

Commission de l'Enseignement

# Le manuel Nitrox Confirmé



lifras

# AUTEURS

LARMUSIAU Eric

HERBINT Magali

BACKX Emmanuel

D'OTRICOLI Michel

FINET Patrice

LHEUREUX Yves

VANLONDERSELE Serge

Révision par la Section technique de la Commission de l'enseignement LIFRAS.

Photographies : Sylviane Godin, Marc Hiernaux, Marc Allemeersch, Eddy Prist, Jonathan Vannieuwenhuyze

*Couverture Recto : S. Godin*

# TABLE DES MATIERES

<b>AUTEURS .....</b>	<b>2</b>
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>6</b>
1.1 CONDITIONS REQUISES POUR LA PRESENTATION AU COURS NITROX CONFIRME .....	6
1.2 FORMATION : .....	6
1.3 OBJECTIFS DE LA FORMATION : .....	6
1.4 CARTE DE PREPARATION AU BREVET : .....	7
<b>2. NOTIONS DE PHYSIQUE – RAPPEL.....</b>	<b>8</b>
2.1 LOI DE DALTON .....	8
<b>3. L’OXYGENE .....</b>	<b>9</b>
3.1 PREAMBULE.....	9
3.2 PROPRIETES PHYSIQUES.....	9
3.3 TOXICITE .....	10
3.3.1 L’EFFET PAUL BERT- NEUROTOXIQUE .....	10
3.3.1.1 Causes de l’intoxication à l’oxygène .....	11
3.3.1.2 Mécanismes de défense physiologiques.....	11
3.3.1.3 Facteurs influençant la tolérance à l’O <sub>2</sub> .....	11
3.3.1.4 Le temps de latence .....	12
3.3.1.5 Croissance du % de CNS :.....	12
3.3.1.6 Utilisation pratique du tableau .....	13
3.3.1.7 Décroissance du % de CNS .....	14
3.3.2 EFFET LORRAIN SMITH - PNEUMOTOXIQUE .....	15
3.3.2.1 Symptômes progressifs.....	15
3.3.2.2 Calcul UPTD : Kp fonction de PO <sub>2</sub> .....	16
3.3.3 AUTRES EFFETS EVENTUELS SUITE A UNE LONGUE EXPOSITION.....	16
<b>4. NARCOSE, HYPOTHERMIE, CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>17</b>
4.1 LA NARCOSE A L’AZOTE.....	17
4.2 L’INFLUENCE DU CO <sub>2</sub> .....	17
4.3 L’HYPOTHERMIE .....	17
<b>5. LE MATERIEL.....</b>	<b>19</b>
5.1 AVERTISSEMENTS.....	19

