

LE COURS NIVEAU 2

NOTIONS DE PHYSIQUE

FORCE ET PRESSIONS :

FORCE: toute poussée qui s'exerce sur un corps et capable de le déformer ou d'en modifier l'état de repos ou le mouvement (sa direction ou sa vitesse).

Exemples:

- Le poids est une force (dite force de gravitation).
- La force du vent dans les voiles fait avancer un bateau.

Comme unité de force, en plongée, on utilise surtout le **kilogramme-force (kgf)** correspondant au poids d'une masse de 1 kg.

La force n'est pas une notion suffisante. En effet, pourquoi est-ce que, sur la neige, je m'enfonce si je suis en chaussures mais pas si je suis avec des skis ?

D'où la notion de **PRESSION**.

PRESSION: la force qu'un fluide exerce sur une surface est proportionnelle à cette surface. On définit donc la pression comme le rapport entre les deux :

$$\text{Pression} = \text{Force} / \text{Surface} \text{ soit } P = F / S$$

1 bar correspond à une force de 1 kgf appliquée sur une surface de 1 cm²

Pression atmosphérique : C'est la pression due au poids de l'air au-dessus de nous. Au niveau de la mer, elle est en moyenne d'environ 1 bar. Elle s'exprime aussi en hectopascal (Hpa) ==> 1 bar = 1000Hpa.

Pression relative (ou "hydrostatique") : C'est la pression due au poids de l'eau se trouvant au-dessus du plongeur. Elle est directement proportionnelle à la profondeur.

D'une manière générale, la pression relative (exprimée en bars) est égale à la profondeur (en mètres) divisée par 10 (autrement dit, la pression augmente de 1 bar tous les 10 m).

PRESSION ABSOLUE (OU PRESSION AMBIANTE) : C'est la pression réelle (c'est à dire totale) à laquelle est soumis le plongeur.

$$\text{Pression absolue} = \text{Pression atmosphérique} + \text{Pression relative}$$

Variation de la pression avec la profondeur :

Profondeur (en m)	P atm (en bars)	P relative (en bars)	P absolue (en bars)
Surface	1	0	1
3	1	0,3	1,3
5	1	0,5	1,5
10	1	1	2
15	1	1,5	2,5
17	1	1,7	2,7
20	1	2	3

PRINCIPE D'ARCHIMEDE :

Enoncé : Tout corps, plongé dans un fluide (eau, air...), subit de la part de celui-ci une poussée verticale (dite poussée d'Archimède), dirigée de bas en haut, et égale au poids du volume de fluide déplacé.

Autrement dit la poussée d'Archimède est indépendante du poids réel du corps immergé et ne dépend que de son volume.

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

Applications pratiques :

- Une bouteille de plongée est plus légère dans l'eau que dans l'air ==> poids d'environ 15 kg, volume de 12 litres, soit 12 kg de moins à porter
- Poumon ballast : par la respiration, on peut faire varier le volume des poumons ce qui fait varier la poussée d'Archimède et donc le poids apparent.
==> la variation de contenance des poumons étant de 4 litres environ, cela fait 4 kg de variation possible.
- Bouée de sécurité
- Lestage (ceinture de plombs)

LOI DE MARIOTTE :

Si on descend en plongée avec un ballon de baudruche d'un volume de 1 litre en surface, on peut remarquer que ce ballon a son volume qui diminue avec la profondeur.

Il est, en effet, soumis à une pression qui augmente avec la profondeur et la même quantité d'air, se trouvant comprimé, occupera un volume moins important.

La loi de Mariotte énonce ce mécanisme : Pour une quantité donnée d'un gaz, le produit de sa pression (P) par son volume (V) est constant (à température constante).

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

Remarque : Cette loi n'est applicable que pour un gaz. Elle n'est (heureusement) pas vraie pour un liquide ou un solide (ex : un plongeur !!).

AUTRES NOTIONS UTILES :

Conduction thermique:

La conduction thermique de l'eau est 25 fois plus importante que celle de l'air, d'où l'utilité du port d'une combinaison de plongée pour se protéger du froid.

Dissolution des gaz:

La quantité de gaz dissoute dans les liquides (et les tissus de l'organisme) est d'autant plus importante que la pression du gaz est forte (à cause de la profondeur) et que la durée d'application de cette pression est importante (temps de plongée).

Applications à la plongée : Accidents de décompression (cf. chap. D) Vitesse de remontée limitée à 15 à 17 m/mn (hors entre les paliers), calcul des tables de plongée.

Le son

Mise en évidence:

Sous l'eau, dans la piscine les sons sont bizarres : on n'arrive pas facilement à détecter d'où ils proviennent et certains s'entendent mieux que d'autres.

La vision

Mise en évidence:

Sous l'eau, sans masque la vision est trouble.

Avec un masque, les objets paraissent plus gros et plus près.

De plus, le champ de vision est réduit : il faut tourner la tête pour voir sur le côté.

Les couleurs apparentes sont modifiées, et l'eau est moins transparente que l'air.

La composition de l'air

L'air est un mélange composé:

d'azote 80%

d'oxygène 20%

de gaz carbonique 0,03%

Le gaz carbonique joue un rôle dans l'essoufflement comme nous le verrons plus loin.

L'oxygène est le gaz qui alimente et permet au corps de travailler.

L'azote ne sert que comme diluant lorsque nous sommes dans l'air. En plongée, il joue un rôle majeur dans l'accident de décompression.

LE MATERIEL

MATERIEL INDIVIDUEL DE BASE :

- **Masque :**

Permet de voir sous l'eau

- **Palmes :**

Permettent de se déplacer.

- **Tuba :**

Permet de respirer en nageant en surface.

- **Ceinture :**

Permet d'accrocher du lest (plomb) pour une flottabilité correcte.(essentiellement pour équilibrer la flottabilité positive de la combinaison). Elle doit avoir une boucle de sécurité à largage instantané.

