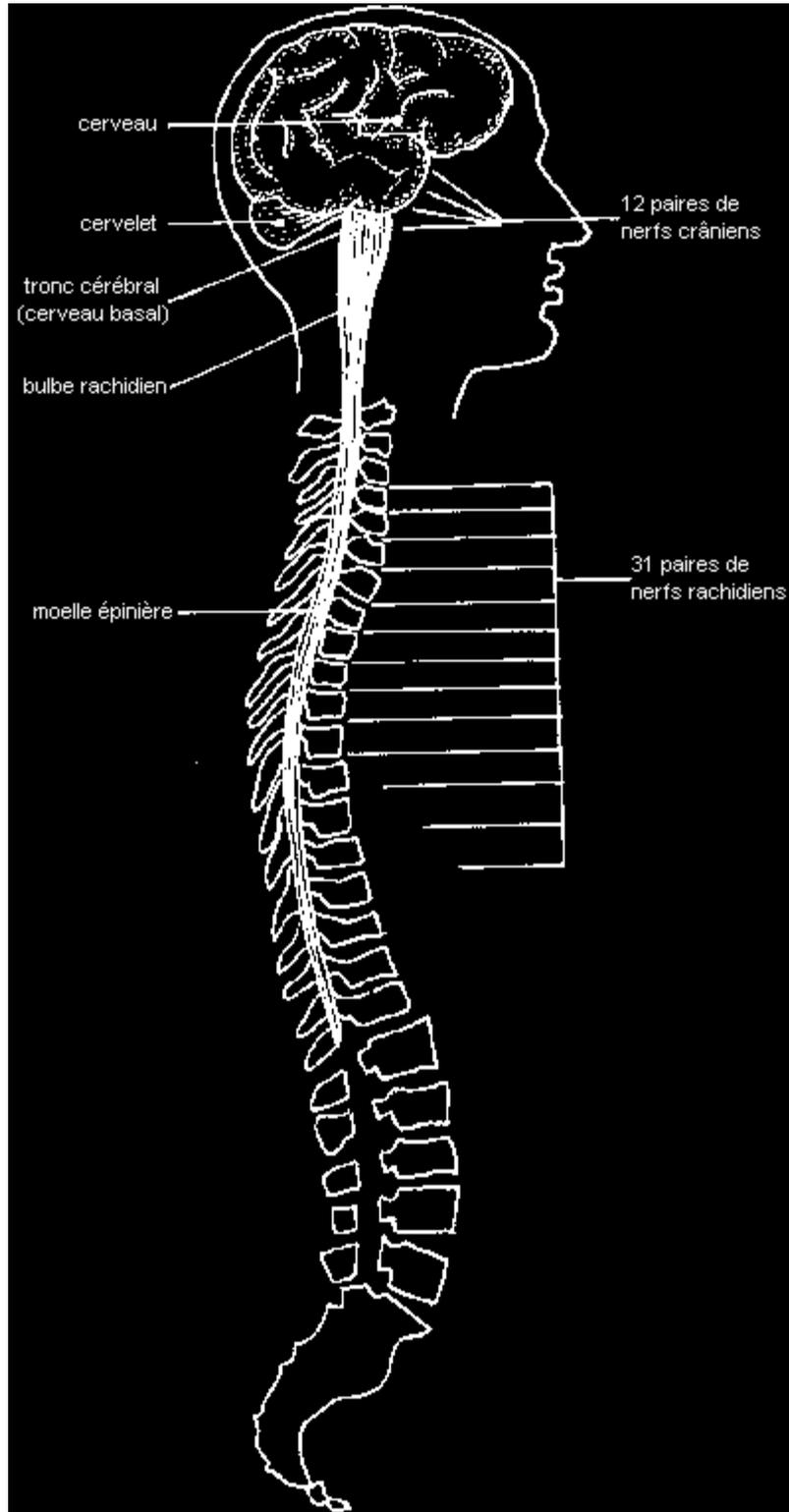
Exemples de leurs actions :

	<b>Sympathique</b>	<b>Para-sympathique</b>
<b>Circulation et respiration</b>	Accélère	Ralentit
<b>Vaisseaux</b>	Rétrécit	Dilate
<b>Bronches</b>	Dilate	Rétrécit
<b>Pupilles</b>	Dilate	Rétrécit
<b>Vessie – Rectum</b>	Rétention	Evacuation
	Sécheresse des muqueuses	Salivation et sueur

- **Application à la plongée**

Atteinte du système nerveux : contre-indication.

- ❑ Séquelles de la surpression pulmonaire et des accidents neurologiques de décompression
- ❑ Toutes les formes de paralysie, crises de type épileptique, etc.
- ❑ Troubles dû à la narcose
- ❑ Secourisme et réanimation
- ❑ Etat de choc
- ❑ Perte de conscience
- ❑ Syncope



## Le Froid

- **Justification**

L'être humain maintient sa température interne à une valeur constante de 37°C grâce à un mécanisme de défense contre les variations de température du milieu ambiant. Ce mécanisme, la **thermorégulation**, est efficace tant que les variations externes restent à l'intérieur de limites tolérables. Au-delà, l'agression thermique déclenche des troubles graves : c'est le début de l'**hypothermie**.

- **La température**

### Echanges thermiques

La plongée place l'organisme du plongeur dans un milieu ambiant particulièrement agressif vis-à-vis des déperditions thermiques. En effet, la température de neutralité thermique dans l'eau est de 33°C (alors que celle de l'air est de 25°C) → pertes calorifiques.

### Equilibre thermique

Interne : 37.2°C

Périphérique : 33-34°C

Dans l'eau le corps se refroidit 25 fois plus vite.

### Unité de mesure

Le Joule : unité de travail

Les calories : unité de quantité de chaleur (4.185 joules)

### Conséquence en plongée

La température de l'eau est inférieure à 33°C. Elle est aussi variable en fonction des saisons.

- **Déperditions calorifiques**

### 3 Stades

1 <sup>er</sup> Stade	37 à 34°C	
2 <sup>ème</sup> Stade	34 à 27°C	Arythmie cardiaque, trouble, anesthésie, rigidité du squelette
3 <sup>ème</sup> Stade	27 à 25°C	Centres vitaux atteints

### Causes

Multiplés, fonction de l'état physique du plongeur. Equilibre alimentaire non respecté, température de l'eau.

### Symptômes

- Modification du rythme ventilatoire

Elle intervient rapidement après l'agression thermique et vise à augmenter la quantité d'O<sub>2</sub> capturé lors de la ventilation pour permettre l'oxydation des réserves en glycogène de notre organisme et à accroître la production calorifique interne.

- Le « petit » frisson

C'est la réaction cutanée et sous-cutanée : la « chair de poule ». En fait la contraction des muscles horripilateurs, qui a pour effet le redressement des poils et l'apparition de plis de la peau, vise à diminuer la surface d'échange thermique entre notre corps et le milieu ambiant.

- La vasoconstriction périphérique

Sous l'effet d'une augmentation du taux d'adrénaline, les sphincters péricapillaires vont ouvrir les shunts artériels des zones sous-cutanées périphériques et diminuer les pertes calorifiques du fluide sanguin proche de la surface d'échange.

### Conduite à tenir

Remonter dans une eau plus proche de la surface, sortir de l'eau, sécher, réchauffer, boisson chaude.

### Prévention

Etre en bonne forme physique, régime alimentaire correct (4000 à 5000 calories), bonne combinaison, ne jamais insister en cas de froid.

## • **Le choc thermo différentiel ou Hydrocution**

Exposition au soleil, augmentation de la température du corps, création de la transpiration → reflux de sang vers le cœur, syncope après entrée dans l'eau.

### Symptômes

Bourdonnement, malaise, étau autour de la tête, paralysie des membres.

### Conduite à tenir

Sortir la personne hors de l'eau, réchauffer, réanimation.

### Prévention

Limiter les variations de température, pas d'exposition prolongée au soleil avant de plonger. Se mouiller la nuque.

## Les accidents de décompression

- **Justification**

L'accident de décompression et ses conséquences à moyen et long terme, la maladie de la décompression, est l'ennemie principale du plongeur sportif. Étudié depuis le 19<sup>e</sup> siècle, il fait toujours l'objet de recherches assidues de la part du corps médical spécialisé. Frappant tous les plongeurs, quelque soit leur niveau technique ou la profondeur de leur immersion, les causes restent toujours obscures au déclenchement de son mécanisme.

- **Rappels**

La loi de Henry et de Mariotte interviennent ensemble dans les mécanismes de cet accident. Une désaturation trop rapide d'un gaz dissout dans un liquide provoque l'apparition de micro-bulles au sein même du liquide et non plus seulement à la surface de contact des 2 fluides. Si ces micro-bulles s'amalgament entre-elles et forment des bulles mesurables, elles sont soumises à la loi de Mariotte qui provoque une augmentation de leur taille au fur et à mesure de la diminution du gaz.

D'autre part, un compartiment en état de désaturation critique, va se comporter comme le liquide présenté ci-dessus : l'azote va apparaître en son sein sous forme de bulles et provoquer, par leur présence, leur déplacement, leur arrêt, des lésions multiples.

Facteurs de dissolution :

Température	Constant
Surface de contact	Tissus
Liquide	Eau
Nature du gaz	Azote
Agitation	Effort
Pression	Profondeur
Durée	Temps de plongée

- **Causes**

Cette quantité de N<sub>2</sub> qui se dissout dans nos tissus, à la remontée va reprendre sa forme gazeuse de petite bulle et va être évacuée. Si la remontée est trop rapide, il va y avoir un grossissement des bulles et plus d'échange gazeux, ce qui entraînera un blocage d'échange au niveau sanguin et une lésion des tissus.

- **Symptômes**

Symptômes généraux

- ❑ Sensation de fatigue
- ❑ Incapacité d'uriner

### Symptômes particuliers

- ❑ Démangeaisons cutanées : cloques → puces et moutons
- ❑ Douleur articulaire vive allant en empirant → bends
- ❑ Vertiges et nausées → accident du labyrinthe (oreille interne)
- ❑ Accidents ostéo articulaire : hanche, épaule... articulation de plus en plus aiguë.
- ❑ Accident neurologique : fatigue générale, pâleur, angoisse, douleur vertèbre lombaire, fourmillement dans les jambes, difficulté à uriner, perte des sens (ouïe, parole), toute forme de paralysie.
- ❑ Accident cardiaque : infarctus du myocarde
- ❑ Accident pulmonaire : difficulté respiratoire aiguë

### • Conduite à tenir

- ❑ Réchauffer, sécher, rassurer
- ❑ Oxygène
- ❑ 500mg Aspirine + ½ litre d'eau
- ❑ Faire uriner
- ❑ Alerter les secours
- ❑ Centre hyperBar
- ❑ Paramètres de la plongée

### • Prévention

La meilleure des préventions : prendre **conscience** que ce type d'accident n'épargne **personne**. Tenir compte des facteurs favorisant les plus connus :

#### A éviter

- Anxiété, froid, effort en plongée → augmentation du rythme ventilatoire
- Mauvaise forme physique et psychique (médication, alcool, fatigue physique et nerveuse, drogue, émotion intense, etc. )
- Non respect des procédure de désaturation
- Changement de tables ou d'ordinateur entre le matin et l'après midi
- Plongée de type « yoyo »
- Toutes autres formes d'élucubrations en matières de plongée

#### A connaître

- Respect des tables et des paliers
- Prolonger le palier à 3m si effort durant la plongée
- Respects des plongées consécutives et successives
- Pas de Vasalva à la remontée
- Pas d'avion avant 12 heures

- Avoir de l'oxygène, aspirine, téléphone et de l'eau

- **L'accident de décompression (Supplément)**

Les mécanismes sont mal maîtrisés. C'est l'accident typique du plongeur. Celui qui a fauché la plupart des premiers plongeurs et qui continue à prendre de temps à autres son lot de victimes. Il est lié à la désaturation trop rapide de l'azote (N<sub>2</sub>) contenu dans les tissus lors d'une remontée. Cette saturation s'est faite lors de la descente et pendant la durée de la plongée. Il y a alors apparition de bulles de N<sub>2</sub> dans le corps à la remontée ou après la remontée.

