

Cours de plongée

Table des matières

Briefing Baptême	6
Voici comment va se dérouler votre baptême :	6
Pratique niveau 1	7
Objectifs :	7
1) matériel et surface	7
2) l'immersion	7
3) réactions aux situations usuelles	7
4) l'équilibre	7
5) validation	7
Théorie niveau 1	8
Notions de pression :	8
Flottabilité	8
Prévention des accidents :	8
Barotraumatismes	8
Accidents de Décompression (ADD)	8
Froid	9
Essoufflement	9
Dangers du milieu	9
Comportement en plongée	9
Protection de l'environnement	9
Comportement en palanquée	9
Réglementation	10
Les organismes	10
la carte CMAS	10
Les documents obligatoires pour plonger	10
Le brevet	10
La licence	10
Le certificat médical :	10
Document non obligatoire	10
Les niveaux et prérogatives :	10
Pratique niveau 2	11
Objectifs :	11
1) révision niveau 1	11
Séance n°2	12
Séance n°3	12
Séance n°4	12
Séance n°5	13
Séance n°6	13
Séances n°7, 8 et 9	13
10) validation	13
Théorie niveau 2 :	14
Pression	14
Rappels	14
Mise en évidence	14
Application à la plongée	14
Compressibilité des gaz	14
Rappels	14
Mise en évidence	14
Applications à la plongée	15
Exercices :	15
Les accidents barotraumatiques	15
Rappels	15
La surpression pulmonaire ↑	15

Les oreilles ↑↓	16
Les sinus ↑↓	17
Les dents ↑↓	18
Le placage de masque ↓	18
La dilatation des gaz intestinaux et stomacaux ↑	18
Flottabilité	19
Exercice Archimède + Mariotte	19
Les accidents toxiques	19
Justification et rappels	19
Loi de Dalton	20
N ₂ : ivresse des profondeurs)	20
CO ₂ : essoufflement	20
La dissolution des gaz	22
Justification et rappels	22
Loi de Henry	22
Exemple du piston	22
Définition de la tension	22
Dissolution	23
Notion de tissu	23
Les accidents de décompression	23
Les tables	25
Rappels	25
Pourquoi on utilise des tables	25
La courbe de sécurité	26
Plongée simple	26
Remontée lente : $V < 15$ m/min	26
Remontée rapide	27
Palier interrompu	27
Plongées consécutives	27
Plongées successives	28
Le nitrox	28
Le froid	28
Justification et rappels	28
L'essoufflement	28
L'accident de décompression	28
L'hypothermie	28
Le choc thermo-différentiel	29
Faune et flore	30
Préservation de l'environnement	30
Dangers et légendes	31
Les autres accidents	31
Orientation	32
L'optique	32
L'acoustique :	33
Législation	34
Documents obligatoires :	34
Possibilités de progression	34
Zones d'évolution et prérogatives	34
Le matériel obligatoire pour l'autonomie	34
Les bouteilles de plongée	34
La chasse	35
Le matériel	36
La bouteille	36
Le fonctionnement du détendeur à 2 étages	36
Rappel :	36
Principe du détendeur à 2 étages :	36
Fonctionnement du détendeur à piston compensé	37
Fonctionnement du détendeur à piston non compensé	38
Fonctionnement du détendeur à membrane compensée	38
Le manomètre et le flexible du direct-système	38

Entretien et stockage _____	39
Le gilet stabilisateur _____	39
La combinaison _____	39
Théorie niveau 3 _____	40
Théorie niveau 4 _____	40
Compressibilité des gaz _____	40
Rappels _____	40
Gonflage des blocs, exercice de démonstration _____	40
Mise en évidence de l'influence de la température _____	40
Flottabilité _____	41
Justification _____	41
Mise en évidence _____	41
Physiologie _____	41
L'appareil circulatoire _____	41
Le cœur : _____	41
Les artères : _____	41
Les veines : _____	42
Les capillaires : _____	42
Trois phases de fonctionnement : _____	42
La tension : _____	42
Le rythme cardiaque augmente si : _____	42
Composition du sang _____	43
L'appareil respiratoire _____	43
Voies aériennes _____	43
Mécanismes respiratoires : _____	43
Mécanismes nerveux : _____	43
Le soufflet pulmonaire : _____	45
Le système nerveux central _____	45
Surpression pulmonaire _____	46
Mécanismes _____	46
Traitement _____	46
Les accidents biochimiques _____	46
Justification et rappels _____	46
Loi de Dalton _____	46
N ₂ : ivresse des profondeurs) _____	46
O ₂ : hyperoxie, hypoxie _____	46
Effet Paul BERT _____	46
Effet Lorrain-Smith _____	47
Hypoxie _____	47
CO ₂ : essoufflement _____	47
Les accidents biophysiques _____	47
Gradient _____	47
Période _____	47
Tissu _____	47
Mélanges _____	48
Justification _____	48
Rappels _____	48
Nitrox _____	48
Mise en évidence _____	48
Principe de la profondeur équivalente _____	48
Conclusion et dangers _____	48
Exercices _____	48
Oxygène pur _____	48
Justification _____	48
Rappels _____	48
Mise en évidence _____	48
Paliers _____	48
Surface _____	49
Réglementation _____	49

Théorie plongeur nitrox confirmé	49
Qu'est-ce que le nitrox ?	49
Les formations nitrox FFESSM :	49
Avantages et inconvénients du Nitrox :	50
Inconvénients :	50
Avantages :	50
Autres mélanges	50
Les risques hyperoxiques :	51
La toxicité neurologique ou "effet Paul Bert"	51
La toxicité pulmonaire à l'O ₂ ou "effet Lorrain Smith"	52
Les temps maximum d'exposition à l'oxygène	53
La table NOAA	53
L'horloge oxygène	54
Les UPTD	56
Les OTU	57
Les paliers	57
Méthode FFESSM	57
Tables spécifiques	58
Le nitrox et l'altitude	58
Calcul de la PpO ₂ en altitude	58
Les paliers	58
Rappel des formules altitude	58
La fabrication du nitrox	59
Par transvasement	59
Au stick	59
Le séparateur à membrane	59
Transvasement : calculer son mélange	59
Bouteille vide	59
Bouteille avec reliquat	60
Contrôle des bouteilles nitrox	60
Exercices de révision	60
Réponses aux exercices :	61
Les temps maximum d'exposition à l'oxygène	61
Paliers	62
Le nitrox et l'altitude	63
Gonflage par transvasement	63
Exercices de révision	63
MF1	64
Présentation d'une séance pratique :	64
Annexes	66
Diagramme de causalité des accidents	66
Formules	66
Constantes	67
Différences entre SPP et ADD	67
Jeux éducatifs	67
En piscine	67
En mer	68
Normes de pratique enfants	68
Fiches immergeables de formation	68
Personnages célèbres	69
Archimède (287 - 212 av.JC)	69
Evangelista Torricelli (1608 - 1647)	70
Edme Mariotte (1620 - 1684)	70
Robert Boyle (1627 - 1691)	70
Antonio Maria Valsalva (1666-1723)	70
William Henry (1765 - 1836)	70
John Dalton (1766 - 1844)	70
Benoît Rouquayrol (1826-1875)	70
Paul Bert (1833 - 1886)	70

Auguste Denayrouse (1837-1883)	71
John Scott Haldane (1860-1936)	71
James Lorrain Smith (1862 - 1931)	71
Yves le Prieur (1885 - 1963)	71
Emile Gagnan	71
Jacques-Yves Cousteau (1910 - 1997)	71



Briefing Baptême

Si certains parmi vous font de l'asthme, des crises de spasmophilie, de tétanie ou d'épilepsie, ont des problèmes cardiaques, ont subi une tympanoplastie, ou pour toute question médicale, vous pouvez venir me voir après le briefing.

Voici comment va se dérouler votre baptême :

D'abord vous allez percevoir votre matériel, qui se compose d'une combinaison, de palmes, d'un masque.

Ensuite chacun votre tour vous viendrez nous rejoindre dans l'eau, où nous vous attendrons avec le scaphandre et la ceinture de plombs du baptisé précédent.

On se chargera de vous équiper en surface.

La bouteille contient de l'air et non de l'oxygène contrairement à ce que disent les journalistes qui n'y connaissent rien. Elle se porte sur le dos comme un sac à dos grâce à un gilet, gonflable. Le détendeur s'utilise comme un tuba, il donne de l'air très facilement, ne pas hésiter à aspirer dedans.

Cracher dans le masque pour la buée, étaler (hors de l'eau!) puis rincer.

On vous laisse vous habituer un peu en surface, puis on va descendre très lentement.

Sous l'eau, on communique avec **les signes** suivants : **Ok, ça ne va pas**, on remonte.

Il faudra **se boucher le nez et souffler dedans dès que vous sentirez une gêne au niveau des oreilles**. Essayez maintenant devant moi, vous devez sentir quelque chose bouger au niveau de vos 2 oreilles. Dans l'eau votre bouche sera ouverte, puisqu'il y aura le détendeur dedans. Réessayez bouche ouverte, c'est un peu plus difficile.

Il ne faut faire cette manoeuvre que pendant la descente.

Si cette gêne aux oreilles devenait une douleur, faites-nous signe et montrez-nous vos oreilles, on remontera un peu jusqu'à ce que la douleur disparaisse.

Respirez librement tout le temps. Pas d'apnée, pas de blocage de la respiration.

La bonne position de nage c'est d'être horizontal genoux non pliés. Ecarter les bras peut vous aider à trouver votre équilibre si vous basculez sur le dos. Donnez un coup d'épaule pour remettre la bouteille en place si elle glisse du centre de votre dos.

La loi française nous autorise à aller jusqu'à 6m de profondeur pour un baptême.

Pratique niveau 1

Objectifs :

assurer un minimum sa propre sécurité, ne pas mettre les autres en danger, savoir utiliser et entretenir correctement le matériel.

1) matériel et surface

Matériel : taille, perception, montage, fonctionnement, démontage, entretien. Penser à regarder le mano (200b).

Les signes ok, ça ne va pas, panne d'air, on monte, on descend.

Mise à l'eau.

Nage capelée ventrale, dorsale.

Retrait et reprise d'embout en surface.

L'immersion sur un fond de 2m : position du phoque, vidage de la stab, expirer, cesser de palmer, puis retour en surface et mise en sécurité.

Décapelage puis capelage dans l'eau.

2) l'immersion

Dissociation bucco-nasale

La compensation de l'oreille moyenne.

Le palmage de sustentation.

La remontée : palmage inflateur en main, écouter et regarder.

Vidage de masque.

Retrait et reprise d'embout en expirant puis en fusant.

Les signes j'ai froid, je suis essoufflé.

Immersion et remontée aux bulles (sans le repère visuel du moniteur).

3) réactions aux situations usuelles

Remontée sur expiration

Echange d'embout sur panne d'air de l'élève puis du moniteur.

Retrait inopiné du masque.

Les signes je suis à mi-bouteille, je suis sur réserve, restez groupés.

Vision sous l'eau sans masque

4) l'équilibre

Révision VDM, RCE en suivant les petites bulles, signes

Aisance dans l'eau

Eventuellement poumon-ballast, canard

5) validation

Bascule arrière

Palanquée

Exploration

Exercices au fond : VDM, signes.

Théorie niveau 1

Notions de pression :

Pression hydrostatique, pression absolue, compressibilité des gaz.

Cas du ballon rempli en surface et cas du ballon rempli au fond.

Flottabilité

Archimède ($P_{App} = P_{Préel} - P_{Arch}$) : exemple du bloc moins lourd dans l'eau que dans l'air.

Cas du plomb de 1kg dans une boîte d'1L.

Effet ballon à l'approche de la surface => vider sa stab en remontant, la gonfler en descendant.

Prévention des accidents :

Effets de la pression sur le corps, tuba de 50cm

Barotraumatismes

- **surpression pulmonaire ↑**
Quel volume en surface pour des poumons de 5l ?
-> mort
remonter lentement, ne pas bloquer sa respiration, pas d'air à un apneïste, RCE.
- **oreille ↑↓, sinus ↑↓**
externe, moyenne, interne, tympan, trompes d'eustache, valsalva à la descente uniquement.
- **dents ↑↓, masque ↓**
- **intestins ↑, estomac ↑.**

Accidents de Décompression (ADD)

- **Causes**
Comparaison boissons gazeuses et ADD
Pendant la plongée l'azote, inutilisé par le corps humain, se dissout dans les tissus, plus vite si on est plus profond.
- **Symptômes**
démangeaisons (puces), bulles sous la peau (moutons), douleurs articulaires (bends), grosse fatigue, difficultés à parler, à voir, à uriner, à tenir en équilibre, voire paralysie (paraplégie).
- **Prévention**
Remonter lentement, effort modéré au fond, faire un palier de sécurité, pas de valsalva pendant la remontée ou au palier.
Attention aux facteurs favorisants : alcool, médicaments, fatigue...
Pas d'avion ni de montagne avant 12h, voire 24h. Pas d'apnée ni d'effort violent pendant 2h.

- **Table de plongée MN90 et ordinateurs**
Utilisation de la table, vitesse de remontée.
Courbe de sécurité (25m 20', 20m 40', 15m 1h15)
Lecture d'un ordinateur.

Froid

- **Causes**
On se refroidit plus vite dans l'eau que dans l'air, et le froid génère dans l'eau des dangers supplémentaires.
- **Symptômes**
Tremblements, désintéressement, engourdissement.
- **Conduite à tenir**
Faire le signe "j'ai froid" afin que le moniteur engage la remontée de la palanquée.
- **Prévention**
Porter une combinaison adaptée, être en bonne forme physique.

Essoufflement

- **Causes**
Dans l'eau, la pression fait que l'on peut ne pas parvenir à reprendre sa respiration quand est essoufflé.
- **Conduite à tenir**
Faire le signe "je suis essoufflé" puis cesser tout mouvement et tâcher de se calmer.
- **Prévention**
Avant la plongée, avoir ouvert sa bouteille en grand.
Faire d'autant moins d'efforts que la profondeur est importante.

Dangers du milieu

Bateaux, oursins, vives, rascasses en méditerranée, poisson-pierre, cône, chirurgiens et corail de feu en mer tropicale.

Comportement en plongée

Protection de l'environnement

Ne rien toucher, ne rien remonter, maîtriser sa flottabilité et faire attention aux coups de palmes, ne pas nourrir les poissons.

Comportement en palanquée

Etre attentif à sa palanquée, en cas de perte, chercher autour de soi, chercher les bulles en hauteur, puis remonter lentement et attendre en surface en s'assurant d'avoir été vu depuis le bateau.
Ne jamais être plus bas que le moniteur à la descente, ni pendant la plongée, ne pas être plus haut que lui à la remontée.

Réglementation

Les organismes

FFESSM = Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins.

Chaque pays a au moins une fédération de plongée : FFESSM (Fr), LIFRAS (Be), FLASSA (Lux), FEDAS (Esp), YMCA (USA)...

Heureusement pour la reconnaissance des diplômes toutes les fédérations ci-dessus se sont affiliées à une fédération de fédérations, la CMAS.

D'autres méta-fédérations existent, comme Cedip, auquel sont affiliés l'ANMP (Fr), VTDL (D)...

Certains organismes internationaux ne sont affiliés à rien parce que leur taille suffit à leur reconnaissance. Le plus important d'entre eux est l'école américaine PADI, qui représente la majorité des plongeurs dans le monde. PADI prône une approche de la plongée plus "loisir" que "sportive".

la carte CMAS

validité permanente.

reconnue dans le monde entier.

double face FFESSM-CMAS

Les documents obligatoires pour plonger

Le brevet

La licence

obligatoire pour plonger en club FFESSM, comprend :

- * adhésion à la FFESSM
- * Assurance RC
- * permis de pêche sous-marine si + de 16 ans
- * abonnement préférentiel à SubAqua.

Le certificat médical :

obligatoire pour plonger sauf baptême.

délivrable par un généraliste, sauf formation P2 ou si moins de 14 ans.

Document non obligatoire

le carnet de plongée, le passeport.

Les niveaux et prérogatives :

niveau 1 : vous pouvez plonger à 4 maximum, accompagné d'un P4 minimum.

un cas particulier d'autonomie sur un fond de 10M

niveau 2 : autonome jusqu'à 20M, encadré jusqu'à 40M.

niveau 3 et + : encadré jusqu'à 60M.

Pratique niveau 2

L'exercice-clé de toute la formation niveau 2, c'est incontestablement la remontée assistée au poumon ballast, le palmage devant être le plus léger possible. Comme il est très difficile de faire la différence entre un palmage léger et un palmage propulsif, surtout lorsqu'on joue le rôle de la victime, je recommande de faire la formation en demandant à ce que les palmes ne soient utilisées QUE pour bloquer une redescente éventuelle, et jamais en même temps que l'ascension.

Pour y parvenir, il faut impérativement passer par les étapes suivantes, et ne jamais passer à la suivante sans que la précédente soit maîtrisée :

- 1) Poumon-ballast : l'élève doit être capable de se sustenter sur le dos, sans décroiser ses palmes.
- 2) 2 exercices peuvent être faits sans ordre particulier :
 - Remontée au poumon-ballast : l'élève doit être capable de remonter seul, sans palmer ni regonfler la stab, de 20m à 3m
 - Stabilisation à 2 sans remonter.
- 3) Remontée assistée

Objectifs :

Immersion/remontée, Stabilisation, Assistance, Sortie de l'eau

1) révision niveau 1

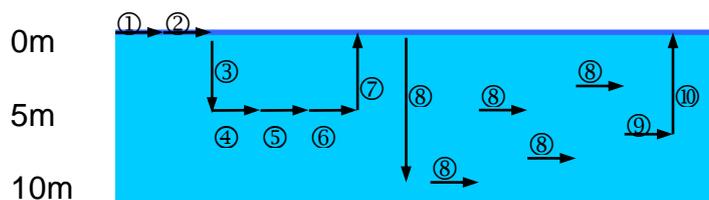
Contrôle du montage et de l'entretien du matériel, complément d'information sur l'utilisation du gilet, utilisation de matériel supplémentaire : le parachute, le profondimètre, l'octopus, le bloc de 15l et son action sur le lestage.