Eventuellement la ceinture peut servir à fixer la bouteille à l'aide de la sangle d'entrejambes (la "sous-cutale").

- **Combinaison de plongée :**

Permet de ralentir la déperdition de chaleur, donc de se protéger du froid.

Elle doit être souple, à cagoule attenante et doit bien coller au corps.

Epaisseur du néoprène : 4 à 7 mm.

- **Bouée de sécurité ou gilet stabilisateur ("stab"):**

Cet équipement permet de se maintenir en surface ou d'être équilibré au cours de la plongée. Il peut fournir de l'aide pour remonter un camarade en difficulté. Il est nécessaire de bien apprendre à l'utiliser surtout pour gérer sans risque la remontée (cf loi de Mariotte).

LE BLOC

Elément du scaphandre, le bloc est constitué par une ou deux bouteilles ("mono" ou "bi"), chaque bouteille étant équipée d'une robinetterie.

SCAPHANDRE = BLOC + DETENDEUR

Bouteille :

Réservoir en acier ou en alliage léger (type alu), rempli d'air comprimé à une pression de service de 175 ou 200 bars et dont la capacité (volume intérieur) est comprise entre 7 et 18 litres.

Les volumes les plus courants sont de 12 litres pour le "mono" et de 2 x 9 litres pour le "bi". Les " bi " ont tendance à être remplacés par des " bonbonnes " de 15 ou 18 litres à deux robinets de sortie.

Inscriptions importantes sur la bouteille (réglementation française) :

- gaz contenu (air)
- pression d'essai (PE à 15 °C)
- pression de service ou d'utilisation (PS ou PU)
- capacité en eau, c'est à dire le volume (C ou V)
- poids de la bouteille nue (PB ou Tare)
- nom du fabricant et numéro de série<
- dates de la mise en service puis des réépreuves, avec poinçon des Mines ou marquage CE.

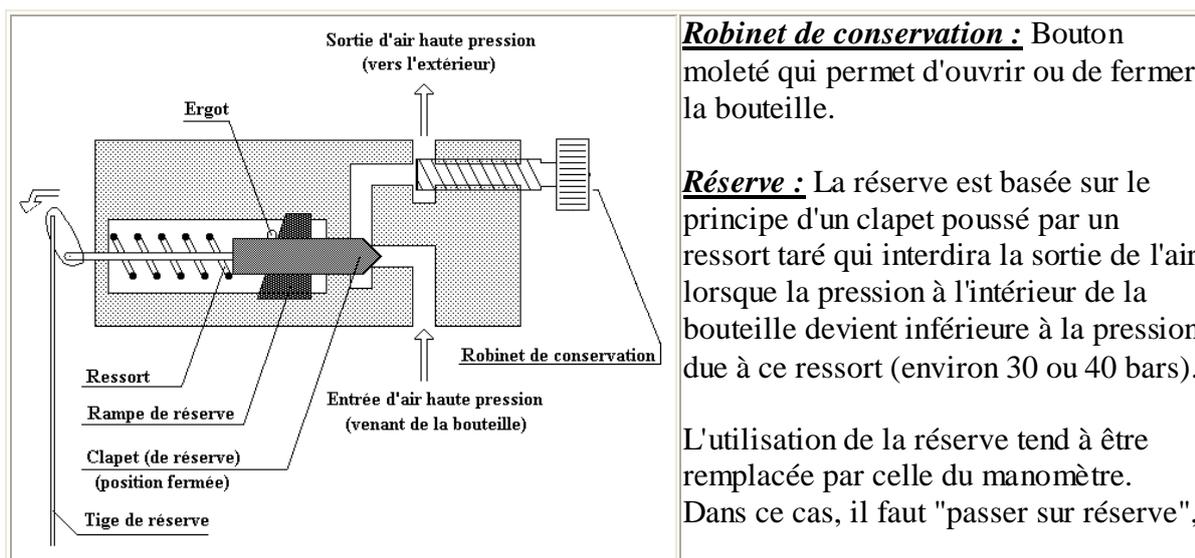
En effet, la réglementation française, concernant d'une manière générale les réservoirs contenant des gaz sous pression, impose en effet une réépreuve (effectuée par le service des Mines) dès lors que, pour ce réservoir, **le produit de son volume (exprimé en litres) par sa pression de service (exprimée en bars) dépasse 80**.

Périodicité des réépreuves :

- Cas général, une bouteille doit être réévaluée tous les 2 ans.
- Par dérogation, une bouteille peut n'être réévaluée que tous les 5 ans sous réserve d'être inspectée tous les ans par un technicien en inspection visuelle (T.I.V.) avec inscription sur un registre TIV.

Après chaque inspection, le TIV appose, sur la bouteille, un macaron portant la date limite pour la prochaine visite (inspection ou réépreuve).

Robinetterie :



	c'est à dire qu'il faut bloquer le clapet en position ouverte : ceci est obtenu en tirant la tige de réserve.
--	---

Conseils d'utilisation du scaphandre :

- La bouteille craint les chocs et sa chute éventuelle peut blesser quelqu'un. Ne jamais la laisser debout sans l'avoir sérieusement fixée.
- Avant de plonger, vérifier que la réserve est "haute" et, si possible contrôler la pression au manomètre.
- Vérifier le sanglage et le joint torique.
- Après montage du détendeur, ouvrir "à fond moins 1/4 de tour" le robinet de conservation et vérifier que le détendeur fonctionne.
- Bien tendre la "sous-cutale" si utilisation.
- En fin de plongée, "baisser" la réserve si elle existe, démonter le détendeur et ranger rapidement le matériel.
- Éviter d'exposer les bouteilles chargées ("gonflées") en plein soleil.

Le détendeur

Rôle du détendeur : Délivrer, à la demande, de l'air à la pression ambiante (ou pression absolue) à partir de l'air comprimé, contenu dans la bouteille.