Les bulles peuvent être statiques et augmenter en volume là où elles sont apparues. On risque alors des lésions tissulaires purement mécaniques.

Si les bulles commencent à circuler dans les veines, elles peuvent, bien sûr dans le meilleur des cas, être exhalées (à l'expiration). Mais elles peuvent également s'infiltrer dans des zones telles que la moelle épinière et empêcher une bonne circulation sanguine avec anoxies locales. On verra alors apparaître des lésions de type neurologique bas (paralysies hémiplegie, etc.). Ces lésions peuvent être irréversibles pas la nécrose des zones en anoxie. Il peut arriver que la teneur en bulles soit telle que les poumons sont "shuntés". Ces bulles passent alors dans le circuit artériel. Elles remonteront vers le cœur (qui n'aime pas du tout), puis la crosse aortique (risque d'infarctus) et la carotide s'ouvrant ainsi un chemin vers les régions cervicales. Des zones pourront ainsi cesser d'être irriguées, subir une anoxie et mourir. Les lésions sont dites de type neurologique haut et sont irréversibles si l'anoxie dure plus de 3 minutes.

Un accident de décompression est caractérisé par l'apparition en surface, parfois un certain temps après une plongée, de fourmillements et autres picotements, apparition de plaques sous-cutanées, douleurs articulaires (appelées bends), difficultés à uriner, nausées et vertiges, grande fatigue et oppression, paralysies, troubles des sens, syncope et arrêt cardiaque. Tout cela n'arrive pas en même temps. Mais à l'apparition du moindre de ces symptômes, il faut agir vite, la maladie de décompression vous guette.

Cette maladie s'exprime par 4 phénomènes principaux:

1. Après leur formation, et après un certain délai, les bulles d'azote formées dans le corps vont être détectées comme des intrus par les globules blancs (leucocytes) qui vont les entourer de fibrine. On ne peut plus, dès lors, évacuer l'azote par dissolution.
2. Il va y avoir sécrétion réactive d'histamine en quantités suffisantes pour provoquer des inflammations.
3. Les zones sanguines ne circulant plus vont avoir tendance à se coaguler (rôle des plaquettes ou thrombocytes).
4. Dans la périphérie de ces zones, le plasma aura tendance à rejeter son eau (phénomène d'hypovolémie).

Les nécroses qui suivent l'anoxie des tissus concernés sont, en général, définitives et les séquelles fortement invalidantes.

En cas d'accident de décompression, il faut agir vite en attendant une évacuation URGENTE vers un centre hospitalier hyperbare. L'action sera menée sur 3 fronts simultanés.

1. Pour ralentir l'apparition des bulles d'azote et évacuer plus rapidement cet azote, il faut mettre la victime en oxygénothérapie monobare en surface, sur le bateau ou au bord.
2. Pour limiter les risques de coagulation, il faut lui administrer de l'aspirine dans de l'eau plate (5mg/kg de "victime", 500mg maxi) en une seule prise.
3. Pour limiter les dégâts liés aux risques d'hypovolémie, laisser boire abondamment de l'eau douce à la victime.

Pour limiter les risques d'un tel accident, il faut éviter de faire des plongées "yoyo" extrêmement pénalisantes pour l'organisme, en exploration. Bien sûr, je sais que beaucoup de plongées techniques, pour le bon apprentissage de la remontée à la bouée, du sauvetage, de l'assistance, sont des plongées yoyo et rapides pour certaines d'entre elles. Il faudra en tenir compte pour bien calculer ses paliers et réfréner un tant soit peu ses ardeurs pédagogiques (avis à certains moniteurs...) Je disais donc que respecter les règles de remontée est OBLIGATOIRE (vitesse de remontée, durée de paliers). Respecter un palier de sécurité (3 mn à 3 mètres) lors des plongées dans la courbe de sécurité. N'échangez surtout pas vos tables ou ordinateurs entre 2 plongées successives. Ne prenez pas l'avion ou ne montez en altitude.

Des facteurs tels que le froid, la fatigue, le stress, l'âge, un poids excessif (je crois que ça s'appelle surcharge pondérale) peuvent favoriser l'accident de décompression puisque les paramètres de calcul de remontée de plongée ne tiennent pas compte de caractéristiques biologiques particulières qui peuvent être les vôtres à un moment donné.

## La plongée et le Matériel



### Introduction

De l'azote et un peu d'oxygène, quelques éléments variables et en quantité insignifiante, le tout plus ou moins humide: en un mot l'air. Nous, plongeurs, en mesurons la valeur. Nous savons que nous ne pouvons pas nous en passer. Mais voilà, nous ne voulons pas nous lasser de récifs, mérous, spirographes ou autres scorpinidés.

Pour cela, ce génial être humain, parfois appelé « Homo aquaticus », a appris à emmener son air. Air con ? Pas tant qu'a au fond ! Mais pour emporter ce précieux gaz, il faut le stocker en quantité suffisante et respirable pour nous. C'est le rôle du scaphandre dit autonome. Voilà l'air enfin maîtrisé ; mieux encore, nous ne l'utilisons pas seulement pour respirer, mais également pour l'équilibrage et la remontée (fenzi, stab, etc.). Nous savons aussi en modifier la composition (nitrox, etc.), ce qui suscite un matériel distinct. Parallèlement, du matériel de sécurité et de confort s'est développé tel que PMT, gilet, etc., ainsi que du matériel d'information et de gestion comme profondimètres, manos, tables, ordinateurs.

Un peu d'air, mais que de matériel !

Nous constatons que cette liste, bien que non exhaustive, est déjà longue. Notre confort et nos possibilités de s'attarder dans l'eau sont dépendants évidemment de notre aquacité propre, mais aussi du matériel approprié et en bon état.

A noter que certains équipements sont régis par une législation spécifique.

## Le chargement

Le chargement (ou gonflage) est une étape incontournable de la plongée loisir, mais aussi l'une des plus méconnues, utilisant le matériel le plus lourd. La législation ne l'épargne pas non plus. Quelque soit la station de chargement, les préalables au gonflage à effectuer sont les mêmes :

- Vérification du gaz utilisable,
- Vérification extérieure du bloc,
- Vérification des dates d'épreuve et poinçon des mines,
- Vérification du macaron d'inspection,
- Vérification de la pression de service du bloc (pression maximale de gonflage).

Il est interdit de charger un bloc abîmé extérieurement ou dont la date d'épreuve ou d'inspection est dépassée ou dont la pression de service de la bouteille est inférieure à la pression de gonflage de la rampe. Le responsable du chargement ne devra pas non plus charger en air comprimé une bouteille prévue pour d'autres gaz.

## Les compresseurs

Le plongeur a besoin d'air comprimé pour respirer sous l'eau. Le compresseur est l'appareil qui sert à mettre l'air sous pression dans les bouteilles.

### • Description



### • Principe de fonctionnement

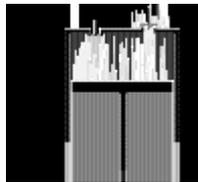
Lorsque le piston descend il crée une dépression dans la chambre A, ce qui provoque l'ouverture du clapet d'aspiration et une entrée d'air.



Lorsque le piston arrive au PMB ( point mort bas ) il y a de nouveau équilibre des pressions, le clapet d'aspiration se referme.

Lorsque le piston remonte il y a compression du volume de la chambre A, ce qui provoque une augmentation de la pression (voir cours sur la loi de « Boyle Mariotte »). Le clapet de refoulement ne s'ouvrira que lorsque la pression de la chambre A sera supérieure à celle de la bouteille.

Lorsque le clapet de refoulement est ouvert le piston continuera à comprimer l'ensemble du volume ( chambre A + volume des tuyaux + volume de la bouteille ).



Lorsque le piston arrive au PMH ( point mort haut ) le clapet de refoulement se referme et assure l'étanchéité de la bouteille et le cycle recommence.

- **Compression**

En réalité la compression se fait en plusieurs temps successifs pour éviter un échauffement trop important.

Le compresseur que nous avons au club est constitué de trois étages pour la compression de l'air de 0 à 200 Bars. Son débit est de 12 m<sup>3</sup> / h.

- **Filtrage de l'air**

L'air est filtré au travers de charbon activé. Il a plusieurs utilités qui sont :

- Enlever la condensation de l'eau
- Enlever les particules d'huile
- Enlever les odeurs

- **L'huile**

L'huile utilisée est de l'huile végétale, à titre d'information la qualité recommandée est du type : HUILE BP - LPT 150 –

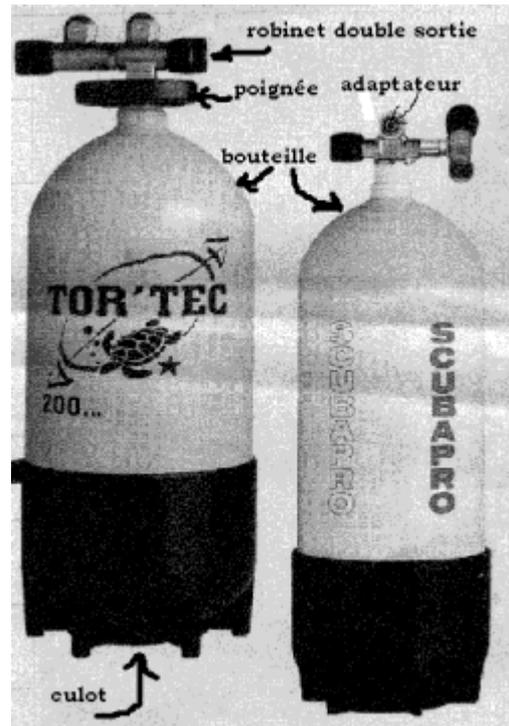
## Les blocs

Le bloc est un élément important du scaphandre. Il est constitué principalement de la bouteille et d'un robinet de conservation. Le culot assure la possibilité de poser le bloc au sol, debout, et facilite ainsi le gonflage et l'équipement. Parfois un sanglage ou un back-pack en assure le capelage ; mais, en plongée d'exploration, cet équipement est devenu pratiquement désuet depuis le développement du gilet.

En plongée loisir, on utilise des bouteilles de 10 à 20 litres montées seules (mono) ou en double (bi-bouteilles), pour la plongée enfant des 6 ou 8 litres. La pression de service (pression de gonflage maximum autorisée) la plus courante est actuellement de 200 bars.

Parfois, on désigne un bloc par sa contenance maximale en air détendu. Par exemple un 12 l à pression de service 200 b devient un 2,4 m<sup>3</sup> ou d'un 15 l à PS 230 b on dira un 3,45 m<sup>3</sup>.

Bien qu'étant l'élément le plus robuste du bloc, la bouteille en est aussi le plus vulnérable. C'est pourquoi on la protège souvent par un filet, mais ceci implique aussi un entretien et une manipulation soignés.



## Les bouteilles

En acier ou en alliage d'aluminium, les bouteilles actuelles répondent à de sévères normes de fabrication.

Une réglementation spécifique s'applique à elles.



Certaines indications y sont poinçonnées :

- le nom du constructeur
- le numéro de fabrication
- la pression de service (pression maximale dans la bouteille)
- la pression d'épreuve (1,5 fois la pression de service)
- la température d'épreuve
- le gaz utilisable
- le volume intérieur

- le poids

- **Réglementation**

Nos bouteilles sont régies par des arrêtés, celui du 23 juillet 1943, celui du 20 février 1985 et celui du 18 novembre 1988 portant dérogation à ce dernier.

- arrêté de 1943 modifié : relatif à la réglementation des appareils de production, d'emmagasinage ou de mise en œuvre des gaz comprimés, liquéfiés ou dissous.