Signes "gonfler", "purger", "inspirer", "expirer", "on se stabilise ici".

Principes de stabilisation (l'effet ballon).

Rappel des signes ça ne va pas, monter/descendre, plus d'air, je suis essoufflé, j'ai froid, mi-bouteille, réserve, fin.

Plan de la séance

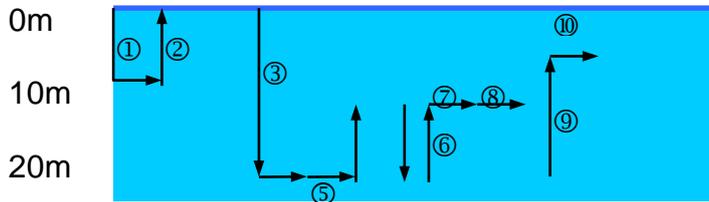


- 1) Capelage et décapelage en surface.
- 2) Palmage de sustentation.
- 3) Immersion en phoque à vitesse contrôlée sur repère du moniteur.
- 4) Stabilisation à 5m sans palmer.
- 5) VDM à 5m
- 6) Echanges d'embouts.
- 7) RCE de 5m (embout en bouche) avec le repère du moniteur, en pratiquant le retour en surface en sécurité.
- 8) Réimmersion, puis stabilisation à différentes profondeurs au poumon-ballast, membres croisés.
- 9) Démonstration de largage du parachute.

10) Retour en surface très lent, sans palmer, au poumon-ballast.

Séance n°2

Plan de la séance



- 1) Immersion canard jusqu'à 7m puis stabilisation.
- 2) RCE de 7m (embout en bouche) avec le repère du moniteur.
- 3) ⊕ Canard et descente verticale sur un fond de 10m, sans rotation.
- 4) stabilisation puis VDM à 20m.
- 5) Poumon ballast sur le ventre, ne pas toucher le fond ni remonter.
- 6) remonter par étapes de 2m jusqu'à 12m, au poumon-ballast, sans utiliser la stab ni les palmes. Redescendre de la même manière et recommencer.
- 7) Echange d'embout en déplacement horizontal.
- 8) Utilisation du 2^{ème} embout : donner puis venir prendre.
- 9) Redescence à 20m puis remontée jusqu'à 5m à vitesse contrôlée sans le repère du moniteur, aux bulles.
- 10) Stabilisation à 5m, largage du parachute puis palier stabilisé, aux tables. Vérification du lestage au palier.

Séance n°3

Signe "Chef".

RCE de 10m embout en bouche avec le repère du moniteur.

Concepts de l'autonomie : surveillance des manomètres, orientation, signes "OK ?", direction à suivre.

Exploration en gérant la stabilisation, notamment lors des légères remontées.

Poumon ballast sur le dos à différentes profondeurs.

VDM sans changer de niveau.

Parachute puis palier stabilisé aux tables.

Echange d'embout après apnée de 10 m horizontale.

Séance n°4

- ⊕ Vérifications, contrôles (mano, fonctionnement stab équipier) et consignes (si on se perd, quand remonte t-on, signes) avant le départ.
- Canard et descente verticale sur un fond de 10m, sans rotation.
- ⊕ RSE de 10 m aux bulles.
- ⊕ RCE de 10 mètres avec reprise de l'embout en bouche tous les 2m.
- ⊕ Palmage en surface puis canard et descente verticale sur un fond de 20m.
- Poumon ballast face à un tombant.
- Echange d'embout après apnée de 10 m horizontale.

⊕ Exploration avec gestion de l'autonomie (surveillance des manomètres, orientation, signes "OK ?", direction à suivre) et de la stabilité.

Séance n°5

⊕ Palmage 250m.

Vérifications, contrôles (mano, fonctionnement stab équipier) et consignes (si on se perd, quand remonte t-on, signes) avant le départ.

Canard et descente verticale sur un fond de 20m, sans rotation, puis stabilisation.

⊕ Assistance à la stab, palmage secondaire.

Canard et descente verticale sur un fond de 20m, sans rotation, puis stabilisation.

⊕ Echange d'embout après apnée de 10 m horizontale sur expiration.

⊕ Remontée avec échange d'embout.

Séance n°6

⊕ Sauvetage à la stab.

Séances n°7, 8 et 9

Révisions au choix du candidat.

10) validation

voir fiche immergeable



Théorie niveau 2 :

Pression

Rappels

La pression augmente avec la profondeur.

Si $a + b = c$ alors $a = c - b$

Si $a / b = c / d$ alors $a = c \times b / d$ et $a \times d = b \times c$

Mise en évidence

$$P = F/S$$

Exemple de la main sur le sable

La pression est de 1 bar au niveau de la mer

$$1 \text{ bar} \approx 1 \text{ kg/cm}^2 = 760 \text{ mmhg} = 1000 \text{ hPa}$$

Une colonne d'eau de 10m et de 1 cm² de section pèse 1kg.
donc $P_{\text{hyd}} = \text{prof}/10$

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{hyd}} \text{ avec } P_{\text{atm}} = 1\text{b et } P_{\text{hyd}} = \text{prof}/10$$

Application à la plongée

L'air délivré par le détendeur doit être à la pression ambiante pour pouvoir être respiré par le plongeur.

Compressibilité des gaz

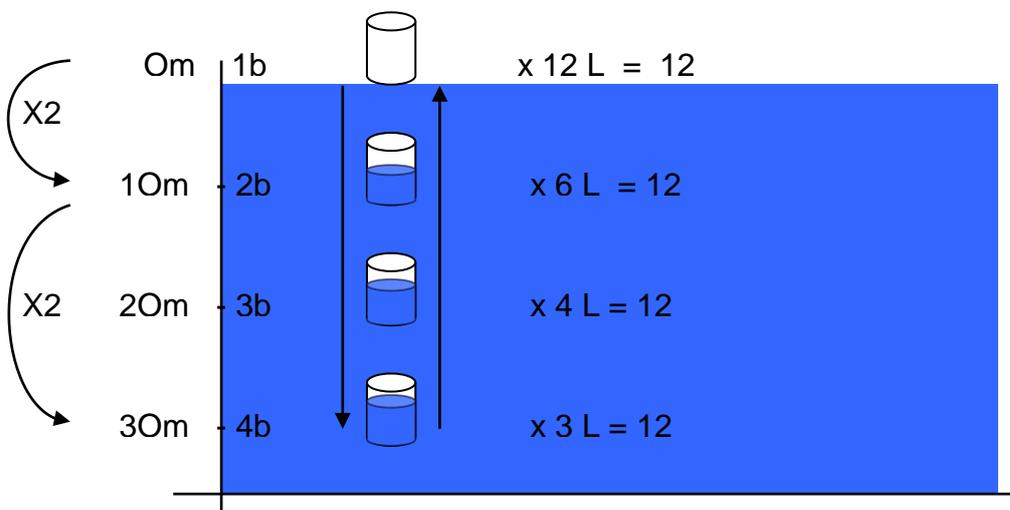
Rappels

$$P_{\text{hyd}} = \text{prof}/10$$

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{hyd}} \text{ avec } P_{\text{atm}} = 1\text{b et } P_{\text{hyd}} = \text{prof}/10$$

Mise en évidence

Immergeons un vase de 6L retourné. Nous voyons l'eau monter dans le vase au fur et à mesure qu'il descend. C'est parce que l'air qu'il contient se comprime sous l'effet de la pression. Si nous le remontons, la pression extérieure diminue et l'air reprend son volume initial.



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

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

Applications à la plongée

Schéma du ballon rempli en surface puis au fond.

La combinaison s'affine, il faut resserrer la ceinture de plombs.

Le volume de la stab réduit, il faut rajouter de l'air pour maintenir sa flottabilité.

Exercices :

Je plonge avec une bouteille de coca d'1,5l. Quel est son volume à 20m ?
 $1,5 / 3 = 0,5l$

A 6 mètres, je mets 6l d'air dans un parachute de 10l, quel est son volume en surface ?

$6 \times 1,6 = V \times 1 \quad V = 1,6 \times 6 = 9,6 l$

avec 7l d'air ?

$7 \times 1,6 = V \times 1 \quad V = 1,6 \times 7 = 11,2 l$ donc 10l

A 15 mètres je mets 5 l d'air dans un sac plastique de 10l que je ferme hermétiquement par un noeud. Quel est son volume en surface ?

$5 \times 2,5 = 12,5$ donc explosion du sac.

Quel est le volume d'air contenu dans un bloc de 12l gonflé à 200b ?

$12 \times 200 = 2400 l$ d'air

Sachant qu'un plongeur consomme 20l d'air par minute, de quelle autonomie dispose t-il en nageant en surface avec un tel bloc ?

$2400 / 20 = 120$ minutes, soit 2 heures.

Quelle est son autonomie à 20m ?

$12 \times 150 = 1800 \quad 1800 / 20 / 3 = 30$

Quelle est son autonomie à 40m avec un bloc de 15l ? (on place la réserve à 80b)

$15 \times 120 = 1800 \quad 1800 / 20 / 5 = 18$ minutes

Les accidents barotraumatiques

Les gaz contenus dans les cavités du plongeur doivent pouvoir circuler librement sous peine de traumatismes.

Rappels

Mariotte (Compressibilité des gaz) : $P_1V_1=P_2V_2=Cte$

La surpression pulmonaire ↑

De tous les accidents de plongée, la surpression pulmonaire est l'accident le plus grave, dont les conséquences sont le moins réversibles.

- **Causes**
Distension alvéolaire ou déchirure due à l'augmentation de la pression dans les poumons lors de la remontée, par blocage de la glotte ou spasme.
- **Symptômes**
Avant tout s'assurer s'il y a du sang dans sa salive et s'il a du mal à respirer.

Mécaniques :

- Gêne respiratoire, douleur thoracique plus ou moins violente : distension.
- Douleur vive et brève "coup de poignard" : déchirure.
- Bave, crachats sanglants.
- Sensation d'étouffement : décollement de la plèvre.
- Cou proéminent, gonflé (emphysème sous-cutané).
- Arrêt respiratoire, arrêt cardiaque.

Neurologiques :

- Vomissements.
- Troubles sensitifs
- Perte de la parole
- Perte de la vue
- Crise de type épileptique, convulsions
- Paralyse des membres (généralement hémiparésie)
- Paralyse respiratoire
- Syncope
- Mort

- **Traitement**
 - Mettre en position demi-assise.
 - Effectuer les gestes de réanimation suivant l'état de la victime et ses connaissances de secourisme
 - Donnez de l'aspirine si non allergique et seulement si vous suspectez un éventuel ADD . En effet l'aspirine est nocive pour le traitement de la surpression pulmonaire.
 - Inhalation d'O₂ pur
 - Evacuer très rapidement la victime en vue d'un traitement et d'une recompression en caisson hyperbare multiplace
 - Pas de réimmersion.
- **Prévention**
 - Expirer en remontant (surtout entre -10 m et la surface), lever la tête.
 - Remonter lentement
 - Pas d'air à un apnéiste.
 - Pas de valsalva au palier.

Les oreilles ↑↓

- **Causes**
Déformation du tympan due à la différence de pression entre l'extérieur (eau) et l'oreille moyenne. Se produit beaucoup plus souvent à la descente qu'à la remontée.

- **Symptômes**
 - Légère gêne à l'oreille
 - Douleur vive
 - Rupture de tympan, saignement de l'oreille
 - Vertiges
 - Syncope (après une douleur très violente)
 - Noyade
- **Traitement**
 - Consulter un ORL
 - Dans un cas grave (suspicion d'une atteinte de l'oreille interne) faire évacuer la personne sous O₂ vers un caisson de recompression hyperbare
- **Prévention**
 - Equilibrer la pression par déglutition ou Valsalva à la descente
 - La profondeur critique se situe entre 0 et -10 m
 - Ne jamais insister si les oreilles "ne passent pas", cesser la descente ou la remontée et rincer abondamment les fosses nasales en renversant la tête en arrière, masque ouvert.
 - Ne jamais obstruer les conduits auditifs (bouchons).
 - A la descente pratiquer au choix la béance tubaire volontaire (BTV), Frenzel, ou Valsalva, le plus traumatisant pour les oreilles mais le plus facile à réaliser.
 - Si le problème se produit à la remontée penser à pratiquer la manoeuvre de Toynbee (nez pincé, aspirer par le nez).

Les sinus ↑↓

Les sinus sont des cavités de la face dont le rôle est de saturer en eau l'air que nous respirons. Malheureusement les sécrétions sinusales ne contiennent pas que de l'eau et ces substances peuvent former des bouchons. Cet accident peut se produire à la descente ou à la remontée.

- **Causes**
 - Voies de communication entre les sinus et les fosses nasales obstruées
- **Symptômes**
 - Violentes douleurs faciales (front, sous les yeux, mâchoire supérieure)
 - Parfois saignements du nez
- **Traitement**

En plongée : rincer les fosses sinusales en laissant pénétrer de l'eau par le nez.
En surface consulter un ORL
- **Prévention**
 - A la descente remonter de quelques mètres puis redescendre
 - Stopper la plongée si la douleur persiste
 - Ne pas plonger en cas de rhume ou de sinusite

Les dents ↑↓

- **Causes**

L'air qui a pénétré dans la cavité d'une carie ou la fissure d'un plombage se dilate à la remontée. Des douleurs peuvent aussi, rarement, être ressenties à la descente.

- **Symptômes**

- Douleur dentaire persistante
- Eclatement de la dent

- **Traitement**

- Recomprimer l'accidenté et le décompresser lentement
- Consulter un dentiste

- **Prévention**

- Visite préventive chez le dentiste avant la saison de plongée
- Ne pas plonger si une douleur dentaire est déjà présente
- Si une violente douleur apparaît lors de la remontée dans les 15 derniers mètres, redescendre de quelques mètres et remonter très lentement.

Le placage de masque ↓

- **Causes**

L'air contenu dans le masque se comprime à la descente, quand la jupe du masque atteint sa limite d'élasticité il se crée un effet ventouse par dépression relative.

- **Symptômes**

- Troubles de la vision
- Douleurs aux yeux
- Yeux injectés de sang
- Saignements du nez
- Paupières tuméfiées (œil au beurre noir)

- **Traitement**

Saignement nasal : appuyer fortement sur la narine
Dans les autres cas consulter un ophtalmologiste

- **Prévention**

Souffler de l'air par le nez dans le masque à la descente.
Ne pas trop serrer la sangle.

La dilatation des gaz intestinaux et stomacaux ↑

- **Causes**

Les gaz provenant de la fermentation des aliments ou l'air avalé pendant la plongée se dilatent pendant la remontée

- **Symptômes**

- Violentes douleurs abdominales
- La surpression stomacale peut générer une syncope (due à la douleur), voire déchirer l'estomac et pénétrer le médiastin. Les symptômes sont alors ceux de la surpression pulmonaire.
- La surpression intestinale peut provoquer des coliques.

- **Traitement**
Consulter un médecin
Dans un cas grave recomprimer le malade en caisson
- **Prévention**
 - Roter, péter dans l'eau.
 - Eventuellement, éviter les féculents
 - Eviter les boissons gazeuses juste avant de plonger.

Flottabilité

- **Justification**
Savoir pourquoi et comment un objet ou un plongeur coule ou flotte.
- **Mise en évidence**
schéma avec 3 boites contenant chacune 1, 2 ou 3 plombs de 500g.
- **Principe d'Archimède**
"Tout corps plongé dans un liquide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale, dirigée du bas vers le haut, égale au poids du volume du liquide déplacé."
Poids Apparent = Poids Réel - Poussée d'Archimède
PArch = volume en litres
Lorsque le Poids Apparent est > 0 le corps coule, = 0 le corps est stabilisé et < 0 le corps flotte.
- **Application à la plongée**
Poumon ballast, gonflage de la stab, ceinture de plomb, parachute, salinité de l'eau,...

Exercice Archimède + Mariotte

Une ancre de 40 kg et de 10 litres se trouve à 30 mètres de fond, un plongeur introduit 27 l d'air dans un parachute, que se passe-t-il ? Que doit-il faire pour que l'ancre remonte ?

$$P_{App} = P_{Réel} - P_{Arch} = 40 - 10 = 30 \text{ kg}$$

Lorsque le plongeur gonfle le parachute avec 27 l d'air on a :

$$P_{App}(\text{de l'ensemble}) = 30 - 27 = 3 \text{ kg} > 0 \text{ l'ancre reste au fond}$$

Le plongeur doit aider l'ancre et le parachute à remonter afin que le volume du parachute soit de 30 litres :

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

$$4 \text{ bars} \times 27 \text{ litres} = P_2 \times 30 \text{ litres}$$

$P_2 = (4 \times 27) / 30 = 3,6 \text{ bars}$, soit 26 m de profondeur, le plongeur devra donc palmer pour remonter de 4 m afin que le parachute commence à entraîner l'ancre vers la surface.

Les accidents toxiques

Justification et rappels

A des pressions importantes, les gaz qui composent l'air deviennent toxiques.

$$P_{abs} = P_{Hydro} + P_{Atmo}$$

PV=Cte

La PpO₂ ne doit pas être > 1,6b et pas > à 0,5b pendant plus de 2h.