<b>5.2</b>	<b>RAPPELS .....</b>	<b>19</b>
<b>5.3</b>	<b>MATERIEL SPECIFIQUE POUR LA PLONGEE AU NITROX.....</b>	<b>19</b>
5.3.1	LA BOUTEILLE .....	19
5.3.2	LE ROBINET .....	20
5.3.3	LE DÉTENDEUR .....	20
5.3.4	MANOMÈTRE, GILET DE STABILISATION, TUYAUX, .....	21
	COMBINAISON SÈCHE... .....	21
5.3.5	L'ORDINATEUR .....	21
5.3.6	L'OXYMÈTRE.....	21
5.3.7	MATERIEL POUR LA DECOMPRESSION A L'OXYGENE .....	22
<b>6.</b>	<b>LA DECOMPRESSION .....</b>	<b>23</b>
<b>6.1</b>	<b>LA TABLE DE PLONGEE .....</b>	<b>23</b>
6.1.1	LA TABLE DE PLONGEE NITROX.....	23
6.1.2	LA TABLE DE PLONGEE « AIR ».....	27
<b>6.2</b>	<b>PLONGEE A L'ORDINATEUR.....</b>	<b>28</b>
<b>6.3</b>	<b>PLONGEE SUR BASE D'UN SOFTWARE.....</b>	<b>28</b>
<b>7.</b>	<b>PROCEDURE ET PLANIFICATION .....</b>	<b>29</b>
<b>7.1</b>	<b>RAPPEL .....</b>	<b>29</b>
<b>7.2</b>	<b>CALCUL DU BEST MIX.....</b>	<b>30</b>
<b>7.3</b>	<b>PRATIQUE DE LA PLONGEE .....</b>	<b>30</b>
<b>7.4</b>	<b>PLANIFICATION DE LA DECOMPRESSION .....</b>	<b>31</b>
7.4.1	DECOMPRESSION A L'AIDE D'UNE TABLE DE PLONGEE .....	31
7.4.2	DECOMPRESSION A L'AIDE D'UN ORDINATEUR .....	31
7.4.3	DECOMPRESSION A L'AIDE D'UN SOFTWARE .....	32
<b>7.5</b>	<b>GESTION DE LA CONSOMMATION .....</b>	<b>32</b>
7.5.1	ESTIMATION DES BESOINS EN GAZ : MARGE DE SECURITE .....	34
<b>7.6</b>	<b>EXECUTION DE LA PLONGEE .....</b>	<b>34</b>
7.6.1	LA PLONGEE PROFONDE A L'AIR ET LA DECOMPRESSION AU NITROX.....	34
7.6.2	CONDITIONS IDEALES DE SECURITE POUR LA DECOMPRESSION.....	34
	A L'O <sub>2</sub>	34
7.6.3	ALIMENTATION EN OXYGENE DEPUIS LA SURFACE .....	35
	7.6.3.1 Technique .....	35
	7.6.3.2 Dangers.....	35
	7.6.3.3 Sécurité.....	36
<b>7.7</b>	<b>LE DEPOT D'OXYGENE .....</b>	<b>36</b>

7.7.1	TECHNIQUE.....	36
7.7.2	DANGERS .....	36
7.7.3	SECURITE .....	36
<b>7.8</b>	<b>L'OXYGENE EN AUTONOMIE .....</b>	<b>36</b>
7.8.1	TECHNIQUE.....	36
7.8.2	DANGERS .....	37
7.8.3	SECURITE .....	37
<b>7.9</b>	<b>EQUIPEMENT DE SECURITE.....</b>	<b>37</b>
7.9.1	BARRE DE PALIER AVEC BOUEES.....	37
7.9.2	POSITIONNEMENT DE LA BOUTEILLE EMMENE.....	37
7.9.3	SIDE-MOUNT .....	37
7.9.4	FRONT-MOUNT .....	38
7.9.5	DIAGONAL-MOUNT .....	38
7.9.6	PONY-MOUNT .....	39
<b>7.10</b>	<b>L'APRES PLONGEE.....</b>	<b>40</b>
<b>8.</b>	<b>LOGISTIQUE DES GAZ.....</b>	<b>40</b>
8.1	REPLISSAGE A PARTIR D'UN MELANGE PREFABRIQUE .....	41
8.2	REPLISSAGE AVEC LA METHODE A DOUBLE FILTRATION .....	42
8.3	REPLISSAGE AVEC LA METHODE A MEMBRANES.....	42
	SEMI-PERMEABLES .....	42
8.4	REPLISSAGE A L'AIDE D'UN « STICK »MELANGEUR .....	43
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>44</b>

# 1. INTRODUCTION

## 1.1 CONDITIONS REQUISES POUR LA PRESENTATION AU COURS NITROX CONFIRME

- ◆ Etre âgé de 16 ans ;
- ◆ Etre plongeur 2\* LIFRAS ou équivalent reconnu par la LIFRAS ;
- ◆ Etre en règle de cotisation LIFRAS ;
- ◆ Etre en ordre de visite médicale ;
- ◆ Etre titulaire du brevet PLONGEUR NITROX ;
- ◆ Avoir effectué un minimum de 30 plongées air ;
- ◆ Avoir effectué un minimum de 10 plongées Nitrox ;
- ◆ Avoir l'expérience de la décompression obligatoire (minimum 3 plongées)

## 1.2 FORMATION :

La formation comprend un minimum de 4 heures de cours théoriques réparties en plusieurs modules.