Dans le cadre de nos bouteilles et accessoires, cet arrêté précise l'obligation pour le propriétaire d'en assurer les nettoyages, réparations et remplacements en temps utile au maintien en bon état. En outre, elles doivent être vérifiées aussi souvent que nécessaire par une personne capable d'en reconnaître les défauts et d'en apprécier la gravité.

- arrêté du 20 février 1985 modifié : relatif au renouvellement de l'épreuve des bouteilles métalliques utilisées pour la plongée subaquatique.

Cet arrêté donne un délai maximal entre épreuves de 2 ans. Ce délai est applicable à toutes les bouteilles.

- arrêté du 18 novembre 1986 modifié : portant dérogation à l'arrêté du 20 février 1985. Il porte le délai entre épreuve de 2 à 5 ans pour les bouteilles répondant simultanément aux deux conditions suivantes :

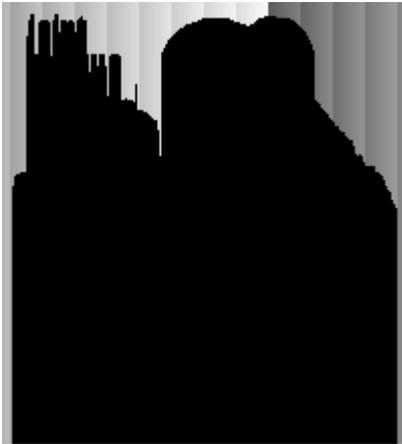
Elles appartiennent à un club fédéral (dans notre cas) ou à un de ses adhérents.  
Elles subissent une vérification au moins annuelle effectuée par un technicien compétent (TIV).

## Les robinets

La plupart des robinets sont en laiton chromé. Ils se composent d'un corps comportant le siège du détendeur et un mécanisme de conservation actionné par un volant. Ils se fixent sur la bouteille par filetage standardisé dont l'étanchéité est assurée par un joint torique. D'autres mécanismes peuvent compléter l'ensemble : un mécanisme de réserve, un tube plongeur, une pastille de surpression, un second siège de détendeur muni du dispositif de conservation (double sortie), d'un second robinet complet (pour les bi-bouteilles). Certains robinets simples ne peuvent être modifiés, mais, standardisation oblige, ils sont souvent modulables.



- **Le siège du détendeur**

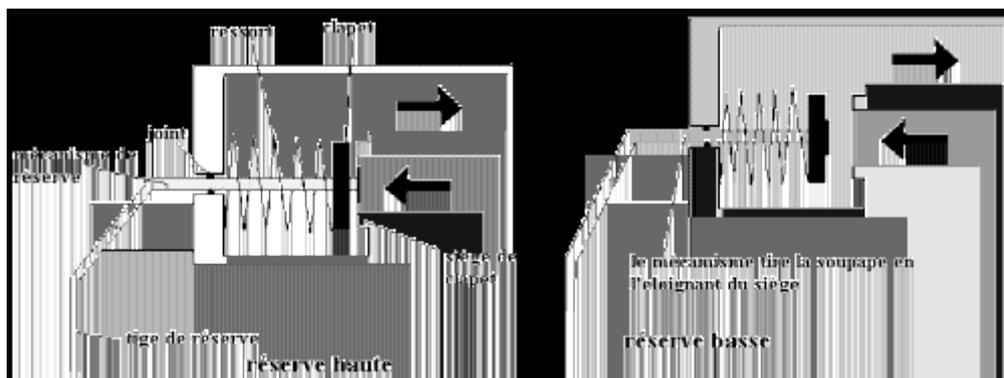


Le siège du détendeur est fonction de deux systèmes de fixation : le système à étrier et le système allemand DIN. Les robinets sont de plus en plus équipés d'un adaptateur permettant l'emploi des deux systèmes. La sortie est un filetage DIN prévu pour les détendeurs de ce système, l'adaptateur se visse en place et permet la fixation d'un détendeur à étrier. L'étanchéité entre siège et détendeur ainsi que celle de l'adaptateur, est assurée par joint torique.

- **Le mécanisme de réserve**

Son rôle est de prévenir de la panne d'air. Par action mécanique, ce système permet dans un premier temps de garder une réserve de gaz et dans un deuxième temps permet l'utilisation de ce stock.

Son principe est d'opposer à la pression sortant de la bouteille la force d'un ressort. Tant que cette pression est plus forte que le ressort, l'air sort du bloc. Mais lorsque la pression devient insuffisante, le ressort en empêche la diffusion. Un mécanisme actionné par un volant relié à la tige de réserve permet de neutraliser l'action du ressort et autorise ainsi l'exploitation de cette réserve.



Les mécanismes peuvent être étanche ou non suivant que le contact siège-clapet soit équipé d'un joint ou du type métal-métal.

Notons que ces systèmes sont de plus en plus remplacés par l'emploi d'un manomètre immergeable.

## Entretien

Par entretien, entendons **comment garder un bloc en bon état.**

Les principaux ennemis du bloc sont les chocs et surtout la corrosion. Quelques agissements simples évitent souvent beaucoup de désagréments :

- manipuler le bloc avec soin en évitant tous heurts
- signaler les chocs éventuels
- ne pas laisser un bloc en plein soleil ou dans un véhicule surchauffé
- ne jamais laisser un bloc vide et encore moins robinet ouvert
- faire fuser avant de brancher sur une rampe ou de brancher le détendeur
- ne jamais vider rapidement un bloc
- rincer quotidiennement à l'eau douce
- ne pas serrer ou desserrer trop fort le volant de conservation

A noter que les filets sont d'une bonne protection.

## Les détendeurs

- **Justification**

Un plongeur niveau 2 doit :

Connaître le principe général de fonctionnement d'un détendeur et doit savoir en assurer l'entretien quotidien.

Un plongeur niveau 3-4 doit :

Connaître le principe de fonctionnement des modèles de détendeurs les plus courants. Etre capable d'entretenir et régler son détendeur personnel ou le modèle le plus utilisé dans son club.

- **Types de détendeurs**

Comme nous l'avons constaté précédemment le but d'un détendeur est de détendre l'air haute pression HP de la bouteille en pression ambiante PA. Pour cela on a plusieurs solutions:

- Détendre l'air en une fois, détendeur à un étage type mistral.
- Détendre l'air en plusieurs fois, détendeur à 2 étages

### *Le détendeur à un étage*

#### *Principe de base*

Le boîtier du détendeur comprend 3 chambres:

- Chambre A ou arrive l'air HP de la bouteille
- Chambre B ou l'air HP se détend
- Chambre H ou l'eau vient exercer une pression sur la membrane



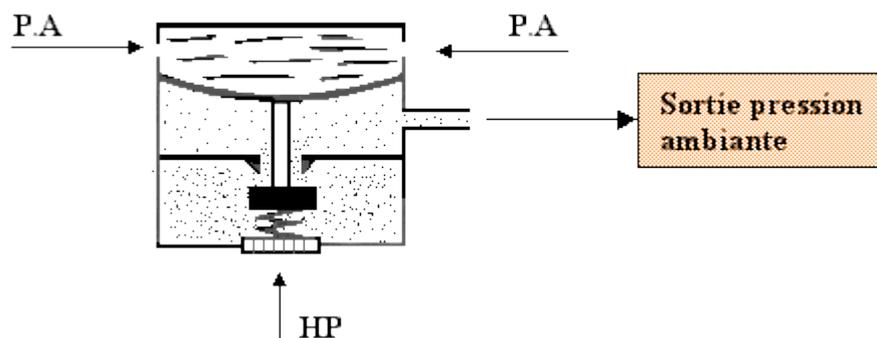
*Au repos*

La force de l'eau dans la chambre H exercé sur la membrane se trouve équilibrée par la force de l'air détendu dans la chambre B sous la membrane (détendeur mis sous pression). Rien ne se passe, le clapet empêche l'air de la chambre A de passer dans la chambre B.

*A l'inspiration*

Lorsque le plongeur inspire, il crée une dépression dans la chambre B, la membrane s'incurve vers le bas sous l'effet de la pression de l'eau, le poussoir décolle le clapet du siège. L'air HP rentre alors dans la chambre B et se détend par diminution de pression due à l'augmentation de volume. Loi de Mariotte.

**Le plongeur respire de l'air à la pression ambiante**



*A l'arrêt de l'inspiration*

L'état d'équilibre s'installe de nouveau, la membrane revient en position initiale, le clapet revient au contact du siège et bloque l'arrivée de la HP.

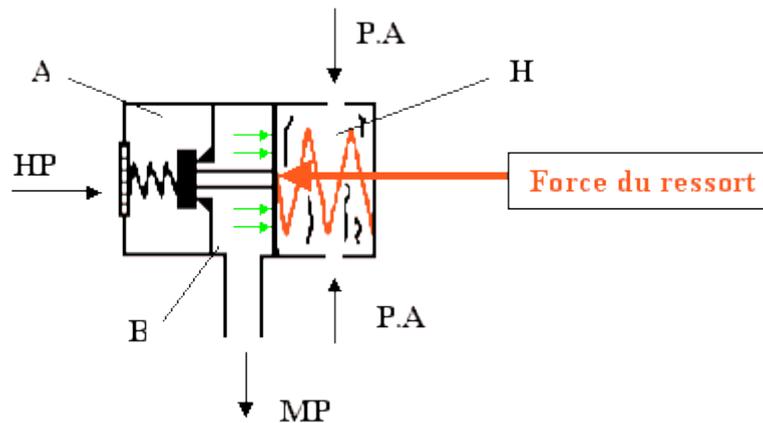
## Le détendeur à deux étages

### *Principe de base*

Le premier étage a pour rôle de détendre l'air haute pression en pression moyenne (7 à 10 bars) puis le deuxième étage détend cette pression moyenne en pression ambiante.

Le boîtier du 1<sup>er</sup> étage comprend trois chambres:

- Chambre A ou arrive l'air HP de la bouteille
- Chambre B ou l'air HP se détend et ce transforme en moyenne pression
- Chambre H ou l'eau + le ressort viennent exercer une pression sur la membrane



### *A la mise sous pression*

La force de l'eau dans la chambre H et la force du ressort exercé sur la membrane se trouve équilibrée par la force de l'air détendu dans la chambre B sous la membrane, celle-ci remonte et ferme le clapet.

Analyse des pressions

La MP est égale à la force du ressort plus la pression ambiante

Equation:  $MP * S = PA * S + F_{ressort}$

### *A l'inspiration*

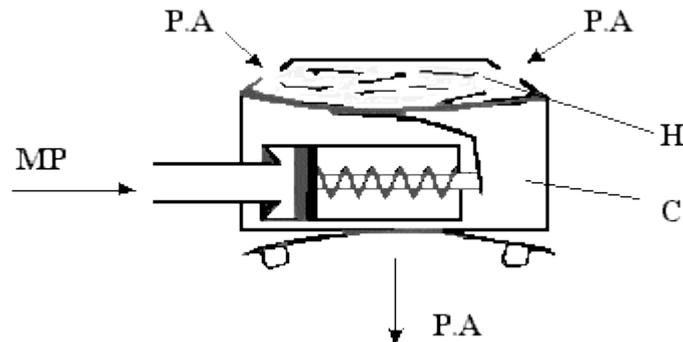
Lorsque le plongeur inspire il crée une dépression dans la chambre B, sous l'effet de cette dépression la membrane s'incurve vers le bas et ouvre le clapet par le biais du pointeau. L'air HP rentre alors dans la chambre B et se détend à la pression ambiante.

### *A l'arrêt de la respiration*

L'état d'équilibre s'installe de nouveau, la membrane revient en position, le clapet revient au contact du siège et bloque l'arrivée de la HP.

Le boîtier du 2<sup>ème</sup> étage comprend deux chambres:

- Chambre C ou arrive l'air MP.
- Chambre H ou l'eau vient exercer une pression sur la membrane.