Les détendeurs sont composés de deux étages, l'air étant détendu de la haute pression à la pression ambiante en deux étapes:

- le *premier étage*, fixé à la robinetterie, détend l'air haute pression jusqu'à une moyenne pression égale environ à la pression ambiante plus 7 ou 10 bars.
- le *deuxième étage* ramène l'air de la moyenne pression à la pression ambiante.

Sur le premier étage du détendeur sont souvent fixés :

- un manomètre immergeable qui permet de contrôler la pression dans le bloc et donc sur une " HP " haute pression du détendeur
- un direct system qui est un tuyau qui permet de gonfler le gilet stabilisateur
- un autre deuxième étage permettant de disposer de deux embouts.

Un détendeur avec deux 2eme étages est appelé " octopus ".

LE MATERIEL COMPLEMENTAIRE

Montre :

Étanche et lumineuse. Permet de mesurer la durée de la plongée et des paliers.

Profondimètre :

Précis et lumineux. Est de plus en plus souvent électronique (affichage digital).il indique la profondeur à laquelle on se trouve et la profondeur maximale atteinte

Tables de plongée (immergeables) :

Indiquent la durée et la profondeur des paliers à effectuer **Couteau ou ciseaux :**

Solide, inoxydable, tranchant, bien fixé dans sa gaine, il permet de trancher les filins dans lesquels on s'est accroché

LE MATERIEL UTILE Gants, chaussons :

protègent du froid et, pour les gants, des écorchures

Torche ou phare :

Étanche, inoxydable, pas trop encombrant(e), bien lesté(e), une lampe étanche pour restituer les couleurs au cours de la plongée

Pour information, :

Pour transporter tout le petit matériel et à condition d'être sur un bateau offrant assez de surface, on utilise un sac de plongée pour ranger appareil photo, parachute de palier, détendeur de secours, outillage, etc. Les effets personnels sont rangés dans un autre sac.

ENTRETIEN

En piscine, le matériel de type "stab" doit être rincé à l'eau du robinet (non chlorée) et les détendeurs fermés à l'aide du bouchon.

En mer, après chaque plongée si possible, ou chaque jour et au moins en fin de séjour, l'ensemble du matériel doit être rincé à l'eau douce puis séché à l'abri du soleil. Pour le détendeur, le bouchon sera fixé pour éviter l'entrée d'eau. L'intérieur du gilet sera également rincé à l'eau douce et séché.

En fin de saison, les joints seront graissés au silicone (par exemple joints de la lampe) et les pièces métalliques seront graissées.

LES TABLES DE PLONGEE

INTRODUCTION :

L'air est principalement constitué d'oxygène et d'azote. Alors que l'oxygène est consommé par les cellules de l'organisme, l'azote n'intervient pas dans la respiration.

L'azote va se dissoudre dans l'organisme (sang et tissus) en quantité d'autant plus importante que la pression (c'est à dire la profondeur) est élevée et la durée (temps de plongée) est importante.

Lors de la remontée, cet azote dissous va avoir tendance à revenir sous forme gazeuse et c'est ce "dégazage" qu'il s'agit de contrôler pour *éviter un accident de décompression* (cf. chap. D).

PRINCIPE DES TABLES DE PLONGEE :

Les tables de plongée sont établies pour permettre de savoir, en fonction de la profondeur maximum atteinte et de la durée de la plongée, quelles sont les durées et les profondeurs des paliers à effectuer pour éviter un accident de décompression.

Plusieurs types de tables existent, mais seule la table de plongée à l'air "**M.N. 90**" (Marine Nationale 1990) est utilisée dans le cadre de passage de brevets FFESSM.

De cette table, il a été tiré une "*courbe de sécurité*" qui permet de plonger en sécurité, c'est à dire donnant pour différentes profondeurs, le temps maximum de plongée permettant de ne pas avoir de palier obligatoire. Le temps est décompté depuis l'immersion jusqu'au début de la remontée à vitesse réglementaire.

IMPORTANT : Les 5 conditions d'utilisation directe de la courbe de sécurité et de la table MN 90 :

Au niveau de la mer ($P_{atm} = 1 \text{ bar}$).

Pour une plongée à l'air.

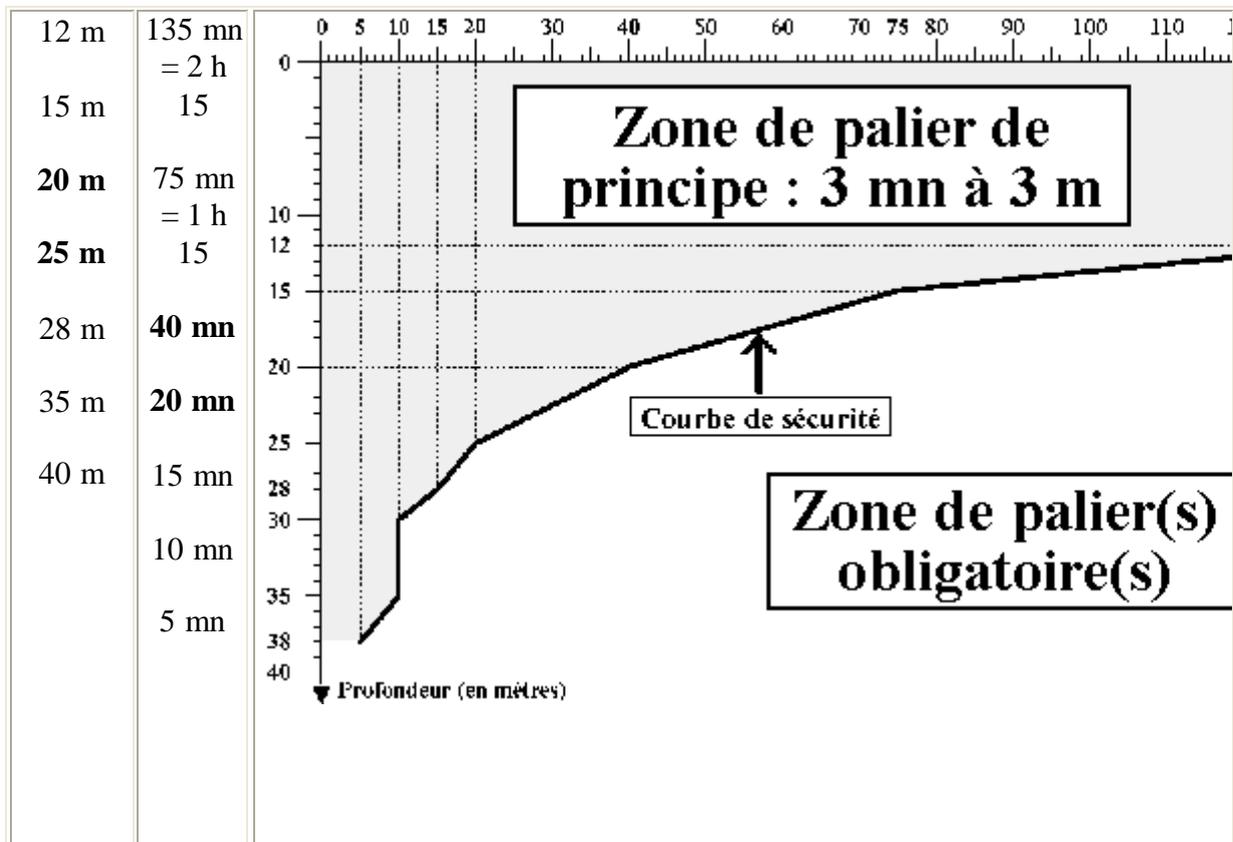
Pour une plongée unique ou à plus de 12 h de la précédente.