A partir de 4b de PpN₂ (30m à l'air) la narcose peut apparaître.

Attention à ne pas faire d'effort important pour éviter l'essoufflement, et ce, d'autant plus que la profondeur est importante.

Loi de Dalton

Exemple du wagon dont une partie des passagers descendent.

Exo : retrait de 50% du gaz dans une boîte, quelle pression subsiste ?

Exo : retrait de 20% du gaz dans une boîte, pression ?

rappel composition de l'air N₂ 79% O₂ 20,9% CO₂ 0,03% Gaz rares 0,07%

Exo : retrait de l'oxy, pression ? C'est la Pp.

Exo : retrait de l'azote, pression ?

Exo : retrait de l'azote à 10M, pression ?

Définition, formule : $P_p = P_{abs} \times C$

"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."

Exo : Pression partielle de N₂ à 30m ?

N₂ : ivresse des profondeurs)

- **Causes**

La pression partielle d'azote dépasse 4b.

- **Symptômes**

Les premiers symptômes peuvent apparaître dès 30m, la victime ne s'en rend pas toujours compte elle-même. A partir de 60m tout le monde est atteint.

Euphorie (j'enlève mes palmes, mon masque, mon embout,...

Déséquilibre, anxiété, peur,...

Diminution de l'attention, de la mémoire, de la coordination

Perte de conscience, puis mort.

- **Traitement**

On remonte de quelques mètres et les symptômes disparaissent.

- **Prévention**

Bien observer la palanquée

Connaître et accepter ses limites

Eviter l'utilisation d'azote pour les plongées profondes

Eviter de dépasser 40m

CO₂ : essoufflement

- **Causes**

- Une pression partielle P_pCO₂ dans les poumons trop importante

- L'effort

- Mauvaise qualité de l'air respiré

- Détendeur défectueux ou bouteille mal ouverte

- Le froid

- **Symptômes**

Augmentation du rythme respiratoire
Ventilation haletante, superficielle (essoufflement)
Nausées, maux de tête, vomissements
Syncope, lâché d'embout, noyade

- **Traitement**

Soustraire la victime à l'effort, l'aider à se calmer.
La victime doit chercher à expirer 2 temps pour aspirer 1 temps.
Remonter rapidement au début (sans palmer !), ralentir en vue de la surface, attention au risque de surpression pulmonaire. Dans la plupart des cas les symptômes disparaissent lors de la remontée, sinon sortir de l'eau, allonger dans un endroit aéré, faire respirer de l'O₂ pur.

- **Prévention**

- Bien ouvrir la bouteille
- Avoir un détendeur en bon état
- Air pur dans la bouteille
- Etre accompagné
- Bien expirer
- Etre en bonne condition physique
- Avoir une bonne combinaison adaptée à la température de l'eau
- Faire d'autant moins d'efforts que la profondeur est importante.
- Stopper tout effort et demander assistance dès les premiers symptômes.

La dissolution des gaz

Justification et rappels

Notre organisme stocke une partie de l'air sous pression que nous respirons en plongée. Ces gaz s'évacuent à la remontée. Si nous remontons trop vite, des bulles peuvent se former dans notre corps, causant alors des accidents graves.

$$P_{abs} = P_{Hydro} + P_{Atmo}$$

$$PV = Cte$$

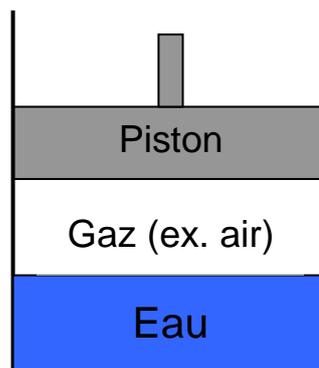
$$P_p = P_{abs} \times C$$

Loi de Henry

Les gaz se dissolvent dans les liquides au contact de ceux-ci. L'air se dissout dans l'eau, ainsi l'eau contient une certaine quantité d'air.

On le constate en voyant un poisson rouge dans un bocal : c'est grâce à la dissolution de l'oxygène de l'air dans l'eau du bocal que le poisson rouge peut y vivre.

Exemple du piston



Si on appuie sur le piston, on augmente la pression de l'air sur l'eau. Petit à petit la quantité d'air dissoute dans l'eau augmente, puis se stabilise. Si on diminue ensuite cette pression, l'air ressort. Si on diminue cette pression trop rapidement, l'air sort si vite qu'il se forme des bulles, comme quand on ouvre rapidement une bouteille de coca. C'est d'ailleurs simplement en mettant du gaz sous pression en présence d'un liquide que sont fabriquées les boissons gazeuses.

Définition de la tension

A température donnée, la quantité de gaz dissous à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression du gaz au-dessus de ce liquide. Cette quantité, appelée "tension" est exprimée en bars.

A la descente	Sous saturation	Tension < Pression
A profondeur constante	Saturation	T = P
A la remontée	Sur saturation	T > P
Remontée trop rapide	Sur saturation critique	T >> P

Dissolution

Plusieurs facteurs influent sur la dissolution :

La température

La nature du gaz

La nature du liquide

La surface de contact gaz/liquide (Il vaut mieux boire son champagne dans une flûte que dans une coupe)

La différence entre la tension et la pression

La durée

L'agitation du liquide

On voit que les petites cuillers en argent ne figurent pas dans cette liste. Tordons donc le cou à cette rumeur.

Notion de tissu

O₂ consommé, N₂ non consommé.

N₂ : Air -> poumons -> sang -> tout le corps.

Quantité de N₂ dissous varie suivant les parties du corps (composition, vascularisation).

Facteurs	Correspondance chez le plongeur
La température	Aucune, la température interne reste à 37°C, même quand on a froid.
La nature du gaz	Il faut utiliser des tables spéciales pour plonger avec des gaz autres que l'air.
La nature du liquide	Tous les tissus du corps ne dissolvent pas les gaz à la même vitesse. A titre d'exemple le sang et le cerveau sont les plus rapides, le cartilage le plus lent.
La surface de contact	vascularisation (tissus, effort) et développement pulmonaire (effort)
La différence entre T & P	profondeur, vitesse de descente ou de remontée.
La durée	temps de plongée
L'agitation du liquide	effort important (lutte de l'organisme contre le froid, mauvaise stabilisation)

Les accidents de décompression

- **Causes**

L'azote dissous dans les tissus reprend sa forme gazeuse à la remontée.

Si celle-ci est trop rapide, des bulles se forment dans les tissus, comme quand on ouvre d'un coup une bouteille d'eau gazeuse.

Les bulles se regroupent et augmentent de volume à la remontée (=> coagulation du sang), des caillots de sang peuvent se former dans différentes parties du corps : crosse aortique, cerveau,...

- **Symptômes**

Ne sont pas toujours instantanés : de 0 à 12h00 (85% des accidents surviennent dans l'heure). Plus ils surviennent tôt, plus c'est grave.

Symptômes généraux

- Le plus important car systématique : asthénie (fatigue intense)
- Syncope et mort

Symptômes oreille interne :

- Vertiges, nausées.

Symptômes neurologiques :

- Paralysies (paraplégie), paresthésies (perte de sensations).
- Impossibilité d'uriner.
- Troubles de la parole, de la vision, de l'équilibre (attention pour ce dernier point, si pas d'autres signes neurologiques associés, soupçonner plutôt l'oreille interne).
- Crise d'épilepsie.

Symptômes circulatoires ou ventilatoires :

- Bends (douleurs articulaires), puces (démangeaisons), moutons (bulles sous la peau) : n'arrivent normalement pas en plongée loisir.
- Gêne respiratoire
- Problèmes circulatoires (pouls rapide, pâleur, sueur. Si sensation d'avoir la poitrine prise dans un étau : infarctus possible).

• **Traitement**

- **Allonger** afin de faciliter la circulation au niveau du cerveau et de permettre aux bulles de s'accumuler plutôt vers les jambes.
- **Couvrir, rassurer**
- Faire attention aux autres plongeurs qui ont les mêmes paramètres de plongée que l'accidenté.
- Fluidifier le sang et augmenter le volume sanguin en donnant de l'**aspirine** (si pas d'allergie) et en faisant **boire**.
- Faire respirer de l'**O₂ pur** (pas pendant 2h).
- **Alerter** les secours pour l'évacuation et la préparation du caisson de recompression
- **Noter** le profil de la plongée (profondeur, temps, heure, aspirine,...)

• **Prévention**

- **Respecter la vitesse de remontée** : **15 m/min**. Il faut donc mettre 4 secondes pour parcourir 1 mètre (et non pas 4m/sec)
- **Respecter les tables de plongée** (paliers,...) ou l'ordinateur et ne pas changer de tables ou d'ordinateur entre 2 plongées successives
- **Ne pas plonger seul, avoir un équipement en bon état, être en bonne condition physique.**
- **Maximum 2 plongées par jour** (tables MN90)
- **Limiter les efforts**, le CO₂ étant un facteur favorisant.
- Pas d'effort important non plus après la plongée.
- Après la plongée, **ne pas faire d'apnée**.
- **Pas de valsalva** en remontant ou au palier.
- Attendre **24H00** après la dernière plongée pour prendre l'**avion** ou se rendre en **montagne**.

Hors structure :

- Connaître les moyens de secours locaux.
- Avoir à bord du bateau de l'eau douce, de l'aspirine, de l'oxygène, un

moyen de prévenir les secours.

Allonger les paliers (durcir le profil ou allonger uniquement le palier de 3m) ou renoncer à la plongée en cas de **facteurs favorisants** :
la **profondeur**, la **durée** de plongée, l'**âge** (> 40 ans), l'**obésité**, le **tabac**, l'**alcool**, la **drogue**, la **déshydratation**, la prise de certains **médicaments**, la **fatigue**, la mauvaise condition physique, un **effort** important, l'**essoufflement**, le **froid**, le **yoyo** (remontées et descentes successives pendant la plongée ou au palier, attention à l'état de la mer et au lestage), les plongées **successives**.

Les tables

Rappels

Loi de Dalton sur les pressions partielles.
Loi de Henry sur la dissolution des gaz.
Prérogatives niveau 2.

Pourquoi on utilise des tables

Afin d'éviter les accidents de décompression et de permettre à l'organisme d'éliminer son surplus d'azote, il est nécessaire de contrôler sa vitesse de remontée en respectant tout d'abord une **vitesse de remontée maximum de 15 m/min**, ce qui fait 4 sec/m (et non pas 4 m/sec) et qui correspond à la vitesse de remontée des toutes petites bulles, et d'effectuer des paliers de décompression à différentes profondeurs et pendant des durées variables dépendantes des paramètres de plongée. Les paramètres de plongée sont :

- **La profondeur :**
correspond à la profondeur maximale atteinte lors de la plongée
- **Le temps de plongée :**
débuté dès l'immersion et se termine lorsque l'on commence à remonter à la vitesse de 15m/min.
- **La durée totale de la remontée**
Débuté lorsque l'on commence à remonter à la vitesse de 15m/min et s'arrête lorsqu'on crève la surface.
Il existe plusieurs types de tables : MN90, Haldane 1906, GERS 65, COMEX, US NAVY, PADI, BESAC, NAUI,... qui correspondent à des utilisations différentes (militaire, travail sous-marin,...). Bien connaître leur cadre d'utilisation est très important. Elles peuvent être limitées en altitude, nombre de plongées, profil de plongées...
Nous verrons ici l'utilisation des tables MN90, qui ont été élaborées pour une population ciblée (de jeunes sportifs). Ces tables (2 plongées par jour maximum) avec les dernières modifications correspondantes aux temps de remontée : le temps mis pour passer d'un palier à un autre doit être de **30 secondes**, c'est à dire que pour passer du palier de -6m à celui de -3m il faut mettre 30 sec pour parcourir 3m, le raisonnement est identique entre -3m et la surface, cette vitesse (6m/mn) est donc bien inférieure aux 15m/min indiqués précédemment pour la vitesse de remontée à partir du fond.

La courbe de sécurité

Lorsque les plongées s'effectuent à l'intérieur de la courbe de sécurité (voir votre Niveau 1) il n'est pas nécessaire d'effectuer de palier (hormis le palier de principe de 3 min à 3 m). Cette courbe n'est valable que pour des plongées simples, c'est à dire au moins 8h30 après la dernière plongée :

Profondeur max (m)	Temps max (min)
12	2h15'
15	1h15'
20	40'
25	20'
30	10'
35	10'
40	5'

Plongée simple

- **Exemple**

Un plongeur s'immerge à 10h00, reste 34 min à 27 m.

A quelle heure fera-t-il surface ?

Il fera **12min à 3 m, + 30 sec** de temps interpalier.

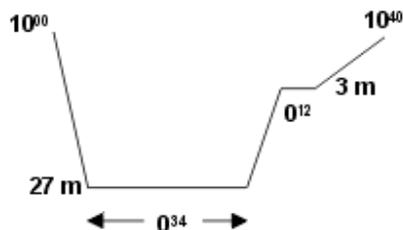
Sa durée de remontée (DR) sera de $27-3 = 24\text{m} \times 4\text{sec/m} = 96\text{ sec}$, soit 1mn36s, que l'on arrondit à la demi-minute supérieure, donc **2 min**.

Il sortira donc à 10h49, en effet :

$34' + 12,5' + 2' = 48,5'$ que l'on arrondit à la minute supérieure.

Quel sera son groupe de plongée successive (GPS) ?

Ce sera la lettre **I**.



- **Exercice**

Un plongeur, resté 56min à 17 m sort à 16h30. A quelle s'est-il immergé sachant qu'il a correctement respecté ses paliers et sa vitesse de remontée ? Quel est son groupe de plongée successive ?

Remontée lente : $V < 15\text{ m/min}$

Une remontée est considérée lente lorsque la vitesse de remontée est inférieure à 15 m/min (4 sec/m). Le Temps de Plongée qui doit alors être pris en compte est la durée séparant l'immersion du début de la remontée à la vitesse normale soit 15 m/min.

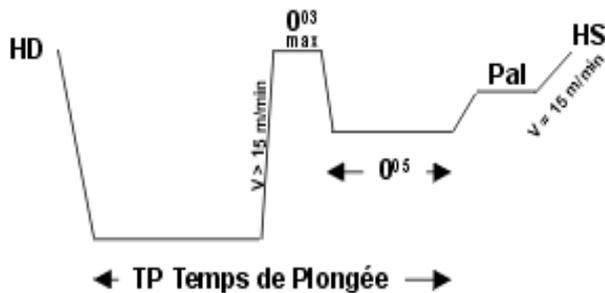
- **Exercice**

Un plongeur s'immerge à 14h30. Après 40 minutes à 24m il entame sa remontée. Il arrive au palier de 3m à 15h15. A quelle heure va t-il sortir de l'eau, et quel sera son GPS ?

Remontée rapide

Une remontée est considérée rapide lorsque la vitesse de remontée est supérieure à 15 m/min (4 sec/m). Dans ce cas les consignes de sécurité sont les suivantes :

- Rester en surface maximum 3 minutes
- Redescendre à mi-profondeur (maximum) y rester 5 minutes
- Le Temps de Plongée à prendre en compte : Heure de Début jusqu'à la fin des 5 minutes



- **Exercice**

Palier interrompu

Un palier interrompu doit être recommencé depuis le début (temps max en surface = 3 minutes)

- **Exercice**

Un plongeur s'immerge à 10h. Il reste 30 minutes à 30 mètres, puis entame sa remontée. Il atteint son palier à 10h32 puis 2 minutes après l'inflateur de sa stab tombe en panne et gonfle en permanence. Il se retrouve en surface avant d'avoir pu réagir. A 10h33 il parvient à atteindre le bloc accroché au pendeur à 3m qu'il a pu rejoindre en débranchant son direct-system. Son bloc étant presque vide il ouvre l'air du bloc au pendeur, et change de détendeur. Que doit-il faire ?

A quelle heure va t-il sortir de l'eau ? Quel sera son GPS ?

Plongées consécutives

C'est quand l'intervalle entre 2 plongées est inférieur à 15 minutes

Le Temps de Plongée TP à prendre en compte est la cumulation des temps de plongée des 2 plongées

La profondeur max Pf à prendre en compte est la profondeur max atteinte lors de la plongée la plus profonde.

- **Exercice**

Plongées successives

C'est quand l'intervalle entre deux plongées est d'au moins 15 min et est inférieur à 8h30.

Il faut prendre en compte l'azote résiduel.

- **Exercice**

Le nitrox

Le nitrox est de l'air enrichi en oxygène.

Azote se dit *nitrogen* en anglais, d'où le nom nitrox, contraction de nitrogen-oxygen.

En diminuant ainsi le pourcentage d'azote dans le mélange, on réduit la quantité de gaz dissous dans le sang lors de la plongée. De ce fait les paramètres physiologiques de la plongée sont les mêmes que ceux d'une plongée à moindre profondeur. On est ainsi moins fatigué après la plongée, et on peut faire des paliers plus courts, ou se garder une marge de sécurité plus importante si on fait les mêmes paliers qu'à l'air.

Malheureusement le nitrox ne permet pas de dépasser les 40m, du fait de la toxicité de l'oxygène.

Le froid

Justification et rappels

Le refroidissement du corps peut être cause d'accidents. Les naufragés meurent de froid.

Quatre accidents sont possibles :

- l'essoufflement
- l'accident de décompression
- la déperdition calorifique conduisant à l'hypothermie.
- le choc thermo différentiel

L'essoufflement

Il peut survenir du fait de la plus grande activité du métabolisme pour lutter contre le froid.

L'accident de décompression

Cette plus grande activité du métabolisme, et l'accélération de la respiration qu'il entraîne, font que les gaz se dissolvent plus rapidement dans les tissus.