*A la mise sous pression*

La force de l'eau qui s'exerce sur la membrane se trouve équilibrée par la force de l'air MP arrivant du premier étage et détendu à la pression ambiante, il y a équilibre des pressions.

*A l'inspiration*

Le plongeur crée une dépression dans la chambre C, la membrane s'incurve vers le bas et ouvre le clapet. L'air MP rentre dans la chambre C et se détend à la pression ambiante.

*A l'arrêt de la respiration*

L'état d'équilibre s'installe de nouveau, la membrane revient en position et ferme le clapet d'arrivée de la MP.

#### • **Entretien quotidien**

- Pas de chocs ni d'écrasements: en prendre soin.
- Ne pas le laisser grée sur la bouteille au soleil.
- Après la plongée le rincer à l'eau douce, sans mettre d'eau dans le filtre
- Ne pas fermer avec le bouchon avant de l'avoir sécher car l'humidité ne peut pas s'évaporer.
- Surveiller l'aspect du filtre et la souplesse d'inspiration.
- Ne pas le bricoler soi-même.

- Le laisser réviser une fois par an.
- Demander conseil avant d'en acheter un.

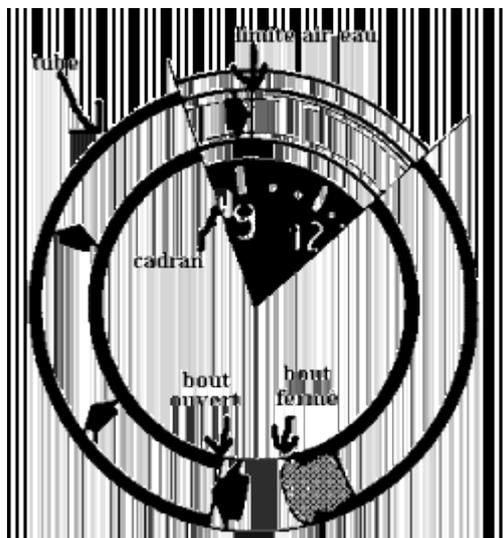
## Les manomètres et profondimètres

Ces genres d'appareils mesurent une pression. Ils sont gradués soit en bars (manos), soit en mètres (profondimètres). Ils fonctionnent suivant des lois physiques de 3 types :

- la loi de Mariotte (compressibilité des gaz)
- tube de Bourdon (déformations mécaniques)
- à membrane (déformations élastiques)
- 

Nous verrons d'abord le principe technologique de chaque type puis leurs applications en plongée avec les limites et conséquences de leur emploi.

### • Type "loi de Mariotte"



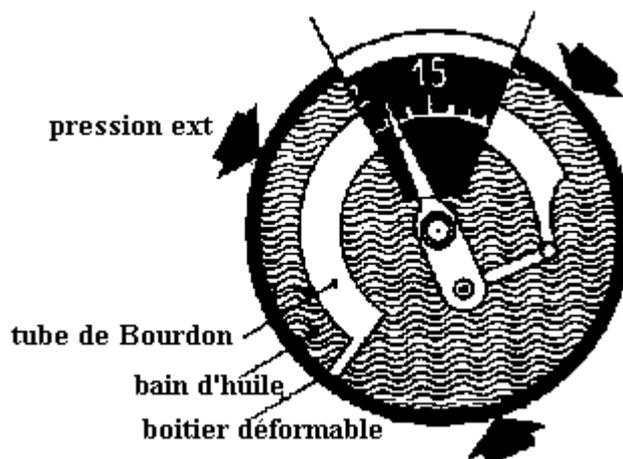
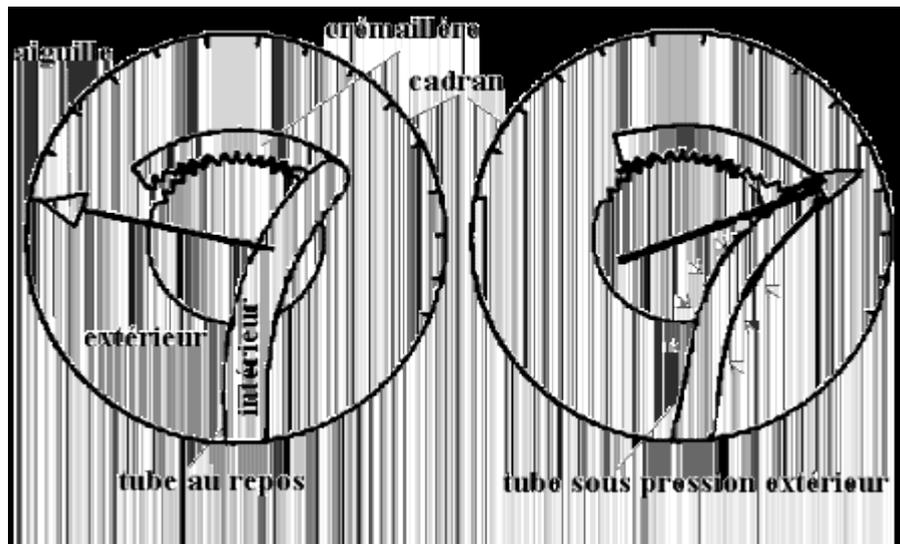
Leur principe est simple. Il repose sur la compressibilité des gaz et le rapport de pression entre ce gaz et le liquide que l'on veut mesurer. Ces appareils se composent d'un tube transparent ouvert d'un bout et fermé de l'autre, d'une échelle de mesure et parfois d'un index pour matérialiser la séparation des fluides. Lorsque les pressions de ceux-ci sont égales, l'index est au bout ouvert du tube. Lorsque la pression du liquide augmente, elle pousse l'index et comprime le gaz dans le tube. Lorsque la pression extérieure est le double de la pression dans le tube, l'index est à la moitié du tube. Si la pression extérieure double encore, il sera aux  $\frac{3}{4}$  et ainsi de suite, suivant la loi de Mariotte. Constatons que les variations de pression sont plus perceptibles à pression relative faible. Ils sont très précis aux profondeurs des paliers, mais la difficulté de lecture augmente avec la profondeur. Ces profondimètres sont aussi appelés capillaires.

En plongée, ce principe n'est applicable que pour des profondimètres. Sur l'échelle de graduation la pression est convertie en mètres, la pression de départ étant la pression atmosphérique du lieu. Puisque d'autre part, ces profondimètres fonctionnent sur le rapport de pression, pour une plongée en altitude, la **profondeur lue est la profondeur fictive d'entrée**

**dans les tables.** Ils sont difficiles à lire pour de grandes profondeurs mais très précis aux faibles, comme les paliers.

A noter également que la température influe sur l'indication donnée, en indiquant quasiment toujours une profondeur supérieure à la profondeur réelle.

#### • 4.2. Le tube de Bourdon



Cet appareil fonctionne suivant la déformation élastique d'un tube en bronze ou acier inoxydable courbe dont l'intérieur et l'extérieur représentent des milieux différents à des pressions différentes. Il y a donc un milieu intérieur et un milieu extérieur au tube. L'un de ces milieux est isolé, l'autre est soumis à la pression à mesurer. Puisque le tube est courbé, les surfaces d'appui de la pression sont différentes, les forces exercées sont donc inégales. Le tube se déforme en entraînant une aiguille à l'aide d'une crémaillère.

Principe adaptable aux manomètres et aux profondimètres. Un milieu est étanche et l'autre souvent à bain d'huile. Les profondimètres sont étalonnés au niveau de la mer ; ceci implique que, pour la plongée en altitude, la profondeur lue doit être corrigée : la **profondeur réelle** est égale à la **profondeur lue plus la différence de pression atmosphérique donnée en profondeur**.

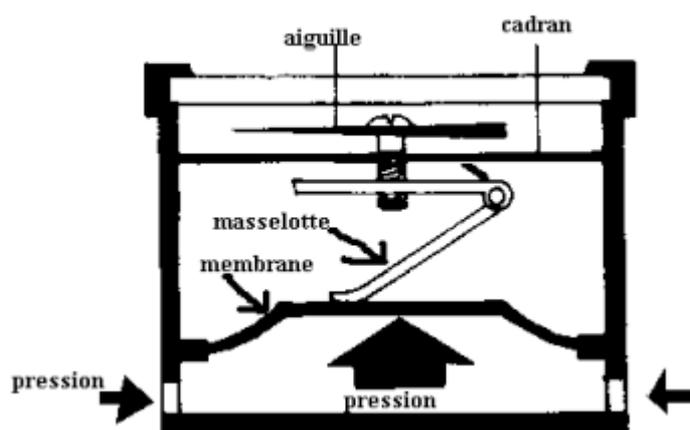
Exemple :  $P_{atm}=0.8 \text{ b} \rightarrow \Delta D = (1-0.8) \cdot 10 = 2\text{m} \rightarrow \text{corriger } D_{lue} + 2\text{m} = D_{réel}$



**Attention** cette profondeur corrigée est la profondeur réelle et non la profondeur fictive d'entrée des tables.

Les **profondimètres à cadran réglable** compensent la différence de profondeur par la mise à zéro avant le départ

- **A membrane**

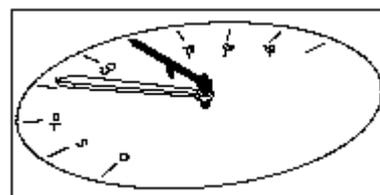


Composé de 2 chambres, l'une étanche, l'autre humide, séparées par une membrane dont la déformation élastique entraîne une masselotte qui coulisse sur un pas de vis et transforme le mouvement rectiligne de la membrane en un mouvement de rotation de l'aiguille.

La même correction de profondeur que précédemment est à appliquer.

- **Aiguille traînante**

Sur certains profondimètres, l'aiguille de profondeur instantanée en entraîne une autre lorsque la profondeur augmente, mais sans que celle-ci qui ne puisse revenir en arrière. Elle indique donc la profondeur maximum de la plongée. Le retour à zéro se fait manuellement avant une nouvelle plongée.



## Le gilet

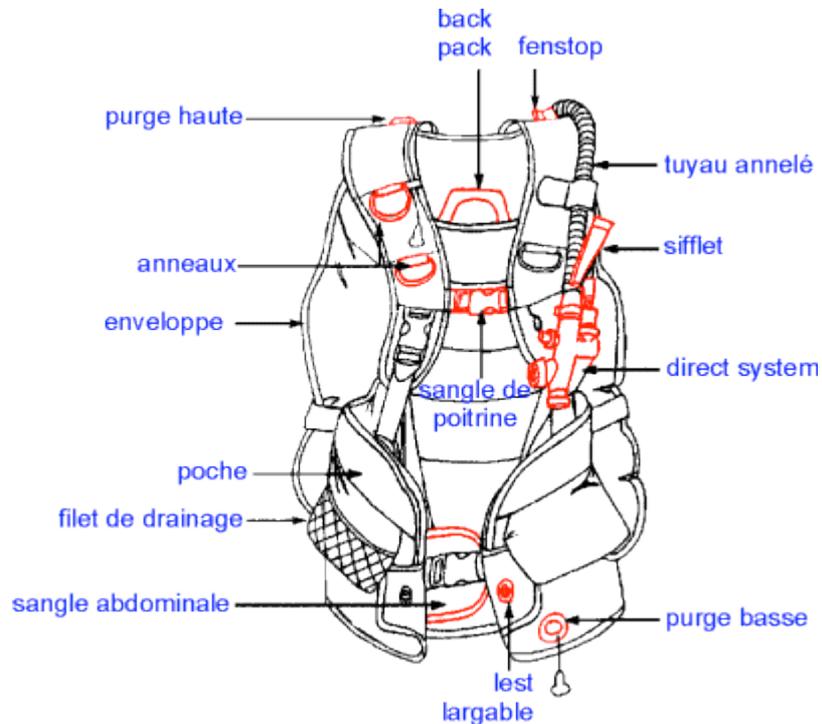
Élément de confort mais aussi de sécurité, le gilet est devenu un élément indispensable. Son rôle principal est l'équilibrage. Plusieurs gammes sont disponibles :

- les intégraux, ils ont une bonne répartition des volumes est de ce fait la stabilité du plongeur est parfaite, produit très personnel dont il faut choisir la bonne taille.
- les réglables, ils s'adaptent plus facilement aux morphologies et sont plus facile à enfiler, le volume se trouve surtout sur les flancs ce qui peut être gênant à volume important, Ils prennent moins de place dans la valise que les intégraux.
- les gilets à flottabilité dorsale dont l'avantage est de rapprocher la ligne d'action de la poussée de la ligne d'action du poids.