Vitesse de remontée jusqu'au premier palier : 15 à 17 m/mn.

Vitesse de remontée à partir du premier palier : 6m/mn.

POINTS DE LA COURBE A CONNAITRE PAR COEUR :

Profondeur	Temps maximum	



LES ACCIDENTS SPECIFIQUES

INTRODUCTION

Le but de ce chapitre est surtout d'être conscient que la plongée requiert un minimum de précautions élémentaires. En effet, il est surtout important d'avoir en mémoire la *prévention* de ces accidents.

Mieux vaut prévenir que guérir !

LES BAROTRAUMATISMES

Les barotraumatismes (ou accidents mécaniques) sont des conséquences de la variation du volume des gaz en fonction de la pression (Loi de Mariotte).

- **Le placage du masque :**

Cause : Intérieur du masque en dépression pendant la descente (limite d'élasticité de la jupe du de "ventouse").

Conséquence : Rougissement des yeux. Saignement de nez.

Symptôme : Le masque serre - douleur au niveau des yeux.

Prévention : **Souffler par le nez dans le masque pendant la descente.**

Traitement : Consulter un ophtalmologiste.

- **Les sinus :**

Cause : Communications bouchées entre les sinus et les voies respiratoires- Sinusite, rhume- D

pression entre les sinus et le milieu extérieur.
Conséquence : Rupture des capillaires - Aggravation de l'infection locale.
Symptôme : Vive douleur au niveau du front et du maxillaire supérieur.
Prévention : **Aucune ! NE PAS PLONGER.**
Traitement : Consulter un O.R.L.

• **Les dents :**

Cause : Carie non soignée, plombage non étanche. Différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de la dent.
Conséquence : Risque d'infection (descente), d'éclatement (remontée).
Symptôme : Vive douleur au niveau des dents.
Prévention : **Visite régulière chez le dentiste. Remonter très doucement en cas de douleur.**
Traitement : Consulter un dentiste.

• **Les oreilles :**

Cause : Manœuvre d'équilibration inefficace. Obturation de la trompe d'Eustache (rhume, otite) bloquant l'oreille moyenne aux voies aériennes. Lors de la descente ou de la remontée, il y a une différence de pression entre les 2 faces du tympan.
Conséquence : Lésion (voire rupture) du tympan, perte d'orientation.
Symptôme : Douleur vive dans l'oreille.
Prévention : **Bien "équilibrer" les oreilles durant toute la descente (manœuvre de Valsalva). Ne pas descendre si les oreilles "ne passent pas".
NE PAS PLONGER EN CAS DE RHUME OU D'OTITE**
Traitement : Consulter rapidement un O.R.L.

Attention : Ne JAMAIS effectuer la manœuvre de Valsalva durant la remontée (aggravation de la différence de pression entre les 2 faces du tympan).

• **La surpression pulmonaire :** ⇒ *Le plus grave des barotraumatismes*

Cause : A la remontée, en cas de blocage de l'expiration, l'air qui se trouve dans les poumons s'accumule.
Conséquence : Si on oublie d'expirer à la remontée, **surtout dans les derniers mètres**, il y aura atteinte de l'élasticité des alvéoles pulmonaires puis déchirure de ces dernières et des vaisseaux qui les irriguent. Il s'ensuit :
- passage d'air dans la circulation (embolie)
- passage de sang dans les alvéoles (œdème pulmonaire)
Symptôme : Impression de manque d'air (comme en fin d'apnée), douleur dans la poitrine ("coup de poitrine"), étouffement, toux, écume sanglante aux lèvres (*spume*), perte de connaissance.
Prévention : **Ne pas bloquer sa respiration, expirer en remontant surtout près de la surface.**
Traitement : Faire inhaler de l'oxygène pur à pression atmosphérique et surtout évacuer d'urgence vers un hôpital hospitalier équipé d'un caisson de recompression.

De même, il ne faut jamais donner de l'air sous l'eau à un apnéiste. En effet celui-ci n'est pas formé à cet accident et n'aura pas le réflexe de souffler à la remontée.

Attention : Ce genre d'accident peut se produire même en piscine.