L'hypothermie

- **causes**

La température centrale du corps est de 37°C, la température cutanée est de 33 à 34°C. Si l'équilibre est assuré pour un homme nu à 25°C dans l'air, il faut 33°C dans l'eau, car la conductibilité thermique de l'eau est 25 fois supérieure à celle de l'air.

De plus l'air détendu refroidit le corps.

- **symptômes**
 - Chair de poule
 - Crampes, tremblements, diminution de l'habileté, irritabilité, désintéressement.
 - Augmentation des rythmes cardiaques et ventilatoires -> risques d'essoufflement et d'accident de décompression.
 - Arythmie cardiaque, baisse de la tension artérielle.
 - Rigidité musculaire, engourdissement
 - Syncope -> mort
- **traitement**

Dans l'eau, il faut faire signe et remonter dans une eau plus chaude ou arrêter la plongée.

En surface il faut :

 - Sécher et réchauffer sans frictionner
 - Boisson chaude. Jamais d'alcool
 - Inhalations d'O₂ pour prévenir un éventuel ADD
- **prévention**
 - Régime alimentaire suffisant (4500 à 5500 cal/j)
 - Combinaison adaptée, éventuellement enveloppant tout le corps (gants, chaussons, cagoule) ajusté sans trous, ni plis, ni poches d'air.

En eau froide :

 - Avant : sucres, vitamines, bonne forme physique
 - Limiter la durée de la plongée
 - si très froide, combinaison étanche.

Le choc thermo-différentiel

- **causes**

Rapidité du changement de température auquel le corps est soumis, aggravé par une exposition préalable au soleil.

Hydrocution = Reflux brusque du sang vers le coeur -> vasoconstriction -> chute de tension -> syncope.
- **symptômes**
 - malaise général
 - tête dans un étai
 - bourdonnements, troubles de la vue
 - marbrures rouges de la peau
 - paralysie des membres

puis :

 - Syncope puis noyade si rien n'est fait.
- **traitement**

Sortir de l'eau et réchauffer.
- **prévention**
 - immersion lente et/ou progressive si eau froide et corps chaud : mouiller la nuque, le ventre...
 - bonne forme physique

Faune et flore

Préservation de l'environnement

- **Justification**

Au fur et à mesure que votre expérience grandit, le simple fait de respirer sous l'eau perd de sa magie, et vous allez vous intéresser à la vie qui grouille autour de vous. La préservation de cette vie est le garant de la conservation de l'intérêt de vos plongées. Des formations existent afin de mieux connaître cette vie. Les formations fédérales sont sanctionnées par les diplômes d'animateur bio, d'initiateur bio, puis de MF1 bio.

- **Ne rien remonter du fond**

Le plongeur respectueux de l'environnement ne doit rien toucher, rien remonter du fond. Un coquillage vide, par exemple, n'est pas inutile : les bernards l'hermite habitent dans des coquillages abandonnés et en changent au fur et à mesure de leur croissance.

Une étoile de mer, si jolie au fond, perdra vite sa couleur rouge vif une fois morte en surface et vous serez pressés de vous en débarrasser dès qu'elle commencera à puer.

- **Ne rien toucher**

Apprenez à maîtriser votre flottabilité et votre équilibre, à éviter les arrivées fracassantes au fond et faites attention aux coups de palmes et de blocs que vous distribuez pendant vos déplacements.

Chaque coup de palme, chaque projection de sable détruisent des animaux, des végétaux.

Le corail est en fait composé d'une colonie d'animaux qui sécrètent une coquille calcaire autour d'eux. Cette colonie pousse de 1 à 2 cm par an en moyenne. Une branche de corail cassée peut avoir mis des siècles à se générer.

Certains poissons, notamment du fait du nourrissage, peuvent se laisser approcher au point de se laisser toucher, voire même caresser. En le faisant, vous leur enlevez une partie du mucus qui recouvre leur peau et les protège des parasites.

- **Le nourrissage, ou "feeding"**

Le nourrissage des poissons, afin de les voir de plus près, est une pratique qui est malheureusement encore pratiquée par certains. Si vous en êtes les témoins, il faut refuser d'adhérer à ces pratiques, et tenter d'expliquer que la nature est fragile, et que toute intervention lui nuit.

Le napoléon par exemple, gros poisson (peut atteindre 2m!) des mers tropicales a beau raffoler des oeufs durs, ceux-ci ne font pas partie de son régime alimentaire habituel, et lui provoquent des troubles intestinaux.

Le nourrissage des requins peut introduire chez ceux-ci des comportements anormaux qui peuvent les rendre dangereux pour l'homme.

Dangers et légendes

Globalement la faune et la flore sous-marine présentent peu de risques pour le plongeur qui respecte son environnement, et les espèces dangereuses ne sont généralement pas celles que l'on croit.

Les requins qui évoluent dans des zones plongées, donc à faible distance des côtes, n'attaquent pas les plongeurs, si ce dernier ne les provoque pas (on ne tire pas la queue du requin posé sur le fond, on ne le poursuit pas), ne chasse pas et n'a pas perturbé leur comportement par le nourrissage.

L'agressivité des baraccudas, malgré leur gueule impressionnante, est une légende.

Les murènes n'attaquent normalement pas l'homme à moins d'aller leur mettre le doigt dans la gueule ou d'avoir joué avec un poulpe.

Certains poissons font des piqûres douloureuses comme les **rascasses**, ou les **poissons-scorpions**, une bonne raison de plus pour ne pas poser les mains ou les fesses sur le rocher.

- **En mer tropicale**

La piqûre du **poisson-pierre** et du **cône** (coquillage) sont mortelles.

Attention aux **poissons-chirurgiens**, munis de lames rétractables coupantes comme des rasoirs au rétrécissement caudal. Cependant, là encore, aucun risque si vous ne cherchez pas à les attraper.

Évitez de vous frotter au **corail de feu**, qui vous fera des blessures qui mettront des mois à cicatriser.

En fait, le seul risque que vous ayez à craindre si vous ne touchez à rien, sont les méduses, dont les filaments invisibles peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres de long. Certaines espèces sont mortelles.

Les autres accidents

- **Houle, courant**

Le mal de mer est à éviter avant la plongée, ne pas prendre de médicaments contre, attention aux rochers. Toujours partir contre le courant.

- **Bateaux**

Évitez de respirer les gaz d'échappement du bateau lors de la mise à l'eau. Bien regarder lors de la remontée pour éviter une collision. Attention en particulier aux voiliers et planches à voiles qui sont silencieux.

- **Environnement**

Ne jamais entrer dans une grotte (sédiments en suspension, ou soulevés par le palmage) ou une épave (risques de coupures ou d'effondrement : l'air expiré modifie les équilibres des tôles), ces explorations nécessitent un matériel et des techniques spécifiques

Attention aux filets, lignes, hameçons, explosifs dans les épaves.

- **Noyade**

Arrachage de l'embout, du masque.

Orientation

Particulièrement sur les sites sur lesquels il y a du courant, il faut être capable de retrouver l'ancre pour pouvoir faire les paliers sous le bateau et ne pas se retrouver perdu à plusieurs kilomètres des côtes.

L'orientation s'acquiert par une longue pratique. Pour y parvenir il faut vous appuyer sur des points de repère.

- **Près du fond**
 - Un rocher caractéristique (il faut se retourner pour le voir tel qu'il sera au retour).
 - La profondeur
 - La faune fixe (corail...)
 - La distance
 - les ondes sur le sable, qui sont normalement parallèles à la houle, et donc à la plage s'il y en a une pas loin.
- **En pleine eau**
 - Le soleil
 - La boussole

Dans tous les cas repérez la coque de votre bateau, et l'emplacement et la forme de votre ancre.

L'optique

Outre le champ de vision réduit dû au port du masque, les caractéristiques de transmission de la lumière par l'eau sont différentes de celle de l'air. Plusieurs phénomènes bien connus en surface sont différents dès que l'on pénètre sous la surface, les couleurs, les tailles,... sont différentes :

Profondeur (m)	% de lumière résiduelle (eau claire)	Disparition des couleurs
0		
5		
10	14	
25		
30		
40	1,5	
55		
60		
> 100		

Les objets et les poissons paraissent plus gros de 1/3 et plus près de 1/4. T_R = Taille réelle & T_A = Taille apparente :

$$\frac{T_A}{T_R} = \frac{4}{3}$$

L'angle réfracté est au maximum égal à $48,5^\circ$. C'est à dire qu'un rayon lumineux provenant du fond ne traverse pas la surface si l'angle qu'il fait avec la verticale est supérieur à $48,5^\circ$.

Il faut prendre une lampe pour restituer les couleurs même en pleine journée, photographier avec un flash, plonger à midi (heure solaire) pour profiter d'une luminosité maximum et ne pas être déçu lorsque le poisson pêché (en apnée) paraît plus petit arrivé en surface...

L'acoustique :

La célérité (vitesse) du son dans l'eau est différente de la vitesse du son dans l'air.

$C_{\text{air}} = 340 \text{ m/s}$

$C_{\text{eau}} = 1500 \text{ m/s}$

On entend très bien sous l'eau, mais il n'est pas aisé de connaître la provenance d'un bruit et de savoir à quelle distance il se trouve.

Il est donc très difficile de localiser un bateau, et si on les entend généralement bien, dans certaines circonstances il peuvent ne faire pratiquement aucun bruit sous l'eau, sans même parler des voiliers, planches à voile...

Attention à la remontée à bien réaliser un 360° avant de crever la surface.

Législation

A bord d'un bateau de plongée il doit obligatoirement y avoir de l'oxygène et une trousse à pharmacie.

L'activité de plongée doit être matérialisée par le pavillon alpha.

Documents obligatoires :

Le brevet.

Un certificat médical de moins d'un an.

Pour le passage de niveaux il doit être délivré par un médecin du sport ou un médecin fédéral. Une liste des médecins fédéraux est disponible sur le site de la fédé.

Pour la simple pratique de l'activité il peut être délivré par un généraliste, Pour plonger dans un club FFESSM, la licence est obligatoire.

Le carnet de plongée n'est pas obligatoire, mais est recommandé.

Possibilités de progression

Le niveau 2 peut ensuite évoluer vers les formations suivantes : P3, P4, initiateur, animateur bio, plongée souterraine...

Zones d'évolution et prérogatives

La loi détermine 3 zones d'évolution :

- L'espace proche, de 0 à 6m
- L'espace médian, jusqu'à 20m
- L'espace lointain, au-delà de 20m.
- niveau 1 : peut évoluer dans l'espace médian, toujours encadré (sauf 1 cas particulier).
- niveau 2 : Sur décision du directeur de plongée, autonome dans l'espace médian. Assisté dans l'espace lointain.

Le matériel obligatoire pour l'autonomie

Pour plonger en autonomie les niveaux 2 doivent obligatoirement disposer du matériel suivant :

- Un ordinateur de plongée ou un profondimètre, une montre et des tables de plongée immergeables.
- Un gilet de sécurité (stab) gonflable avec "direct-system"
- Le détendeur doit être muni d'un deuxième octopus (2ème étage).

Le parachute n'est pas obligatoire.

Les bouteilles de plongée

- ***Les contrôles prévus par la loi***

La réglementation française impose deux contrôles périodiques: la requalification (encore appelée réépreuve) et l'inspection annuelle.

La requalification est réalisée par une entreprise spécialisée et doit être pratiquée tous les 2 ans, sauf celles appartenant à des clubs de plongée (5 ans). Lors de ce contrôle les bouteilles sont remplies d'eau et soumises à la PE afin de tester leur résistance. Ce test est matérialisé par un

poinçon (sigle "ε" de l'union européenne ou tête de cheval) apposé par le service des Mines et la date de validité.

Tous les ans, elles doivent être soumises à la visite d'inspection visuelle. L'inspection visuelle est réalisée par un membre du club formé à cet effet. Le TIV (Technicien en Inspection Visuelle) vérifie le niveau de dégradation extérieur et intérieur de la bouteille.

- **La carte grise de la bouteille**

La bouteille est soumise à plusieurs contrôles de sécurité et plusieurs inscriptions y sont gravées ou écrites :

- Nom du constructeur
- Année de construction et numéro de série
- Le volume contenu dans la bouteille
- Le poids à vide de la bouteille
- La nature du gaz
- La pression d'épreuve (PE)
- La pression de service (PS) à ne pas dépasser en utilisation, avec $PS = \frac{2}{3} PE$
- La date de qualification
- La date de requalification
- Le poinçon des Mines (tête de cheval) ou sigle "ε".

La chasse

Votre licence FFESSM est aussi un permis de chasse sous-marine (à condition d'avoir plus de 16 ans). Cela vous autorise à chasser, par exemple avec un fusil-harpon, certaines espèces. Des restrictions existent sur la quantité et la taille, si vous souhaitez pratiquer cette activité il vous faudra vous renseigner spécifiquement avant. Par exemple, certaines espèces, comme le mérrou noir, sont strictement protégées et interdites de chasse ou de capture. Par ailleurs il est strictement interdit de chasser avec des bouteilles, il est même interdit (sauf dérogation) d'avoir un fusil-harpon et des bouteilles de plongée sur le même bateau.

Le matériel

Le but de ce cours est d'avoir :

- des critères de choix pour l'achat
- des notions sur le fonctionnement du matériel.
- des compléments d'information sur l'utilisation du matériel et son entretien.

Après chaque plongée, les équipements doivent être rincés à l'eau douce et séchés à l'ombre.

La bouteille

Le corps de la bouteille est en acier ou en aluminium et contient généralement 12 ou 15 litres d'air à une pression de 200 ou 230 bars suivant le type et le modèle.

Le robinet de conservation à son sommet permet l'admission d'air vers le détendeur.

Certaines anciennes robinetteries peuvent être encore munies d'un système de réserve, qui ferme l'arrivée d'air en-dessous de 50 bars.

- **Le robinet de conservation**

Toujours l'ouvrir à fond, puis refermer d'un quart de tour.

- **Entretien et stockage**

La bouteille aussi se rince !

Eviter les chocs.

Ne jamais stocker une bouteille ouverte (possibilité d'entrée d'eau => rouille).

Ne pas serrer la robinetterie à fond.

Le fonctionnement du détendeur à 2 étages

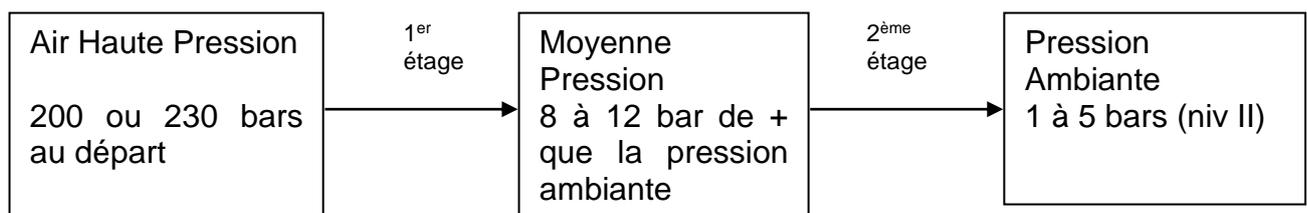
Le premier étage peut être à la norme internationale (étrier) ou allemande (DIN).

Le rôle du détendeur est de distribuer à volonté et à la demande de l'air à la pression ambiante.

Rappel :

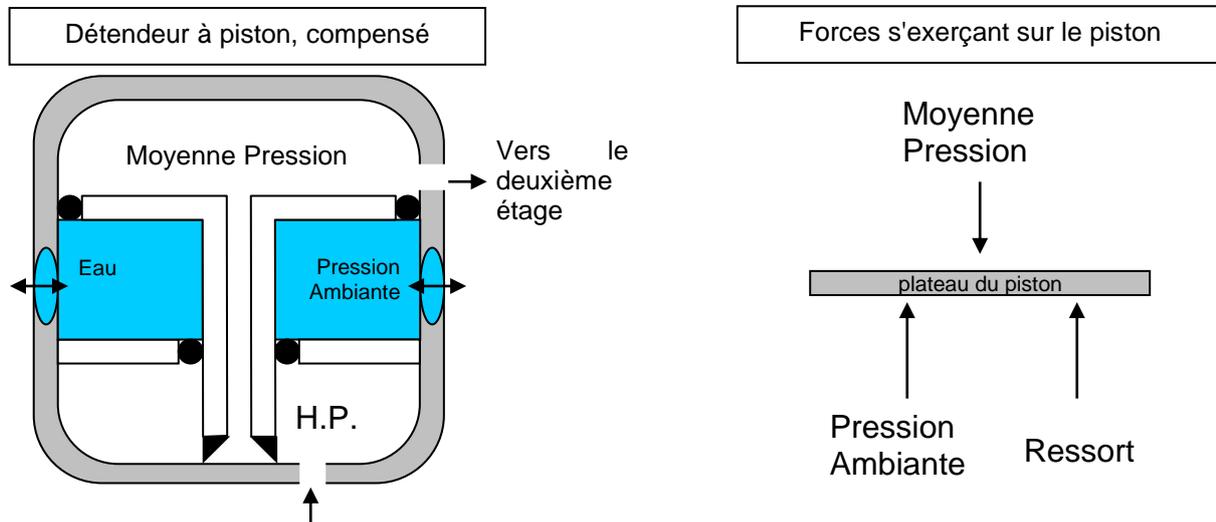
$$F = P \times S$$

Principe du détendeur à 2 étages :



Les schémas ci-dessous sont intentionnellement représentés sans ressort, dans un but de clarification.

Fonctionnement du détendeur à piston compensé



Commençons par imaginer comment se comporterait un détendeur sans ressort.