Le gilet se compose d'une enveloppe, d'un sanglage et d'un back pack recevant le bloc. Il est équipé d'un inflateur et de purges hautes et/ou basses. Ces accessoires permettent de gonfler ou vider le gilet plus ou moins rapidement.

Certains gilets sont équipés de poches à lest largable.

Des stabs haut de gamme peuvent avoir une enveloppe double, c'est à dire que la gaine tissus extérieurs contient une vessie gonflable.



### • L'inflateur

L'inflateur comprend :

- le direct système, relié à la moyenne pression du détenteur, il permet le gonflage rapide du gilet.
- l'insufflateur permet le gonflage buccal ou un vidage lent, en cas de nécessité il peut aussi servir à la respiration voir de détenteur de secours (exp. type air 2).
- certains inflateurs sont reliés à un fenstop permettent un vidage rapide, mais toutefois plus lent qu'avec les purges.

### • Entretien

Comme tout matériel de plongée, le stab doit être rincé à l'eau douce. L'enveloppe tissu supporte de temps en temps un coup de brosse douce pour éliminer le sel ou de sable ayant pu se coincer dans les fibres.

L'intérieur doit être rincé. Vérifiez aussi l'étanchéité des purges et du direct système. Les gilets double-enveloppe ont un autre inconvénient : des grains de sable ou des amas de sel peuvent se glisser entre celle-ci et par frottement user prématurément la vessie. Afin d'éviter que l'enveloppe ne se colle sur elle-même, stockez le gilet suspendu en laissant de l'air dedans.

## Le masque

Le masque doit être choisi avec soin. Il doit plaquer parfaitement au visage. Pour vérifier ce fait, mettez le masque sur le visage sans la sangle et inspirez légèrement. Si le masque tient tout seul, il y a de bonnes chances qu'il soit à votre taille. Veillez à ce que la jupe du masque soit bien souple et suffisamment large pour assurer une étanchéité de tout instant. Pour ma part, j'ai opté pour un masque à jupe en silicone, c'est très doux et très souple. Néanmoins certaines peaux sont allergiques au silicone, optez alors pour le caoutchouc. Le volume intérieur du masque ne doit pas être trop important. Mais souvent plus le champ de vision est large, plus le volume est important. Dans ce cas, Il faut trouver un compromis surtout si ce même masque vous servira également à faire de l'apnée. Et pour ceux qui, comme moi, ont des problèmes de vue, il existe, à prix raisonnable, des verres correcteurs pour masques de plongée. C'est un investissement à envisager sérieusement quand on plonge régulièrement.

## Le Tuba

Le tuba est cet engin qui vous permet de respirer en surface. En plongée, on le laisse sanglé contre le masque ou on l'accroche à la sangle du couteau. On peut en trouver avec embout flexible et/ou soupape de purge, droits ou courbés. L'important est que votre tuba ne vous blesse pas les gencives et que son diamètre soit suffisant pour respirer sans peine. Les clapets et autres boules de ping pong sont à proscrire, de même que les ensembles masque-tuba emboîtés.

## Les Palmes

Les palmes... On en voit de toutes les couleurs, de toutes tailles. Les vôtres doivent être adaptées à votre physiologie et musculature. Plus elles seront longues et rigides, plus elles seront fatigantes quoique puissantes. Elles peuvent être chausantes ou réglables. Elles doivent, en tous cas être confortables et adaptées à votre pointure (incluant vos chaussons isothermes). Attention! une paire mal choisie peut vous blesser rapidement le pied. Je peux difficilement vous donner d'autres conseils puisque les critères de choix sont éminemment personnels. Tout ce que je peux dire, c'est que j'ai une paire de chausantes simples pour l'entraînement en piscine, et une paire de réglables à tuyères courtes et rigides pour la plongée. Réglables pour rentrer ou sortir facilement le pied; ça n'a l'air de rien mais avec 30 kg de matériel sur soi, on apprécie la simplicité. Courtes car je n'aime pas m'emmêler les pinces sur un pont de bateau en compagnie d'une vingtaine de congénères également

palmés. A tuyères, car je trouve que l'effort est bien réparti sur toute la largeur de la palme et qu'ainsi, elle ne se déforme pas. Rigides enfin, pour répondre immédiatement et fermement à mes sollicitations

Je ne suis donc pas cette mode qui voudrait qu'on porte des palmes de chasse pour tout et n'importe quoi.

## Le Lest

A propos de ceinture de plomb. Il faut bien parler du lest car, bien que l'ensemble de ce que vous portez sur le dos vous ôte toute possibilité de courir un 100m, vous ne pourrez jamais descendre sous l'eau sans être un tant soit peu lesté. Vous porterez donc une ceinture de lest (ou un baudrier en cas d'utilisation d'une combinaison sèche) et peut-être des chevillères lestées. Qui dit lest dit plomb ou grenaille, en blocs (500g 1kg 2kg) ou en sachets. Ce sera selon votre matériel.

Un défaut fréquent chez beaucoup de plongeurs consiste à être surlesté. Un bon lest selon la FFESSM permet d'être équilibré à 3m sous l'eau, bouteille vide. Un bon lest selon PADI permet d'avoir de l'eau jusqu'à mi-masque en surface.

Un surlestage est fatiguant tant en surface que sous l'eau, d'où consommation d'air et risque d'essoufflement. Vous devrez également solliciter plus souvent votre gilet et gaspiller ainsi de l'air de votre bouteille. Dans tous les cas vous êtes perdant.

Un deuxième défaut consiste à mal utiliser son gilet pour rééquilibrer le poids apparent sous l'eau. C'est ainsi qu'il n'est pas rare de voir des plongeurs nager contre le fond (on dit labourer) au détriment de la flore et de la faune. On en voit également palmer pour lutter contre la gravité. Gonflez correctement votre gilet et utilisez au mieux vos poumons pour corriger votre assiette (technique du poumon ballast).

## Le couteau

Et si on parlait du couteau. Bien que certains le considèrent de toute évidence comme un substitut phallique, j'affirme ici que ni sa grande taille, ni sa manipulation ostentatoire ne sont gage d'efficacité. En effet, un bon couteau est avant tout susceptible de bien couper, ce qui n'est pas toujours le cas des couteaux de plongeurs.

Peu importe la taille donc, il doit être correctement affûté. D'autre part, vous remarquerez à l'usage que ces petites bêtes résistent mal à la corrosion, quelle que soit la marque ou quel que soit le prix (La partie où la lame s'emboîte dans le manche est particulièrement sensible à la corrosion). Rincez donc votre couteau à l'eau douce dès votre retour sur la terre ferme. Et, petit conseil de l'amateur, procurez-vous dans un magasin d'électronique une bombe aérosol de lubrifiant désoxydant spécial contacts. Votre couteau étant bien sec, vous lui donnerez une petite giclée de produit avant de le ranger.

Le posséder n'est pas une obligation réglementaire mais sa présence rassure, surtout quand on

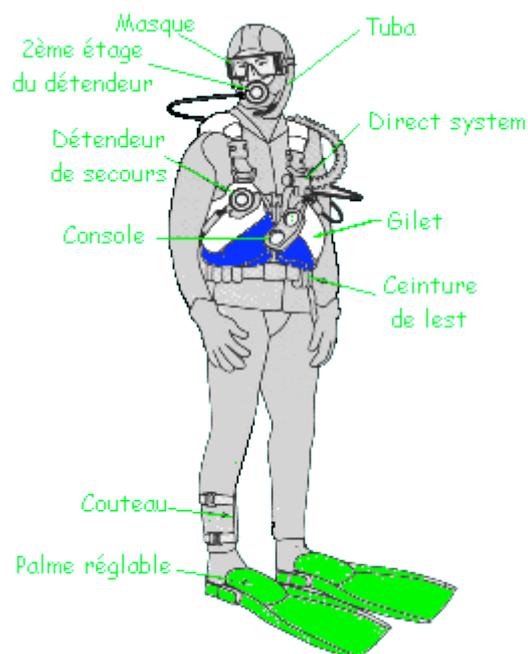
a le pied pris dans un vestige de filet... Que ce soit à 3m ou à 30 mètres de fond, sans l'ustensile, vous êtes peut-être alors fait comme un rat.

## La boussole ou compas

Les compas sont bien utiles pour s'orienter. Quand on perce à 500m du bateau et qu'il faut alors faire le chemin à la palme en surface, on a le temps de ruminer l'idée qu'on aurait préféré remonter le long du mouillage de ce même bateau. Le compas n'est néanmoins pas le seul moyen de s'orienter, dieu merci.

Tous ces "engins" peuvent être portés au poignet ... ou ailleurs. Un jour, à force de me trinbaler avec ma bimmeloterie, j'en ai eu marre. Depuis, j'ai les bras libres de toute entrave, d'où l'extension de ma console, et l'utilité très appréciable de mes anneaux de gilet.

Et maintenant, voilà à quoi vous allez ressembler:



## Lexique

### **fluides :**

corps qui n'as pas de forme propre (liquide et gaz), par opposition aux solides.

### **déformation élastique :**

déformation subie par un corps solide sous l'action d'une force et qui cessera dès que cessera l'action de la force.

### **masselotte :**

pièce d'un système mécanique agissant par son inertie

**capillaire :**

fin comme un cheveu

**point mort haut :**

point le plus haut atteint par un piston (fin de la remontée, juste avant de redescendre)

**point mort bas :**

point le plus bas atteint par un piston, opposé au PMH

## Abréviations

P = pression

D = profondeur

V = volume

S = surface

PS = pression de service

PE = pression d'épreuve

PA = pression ambiante

HP = haute pression

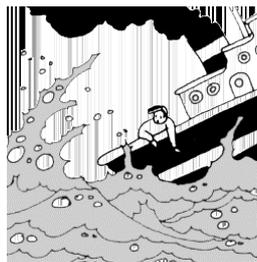
MP = moyenne pression

PMB = point mort bas

PMH = point mort haut

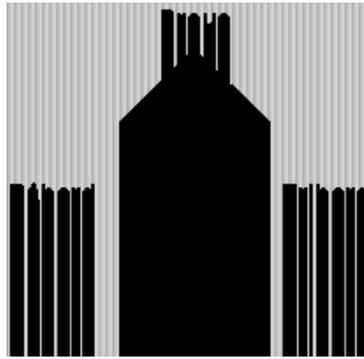
## Matelotage et Navigation

Tout plongeur, même niveau 2, peut être amené à aider aux manœuvres courantes sur un bateau. Il doit donc comprendre le vocabulaire technique du capitaine et savoir-faire les nœuds les plus usuels.



## Le vocabulaire sur un bateau

Sur un bateau, les mots droite et gauche, devant et derrière, n'existent pas. Il y a un vocabulaire bien particulier pour désigner les 4 cotés d'un bateau



De plus, certains objets ont des noms bien particuliers.