- **Tableau de synthèse des barotraumatismes**

Accident	Prévention	
	à la descente	à la remontée
Oreilles	Arrêter la descente Manoeuvre de Valsalva ou Bécance Tubulaire Volontaire	Ralentir ou arrêter la remontée (voire redescendre légèrement)
Placage de masque	Souffler par le nez au cours de la descente	Ne se produit pas
Sinus	Ne pas forcer ; ralentir la descente voire remonter	Ralentir ou arrêter la remontée (voire redescendre légèrement)
Dents	Ne pas forcer ; ralentir la descente voire remonter	Ralentir ou arrêter la remontée (voire redescendre légèrement)
Colique du scaphandrier	Ne se produit pas	Ralentir ou arrêter la remontée (voire redescendre légèrement) Evacuer l'air par les voies naturelles
Surpression pulmonaire	Ne se produit pas	Ne pas bloquer sa respiration Insister sur l'expiration Ne pas donner d'air à un apnéiste

LES ACCIDENTS DE DECOMPRESSION

Ces accidents sont les conséquences physiologiques de plusieurs phénomènes physiques (loi de Mariotte, mélange de gaz, dissolution des gaz).

L'azote de l'air se dissout dans l'organisme durant la plongée et ceci d'autant plus que la profondeur est importante et que la durée de la plongée est longue.

Durant la remontée (et en surface, après la plongée), cet azote repasse de l'état dissous à l'état gazeux.

Cette élimination doit impérativement se faire **lentement** sinon il y a création de noyaux gazeux (*bulles* d'azote) à l'intérieur même de l'organisme, dans les vaisseaux sanguins et dans les tissus (muscles, os, etc. ...). En trop grand nombre, ces bulles risquent d'entraîner des blocages locaux de la circulation sanguine et la mort des cellules situées en aval.

Cause : Essentiellement non-respect des tables de plongée (vitesse de remontée ou paliers), mais favorisé par des efforts importants

Conséquence : Troubles nerveux, circulatoires, respiratoires, douleurs articulaires, paralysies plus ou moins graves, syncope, coma.

Symptôme : Fatigue généralisée, démangeaisons cutanées, gonflement de la peau, douleurs articulaires, troubles circulatoires, respiratoires, visuels, auditifs, vertiges, pertes de sensibilité.

Prévention : **Respecter impérativement les paliers et la vitesse de remontée (15 à 17 m/mn). Ne pas effectuer de travaux physiques importants ni des apnées après une plongée.**

Traitement : Inhalation d'oxygène - Donner 500 mg d'aspirine (sauf allergie ou contre-indication) par radio ou par téléphone) avec beaucoup d'eau douce plate (2 litres) - Diriger d'urgence vers un centre hospitalier spécialisé équipé d'un caisson de recompression. **Ne jamais réimmerger** sans noter le profil de la plongée. Ces actions sont effectuées par les plongeurs secouristes.

AUTRES ACCIDENTS

Essoufflement :

Cause : Effort et travail intensif, mauvaise ventilation (Ex : tuba trop étroit ou trop long). Favorisé par une mauvaise condition physique, un état d'anxiété. Forme d'intoxication par le gaz carbonique (CO₂).

Conséquence : Affolement, panique (⇒ risque de surpression pulmonaire).

Symptôme : A l'extrême : syncope, noyade.

Symptôme : Respiration de plus en plus superficielle et haletante.

Prévention : **Se protéger du froid, éviter les efforts et travaux intensifs, ouvrir correctement le bouchon de la bouteille. être correctement lesté**

Traitement : Au premier symptôme, cesser toute activité, bien se ventiler en forçant sur l'expiration.

Attention : Le risque d'essoufflement augmente avec la profondeur

Vertiges :

Cause : Mauvais équilibre des pressions au niveau de l'oreille interne, siège des organes de l'équilibre, mouvement brusque de la tête.

Conséquence : Désorientation, impossibilité de retrouver la surface.

Symptôme : Sifflement brutal, perte du sens de l'équilibre, troubles oculaires.

Prévention : **Ne jamais plonger seul, ne jamais faire la manœuvre de Valsalva à la remontée.**

Traitement : Eviter de bouger la tête, remonter d'urgence, consulter un O.R.L.

Noyade : [correspond à un arrêt respiratoire provoqué par l'inondation de l'appareil respiratoire]

Cause : Manque d'entraînement et de formation, mauvais matériel, fatigue, froid, panique.

Conséquence : Asphyxie, lésions des poumons, état de choc, mort.

Symptôme : **SANS ! ...**

Prévention : **Avoir un bon entraînement, un bon matériel, éviter les efforts inconsidérés. Utiliser un matériel isothermique. Attention à l'immersion après une exposition au soleil. Se mouiller avant l'immersion.**

Traitement : Très rapidement, ventilation artificielle (bouche à bouche), massage cardiaque, insufflation d'oxygène, toujours évacuer vers un centre hospitalier, même si le sujet a repris conscience et se sent bien.

Le froid

Le froid est un facteur aggravant de tous les problèmes de plongée, et en plus ce n'est pas agréable.

Un signe j'ai froid doit être un signal de remontée au même titre qu'un signe de passage sur réserve.

Pour se protéger du froid, le plongeur utilise une combinaison. Les plus répandues sont les combinaisons humides : plus elles sont épaisses, plus elles protègent du froid.

Les combinaisons semi-étanches limitent les entrées d'eau aux poignets, chevilles et à la cagoule.

Les combinaisons étanches, adaptées à des plongées en eau très froide, nécessitent un apprentissage car il faut maîtriser le volume de ce vêtement.

Pour les plongées courantes, une combinaison humide d'une épaisseur entre 5 et 7 millimètres est suffisante.

On ajoute à la combinaison des gants et des chaussons ou des bottillons.

CONCLUSION SUR LES ACCIDENTS

Ne pas plonger si :

- Mauvais état physique
- Fatigue, troubles digestifs, état fébrile, mal de mer, etc. ...
- Mauvais état psychologique
- Nervosité, peur, contrainte, etc. ...