Quand le détendeur est dans le sac, il y a un bar dans la chambre moyenne pression, et la pression ambiante est d'un bar également. Aucune force n'impose donc sa position au piston, il est libre de se déplacer en fonction des mouvements que le détendeur subit.

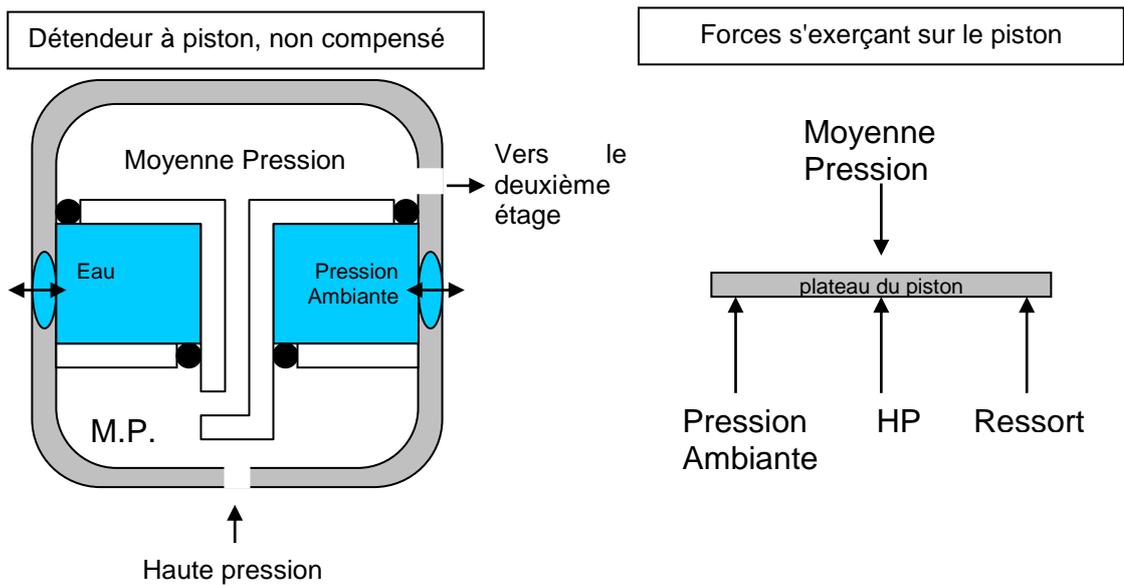
Quand on branche le détendeur sur la bouteille, l'air envahit la chambre haute pression, puis pénètre dans la chambre moyenne pression par l'axe creux du piston. A peine la pression a-t-elle augmenté dans la chambre moyenne pression (par exemple à 1,1 bar) que le piston se referme. En effet la haute pression ne tend pas à la maintenir ouvert.

Ce détendeur fournit donc directement de l'air à la pression ambiante, mais nécessitent de gros tuyaux jusqu'à la bouche pour pouvoir respirer confortablement. Les premiers détendeurs (comme le mistral) fonctionnaient sur ce principe.

Pour résoudre entre autre l'inconvénient des gros tuyaux, on a choisi de détendre l'air en deux étapes. Pour pouvoir faire passer beaucoup d'air dans un tuyau plus petit, il fallait que la pression soit supérieure à celle de la pression ambiante. On a choisi 10 bars comme valeur de moyenne pression.

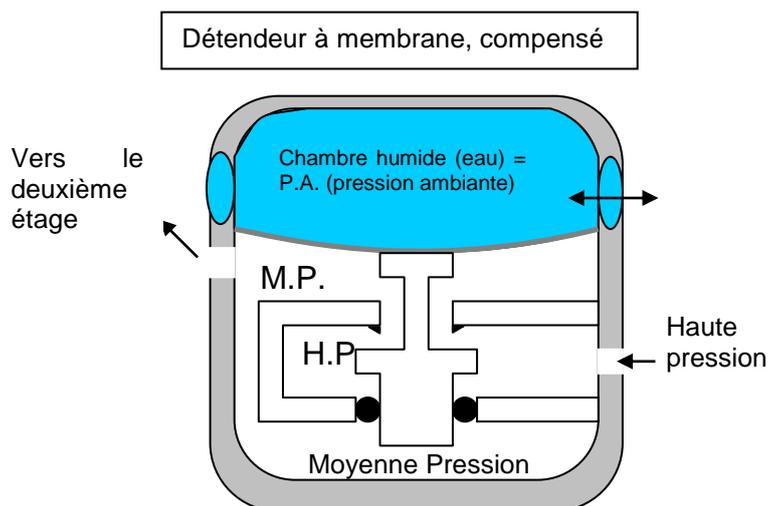
Pour cela on a ajouté un ressort suffisamment fort pour que la moyenne pression, qui pousse de l'autre côté, nécessite d'atteindre la force de 10 bars pour pouvoir le refermer.

Fonctionnement du détendeur à piston non compensé



Dans ce type de détendeur, plus ancien, la haute pression influe sur le réglage du détendeur, puisqu'elle a tendance à maintenir le piston en position ouverte. Ce détendeur aura donc tendance à donner trop d'air quand la bouteille est pleine, et à être dur quand on arrive à la réserve. Quand le piston monte, l'air du bloc (HP) envahit la chambre MP. Le piston va se refermer avant que la chambre MP n'atteigne la pression du bloc.

Fonctionnement du détendeur à membrane compensée



Quand le piston descend l'air de la chambre HP envahit la chambre MP.

Le manomètre et le flexible du direct-système

Les différents flexibles montés sur le premier étage se démontent, normalement avec une clé de 14, ce qui permet d'en modifier la répartition. Les bouchons se démontent aussi avec une clé allen. Dans ces tuyaux circule de l'air moyenne pression, sauf dans le tuyau du manomètre évidemment, qui a besoin de connaître la pression réelle régnant dans la bouteille. Le flexible du manomètre a une place bien précise, et sa vis de raccord est de taille différente de celle des autres pour ne pas risquer d'inverser.

Entretien et stockage

Au démontage, attention à ne pas laisser traîner le deuxième étage dans le sable. Pendant le rinçage il faut absolument mettre le bouchon pour éviter de faire pénétrer de l'eau par le filtre de la HP. Par contre ne pas le stocker avec le bouchon en place pour que l'humidité puisse s'évaporer. Chaque année il est fortement conseillé de faire réviser les détendeurs par un professionnel.

Le gilet stabilisateur

Son rôle est de :

- Se maintenir en surface
- Pouvoir remonter sans palmer
- Aider à remonter un plongeur en difficulté

Choisissez la bonne taille, surtout ne le prenez pas trop grand sinon il ne va pas faire suffisamment corps avec vous.

Malheureusement son volume est fonction de sa taille, donc ne le prenez pas trop petit non plus.

- ***Entretien et stockage***

Rincer toutes les pièces métalliques.

Pour le stockage on peut laver l'intérieur du gilet à l'eau douce.

La combinaison

N'hésitez pas à prendre une combinaison assez épaisse (au moins 5mm) et n'écoutez pas ceux qui vous disent qu'un shorty 3mm suffit en mer tropicale.

Malheureusement, avoir une combinaison épaisse a aussi ses inconvénients :

- Gêne dans les mouvements
- Encombrant
- Besoin de plus de plombs

- ***Entretien et stockage***

La combinaison peut se laver à la machine, sur programme "laine".

Évitez de la stocker pliée, le néoprène va s'écraser aux pliures.

Théorie niveau 3

Ce qui est en plus dans la théorie N3 comparée à la théorie N2 :

Accidents :

- Développer particulièrement l'ADD
- Pas de secourisme (le candidat doit posséder le RIFAP)

Réglementation :

- Blocs
- Prérogatives du N3
- Droit civil et pénal et notion de responsabilité
- Législation des bateaux
- Armement spécifique plongée défini par l'arrêté de 98

Tables :

- Les problèmes peuvent être plus complexes mais doivent rester réalistes.
- L'altitude peut être enseignée.
- Gestion de l'air.
- Planification de la plongée lorsque coexistent plusieurs procédures de déco.

Et en situation, à l'oral donc, le

matelotage :

- Noeud de chaise, tour mort et 2 demi-clés
- Mise en place de pendeur, lignes de vie
- Entretien de base du détendeur (changer les joints, déplacer les flexibles)

Théorie niveau 4

Compressibilité des gaz

Rappels

$$PV=Cte$$

Gonflage des blocs, exercice de démonstration

Mise en évidence de l'influence de la température

Cas du bloc au soleil, cas du bloc fourni au comptoir et qui se refroidit.

$$PV=Cte \text{ devient } PV=Cte \times T$$

TT s'exprime en Kelvins (K)

Température en K = Température en °C+273

Loi de Charles : $P1/T1=P2/T2$

Exercices de gonflage de blocs

1^{er} cas :

On gonfle un bloc avec un tampon : équilibrage

On gonfle un bloc avec 3 tampons, d'abord en même temps, puis successivement.

Flottabilité

Justification

Savoir pourquoi et comment un plongeur ou un objet coule ou flotte.

Mise en évidence

Un bloc est lourd sur la plage, il est moins lourd quand il est dans l'eau.

Prenons une boîte rigide et étanche de la taille d'une brique de lait et remplissons-la d'eau.

Combien pèse-t-elle ? -> 1kg, car un litre d'eau pèse 1 kg (on néglige le récipient).

Quel est son volume ? -> 1L

Plongeons-la dans une baignoire, va-t-elle flotter ou couler ? -> Elle reste à la profondeur à laquelle on la place, sans flotter ni couler. On dira que son poids apparent est nul.

- **Exercices**

Vidons un quart de l'eau de cette boîte.

Combien pèse-t-elle ? -> 750 g

Quel est son volume ? -> 1L

Replaçons-la dans notre baignoire, que se passe-t-il ? -> elle remonte à la surface, on dira que dans l'eau son poids apparent est négatif.

Ajoutons à l'intérieur un plomb d'un kg.

Combien pèse-t-elle ? 1kg750

Quel est son volume ? -> toujours 1L

Que se passe-t-il ? Elle coule. On dira que son poids apparent est positif.

- **Conclusion**

Les objets d'un poids inférieur à 1 kg par litre flottent, ceux d'un poids supérieur à 1kg par litre coulent. Un objet qui pèserait exactement un kg par litre (le poids de l'eau) est neutre.

Principe d'Archimède

Application à la plongée

Physiologie

L'appareil circulatoire

Le cœur :

Muscle creux d'environ 250 à 300g.
De **60 à 80 pulsations/min.**

Les artères :

Acheminent le sang **du cœur vers les organes**

Les veines :

Acheminent le sang **des organes vers le cœur**

Les capillaires :

Très petits vaisseaux effectuant **les échanges gazeux** entre le sang et les organes traversés

Trois phases de fonctionnement :

Systole auriculaire : contraction des oreillettes

Systoles ventriculaire : contraction des ventricules

Diastole : remplissage des oreillettes

La tension :

Systole cardiaque : donne le chiffre le plus élevé (pression maximale atteinte dans le circuit sanguin)

Diastole : donne le chiffre le plus faible (pression restant dans le circuit artériel)

Le rythme cardiaque augmente si :

Le volume sanguin diminue

La pression diminue

La pression partielle d'O₂ diminue

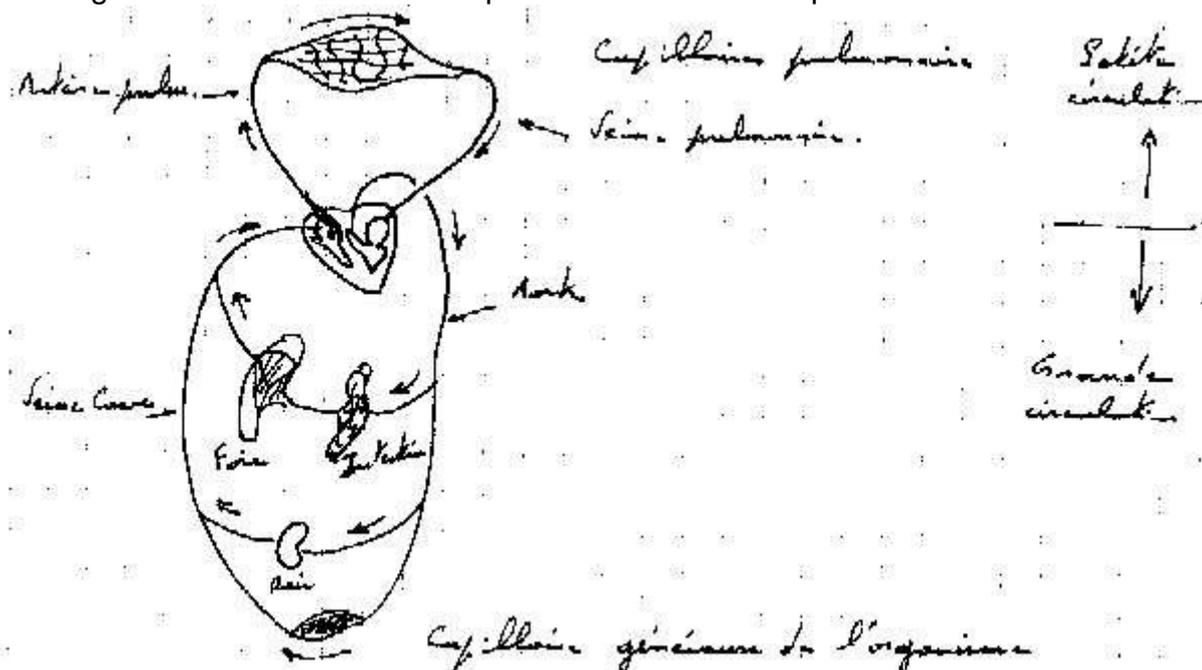
La pression partielle de CO₂ augmente

La température augmente

... et inversement

Deux types de circulation :

Le sang met environ 20 secondes pour "faire un tour complet"



Composition du sang

Globules rouges (hématies) transportent les gaz

Globules blancs (leucocytes) c'est notre système de défense (bactéries, microbes,...)

Plaquettes (thrombocytes) responsables de la coagulation

Plasma (90% d'eau) transporte les nutriments et les déchets

• **Application à la plongée**

Echanges gazeux

Accidents toxiques (O₂ et CO₂ dissous)

Accidents de décompression (N₂ dissous)

Secourisme

L'appareil respiratoire

Son rôle est d'effectuer les échanges gazeux entre l'extérieur et l'intérieur de l'organisme (hématose) qui absorbe l'O₂ et rejette le CO₂. La respiration sous-marine est différente de la respiration en surface, outre les pertes calorifiques supplémentaires, elle rencontre plus de résistance mécanique à cause du détendeur, l'apnéiste utilisant un tuba respirera plus de CO₂, celui-ci étant un gaz lourd il va rester dans le fond le tuba et repartira dans les poumons à l'inspiration suivante ce qui favorise l'essoufflement.

Voies aériennes

Dans l'ordre de haut en bas :

Fosses nasales : filtrent, humidifient, réchauffent

Pharynx : carrefour aéro-digestif air/aliments

Larynx : organe de la phonation

Trachée artère : "tube" de 12 cm environ élastique permettant de conserver un diamètre constant quelque soit la position de la tête

Bronches : deux bronches (une droite et une gauche) pénétrant dans les poumons, elles s'y divisent en bronches lobaires puis en bronchioles vers les alvéoles pulmonaires

Alvéoles : petits "sacs", il y en a environ 800 millions, d'un volume de 25 mm³, la surface d'échange ainsi offerte entre "l'extérieur" et l'intérieur de l'organisme est d'environ 200 m²

Poumons : d'environ 700 g il y en a 2 pourvus de deux lobes à gauche et de 3 à droite, ils sont recouverts de 2 feuillets, la plèvre

Mécanismes respiratoires :

Inspiration : phénomène actif dû à la contraction des muscles inspirateurs, le diaphragme descend créant un vide ce qui fait entrer de l'air dans les poumons.