- **Bout**

Tout cordage

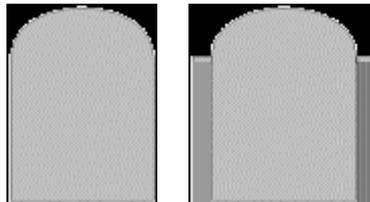
- **Taquet**

Pièce en bois ou métallique pour amarrer un bout



- **Bitte**

Pièce en bois ou métallique solidement fixée sur le quai ou le pont, autour de laquelle on amarre un bout



- **Pare-battage**

Bouée servant à protéger la coque des chocs extérieurs comme le quai ou les autres bateaux

- **Ancre**

Objet métallique, relié par un bout ou une chaîne, servant à immobiliser un bateau



- **Grappin**

Petit ancre repliable

- **Gaffe**

Long bâton terminé par une pointe ou un crochet servant à repousser ou à crocheter



- **Cap**

Direction à prendre

- **Amers**

**But** : Retrouver un point précis au large d'une côte avec des moyens simples

**Technique** : Il faut avoir 2 alignements de 2 points

Exemple :

Sur la carte on aura :

Ce qui donnera dans une direction :



Et dans l'autre :



## Équipement obligatoire sur un bateau de plongeurs

- un moyen de communication permettant de prévenir les secours (VHF)
- une trousse de secours dont le contenu minimum est :
  - Des pansements compressifs
  - Un antiseptique local
  - Une crème antiactinique
  - Un bandage
  - De l'aspirine en poudre non effervescente.
  - de l'eau douce potable non gazeuse
  - Le matériel d'oxygénothérapie (bouteille + accessoires)

- une bouteille d'air de secours équipée de son détendeur
- une couverture isothermique
- un moyen de rappeler un plongeur en immersion depuis la surface (pétard de rappel)
- Drapeau de plongeur
- Une tablette de notation (en cas d'accident)
- Un jeu de tables permettant de vérifier ou recalculer les procédures de remontées des plongées réalisées au-delà de l'espace proche

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

## Les nœuds

- **Nœud d'arrêt**



### *Utilité*

Amarrer un bout autour d'une bitte ou d'un mât

### *Avantage*

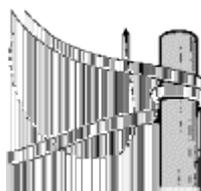
Simple à faire

### *Inconvénient*

Ne peut pas être fait sur un anneau

### *Technique*

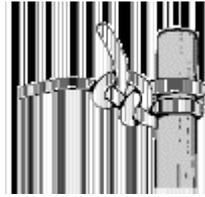
1. faire un tour mort
2. faire une demi-clef



3. faire une deuxième demi-clef



4. Le nœud est fini



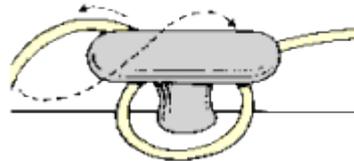
• **Tours de taquet**

*Utilité*

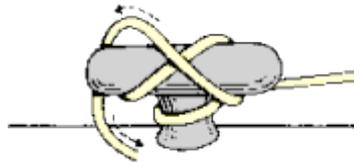
Amarrer un bout au taquet d'un bateau

*Technique*

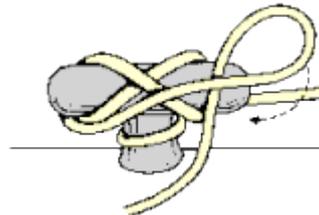
1. Faire un tour de taquet



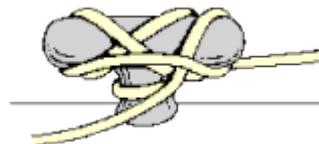
2. Faire 2 ou 3 tours croisés



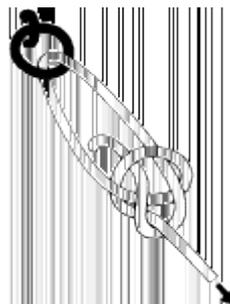
3. Terminer avec une demi-clef



4. Le nœud est fini



• **Nœud de Chaise**



Utilité

C'est le nœud le plus utile en tous. C'est un nœud universel, il peut servir :

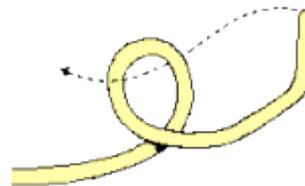
- Pour l'amarrage à un anneau, une bitte, un mât, ...
- Pour attacher une bouée, ...
- Pour relier 2 bouts ensemble
- Pour le transport d'un blessé

Avantage

Facile à défaire, même après qu'il ait été mouillé et sous tension

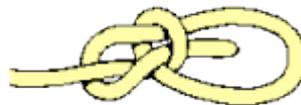
Technique

1. Faire une boucle avec le tirant en bas
2. Passer dans le boucle par le bas



3. Passer derrière la tirant
4. Repasser dans le boucle

5. Le nœud est fini

Autre Technique

Cette autre technique est plus rapide.

La main gauche (pour les droitiers) tient le bout qui tire et le retient tenu.

On passe l'extrémité avec la main droite dans l'anneau ou derrière la bitte.

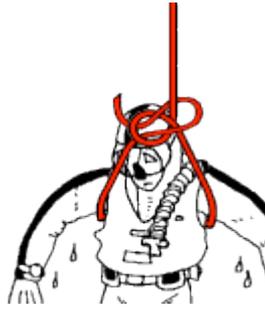
Puis l'avant bras effectue une rotation autour du bout près de la main qui tend, afin de constituer une petite boucle lâche autour du poignet.

Avec les doigts, passer le brin derrière le bout.

Le reprendre, et tirer en dégageant le poignet de la petite boucle.

Le nœud de chaise est fait.

Cette technique est très efficace pour encorder un plongeur en détresse ou soit même.



- **Nœud de Cabestan**



*Utilité*

Amarrage à une bitte ou un mat

*Inconvénient*

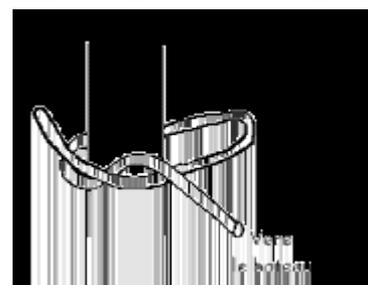
A ne jamais faire à un anneau  
Très tendu et mouillé, il est difficile à défaire

*Technique pour un mât*

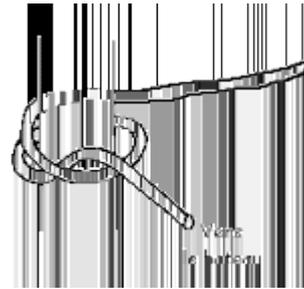
1. Faire le tour du mat ou de la bitte



2. Repasser sous le tirant

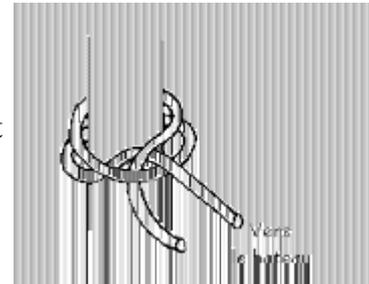


3. Refaire un tour



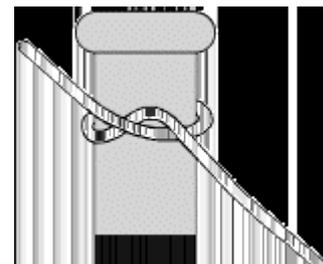
4. Passer dans la 1<sup>ère</sup> boucle dans le sens inverse du tirant

5. Terminer par 2 demi-clef si nécessaire

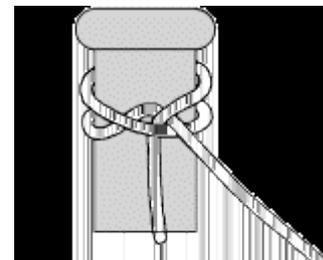


Technique pour une bitte

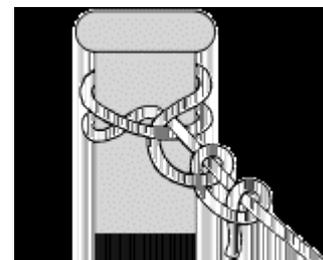
1. Passer une première boucle par-dessus la bitte en gardant le tirant en dessous



2. Passer une deuxième boucle retournée par dessus la bitte



3. terminer si nécessaire par 2 demi-clefs



• **Nœud de Cabestan (préparé)**

On peut aussi préparer ce nœud à l'avance

Technique

Bras croisés, saisir le bout avec les deux mains dans le même sens, paumes vers le bas  
 Décroiser les bras et passer une boucle derrière l'autre  
 Le nœud de cabestan est fait. On peut le poser ainsi sur une bitte  
 Le tendre et au besoin terminer avec deux demi-clefs

#### Avantage

Il est très vite fait.  
 Il peut être préparé à l'avance.  
 Il est très vite posé.

#### Inconvénient

Il faut pouvoir le poser sur une bitte  
 On ne peut pas le faire sur un mât

### • Lancer un bout

#### Utilité

Lancer une amarre à quai par exemple

Pour lancer un bout à plusieurs mètres, il faut :

- Qu'il ne s'emmêle pas en l'air.
- Qu'il se dévide facilement.
- Qu'il atteigne son but.
- Qu'il ne file pas en totalité.

#### Technique

Amarrer l'extrémité inférieure pour que tout le bout ne file pas  
 Saisir l'extrémité supérieure avec la main qui va lancer  
 Faire 6 grandes boucles  
 En conserver 3 dans la main qui va lancer et en poser 3 sur l'autre main à plat  
 Un mouvement d'élan et de visée et on lance le bout, à bras tendu, en direction de l'objectif  
 L'autre main laisse les boucles se dévider

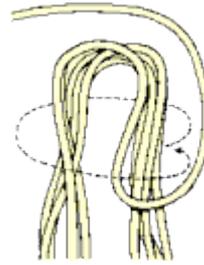
### • Ranger un bout

#### Utilité

Il est très important de bien ranger un bout dont on ne se sert pas ou qui est trop long. On évitera ainsi de se prendre les pieds dedans.

#### Technique.:

1. Lover le bout dans le sens des aiguilles d'une montre
2. Faire 2 à 3 tour du bout



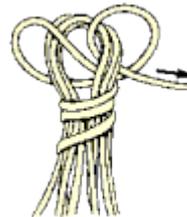
3. Passer une boucle dans le bout



4. Agrandir la boucle et la passer par dessus le bout



5. Resserrer la boucle



6. La corde peut être ranger



## Législation et Plongée

### Les Associations

Les associations : De type loi du 1er Juillet 1901 et 1908

- **Principe**

Une convention par laquelle deux ou plusieurs personnes mettent en commun, d'une façon permanente, leurs connaissances ou leur activité dans un but autre que de partager des bénéfices.

- **Les différents types**

*Non déclarée*

- Pas de protection du nom de l'association
- Les biens qui servent au fonctionnement de l'association, sont la propriété personnelle des membres de l'association, ils n'appartiennent pas à cette association
- Pas de possibilité d'acheter des biens en son nom propre
- Pas de possibilité d'ester en justice en tant que personne morale. C'est à dire devant les tribunaux, les représentants de l'association le feront en leur nom propre, et non pas comme représentant de l'association
- Pas de possibilité d'ouvrir un compte, soit bancaire, soit postal, dans la mesure où l'association n'a pas de bases juridique stables
- Pas de possibilité d'appartenir à une Fédération sportive

Ce type d'association n'est pratiquement pas employé

*Associations déclarées*

Type la plus utilisée :

Après avoir été déclarée, suivant un processus très précis, l'association dispose alors, de ce que l'on appelle « LA PETITE PERSONNALITE JURIDIQUE ». Celle ci l'autorise à faire tout ce qui n'était pas du domaine de l'association non déclarée

- Percevoir des cotisations
- D'établir des licences
- D'obtenir des subventions de la part de l'état et des collectivités locales, à condition que ces associations soient agréées

Par contre, elles ne peuvent recevoir ni dons, ni legs

*Associations déclarées reconnues d'utilité publique  
(R.U.P.)*

Elles jouissent de prérogatives plus étendues

Elles ont la possibilité de percevoir dons et legs. Cette reconnaissance d'utilité publique est donnée sur décret du Conseil D'état, ce qui limite considérablement le nombre des associations reconnues

Cette reconnaissance confère à l'association, le statut de « GRANDE PERSONNALITE JURIDIQUE »

## Création d'un Club

Pour créer une association il faut respecter un certain nombre de démarches administratives que l'on se doit de connaître, afin de donner à son association, sa véritable valeur JURIDIQUE.