LA PLONGEE = LOISIR + SECURITE ==> UN(E) PLONGEUR(EUSE) AVERTI(E) EN VAUT DEUX ! ...

LA SECURITE

AVANT LA PLONGEE

Sécurité collective :

Vérifier la météo et le matériel de sécurité du bateau

Vérifier la présence de l'oxygène, de la bouteille de sécurité, de la pharmacie de plongée

Surveillance de surface

Il faut également ne pas être fatigué, enrhumé, stressé, avoir des problèmes digestifs ... En bref il faut être en bonne condition.

La première plongée d'une série de plusieurs plongées est appelée plongée de réadaptation (la profondeur et la durée de la plongée sont limitées).

Sécurité personnelle :

Le plus important pour effectuer des plongées c'est d'en avoir envie.

Vérifier palmes, masque, tuba, ceinture

Quand on s'équipe, on met les palmes avant la ceinture et la bouteille.

Réunion des plongeurs autour du chef de palanquée avant la mise à l'eau pour les derniers conseils (profondeur, durée, organisation).

S'équiper calmement, sans rien oublier (palmes, ceinture de poids ...).

Vérifier la pression d'air dans le bloc, que la bouteille est ouverte et que le détendeur fonctionne (2 ou 3 inspirations).

Vérifier que le direct-system est branché, purger la stab (on saute à l'eau stab dégonflée)

Vérifier que la réserve est haute ou contrôler le manomètre

Contrôler les autres personnes de la palanquée (même le chef de palanquée qui n'est pas un surhomme) pour vérifier qu'ils n'ont rien oublié.

La mise à l'eau

On se met à l'eau après que le moteur a été arrêté (ou débrayé), après le chef de palanquée, sur autorisation du pilote. On ne fait pas attendre ses compagnons.

Avant de sauter il faut vérifier qu'il n'y a personne en dessous.
La palanquée se regroupe en surface, généralement au filin du mouillage
Le temps (durée de plongée) est décompté depuis l'immersion jusqu'au début de la remontée à vitesse réglementaire.

PENDANT LA PLONGEE

Connaître ses signes. Bien évidemment on ne plonge jamais seul.
Suivre la palanquée, rester au-dessus ou au même niveau, mais jamais en avant ni en dessous du chef de palanquée et rester groupés.
Répondre impérativement à chaque signe, les faire dès que cela devient nécessaire. En particulier, prévenir **impérativement** le chef de palanquée dès que l'on passe sur réserve.
Eviter les efforts excessifs.
Prendre garde aux dangers extérieurs (filets, courants, grottes, animaux).

Respecter les profondeurs maximum:

- . Niveau 0 (débutant) : encadrés, profondeur maximum : 5 m
- . Niveau 1 (B.E.) : encadrés, profondeur maximum : 20 m

L'encadrement en exploration est assuré par un chef de palanquée titulaire du niveau 4 minimum.

Au cours de la plongée, il faut avertir les autres (et en particulier le chef de la palanquée) en cas d'anomalie.
Dès que la respiration devient difficile, il faut descendre sa réserve et le signaler au chef de palanquée.
Dès que le chef de palanquée l'indique, la remontée débute.
Au cours de la remontée, il ne faut pas être plus haut que le chef de palanquée et en aucun cas ne remonter plus vite que ses petites bulles.
De manière générale la palanquée fera un palier de sécurité de 3 minutes à 3 mètres de profondeur. C'est l'occasion de s'accoutumer aux paliers en contrôlant par le poumon ballast, sa profondeur.

- **En cas de perte de sa palanquée**

Il faut attendre un petit moment et faire un tour d'horizon pour retrouver le reste de la palanquée.
Au bout d'une minute environ, si l'on n'a pas retrouvé les autres, il faut monter de quelques mètres et chercher si on voit les bulles des autres plongeurs.
Environ une minute plus tard, si l'on n'a toujours pas retrouvé les autres, il faut remonter à la surface, en respectant la vitesse de 15 à 17 mètres par minute, et en faisant le tour d'horizon.
En surface, faire le signe OK vers la surveillance de surface et lui expliquer ce qui s'est passé.

- **Fin de plongée et sortie de l'eau**

Remonter en groupe, dès que l'ordre en a été donné, de 15 à 17 m/mn (suivre les petites bulles, regarder les particules) sans toutefois remonter plus vite ou au-dessus de son chef de palanquée.
Respecter les paliers (profondeur et durée).
Ne pas oublier à l'approche de la surface de faire un tour d'horizon en écoutant pour vérifier qu'il n'y a pas de danger.
Avant de faire surface, écouter (bruits d'hélice) et faire un tour d'horizon pour savoir si un bateau n'approche pas.
Sortir le bras bien tendu, en faisant le signe **OK de surface**.
Garder son masque et ses palmes pour remonter sur le bateau ainsi que conserver l'embout en bouche si on a le scaphandre sur le dos.
Ne pas faire d'effort excessif ni d'apnée après la plongée.
La palanquée ressort de l'eau en une seule fois. Lorsqu'une personne remonte il ne faut avoir personne en dessous de l'échelle pour éviter les problèmes si elle glisse.
Le chef de palanquée est le dernier à ressortir.

APRES LA PLONGEE

Se déséquiper et ranger son matériel.
Baisser la réserve de la bouteille si elle en possède une pour indiquer que la bouteille a été utilisée.
Ne pas hésiter à poser des questions au chef de palanquée sur le déroulement de la plongée.
En cas de sensation inhabituelle, prévenir le chef de palanquée.
Ne pas faire d'effort violent après la plongée, ne pas monter en altitude ou prendre l'avion.

EXERCICES, CONSEILS ET INFOS

Exemple de calcul de pression hydrostatique (pour info) :

Prenons un plongeur immergé à 10 mètres de profondeur. Chaque cm^2 sera soumis à une pression hydrostatique due au poids du volume d'eau situé au-dessus.