Expiration : Phénomène passif, seule l'expiration forcée est active et due à une contraction de la paroi abdominale

Fréquence : 15 à 20 cycles par minute chez l'adulte

Mécanismes nerveux :

Le centre de commande se trouve dans le cerveau au niveau du bulbe rachidien. Ils ont surtout des centres inspireurs, ils ont un fonctionnement automatique mais ne sont pas autonomes, certains éléments extérieurs peuvent modifier son fonctionnement :

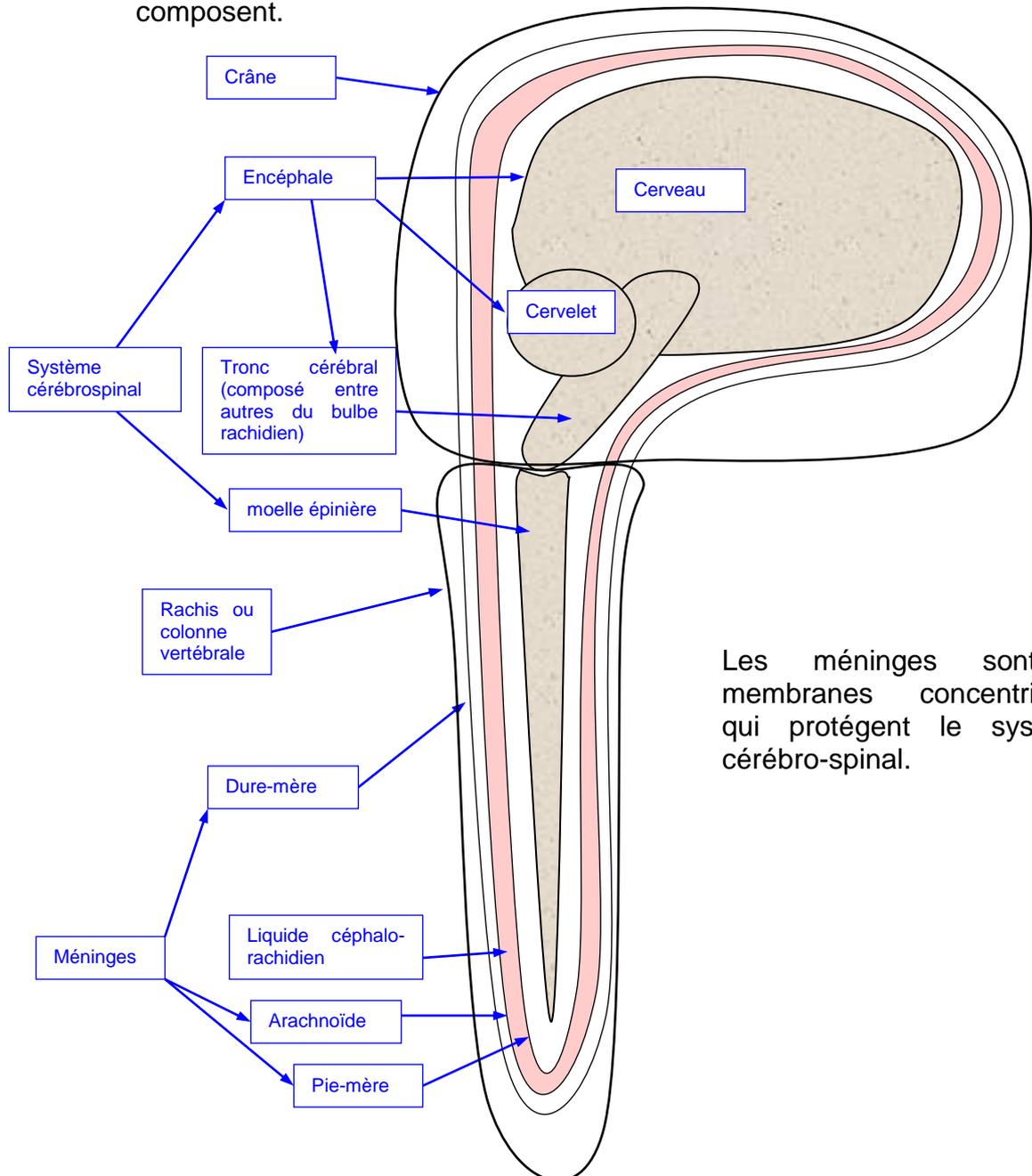
- La volonté
- Les centres digestifs (arrêt respiratoire à la déglutition)
- Les centres psychiques (en cas de peur)
- Les teneurs en O₂ et CO₂ dans le sang

Le soufflet pulmonaire :

		respiration normale	respiration sous effort	essoufflement
Volume total moyen 5,5 litres	Volume de réserve inspiratoire (2,5l)			
	Volume courant (0,5l)			
	Volume de réserve expiratoire(2l)			
	Espace morts (0,2l)			

Le système nerveux central

Voici une représentation schématique du système nerveux central, pour tenter d'y voir clair dans les différentes dénominations (noms) qui le composent.



Les méninges sont 3 membranes concentriques qui protègent le système cérébro-spinal.

Surpression pulmonaire

Insister sur la gravité aux élèves.

Mécanismes

A la remontée, le volume d'air contenu dans les poumons augmente. S'il ne peut pas sortir, cela entraîne une distension alvéolaire, voire une rupture d'une ou plusieurs alvéoles, un déchirement de la plèvre puis l'envahissement du médiastin. Si les alvéoles se rompent des bulles d'air passent dans le sang, du sang entre dans les poumons puis passe dans la salive.

Les bulles peuvent se coincer dans le cerveau ou le cœur et les priver de nourriture, d'O₂, d'élimination des déchets.

Les poumons supportent en moyenne une surpression de 30%, c'est pourquoi 3m est la profondeur maximum pour les exercices présentant un risque de surpression pulmonaire.

Traitement

Retenir le paniqué.

Les accidents biochimiques

Justification et rappels

Voir cours niveau 2

Loi de Dalton

Voir cours niveau 2

N₂ : ivresse des profondeurs)

Voir cours niveau 2

O₂ : hyperoxie, hypoxie

Effet Paul BERT

- **Causes**

L'O₂ devient dangereux si $P_pO_2 > 1,6$ bars.

Exo : calcul de la profondeur max à l'air

Exo : calcul de la profondeur max à l'oxygène pur

- **Symptômes**

Contractions musculaires, spasmophilie, épilepsie

Perte de connaissance, arrêt respiratoire

- **Traitement**

Faire redescendre la P_pO_2 , maintenir le détendeur pour éviter le risque de noyade.

- **Prévention**

Accidents ne survenant jamais à un plongeur amateur. Pour atteindre une $P_p(O_2) = 2$ bars, il faut dépasser les -85 m.

Effet Lorrain-Smith

- **Causes**

Même à la pression atmosphérique l'O₂ pur est nocif si les inhalations sont trop longues. Après 2h00 avec une P_pO₂ > 0,5 bars, des lésions pulmonaires inflammatoires surviennent.

- **Symptômes**

- Hallucinations, perte de connaissance
- Perturbations respiratoires et cardiaques
- Arrêt cardiaque

- **Traitement**

Faire baisser la P_pO₂ en remontant ou en changeant de mélange respiratoire.

- **Prévention**

Ne pas soumettre à des inhalations d'O₂ trop prolongées.

Hypoxie

- **Causes**

P_pO₂ < 0,17b

Ce phénomène ne peut être rencontré que lorsque l'on respire un mélange autre que l'air à une profondeur incompatible avec son utilisation, ou en apnée.

- **Symptômes**

Syncope

- **Traitement**

Sortir de l'eau, mettre sous O₂.

CO₂ : essoufflement

Voir cours niveau 2

Les accidents biophysiques

Gradient

Gradient = Pression Abs - Tension

Période

Temps nécessaire pour franchir G/2

Tissu

Un tissu, ou compartiment, est une partie du corps qui possède vis à vis de l'azote une même période de dissolution et un même coefficient de saturation critique.

Période	5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
CsC	2,72	2,54	2,38	2,20	2,04	1,82	1,68	1,61	1,58	1,56	1,55	1,54

Mélanges

Justification

Durée ou sécurité

Rappels

Accidents toxiques : limite de toxicité de l'O₂, du N₂

Loi de Dalton $PpN_2 = Pabs \times C$

Eléments de calcul de tables $G = PpN_2 - Tn_2$ $Tf = G/2 + T0$

Paul Bert

Nitrox

Mise en évidence

Plongée à 30m à l'air	Plongée à 20m à l'air	Plongée à 30m au Nitrox
4b	3b	4b
80% de N ₂	80% de N ₂	60% de N ₂
$PpN_2 = 3,2 b$	$PpN_2 = 2,4 b$	$PpN_2 = 2,4 b$

Principe de la profondeur équivalente

$Pabs \text{ équivalente} = Pabs \times \%N_2 \text{ du mélange} / 0,8$

Pr. équiv. < Pr. Abs

Conclusion et dangers

Hyperoxie

Matériel

Exercices

30m avec du nitrox 32

35m avec nitrox 40 (hyperoxie)

Oxygène pur

Justification

L'utilisation d'oxygène pur permet d'accélérer l'élimination de l'azote.

Rappels

Dalton

Eléments de calcul de tables $G = PpN_2 - TN_2$ $Tf = G/2 + T0$

Mise en évidence

La PpN_2 est égale à 0, le gradient est donc maximum.

Paliers

A quelle profondeur peut-on utiliser l'oxy pur ?

Le temps des paliers à 3 et 6m peut être réduit d'1/3

Schéma d'utilisation des tables.

Palier air	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	15	18	...
Palier oxy réduit	1	2	3	4	5	5	5	5	6	8	10	12	...

- **Exercices**

30 minutes à 30m, 9 minutes de palier à 6m deviennent 6 minutes.
20 minutes à 55m

Surface

- **Utilisation des tables**

Pour GPS=M, intervalle de 2h avant une plongée à 30m
A l'air : 1,09 majoration de 24 minutes
A l'oxy : 0,98, majoration de 14 minutes

- **Respiration alternée air et oxygène**

GPS = J
Après 1h à l'O2, J devient 1,04. Après 2h à l'air, 1,04 devient 0,94
Après 2h à l'air, J devient 1,02. Après 1h à l'O2, 1,02 devient 0,86
GPS=M
Après 3h00 à l'air, M devient 1,01 (E). Après 1h30 à l'O2, E devient 0,80.
Après 1h30 à l'O2, M devient 1,06 (F). Après 3h à l'air, F devient 0,90.

Réglementation

Obligation de moyen et de résultat, notion de mise en danger d'autrui.
La licence, l'assurance et le certificat médical.

Théorie plongeur nitrox confirmé

Qu'est-ce que le nitrox ?

Le nitrox est un mélange gazeux qui est simplement de l'air enrichi en oxygène.
Son nom vient de l'anglais *NITrogen* (azote) - *OXYgen*.
L'objectif est de faire baisser le pourcentage d'azote, responsable de la narcose et surtout des accidents de décompression.

On désigne un mélange de différentes manières, suivant les écoles.
Exemples pour un mélange à 40% d'oxygène :
FFESSM : 40/60
IANTD : EAN40
On dit aussi souvent, simplement N40 ou nitrox 40.

Les formations nitrox FFESSM :

Deux niveaux de formation existent :
La qualification plongeur nitrox est accessible dès le niveau 1. Elle ne permet d'utiliser qu'un seul mélange nitrox, le N40¹.

¹ A l'étranger vous risquez d'être assimilé à un plongeur nitrox IANTD, qui ne peut utiliser que 2 mélanges, le N32 et le N36.

La qualification plongeur nitrox confirmé est accessible dès le niveau 2, à condition d'avoir au moins 16 ans, d'avoir fait 10 plongées à l'air à 30 mètres, d'être plongeur nitrox, et d'avoir effectué 8 plongées nitrox. Elle permet d'utiliser tous les mélanges nitrox et l'oxygène pur en décompression.

Avantages et inconvénients du Nitrox :

Inconvénients :

- **Contraintes physiologiques**

L'augmentation du pourcentage d'oxygène dans le mélange implique que la **PpO₂ max 1,6b** est atteinte à une profondeur moindre.

Rappel : **$Pp = C \times Pabs$** .

Une PpO₂ supérieure à 1,6 b ou une exposition prolongée à une PpO₂ supérieure à 0,5b peuvent provoquer des accidents hyperoxiques.

=> Nécessité de maîtrise parfaite de sa flottabilité, car pour chaque nitrox il y a une profondeur plancher à ne pas dépasser,

=> Le nitrox ne permet donc pas de plonger aussi profond qu'à l'air².

=> Risques dus à l'hyperoxie accrus.

- **Contraintes sur le matériel**

Jusqu'à 40% d'oxygène, le matériel "air" peut être utilisé.

Par contre les nitrox contenant plus de 40% d'oxygène (généralement ces nitrox servent à la décompression) nécessitent l'utilisation d'un matériel spécifique, "compatible oxygène". Certaines matières plastiques, comme les joints toriques, doivent être dans un matériau différent (les joints compatibles oxygène sont verts au lieu d'être noirs).

Si le mélange suroxygéné vient au contact de graisse, il peut entraîner une inflammation spontanée, voire une explosion. Il existe des graisses "spécial oxygène".

Le titane et l'aluminium sont à proscrire.

- **Aspect financier**

Les plongées sont plus chères (compter 10 à 15 euros de plus par plongée).

Avantages :

- Moins de fatigue post-plongée

Saturation moins importante, car PpN₂ moindre.

Donc pour une même plongée (temps x profondeur) :

- moins de paliers.

- ou, en faisant les paliers air quand même, plus de sécurité.

On peut augmenter les avantages du nitrox en respirant au palier un mélange encore plus enrichi en oxygène.

Autres mélanges

A noter qu'on utilise également en plongée d'autres mélanges gazeux respirables que le nitrox.

² Pour pouvoir plonger plus profond qu'à l'air il faudrait remplacer l'azote par un autre gaz, par exemple l'hélium.

L'Héliox : hélium-oxygène
Le Trimix : azote-hélium-oxygène
L'Hydrox : hydrogène-oxygène
L'Hydréliox : hydrogène-hélium-oxygène

Mais ce n'est pas le sujet de ce cours.

Les risques hyperoxiques :

Contrairement à la narcose, il n'est pas possible d'augmenter sa tolérance à l'hyperoxie.

Elle est différente d'une personne à l'autre, et même d'une plongée à l'autre pour une même personne.

2 accidents sont possibles, la toxicité neurologique et la toxicité pulmonaire à l'O₂.

La toxicité neurologique ou "effet Paul Bert"

- **Causes**

Dépassement de la PpO₂, ou temps d'exposition trop important à des pressions d'O₂ élevées.

- **Symptômes**

Certains signes peuvent annoncer la crise hyperoxique, mais ce n'est pas systématique, et ils sont trop discrets pour pouvoir être perçus par d'autres que le principal intéressé.

- Convulsions et secousses musculaires. Des spasmes musculaires des lèvres autour de l'embout du détendeur seraient le signe le plus fiable. Ensuite on peut avoir des contractures musculaires des bras, de la face.
- Troubles auditifs, notamment des sifflements.
- Troubles de l'équilibre, nausées, vertiges...³

Si la PpO₂ ne baisse pas rapidement, la crise apparaît. Elle se déroule en trois phases, de manière analogue à une crise d'épilepsie :

- Phase tonique (<1 min)

Contracture généralisée en extension, associée à une apnée.

- Phase clonique (2 à 3 min)

Convulsions, avec morsure de la langue et perte d'urine.

- Phase résolutive (10 min)

Un endormissement généralement suit la crise et le plongeur ne s'en souvient pas. Phase dépressive post convulsive, avec retour progressif à la conscience, mais confusion persistante.

- **Conduite à tenir**

Ne pas remonter le plongeur en phase 1 (tonique), à cause du risque de suppression pulmonaire.

Remettre et maintenir l'embout en phase 2 (clonique)⁴, puis remonter afin de faire baisser la PpO₂.

³ Pour les futurs moniteurs nitrox : on ne parle pas des troubles du comportement, de l'accélération de la fréquence cardiaque ni de la vision en tunnel, car ces signes ne sont pas décelables en plongée.

⁴ On dit qu'il faut aussi éviter la morsure de la langue, mais je ne vois pas comment faire en plongée.

- **Prévention**

Ne pas dépasser les profondeurs limites

Ne pas dépasser les durées d'exposition

Savoir reconnaître les signes

Ne pas rester toute la plongée en limite de la profondeur maximale permise.

Prendre 1,5b ou 1,4b en cas d'existence de facteurs favorisants.

Ne pas s'exposer trop longtemps à des PpO₂ supérieures à 0,5b.

Attention aux facteurs favorisants :

- La fatigue et la forme physique

- Le froid

- Les efforts physiques

- Le stress, la visibilité

- Des durées d'exposition trop importantes, rester proche des limites maximales trop longtemps

La toxicité pulmonaire à l'O₂ ou "effet Lorrain Smith"

- **Causes**

Temps d'exposition trop importants à des pressions d'O₂ élevées.

- **Symptômes**

- irritation au niveau du sternum

- toux sèche

- douleur en inspiration forcée ou de grande amplitude

Si l'exposition se prolonge, des dommages pulmonaires irréversibles peuvent se produire.

- **Conduite à tenir**

Faire baisser la PpO₂.

- **Prévention**

Respecter les temps maximum d'exposition aux PpO₂ supérieurs à 0,5b.

Les temps maximum d'exposition à l'oxygène

Diverses méthodes existent pour les calculer.

La FFESSM recommande de ne pas dépasser 2 heures d'exposition ni une PpO₂ maximum de 1,6 b. IANTD limite à 1,4 b.

Pour chaque mélange, il existe ainsi une profondeur plancher à ne pas dépasser. Les anglo-saxons l'appellent MOD (Maximum Operating Depth). A noter que les ordis nitrox calculent cette profondeur max en fonction d'une PpO₂ max paramétrable.

- **Exercice 1**

On souhaite plonger sur un fond de 40m avec une PpO₂ de 1,6 b. Quel est le mélange à choisir ?

- **Exercice 2**

On souhaite se limiter à plonger une PpO₂ de 1,4 b. Une bouteille de N34 est disponible.

a) Peut-on l'utiliser pour plonger sur un fond de 30m ?

b) Quelle est la profondeur plancher de ce mélange ?

La table NOAA

Elle sert à se prémunir de la toxicité neurologique.

Elle donne les temps maximum d'exposition pour chaque pression partielle. Elle donne aussi les durée maximales d'exposition sur 24h, à condition de respecter un intervalle surface de 2 heures.

National Oceanic and Atmospheric Association		
ATA (PpO ₂)	Durée Maximum Permise (DMP) pour une simple exposition, en min	durée maximale d'exposition sur 24h
1.6	45	150
1.5	120	180
1.4	150	180
1.3	180	210
1.2	210	240
1.1	240	270
1.0	300	300
0.9	360	360
0.8	450	450
0.7	570	570
0.6	720	720

En plongée loisir, la seule valeur qui nous concerne vraiment, c'est la première, 45 minutes maximum pour une PpO₂ de 1,6b, car c'est la seule que nous pourrions craindre d'atteindre.

En effet :

- à 1,6b de PpO₂, même en faisant 2 plongées de 45 minutes le même jour, nous sommes loin d'atteindre les 150 minutes max autorisées par 24h.
- à 1,5b de PpO₂, cette limite de 2h n'est normalement pas atteinte en plongée loisir, ni la limite max de 3h par 24h.