- **Dénomination**

Lui donner un Nom. Exemple : club Suba Plongée ou Club des dauphins d'Ensisheim

- **Objet de l'association**

Il faut que dans les statuts, paraisse le but, objet de toutes les activités que vous avez choisies de faire au sein de cette association

- **Le siège social**

Il peut être n'importe où, sauf pour les Départements du Haut Rhin, Bas Rhin et Moselle, qui ne sont pas régies par le régime générale 1901, mais 1908.

- **La durée**

Celle-ci doit être mentionnée. Si la limite n'est pas précisée la durée est dite 'illimitée'

- **Composition**

Les types de membres :

- membres actifs : ceux qui participent aux activités
- passifs : sympathisants, soutien financier

- **Démarche à suivre**

- a) Se regrouper, préparer les statuts
- b) Convoquer une AG constitutive, adopter les statuts et élire le CD
- c) Déclaration au tribunal, préfectures et autres
- d) Insertion au Journal Officiel
- e) Demander l'affiliation à une fédération
- f) Demander l'agrément Jeunesse et Sports

## Généralités administratives d'un Club

- **Entrée et sortie des membres**

La liberté fait que l'on ne peut contraindre personne à entrer dans une association. Par contre, elle peut interdire l'accès à quelqu'un, si cela est prévu dans les statuts. L'entrée se fait, soit par cooptation, soit par parrainage, soit par paiement d'une cotisation. Il faut différencier le départ volontaire des membres, de l'exclusion. Suivant les statuts, un membre exclu peut intenter un recours devant les tribunaux.

- **Rôle du Comité Directeur**

Il dirige l'association. Ces pouvoirs sont définis par les statuts et par le règlement intérieur. Il est responsable devant l'assemblée générale. C'est le pouvoir exécutif.

- **Durée du mandat**

Il doit être précisé dans les statuts, tous les ans, tous les quatre ans, voir six ans. Renouvelable par tiers, le choix est laissé aux membres fondateurs.

- **Le bureau**

Président - Secrétaire - Trésorier

- **Assemblée Générale**

C'est le pouvoir législatif de l'association

- **Assemblée générale constitutive**

C'est elle qui permettra de faire adopter des statuts et d'élire le premier Comité de Direction. C'est donc la toute première réunion avant la création.

- **Assemblée générale ordinaire**

Elle est convoquée au moins une fois par an. Les convocations doivent préciser l'ordre du jour.

- **Assemblée générale extraordinaire**

Elle est spécifique et différenciée strictement de l'assemblée générale ordinaire, même si elle a lieu le même jour. C'est elle seule qui permet de modifier les statuts. Son but est donc de :

- réformer les statuts

- dissoudre l'association
- changer de siège social, de nom

Une fois les statuts adoptés et l'élection du bureau, il faut faire la déclaration (Tribunal, Préfecture et sous Préfecture). L'insertion au journal officiel, première étape de création : carte d'identité du club.

## LA FFESSM



### FEDERATION FRANCAISE D'ETUDE ET DE SPORTS SOUS-MARINS

Créé en 1955 par J.F. Borelli et de Dr Clerc, son siège est au 24 Quai de Rive Neuve 13007 MARSEILLE

- **Le personnel fédéral : Les bénévoles**

Le principe d'une association est le bénévolat. Notre fédération n'échappe pas à cette règle.

- **Le Président actuel**

Francis IMBERT

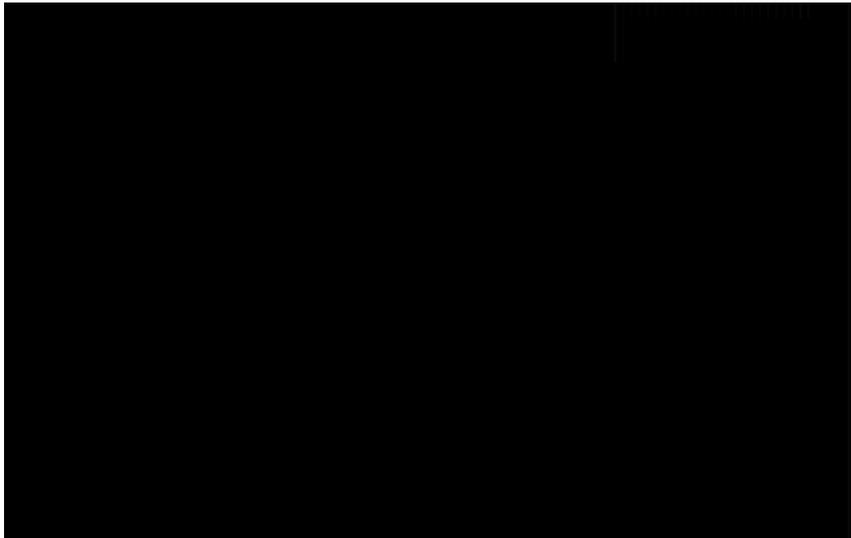
- **Le personnel rémunéré**

Le directeur : André VESDRINES La secrétaire et tous les cadres techniques, qui sont des fonctionnaires d'état, mis à la disposition des Fédération. Ils dépendent du Ministère de la Jeunesse et des Sports (BEES 2°). Le cadre le plus élevé est le Directeur Technique National : René CAVALLO

- **Composition**

Elle est constituée d'associations de type loi 1901/1908. Le club est 'la cellule mère' de toute la Fédération.

- **Organigramme Fédéral**



- **Le Comité National**

Le Comité Directeur : 20 membres

Le Bureau : 9 membres

Composition du Comité

- Le Président
- Un Président Adjoint
- 3 Vice Président
- 1 Secrétaire Général
- 1 Secrétaire Adjoint
- 1 Trésorier Général
- 1 Trésorier Adjoint
- + 11 membres

Dont

- 2 femmes
- 2 sportifs de haut niveau
- 1 éducateur sportif
- 1 médecin
- 1 représentant du sport corporatif

Il est élu pour 4 ans par l'assemblée Générale

Attribution les plus étendues sauf celles propres à l'AG

Au moins 3 réunions par an

Le Président est élu par l'AG sur proposition du Comité Directeur National

- **Les Comités Régionaux (ou Interrégionaux)**

- Ce sont des décentralisations de la FFESSM auprès des régions
- Elus pour 4 ans par l'AG
- Ils organisent les championnats régionaux. Préparent les championnats nationaux
- Ils promulguent les règlements

- Organisent des stages de formations, nomment les jurys pour certains brevets
- Délivrent les brevets

- **Les comités régionaux**

0101	Guadeloupe
0102	Martinique
02	Atlantique Sud
03	Bretagne Pays de Loire
04	Corse
05	Cote d'Azur
06	Est
07	Ile de France
08	Languedoc Roussillon

09	Nord
10	Nouvelle Calédonie
11	Polynésie
12	Provence
13	Réunion
14	Rhône Alpes Bourgogne
15	Normandie

- **Les Commissions**

*Commissions « Sportives »*

- Pêche sous-marine et plongée en apnée
- Hockey subaquatique
- Nage avec palmes
- Nage en eaux vives
- Orientation
- Technique
- Tir sur cible subaquatique

*Commissions « Culturelles »*

- Archéologie
- Audiovisuelle
- Biologique
- Plongée souterraine

*Commissions « Administratives »*

- Corporative
- Juridique
- Médical et Prévention
- Représentation des jeunes et organisations de leurs compétitions

*Composition*

Constitués des délégués de clubs qui élisent un bureau de CR et leur délégué au niveau de la commission nationale

- **Les Comités Départementaux**

A l'origine le but des Comités Départementaux était d'obtenir un budget du conseil général.

Les CD n'interviennent pas dans la structure fédérale.

Les CD ont une vie propre mais peuvent ou ne peuvent pas avoir une relation avec leur Comité Régional.

Ils sont facultatifs mais fortement conseillés

- **Le Club**

C'est la cellule mère de notre fédération, qui élit les instances départementales, régionales et nationales.

Le club est le détenant du pouvoir législatif.

C'est le club qui par ses pouvoirs étendus décide du sort de la Fédération et des choix de ses orientations.

## Décentralisation des Institutions

	Collectivités territoriales	Structures sportives	Service de L'Etat
Echelon national		CNOS & FEDERATION	Ministère Charge des Sports
Echelon Régional	Conseil Régional	CROS & Ligues ou Comités Régionaux	Direction Régionale Jeunesse et Sport (DRJS)
Echelon Départemental	Conseil Général	CDOS & Comités Départementaux	Direction Départementale (DDJS)
Echelon Local	Conseil Municipal	Associations Sportives & Office Municipal des Sports (OMS)	

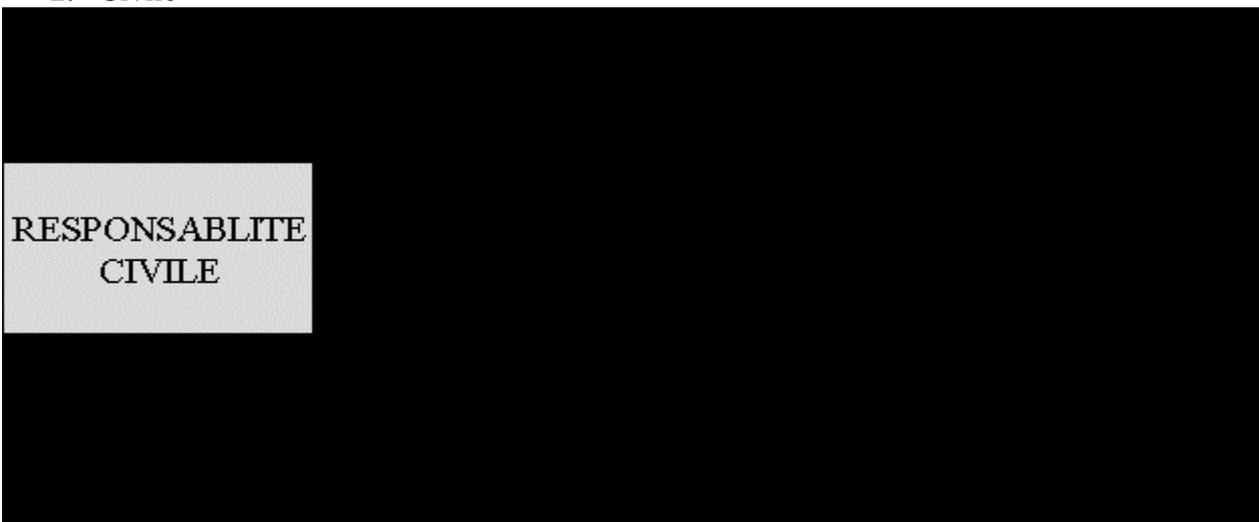
## L'assurance et ses implications

- **Notions juridiques et textes de loi**

Notion de Responsabilité

Deux types :

1. Pénale : les articles 319 - 320 et R 40 du code pénal précisent que : dès que quelqu'un par maladresse, imprudence, inattention, négligence ou inobservation des réglementations, aura été la cause volontaire ou involontaire de blessures devra être puni
2. Civile



- **Responsabilité et Plongée**

En droit français, deux types de responsabilité sont retenus.

*La responsabilité pénale*

C'est la responsabilité établie par rapports aux lois, décrets, arrêtés et d'une manière générale vis à vis des textes réglementaires. Elle s'évalue en infraction, délit et crime

*La responsabilité civile*

C'est la réparation des dommages causés à autrui. Elle s'évalue en éléments financiers. Les assurances ne garantissent leurs souscripteurs qu'en matière de responsabilité civile.