La hauteur d'eau étant de 10 mètres (= 1000 cm) sur une surface de 1 cm^2 , le volume d'eau est de :

$1000 \times 1 = 1\,000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ litre}$, ce qui représente un poids d'environ 1 kgf appliqué sur une surface de 1 cm^2 autrement dit une pression de 1 bar.

Exercices sur les pressions :

1/ Quelle est la pression absolue à 15 mètres de profondeur ?

$$P_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$$

$$P_{\text{hydro}} = 1,5 \text{ bars}$$

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{hydro}} = 1 + 1,5 = 2,5 \text{ bars}$$

2/ A quelle profondeur faut-il aller pour doubler cette pression ?

$$P_{\text{abs}} = 5 \text{ bars}$$

$$P_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$$

$$P_{\text{hydro}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}} = 5 - 1 = 4 \text{ bars}$$

Soit 40 mètres de profondeur

3/ Quelles sont les différentes profondeurs qu'il faudrait atteindre pour doubler successivement trois fois la pression atmosphérique de la surface de 1 bar ?

Exercices sur la loi de Mariotte :

1/ Prenons un ballon gonflé d'air et d'un volume de 1 litre en surface, quel sera son volume sous 10 m d'eau ? puis sous 40 m d'eau ?

2/ Que représente en volume et à la pression atmosphérique la quantité d'air contenue dans un bloc de plongée d'une contenance de 12 litres et gonflé à 200 bars ?

3/ Si on veut que son parachute de palier soit gonflé totalement en surface, quel volume d'air doit-on y mettre lors du remplissage à 6 mètres de la surface ? (le parachute ayant un volume de 10 litres)

Détails sur le son sous l'eau

Propagation du son

Le son met un certain temps à se déplacer (par exemple lors d'un orage on voit l'éclair avant d'entendre le tonnerre alors qu'ils se produisent en même temps).

Dans l'air le son se déplace à 340 mètres par seconde.

Dans l'eau il se déplace environ 5 fois plus vite (environ 1500 mètres par seconde).

Conséquences pour le plongeur

On reconnaît la provenance d'un son en faisant la différence entre l'arrivée du son à l'oreille droite et à l'oreille gauche. Comme dans l'eau le son se déplace plus vite, le cerveau est perdu et ne sait plus faire la différence : on se sait plus d'où il provient.

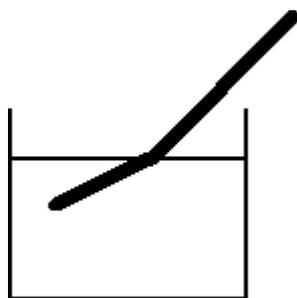
Par contre le son porte plus loin : on entend plus de bruits, surtout les sons graves. C'est pour cela qu'au cours du tour d'horizon il faut écouter pour vérifier qu'il n'y a pas un bateau qui arrive.

Le son est aussi utile pour communiquer avec d'autres plongeurs :

- _ coups contre l'échelle en piscine,
- _ coups contre la bouteille,
- _ pétards utilisés pour rappeler les plongeurs en mer en cas de problème (dans ce cas la plongée est terminée et il faut _ remonter en faisant d'éventuels paliers)
- _ cris dans le détendeur pour attirer l'attention

Détails sur la vision sous l'eau

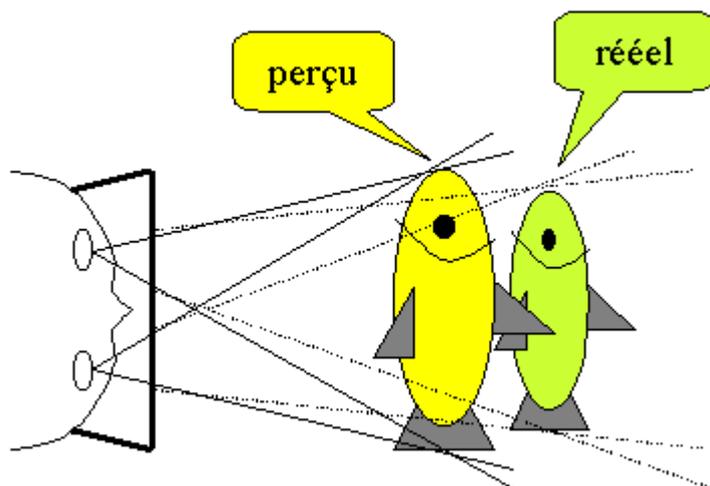
Cela provient de la différence entre l'eau et l'air. Par exemple si on plonge à moitié un bâton dans un récipient rempli d'eau on observe que le bâton semble cassé :



Pourtant le bâton est toujours le même. Ce n'est donc qu'une illusion liée à la différence entre les propriétés optiques des deux milieux..

Applications à la plongée

Les applications à la plongée sont multiples. Ainsi quand l'on porte un masque, la vision est déformée dans l'eau car on a bien, comme dans l'exemple du bâton, deux milieux différents : l'air dans le masque et l'eau à l'extérieur.