- **Exercice 3**

On souhaite faire une plongée d'une heure sur un fond de 20m avec la PpO₂ la plus élevée possible.

- Quelle est cette PpO₂ ?
- Quel est le mélange à réaliser ?
- Quelle précaution particulière devrais-je prendre avec ce mélange ?

L'horloge oxygène

On parle aussi de CNS clock en anglais, ou de compteur SNC en français. Calculer son horloge oxygène sert dans deux cas :

- Pouvoir éventuellement replonger après un intervalle surface de moins de 2 heures si lors des plongées précédentes on n'a pas dépensé la totalité du temps maximum autorisé pour cette PpO₂.

- S'assurer que l'on ne va pas dépasser le temps maximum autorisé lors de la planification d'une plongée où l'on respirera différentes PpO₂.

L'horloge oxygène n'est que le pourcentage du temps passé par rapport au temps autorisé (DMP). La formule est :

$$\%CNS = TP/DMP \quad TP = \text{temps passé à une PpO}_2 \text{ donnée}$$

En cas d'exposition à différentes PpO₂, il faut calculer et additionner les différents pourcentages.

%CNS clock	Intervalle surface minimum
0% - 49%	0 minutes
50% - 79%	45 minutes
80% - 100%	2 heures

Le tableau ci-contre donne les intervalles surface à respecter en fonction de l'horloge oxygène

Si l'horloge oxygène atteint 80 % à l'issue d'une première plongée, il faut attendre au moins 2 heures avant de pouvoir replonger.

Si on atteint 80% du maximum d'exposition par 24h l'intervalle avant de replonger doit être d'au minimum 12 heures.

Les intervalles de surface doivent être effectués à l'air.

Toutes les 90 minutes, on considère que la toxicité baisse de 50 %.

Exemples :

Sortie de l'eau avec une CNS clock de 60 %.

Après 90 minutes CNS $60\% \times 0.5 = 30\%$
On pourra replonger sur la journée $100-30 = 70\%$ du temps théorique restant à la PpO₂ envisagée.

- **Exercice 4**

On souhaite faire un matin une plongée de 40 minutes à 30 mètres au N40, suivies d'une décompression de 6 minutes à 3m à l'oxygène pur.
Quelle est la valeur de l'horloge oxygène ?
Ajoutez les temps interpaliers au temps du palier précédent.
Combien de temps faudra t-il attendre avant de replonger ?

- **Exercice 5**

(Je n'ai pas la réponse à cet exercice)
L'après-midi on veut replonger 50 min à 25m au N36, sans faire de palier.
Quelle est la valeur de l'horloge oxygène ?
Peut-on faire cette plongée ?

A noter que l'horloge oxygène est calculée et affichée par tous les ordinateurs nitrox.

Les UPTD

Les UPTD (Unit of Pulmonary Toxicity Dose) servent à se prémunir de la toxicité pulmonaire.

1 UPTD = 1 minute à 1b à 100% d'O₂.

Dose **maximum d'UPTD = 625** par jour.

Calcul de la dose d'UPTD :

$$\text{UPTD} = t \times K$$

avec t = temps en minutes et K donné par la table ci-contre.

- **Exercice 6**

Calculer le nombre d'UPTD pour 150 minutes à 1,6b de PpO₂

PpO ₂	K
0.55	0.15
0.60	0.26
0.65	0.37
0.70	0.47
0.75	0.56
0.80	0.65
0.85	0.74
0.90	0.83
0.95	0.92
1.00	1.00
1.05	1.08
1.10	1.16
1.15	1.24
1.20	1.32
1.25	1.40
1.30	1.48
1.35	1.55
1.40	1.63
1.45	1.70
1.50	1.78
1.55	1.85
1.60	1.93

En pratique ce tableau ne sert à rien puisque ces valeurs ne sont jamais atteintes :

3h à une PpO₂ de 1,6 ne donnent que 345 UPTD (180 x 1,93).

Or la table NOAA n'autorise que 150 min par jour à une PpO₂ de 1,6b.

Les OTU

La méthode des OTU (Oxygen Toxicity Unit) permet de prendre en compte les doses cumulées à l'égard des deux toxicités, neurologique et pulmonaire.

1 OTU = 1 UPTD
Calculs identiques, puis se reporter au tableau des doses OTU admissibles.

Si 48 heures se sont écoulées entre 2 plongées, on reprend au jour 1.

- **Exercice 7**
(pour moniteurs)
Trouver un exemple dans lequel on atteint une de ces valeurs en respectant la table NOAA.

N° du jour	Dose OTU Journalière	Dose cumulée
1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	525	2100
5	460	2300
6	420	2520
7	380	2660
8	350	2800
9	330	2970
10	310	3100

On constate que ce tableau ne sert pas vraiment non plus.

Les paliers

Tout comme l'ordinateur air permet des plongées air avec moins de paliers qu'aux tables, la plongée nitrox ne révèle tout son intérêt qu'avec un ordinateur nitrox.⁵

Méthode FFESSM

Le principe est que l'ajout d'oxygène nous permet d'aller plus profond pour une même quantité d'azote, comme dans le schéma ci-dessous.

	Air	N32
0m		
10 m	Azote	Azote
20 m	Azote	Azote
28 m	Oxygène	Oxygène
40 m		
50 m		

Pour une utilisation exceptionnelle :
 $PAE = PA \times \%N_2 / 0,79$
 PAE signifie Pression Absolue Equivalente.

$PE = (ProfR\acute{e}elle + 10) \times \%N_2 / 0,79 - 10$
 PE signifie Profondeur Equivalente.

⁵ En tant que plongeur nitrox confirmé, on aura intérêt à choisir un ordi nitrox qui permet de prendre en compte la respiration d'un mélange différent au palier.

Vous rencontrerez aussi les termes anglo-saxons END (Equivalent Narcotic Depth) ou EAD (Equivalent Air Depth)

Le GPS, la durée et la profondeur des paliers sont les mêmes que ceux réalisés pour une plongée à l'air à une profondeur équivalente.

Comme pour une plongée à l'air :

- on peut les réduire d'un tiers en respirant de l'oxygène pur au palier. Ce palier, s'il est réduit, ne doit pas faire moins de 5 minutes.
- on peut réduire l'azote résiduel en respirant de l'oxygène pur en surface. Se reporter au tableau III des tables fédérales.

- **Exercice 1**

Calculez la profondeur équivalente pour une plongée à 30m au N36.

Tables spécifiques

Des tables spécifiques, telles les tables IANTD permettent de connaître les paliers à réaliser en fonction du mélange utilisé.

- **Exercice 2**

On souhaite plonger 40 min sur un fond de 30m.

- a) Quel seraient les paliers fédéraux à réaliser en plongeant à l'air ?
- b) En plongeant à l'air mais avec décompression à l'oxygène pur ?
- c) En plongeant au N36 avec la méthode de la profondeur équivalente ?
- d) En plongeant au N36 avec les tables IANTD ?
- e) En plongeant au N36 avec décompression au N50 ?
- f) Majoration pour une nouvelle plongée à 25m 1h20 après ?

- **Exercice 3**

2 heures après avoir plongé 30 min à 30 m à l'air on souhaite plonger 30 minutes à 18 m au N32. Quelle est la majoration ?

Le nitrox et l'altitude

Calcul de la PpO₂ en altitude

Rappel : $P_{Abs} = P_{Atm} + P_{Hydro}$

Au niveau de la mer la pression atmosphérique est de 1 bar.

Elle baisse d'environ 0,1 bar tous les 1000 mètres.

- **Exercice 1**

Quelle est la PpO₂ d'un N40 à 30m dans un lac situé à une altitude d'environ 2000m ?

Les paliers

Pour ce qui est du calcul des paliers, le nitrox et l'altitude se compensent. En effet, si le nitrox nous permet de rentrer dans les tables avec des profondeurs moindres, l'altitude nous fait rentrer dans les tables avec des profondeurs supérieures.

Rappel des formules altitude

On désigne la profondeur majorée sous le terme de profondeur fictive.

Il faut connaître la pression atmosphérique H du lieu.

$$PAE = PA \times 1013 / H$$

La vitesse de remontée aussi est altérée.

Par contre les paliers devront être effectués à une profondeur moindre :

$$\text{Paliers Réels} = \text{Paliers Table} \times H / 1013$$

Exercice n°2 (Je ne sais pas calculer la solution de cet exercice.)

On plonge à 30m au N34

22 m à 2000m = en montagne à une pression de 0,81 b (environ 2000m d'altitude) ?

La fabrication du nitrox

Trois méthodes existent pour fabriquer un mélange nitrox :

Par transvasement

Aussi appelée méthode des pressions partielles, ou par décantation.

Cela consiste à mettre directement en communication une bouteille d'O₂ (ou plusieurs tour à tour) et la bouteille de plongée à gonfler, puis de compléter ensuite avec de l'air, grâce au compresseur. C'est la méthode la moins chère, et la plus répandue.

L'O₂ doit être transvasé à 5 bars/minute, puis à 3 bars/minute quand on dépasse les 100 bars dans la bouteille cible.

La complétion à l'air peut ensuite se faire à vitesse normale.

Cette méthode nécessite l'utilisation de bouteilles de plongées nitrox, même pour des mélanges ne dépassant pas 40%.

Il faut ensuite attendre 6h que les gaz s'homogénéisent.

Au stick

Aussi appelée "injection directe".

Schématiquement le stick est un gros tube à une extrémité de laquelle on branche la prise d'air du compresseur. L'autre extrémité est libre, et on fait arriver de l'oxygène au milieu du tube. Ainsi le compresseur aspire de l'air suroxygéné. En réglant le débit d'oxygène on parvient à créer ainsi tous les nitrox jusqu'à 40%. Ce système a l'avantage de permettre de se passer de blocs nitrox. D'autre part il produit des mélanges bien homogènes, donc plus rapidement utilisables qu'avec la méthode par transvasement.

Le séparateur à membrane

L'air du compresseur est injecté dans des microfibrilles creuses. Les gaz se séparent dans ce filtre du fait de leurs différentes capacités de diffusion.

Suivant le point où l'on se connecte sur le filtre, on récupère le nitrox de son choix.

Transvasement : calculer son mélange

Bouteille vide

On souhaite réaliser 200b de N36.

- **Exercice 1**

Combien de bars d'O₂ devra contenir la bouteille ?

Une partie de cet oxygène sera apporté par transvasement depuis la bouteille d'oxygène, l'autre par l'air envoyé par le compresseur.

On voit qu'il est assez compliqué de chercher à déterminer quelle est la quantité d'oxygène pur qui devra être transvasé, et que le problème est beaucoup plus simple à résoudre si on cherche à l'inverse à déterminer la quantité d'azote qui lui, n'est apporté que par l'air.

- **Exercice 2**

a) Combien de bar d'azote devra contenir la bouteille (PpN₂) ?

b) Combien de bars d'air doit-on injecter dans la bouteille ?

c) Combien de bars d'O₂ doit-on transvaser dans la bouteille ?

Bouteille avec reliquat

- **Exercice 3**

On souhaite faire 200b de N28 à partir d'une bouteille contenant 20b de N40.

Combien de bars d'O₂ doit-on transvaser dans la bouteille ?

Pour ceux qui ne savent pas par quel bout attaquer : commencez par calculer la quantité de N₂ désirée puis la quantité de N₂ déjà présente.

Contrôle des bouteilles nitrox

Une fois la bouteille gonflée, elle doit être contrôlée puis munie d'une étiquette indiquant :

- Les initiales de la personne qui a procédé au gonflage et au contrôle.
- La date de fabrication du mélange.
- Le pourcentage d'oxygène.
- La profondeur maximale d'utilisation de ce mélange (MOD).

Elle doit impérativement être recontrôlée par l'utilisateur avant sa plongée, au moyen d'un analyseur d'oxygène.

Exercices de révision

- **Rappels**

$$P_p = P_{abs} \times C$$

Charles : $P_1 / T_1 = cte$ (T en Kelvins, et $K = °C + 273$)

- **Exercice 1**

On souhaite plonger à 30m au nitrox, sans dépasser une PpO₂ de 1,6b.

a) Quel est le mélange à préparer ?

b) Peut-on utiliser ce mélange avec un détendeur air ?

- **Exercice 2**

On souhaite plonger à 12,5m avec 15l à 200b de N70

Combien de temps pourra t-on y rester ?

Conso 20l/min réserve à 50b

- **Exercice 3**
On souhaite utiliser 2 blocs de 15l contenant 171b de N30 qui sont disponibles pour une plongée sur un fond de 39m.
 - a) Quelle sera la PpO₂ atteinte à 39m ?
 - b) Combien de temps les plongeurs pourront-ils y rester ?
Réserve à 40b, conso 20l/min
 - c) Quelle est la profondeur équivalente ?
 - d) En utilisant la méthode de la profondeur équivalente, Quels sont les paliers à effectuer ? A quelle profondeur devront-ils être réalisés ?
 - e) Quels sont les paliers IANTD à effectuer ?
 - f) Jusqu'à quelle profondeur pourrait-on descendre sachant qu'on souhaite ne pas dépasser 1,6b de PpO₂ ?
- **Exercice 4**
On souhaite fabriquer par transvasement 2 x 200b de N32 à partir de 2 blocs vides, comment doit-on procéder ?
- **Exercice 5**
On a de blocs de 15l qui contiennent 40b de N32. On souhaite fabriquer 170b de N40.
- **Exercice 6**
On constate que quand on gonfle un bloc à environ 200b, sa température monte à 50°C.
On dispose de blocs qui contiennent 30b de N36.
On souhaite les gonfler de telle sorte qu'une fois refroidis ils contiennent 200b de N28.
La température du local est de 20°C.
- **Exercice 7**
Plongée à 39m, PpO₂ max 1,6b, moins de 30 min de paliers IANTD, déco au N50.
 - a) Nitrox ?
 - b) Durée ? Paliers ? GPS ?
 - c) Horloge oxygène
 - d) Temps total en immersion ?
 - e) UPTD, OTU ?
 - f) 2h plus tard, on souhaite replonger à 22m au N32. Que sera la majoration ?

Réponses aux exercices :

Les temps maximum d'exposition à l'oxygène

- **Exercice 1**
1,6 / 5 = 0,32 : N32.

- **Exercice 2**

- a) $4 \times 0,34 = 1,36$: oui.
- b) $1,4 / 0,34 = 4,12$: 31,20 mètres.

- **Exercice 3**

- a) Pour une heure d'exposition, on ne peut pas dépasser 1,5b de PpO₂.
- b) $1,5 / 3 = 0,5$: N50.
- c) matériel spécifique car plus de 40% d'O₂.

- **Exercice 4**

- PpO₂ à 30m : $0,4 \times 4 = 1,6b$, DMP = 45. $40/45 = 89\%$
- PpO₂ à 17m pendant 2 min : $0,4 \times 2,7 = 1,1b$, DMP = 240. $2/240=1\%$
- PpO₂ à 3m pendant 6 min : $1 \times 1,3 = 1,3b$, DMP = 180. $6,5/180=4\%$
- %CNS=94%
- Il faut attendre 2 heures avant de pouvoir replonger.

- **Exercice 5**

- Recalcul de la plongée du matin avec les valeurs admissibles par 24h
- PpO₂ à 30m : $0,4 \times 4 = 1,6b$, DMP = 150. $40/45 = 27\%$
- PpO₂ à 15m pendant 2 min : $0,4 \times 2,5 = 1b$, DMP = 270. $2/270=1\%$
- PpO₂ à 3m pendant 6 min : $1 \times 1,3 = 1,3b$, DMP = 210. $6,5/210=3\%$

- PpO₂ à 30m : $0,4 \times 4 = 1,6b$, DMP=210. $50/210 = 24\%$
- PpO₂ à 15m pendant 2 min : $0,4 \times 2,5 = 1b$, DMP = 270. $2/270=1\%$
- Compteur SNC pour 24h = 56%
- On peut la faire.

- **Exercice 6**

- $150 \times 1,93 = 289,5$

- **Exercice 7**

- Du fait des limites de la table NOAA, on ne peut atteindre une limite que le 10^{ème} jour.
- Pour PpO₂=1,4 : $180 \times 1.63 = 293,4$
- Pour PpO₂=1,3 : $210 \times 1.48 = 310,8$
- Pour PpO₂=1,2 : $240 \times 1.32 = 316,2$
- Pour PpO₂=1,1 : $270 \times 1.16 = 313,2$
- Pour PpO₂=1,0 : $300 \times 1 = 300$
- $316,2 \times 9 = 2845,8$

Paliers

- **Exercice 1**

- PAE = $4 * 0,64 / 0,8 = 3,2b$ soit PE = 22m

- **Exercice 2**

- a) 24 min à 3m
- b) 16 min à 3m
- c) PAE = $4 \times 0,64 / 0,79 = 3,24$. PE=22,4m. 2min à 3m
- d) 9 min à 4m50
- e) 8 min à 4m50
- f) 15 minutes

- **Exercice 3**
F devient A, ce qui donne 16 min pour 18m.

Le nitrox et l'altitude

- **Exercice 1**
 $PpO_2 = 0,4 \times (4 - 0,2) = 1,52 \text{ b}$

Gonflage par transvasement

- **Exercice 1**
 $PpO_2 = 72 \text{ bars}$
- **Exercice 2**
 - a) $PpN_2 = 128 \text{ bars}$.
 - b) $128 / 0,79 = 162 \text{ b d'air}$
 - c) $200 - 162 = 38 \text{ b d'O}_2$.

3) Il faudra $200 \times 0,72 = 144 \text{ b}$ de N_2 dans la bouteille au final.