La FFESSM a souscrit un contrat de couverture en responsabilité civile pour la pratique de la plongée et de ses situations annexes : transport, accident sur le lieux de la plongée, ... Le bénéficiaire de ce contrat est rétrocédé à chaque adhérent d'un club affilié, est attesté par la licence en cours.

Elle couvre également la personne morale qu'est le club. C'est donc, une garantie pour les dommages éventuellement causés à autrui, qui est automatiquement fournie par la délivrance de la licence fédérale.

Pour des compétitions et les garanties pour soi-même :

- Compétitions : assurance complémentaire obligatoire catégorie 1 ou 2
- pour soi-même : 3 formules d'assurances complémentaires, facultatives, sont proposées, prévoyant des garanties de plus en plus étendues, financièrement et géographiquement.

Voir contrat FFESSM avec Cabinet LAFONT à Perpignan

- **Le contrat d'assurance**

- Avoir une assurance permettant de couvrir les frais des dommages causés par cette responsabilité. Dans notre activité, si un moniteur, par sa faute, occasionne un accident chez un élève, pendant une séance d'entraînement, il sera couvert pour les frais d'hospitalisation de son élève. Ce qui n'empêchera pas ce moniteur de devoir payer, sur ses propres deniers, la réparation de sa faute, c'est à dire une amende fixée par le tribunal pénal.
- Pour la responsabilité civile, du seul fait qu'un club soit affilié à la FFESSM, que tous ses adhérents possèdent la licence fédérale de la saison en cours, le club aussi bien que chaque adhérent, bénéficient d'une assurance Responsabilité Civile au tiers, c'est à dire pour les dommages causés à une tierce personne, et d'une garantie de protection juridique.
- Pour des dommages causés sur leur propre personne, les licenciés devront contacter une assurance dite complémentaire qui les couvrira en Responsabilité Civile Individuelle.

- **L'Assurance Fédérale**

Le club est assuré en responsabilité civile.

Chaque membre licencié est assuré en responsabilité civile au tiers. Il peut souscrire une assurance individuelle complémentaire qui est obligatoire pour les compétitions (catégorie 2 ou 3 : couverture individuelle et garantie d'assistance)

- Elle couvre la FFESSM, CR, CD, Club, membre dans le monde entier.
- Elle couvre les membres en les considérant comme des tiers entre eux.
- Elle couvre les dommages exceptionnels (feu, eau, panique, ...)
- Elle assure les petites embarcations à rames ou à moteurs (inf. à 50 CV) lors de manifestations Club
- Elle couvre les baptêmes
- Elle assure les compresseurs (déclarés)
- Elle assure les itinéraires

Elle exclut les utilisations de véhicules automoteurs et embarcations autres que celle énoncées ci-dessus

## La Licence Fédérale

- **La licence loisir**

Pièce d'identité du sportif

Elle atteste de l'appartenance à une association. Par la signature de la licence, le souscripteur s'engage à avoir pris connaissance et à respecter la réglementation en vigueur (Fédéral et Club).

Document important pour le plongeur. C'est une attestation d'adhésion à la Fédération, au travers d'un des ses clubs affiliés. La signature du plongeur ou des parents pour les mineurs(es) sur la licence, atteste que celui-ci a pris connaissance des statuts et du règlement intérieur fédéral et club.

- C'est une attestation d'assurance pour l'activité
- C'est un permis de pêche sous-marine (pour les plus de 16 ans)
- C'est un préalable pour passer les brevets fédéraux et participer aux compétitions

- **Deux types de licences**

- JEUNE pour les moins de 16 ans, soumise obligatoirement à la présentation d'une autorisation parentale.
- ADULTE Pour les plus de 16 ans

- **Licence compétition**

Contrôle médical pour la pratique en compétition. Assurance complémentaire obligatoire.

Remarque générale :

La possession de la licence seule n'est pas suffisante pour pratiquer le plongée, qui reste soumise à la présentation d'un certificat médical de non contre indication. Par contre, elle est indispensable pour l'adhésion à un club, afin d'assurer la couverture en responsabilité civile. Ceci dans tous les cas de figures

Exemple :

Une personne ne sachant pas nager ou ne voulant pas pratiquer la plongée, veut rendre service en assurant le gonflage des bouteilles, faire du travail de secrétariat ou autres. Il doit être licencié (risque de chute dans l'escalier, manipulation, ...)

## Le certificat médical

- **Délivrance de la licence**

Pas de certificat obligatoire

- **Pratique de la plongée en scaphandre**

- Origine : Médecin de famille + ORL (pour les mineurs de moins de 16 ans)
- Durée : Un an mais il prend fin en même temps que la licence
- Intitulé : certificat médical de non contre indication

- **Baptême de plongée en scaphandre**

Pas de certificat médical (Pour une profondeur n'excédant pas 3 mètres)

- **Brevets Fédéraux**

- Origine : médecin fédéral ou CES de médecine du sport, sauf pour se présenter aux épreuves du Niveau 1 (le médecin de famille suffit)
- Durée : un an
- Compétition :
  - Origine : médecin fédéral ou CES de médecine du sport
  - Durée : 3 mois
- Nota :
  - Il est souhaitable de faire passer un E.C.G. aux membres, obligatoirement à partir de 40 ans

## Le contrôle des blocs de plongée

( ARRETE DU 18 NOVEMBRE 86 )

- **Bouteilles tampons fixes**

Visite tous les 3 ans et ré épreuve tous les 10 ans

- **Bouteilles aciers**

Visite annuelle par un TIV et ré épreuve tous les 5 ans pour les bouteilles du club, et 2 ans pour les particuliers  
idem pour les bouteilles alliage d'aluminium 'Série 6082'

- **Transport des bouteilles**

1000Kg de poids brut sans être astreint à la signalisation et à l'obligation de déclaration  
Les risques liés au transport des bouteilles de plongée sont couverts non pas par la licence fédérale mais par la loi de 1958 relative à l'assurance générale des véhicules

## La Technique : Prérogatives et Responsabilité

- **Les brevets de plongée**

### NIVEAU I (Brevet élémentaire)

Il correspond aux connaissances de base nécessaire à la pratique de l'activité

### NIVEAU II (1er échelon)

Connaissances un peu plus poussées, qui permettent au plongeur d'évoluer entre plongeurs de même niveau, dans la limite des 20 m. (espace médian) max. 3 plongeurs par palanquée, suivant les normes définies. Encadré par un Moniteur ou un plongeur Niveau IV Capacitaire, il peut évoluer dans la zone des 40 m. (espace lointain).

### NIVEAU III

Il atteste d'une autonomie plus importante du plongeur. Il confère au titulaire la possibilité d'évoluer avec des plongeurs de même niveau, 3 au maximum sans limitation particulière de profondeur, compte tenu des difficultés de la plongée.

### NIVEAU IV CAPACITAIRE (2eme échelon)

Brevet technique le plus élevé de la Fédération, est plus destiné à ceux qui ont choisi, ou vont le faire, la voie de l'enseignement sportif technique et théorique. Le capacitaire est un examen difficile et complet.

### NIVEAU V

Plongeur compétent pour remplacer le cadre technique du club.

Ce titre est donné, au sein d'un club. Par le ou les Moniteurs et le Président d'après un guide d'évaluation.

- Exemples :
  - choisir le lieu de la plongée
  - organiser et gérer les plongées
  - prévenir (secours, pompiers, Hôpital, Caisson, ...)

- **Les brevets d'encadrement et d'enseignement**

### NIVEAU I (Initiateur)

Surveillance et organisation des séances en piscine n'excédant pas 6m de profondeur

Participation aux jurys du brevet N1

Enseignement en piscine, du débutant au N2, à l'exception des fosses de plongée

*NIVEAU II (Capacitaire, stagiaire pédagogique)*

Enseignement dans la zone des 20m, du débutant au N2, sous la direction d'un moniteur 1er degré, sauf avis contraire du Président du Club

*NIVEAU III (Moniteur fédéral 1er degré)*

Signer les carnets de plongée  
Valider les épreuves des brevets de plongeur du N1 au N3  
Signer les aptitudes des candidats au brevet N4 capacitaire  
Valider les qualifications de plongeur N5 (directeur de plongée)  
Membre des jurys N4, en double avec un MF2  
Membre des jurys initiateurs et juger à deux les épreuves  
Assurer les fonctions de directeur de plongée

*NIVEAU IV (Moniteur Fédéral 2eme degré)*

Délivrance de tous les brevets fédéraux de plongée  
Participation aux jurys MF1  
Signature des attestations de stages pédagogiques d'encadrement MF1  
Prendre la direction technique des clubs et écoles de plongée  
Directeur de plongée

• **Conditions de pratique de la plongée en milieu naturel**

(Annexe à l'arrêté du 17 juillet 92)

Espaces d'évolution	Niveaux de pratique des plongeurs	Compétence minimum du guide de palanquée	Effectif maximum de la palanquée <u>Encadrement non compris</u>
Espace proche	Débutants	E1 si enseignement ou P4 si exploration	4 maximum + P4 éventuellement  2+P4 éventuellement si baptême
Espace médian	Débutants	E2 si enseignement ou P4 si exploration	4 + P4 éventuellement
	Niveau 1	E2 si enseignement ou P4 si exploration	4 + P4 éventuellement
		- E3 si enseignement + P4 dans la zone des 10 mètres	5 équipes maximum dans la zone des 10 mètres
	Niveau 2	E2 si enseignement	4 +P4 éventuellement
- Possibilité d'absence d'encadrement		3	
Espace lointain	Niveau 2	P3 si enseignement ou P4 si exploration	2 +P4 éventuellement si enseignement  4 si encadrement = P4 et si exploration
Au delà des 40 mètres	Niveaux 3, 4 et 5	Pas d'encadrement si exploration  E4 si enseignement	3 si exploration  3 + E4 si enseignement

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

- Niveau de pratique**

(Annexe à l'arrêté du 20 septembre 92)

Niveaux de pratique des plongeurs et équivalences de prérogatives entre les différents brevets de plongeurs délivrés par la F.F.E.S.S.M. et la F.S.G.T., les attestations de niveau délivrées par les autres organismes membres de droit du Comité consultatif de l'enseignement sportif de la plongée subaquatique et les brevets C.M.A.S. (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques)

Les attestations de niveau doivent justifier que leurs titulaires ont satisfait à des épreuves au moins équivalentes à celles des brevets de même niveau de la F.F.E.S.S.M. à la date de parution du présent arrêté :

Niveau de prérogatives des plongeurs	Brevets FFESSM et FSGT	Brevets CMAS
Niveau 1	Brevet élémentaire	Plongeur 1 étoile
Niveau 2	1er échelon	Plongeur 2 étoiles

Niveau 3	Plongeur autonome	Plongeur 3 étoiles
Niveau 4	2ème échelon	Plongeur 3 étoiles
Niveau 5	2ème échelon + qualification de directeur de plongée	

- Niveaux d'encadrement**

	Enseignement bénévole	Enseignement bénévole	Enseignement bénévole	Enseignement rémunéré
Niveau d'encadrement	FFESSM	FSGT	CMAS	Brevets D'Etat
Niveau 1	Initiateur	Stagiaire pédagogique	/	/
Niveau 2	Initiateur + 2ème échelon ou 2ème échelon stagiaire pédagogique	Aspirant Fédéral	1 étoile	Stagiaire pédagogique (*)
Niveau 3	Fédéral 1er degré	Fédéral 1er degré	2 étoiles	B.E.E.S. 1
Niveau 4	Fédéral 2ème degré	Fédéral 2ème degré	3 étoiles	B.E.E.S. 2
Niveau 5	/	/	/	B.E.E.S. 3

(\*) Stagiaire pédagogique dans le cadre d'une formation, reconnue par le Ministère de la Jeunesse et des Sports, conduisant au B.E.E.S. 1 de plongée subaquatique