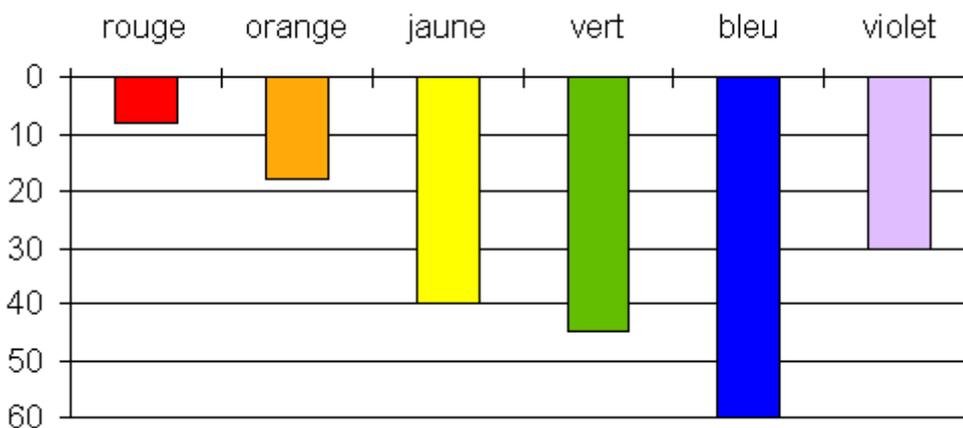
En conséquence, dans l'eau on voit plus près (la distance perçue vaut $\frac{3}{4}$ la distance réelle) ou plus gros (la taille perçue vaut $\frac{4}{3}$ de la taille réelle).

Ce rapport de 4/3 a une influence sur notre comportement de plongeur : par exemple les poissons que l'on voit sont toujours beaucoup plus gros que dans la réalité ; lorsque l'on veut attraper quelqu'un pour lui signaler quelque chose il est en réalité trop loin pour être touché. Toutefois, le cerveau corrige automatiquement ces phénomènes.

La déformation explique également pourquoi les meilleures périodes de plongée se situent en été, vers midi, lorsque les rayons du soleil ont une direction verticale.

Autres phénomènes

D'autres phénomènes viennent s'ajouter à cette déformation. Les couleurs diminuent en fonction de la profondeur, l'eau étant un filtre réagissant différemment selon la couleur de la lumière :



Ce qui explique d'une part la couleur bleue de la mer et d'autre part la nécessité d'une lampe pour restituer les couleurs

Un autre phénomène qui vient perturber la vision est l'effet brouillard dû à la présence de plancton ou de sable : l'effet est le même que celui d'un brouillard en voiture. Pour éviter cela il faut faire attention à la période à laquelle on plonge et ne pas remuer trop de sable en palmant près du fond.

Choix du masque :

Il doit être le plus simple possible, avec un champ visuel large et des bossages en creux pour pouvoir pincer le nez (équilibre des oreilles et des sinus). Pour le choix de la taille : il doit tenir au visage avec une simple inspiration par le nez, la sangle n'étant pas mise, le masque ne doit pas être trop serré sur le visage. Pour les personnes nécessitant des verres correcteurs, il vaut mieux que le masque possède deux vitres. Après l'achat, il faut nettoyer la vitre avec du liquide vaisselle pour éviter la formation de buée.

Choix des palmes :

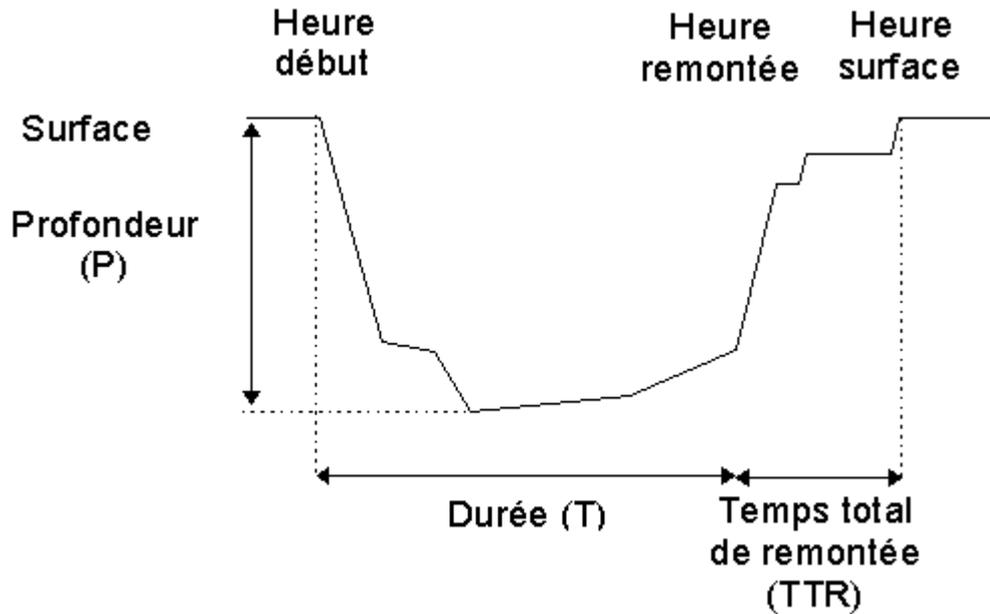
La voilure des palmes ne doit être ni trop rigide ni trop longue. Il est à noter que lors d'une plongée en milieu naturel il est conseillé de porter des chaussons ou des bottillons ; la taille des palmes doit alors être choisie en conséquence. En plongée les grandes palmes sont plutôt un handicap lors de l'équipement sur le bateau et des remontées à l'échelle, elles peuvent aussi blesser les camarades de palanquée.

Choix du tuba :

Il doit être le plus simple possible (en forme de **J**), de longueur et diamètre suffisants mais pas exagérés avec une extrémité de couleur bien visible. C'est un accessoire qui se perd facilement aussi bien en mer qu'en piscine.

Paramètres d'une plongée

Si l'on présente la profondeur atteinte lors d'une plongée au cours du temps, on peut avoir le profil :



La profondeur (P) est la profondeur maximale atteinte au cours de la plongée.

La durée (T) est l'intervalle entre l'heure de début de plongée, c'est-à-dire l'heure où la descente commence, et l'heure de décision de remontée, c'est-à-dire l'heure où la remontée débute à la vitesse préconisée.

Entre l'heure de décision de remontée et l'heure d'arrivée à la surface, on trouve le temps total de la remontée. Ce temps comprend le temps de remontée proprement dit (car la remontée se fait à une vitesse donnée) et le temps des paliers (c'est-à-dire les durées où l'on demeure à une profondeur constante pendant une certaine durée).