Elle contient actuellement $20 \times 0,60 = 12 \text{ b}$ de N_2 .

Il faudra donc que j'ajoute $144 - 12 = 132 \text{ b}$ de N_2 soit $132 / 0,79 = 167,1 \text{ b}$ d'air.

Il faut donc que je commence par transvaser $200 - 167,1 - 20 = 12,9 \text{ b}$ d' O_2 .

Je contrôle :

On veut $200 \times 0,28 = 56 \text{ b d'O}_2$

$20 \times 0,40 = 8 \text{ b d'O}_2$ déjà présents dans la bouteille.

$12,9 \text{ b d'O}_2$ transvasés.

$167,1 \times 0,21 = 35,1 \text{ b d'O}_2$ apportés par le gonflage à l'air.

Total : $8 + 12,9 + 35,1 = 56 \text{ b d'O}_2$ CQFD.

Exercices de révision

- **Exercice 1**
 - a) $1,6 / 0,4 = 0,4 \Rightarrow N40$
 - b) oui
- **Exercice 2**
 $(200 - 50) \times 15 / (20 \times 2,25) = 50 \text{ min}$ ramenées à 45 par la table NOAA
 $(0,7 \times 2,25 = 1,58 \text{ b})$
- **Exercice 3**
 - a) $4,9 \times 0,3 = 1,47 \text{ b}$
 - b) $(130 \times 15) / (20 \times 4,9) = 20 \text{ minutes}$
 - c) $0,7 \times 4,9 / 0,79 = 4,34$ soit 33,4 m.
 - d) On entre dans la table avec la profondeur de 35m, ce qui donne 5 min à 3m.
 - e) Ne disposant pas des tables N30, on prend la table correspondant au pourcentage d'oxygène inférieur le plus proche : la table air.
20 min à 33m donnent 7 minutes à 4,5m.
 - f) $1,6 / 0,3 = 5,33 \Rightarrow 43 \text{ m max}$

- **Exercice 4**

68% de N₂

200 x 0,68 = 136b de N₂

136 / 0,79 = 172,15b d'air

On commence donc par transvaser 37,85b d'O₂ puis on complète à l'air.

- **Exercice 5**

200 / 293 = Pcible / 323

Pcible = 220,5 (220,47 exactement)

N₂₈ => 72% de N₂ => 0,72 x 220,5 = 158,8 (158,76) b de N₂

Or il y a déjà 30 x 0,64% de N₂ dans le bloc = 19,2b de N₂

Il suffit donc d'ajouter 158,8 - 19,2 = 139,6 b de N₂ , soit 139,6 / 0,79 =

176,7 b d'air

En O₂ il faut mettre 220,5 - 176,7 - 30 = 13,8 b d'O₂N₂

On vérifie : 13,8 + 10,8 + 176,7 x 0,21 (37,10) = 61,7b d'O₂

et 220,5 x 0,28 = 61,7 CQFD

- **Exercice 6**

PpN₂ reliquat = 0,68 x 40 = 27,2

PpN₂ finale = 0,6 * 170 = 102

N₂ à ajouter = 102 - 27,2 = 74,8

Air à ajouter = 74,8 / 0,79 = 94,7

O₂ à ajouter = 170 - 40 - 94,7 = 40,3 b

- **Exercice 7**

a) 1,6 / 4,9 = 0,327. On choisit donc du N32

b) 40 min entraîne :

5 min à 9m

3 min à 6m

18 min à 4,5m

GPS = G

c)

Plongée 40 min à 39m	remontée 39 - 9 = 30 m => 2 minutes à 30 / 2 + 9 = 24m	palier 5 min à 9m	palier 3 min à 6m	palier 18 min à 4,5m
PpO ₂ = 1,6b	3,4 x 0,32 = 1,1 b	1,9 x 0,32 = 0,6 b	1,6 x 0,5 = 0,8 b	1,45 x 0,5 = 0,725 b
40 / 45 = 88,9% SNC	2/240 = 0,8% SNC	5,5 / 720 = 0,8 %	3,25 + 18,5 = 21,75 min à 0,8b de PpO ₂ . 21,75 / 450 = 4,8%	

Total SNC = 95%

d) 69,25 min (40 + 2 + 5,5 + 21,75)

e) k=1,93

70 x 1,93 = 135,1

f) 17 min

MF1

Il faut pouvoir justifier tout ce que l'on dit

Présentation d'une séance pratique :

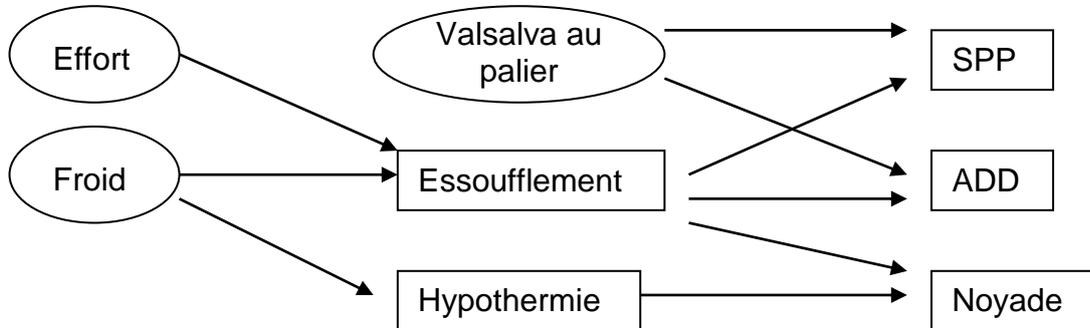
Vérification de la sécurité.

Rappel de ce qui a été vu aux séances précédentes, situation de cette séance dans le plan de cours.

Matériel utilisé et lieu.
Déroulement de la séance.
Description des situations pédagogiques du thème, constituant une progression.



Diagramme de causalité des accidents



Formules

- **Pression**
 $P_{Hyd} = \text{prof} \times \text{densité_eau} / 10$
 $P_{Abs} = P_{Atm} + P_{Hyd}$
 $P = F / S$
- **Mariotte**
 $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 = \text{Cte}$
- **Charles**
 $P_1 / T_1 = P_2 / T_2 = \text{Cte}$ avec T exprimé en Kelvins.
- **Archimède**
 $P_{Arch} = V \times \text{densité}$
 $P_{app} = P_{réel} - P_{Arch}$
- **Dalton**
 $P_p = P_{abs} \times C$
- **Henry**
 $\text{Gradient} = P_p N_2 - T N_2$
 $T_f = T_0 + \text{gradient} / 2$
- **Elements de calcul de tables**
 $C_s = T N_2 / P_{abs}$
- **Altitude**
 $\text{ProfMaxFictive} = \text{ProfMaxRéelle} \times 1013 / P_{atm}$
 $\text{ProfPalier} = \text{ProfPalierTable} \times P_{atm} / 1013$
 avec en gros $P_{atm} = 1000 - 100 \times \text{Altitude} / 1000$.
- **Mélanges**
 $P_{AbsEquiv} = P_{Abs} \times \%N_2 \text{ du mélange} / 0,8$ ou
 $\text{ProfEquiv} = (\text{ProfRéelle} + 10) \times \%N_2 / 0,79 - 10$

Constantes

- **Composition de l'air**
N₂ (azote) 78%
O₂ (oxygène) 21%
A (argon) 0,93%
H₂O (vapeur d'eau) 0 - 4%
CO₂ (dioxyde de carbone) 0,033%
Ne (Néon), Kr (krypton), H (hydrogène), N₂O (oxyde d'azote), Xe (xénon)
et O₃ (ozone) : < 0,002%
- **Poids de l'air**
1,293g/l
- **Poids moyen de l'eau de mer**
1,026kg/l
- **Effet Paul Bert**
1,6b
- **Effet Lorrain Smith**
PPO₂=0,5b pendant plus de 2h
- **Toxicité N₂**
4b
- **Toxicité CO₂**
0,2b

Différences entre SPP et ADD

Hémiplégie pour la SPP, paraplégie pour l'ADD

Jeux éducatifs

En piscine

- **Respiration sur stab ou sur HP**
- **Nage sans palmes**
- **Les scaph' musicaux :**
1 scaphandre de moins que le nombre de participants, quand l'apneiste arrive, il faut décapeler, lui donner air et bloc, et partir en apnée demander son scaphandre au suivant. On peut aussi donner son masque à celui qui part.
- **Les échanges :**
On s'accorde avec un partenaire, puis on abandonne son scaph en même temps que lui et chacun va chercher le scaph de l'autre. On peut aussi faire des rotations à 3 ou plus.
- **Les relais :**
Des blocs sont posés au fond, il faut se déplacer d'un bloc à l'autre. Interdit de respirer plus de 3 fois par bloc.

- **Poumon ballast :**
Le premier qui décroise les jambes ou les bras ou qui touche le sol, atteint la surface ou vide sa stab a perdu. On peut aussi ajouter des VDM.
- **Masque noir**
Se déplacer masque obturé par un plastique.
- **Combat aquatique n°1 :**
Chaque appui sur la purge du détendeur principal donne un point.
- **Combat aquatique n°2 :**
Le premier qui touche le sol a perdu.

En mer

- **RSE aux bulles**
- **Apnée à 15m**
- **Remonter à la stab sans palmer ni regonfler.**

Normes de pratique enfants

	Baptême	Exploration *	Brevet accessible **
8 et 9 ans	max 2m, encadr. E1	max 6m, encadr. E1, 1 plongée/jour max	Pl. Bronze, Pl. Arg.
10 et 11 ans	max 3m, encadrant E1		Plongeur d'Or
12 et 13 ans			normalement 6m, E1. 10m si Pl. Or + qualif. palanquée et E2

* pour toutes explos enfants :

25 minutes max.

1 enfant par encadrant, sauf si qualif palanquée : 2 enfants.

** Les qualifications peuvent être passées dès le plongeur de bronze.

Les qualifs gilet et bateau 1 & 2 devront être validées sur 3 plongées.

Fiches immergeables de formation

				← Noms	Niveau 1
				Matériel	
				Signes : froid essoufflé mi-bouteille réserve	
				Mise à l'eau	
				200M PMT, 100M capelé	
				Capelage/décapelage	
				EE après apnée horizontale expiratoire 10s	
				VDM	
				Immersion et retour en surface	
				RSE avec embout de 3 à 5m	
				Poumon ballast	

				← Noms	Niveau 2
--	--	--	--	--------	-----------------

				Capelage décapelage utilisation de la stab
				200M PMT, 250M capelé
				Autonomie : Vérifications avant et pendant, comportement, orientation, consignes.
				Immersion phoque puis RSE de 10 m aux bulles.
				Canard et descente rectiligne puis stabilisation à 20m.
				VDM sans changer de niveau.
				Poumon-ballast de 20m à 12m.
				Remontée de 20m à 5m aux instruments, sans palmer, ni redescendre.
				Remontée de 20m à 5m en échange d'embout à vitesse contrôlée aux bulles.
				Venir prendre le 2ème détendeur après apnée de 10 m horizontale sur expiration.
				Assistance à la stab, de 20m à 5m. Palmage secondaire.
				Largage de parachute
				Calcul et maintien du palier

				← Noms	Niveau 3
				Matériel N2 + ordinateur + montage des flexibles sur le 1er étage, changement des joints, mise en place du bloc de sécu, de ligne de vie, compas.	
				Matelotage : noeud de chaise, tour mort et 2 demi-clés.	
				Signes : froid, essoufflé, mi-bouteille, réserve, gonfler, fin d'exercice, chef, détresse en surface.	
				Autonomie : vérifications, dont présence du matériel obligatoire, consignes (successive ?), orientation.	
				Mise à l'eau rapide en cohésion.	
				Phoque, canard et descente rectiligne sur 40m.	
				Stabilisation au fond, au palier aux instruments, lestage.	
				Cohésion de la palanquée lors de la remontée.	
				LRE avec expiration à 40m	
				VDM stabilisé à 40m.	
				Assistance à 40 m sur dét. de secours puis avec échange d'embout, léger palmage toléré.	
				Sauvetage à 40 m, léger palmage toléré.	

Personnages célèbres

Archimède (287 - 212 av.JC)

Physicien et mathématicien né à Syracuse en Sicile. Il est connu des plongeurs pour avoir posé les bases du calcul de la flottabilité grâce à son

principe décrit sur la page Lois physiques. C'était un génie, il a inventé le palan, le levier, les engrenages et le téléphone portable (vérifier ce dernier point).

Evangelista Torricelli (1608 - 1647)

Physicien Italien qui a mesuré en 1643 la pression atmosphérique à l'aide d'un tube à vide rempli de mercure et posé à l'envers dans un bac rempli du même liquide. La hauteur de mercure dans le tube au-dessus de la surface varie en fonction de la pression atmosphérique. Il a constaté qu'elle était en moyenne de 760mm.

Edme Mariotte (1620 - 1684)

En 1676, ce moine français complète la loi de Boyle en ajoutant "à température constante", ce qui nous donne la célèbre loi de Boyle-Mariotte.

Robert Boyle (1627 - 1691)

Irlandais, souvent appelé "père de la chimie". Il fut le premier à suggérer un classement des éléments en fonction de leurs propriétés chimiques et une distinction entre les molécules et les éléments. On le connaît surtout pour ses travaux sur les gaz. C'est lui qui a trouvé que l'air avait un poids. Il est le premier, en 1670, à étudier la présence de bulles dans le sang d'animaux morts

Antonio Maria Valsalva (1666-1723)

Médecin brillant, a écrit "De Aure Humana" (de l'oreille humaine - 1704).

William Henry (1765 - 1836)

Physicien et chimiste anglais. En 1803, il énonce la loi sur la dissolution des gaz dans les liquides. Il a sa place dans la page des Lois physiques.

John Dalton (1766 - 1844)

Il a formulé en 1801 la loi d'addition des pressions partielles dans les mélanges gazeux, on en trouvera les différents énoncés à la page LoisPhysiques.

Benoît Rouquayrol (1826-1875)

C'est Benoît Rouquayrol, ingénieur des mines, qui est à l'origine du "régulateur de pression des gaz" permettant aux sauveteurs de respirer dans des atmosphères viciées. L'équipement se présente sous la forme d'un réservoir de 8 litres rempli d'air à 40 bars, autonome et alimenté depuis la surface, dans lequel le plongeur respire grâce à un détendeur (ou casserole) qui lui fournit l'air à pression ambiante et sur demande. C'est le scaphandre que Cousteau et Gagnan réinventeront quatre vingt ans plus tard !

Paul Bert (1833 - 1886)

Physiologiste et homme politique français connu pour ses travaux sur les tissus vivants. Il a étudié les effets de la pression sur l'organisme humain avec le concours de Benoît Rouquayrol.

En 1873, il découvre les effets sur l'organisme de l'oxygène sous pression : la crise hypoxique.

Auguste Denayrouse (1837-1883)

Auguste Denayrouse, un officier de la marine au repos, comprend tout de suite l'intérêt de cet appareil pour les interventions sous-marines et, avec l'inventeur, il l'améliore. Le succès de l'Aérophore est immédiat. Le 8 février 1868, l'appareil est rendu réglementaire sur tous les bâtiments de la marine française et se retrouve donc pendu à côté du scaphandre lourd de Cabirol. Plus de 1500 Aérophore sont vendus en Europe. Il va manquer à l'Aérophore la haute pression pour devenir un véritable scaphandre autonome. Puis dans les années 1870, il tombe dans l'oubli le plus total. Les scaphandriers lourds lui reproche sa fragilité, sa légèreté et son autonomie à laquelle ils préfèrent la bonne vieille pompe à bras, plus rassurante.

John Scott Haldane (1860-1936)

Physiologiste anglais d'origine indienne, il a modélisé le corps en 3 compartiments (A, B, C). Il détermine des arrêts fixes à 10, 20, 30 pieds (3, 6, 9m). Il publie en 1903 les "Tables de remontée", bien plus pénalisantes que les MN90.

James Lorrain Smith (1862 - 1931)

En 1897, il étudia l'inflammation des alvéoles pulmonaires sous une forte pression partielle d'oxygène. Cette intoxication s'appelle désormais "effet Lorrain Smith". On en parle sur la page traitant de l'hyperoxie.

Yves le Prieur (1885 - 1963)

Inventeur du scaphandre autonome : le plongeur transporte sa réserve d'air comprimé et gère manuellement le débit. Les premières expérimentations eurent lieu en 1926.

En 1933, Yves Le Prieur brevète un semblant de scaphandre bien mal confectionné, curieusement adopté par la marine et les pompiers de Paris : oublié le détendeur à la demande au profit du débit continu. La technologie fait un grand pas en arrière. Mais grâce à ses démonstrations en piscine, l'inventeur provoque un véritable engouement pour le monde sous-marin.

Emile Gagnan

Ingénieur spécialisé dans les gaz et inventeur d'un détendeur miniature (pour l'époque). En 1943, à la demande de Jacques-Yves Cousteau, il l'adaptera à la plongée sous-marine autonome à l'air. Le détendeur, copie presque conforme de l'Aérophore, est né : c'est l'"Aqualung" de Cousteau-Gagnan.

Jacques-Yves Cousteau (1910 - 1997)

Après la guerre, la société se tourne vers les loisirs et Jacques Yves Cousteau comprend qu'il y a un véritable marché naissant dans la plongée. Celui-ci n'existait pas en 1865. Il dépose son brevet et à l'aide de la télévision, il propagera dans le monde entier son invention et son nom.

Il a vulgarisé la plongée sous-marine dans le monde entier. Il a réalisé des dizaines de films sous-marins, écrit plus de 50 ouvrages. Sa renommée lui a donné les moyens de sensibiliser plusieurs générations à la beauté et la fragilité de l'environnement sous-marin.