Cette formation se déroule sur un minimum de 2 jours.

Pour l'homologation le candidat totalisera, en plus des plongées nécessaires à sa présentation, 2 plongées comprenant une décompression exécutée avec au minimum un Nitrox 50% d'O<sub>2</sub>.

Le responsable de la formation est Instructeur Nitrox Confirmé. Sa présence est obligatoire lors des cours théoriques et dans la palanquée lors des 2 plongées.

## 1.3 OBJECTIFS DE LA FORMATION :

Durant ce cours, le candidat apprend les particularités de l'utilisation de l'oxygène comme mélange de décompression. Cette formation aborde notamment les thèmes suivants :

- ◆ Risques, contraintes et avantages liés aux mélanges de décompression suroxygénés
- ◆ Planification de plongée propre à l'utilisation du Nitrox (respect strict de la profondeur maximale et des paliers)
- ◆ Contrôle de la composition des mélanges Nitrox ou oxygène pur
- ◆ Choix du mélange Nitrox optimal (best mix)
- ◆ Particularités de l'équipement spécifique destiné à la décompression suroxygéné
- ◆ Introduction à la fabrication des mélanges de décompression suroxygénés

Après avoir suivi ce cours et réussi son évaluation, le candidat est à même de planifier et de réaliser :

- ◆ des plongées NITROX avec des mélanges ayant une teneur en oxygène supérieure à 40%.

Ces nouvelles connaissances lui permettent de réaliser en sécurité des plongées avec décompression à l'oxygène.

## 1.4 CARTE DE PRÉPARATION AU BREVET :

Déclare par la présente :

- Etre âgé de 16 ans au moins  
(Pour les moins de 18 ans, un accord parental est obligatoire)
- Etre en règle de cotisation LIFRAS et de visite médicale (date) : .....
- Etre en possession du brevet 2\* Lifras ou équivalent reconnu par la Lifras
- Etre titulaire du brevet Nitrox n°: .....
- Expérience minimale:
  - Avoir l'expérience de la plongée à décompression obligatoire (minimum 3 plongées)
  - Avoir à son actif minimum 30 plongées dont 10 plongées Nitrox depuis l'obtention du brevet plongeur Nitrox

Date : .....  
Signature du candidat

Signature de l'instructeur

Le titulaire de la présente carte a payé la somme de 50 € (25€ pour le système CIEL + 25€ pour la carte CMAS) pour l'homologation de son brevet et de la carte CMAS.

Signatures :  
Chef d'école                      Président

### PRÉPARATION AU BREVET DE PLONGEUR NITROX CONFIRMÉ



**lifras**  
commission  
enseignement  
section technique

Nom : .....

Prénom : .....

Date de naissance : ...../...../.....

N° FEBRAS : .....

Année : .....	Année : .....	Année : .....
Cachet École	Cachet École	Cachet École

V.01.13

### RÉUSSITE EXAMEN THÉORIQUE

Date	Cachet du moniteur/signature

### PLONGÉES (utilisation d'une source de gaz auxiliaire de décompression suroxygéné)

Date	Lieu	Prof.	Durée	%O <sub>2</sub> fond	%O <sub>2</sub> déco	Réussi*

\*Code-barre ou cachet avec signature du moniteur Instructeur Nitrox pour homologation

### SUIVI DES COURS THÉORIQUES

- En respect avec le standard Lifras plongeur Nitrox Confirmé
- Révision : toute la matière de la spécialisation «plongeur Nitrox»
  - Notions de physiologie avancée, toxicité neurologique à l'oxygène et CNS (%): Calcul du CNS, ses limites et estimation du CNS résiduel – concept des «air breaks»
  - Notions avancées de la problématique de décompression (pathologies et risques de décompression (ADD-MDD)
  - Calcul du best mix (gaz fond et déco)
  - Problématique de l'équipement (bloc de décompression, narguilé, ...)
  - Aspect de la planification propre à la plongée à décompression suroxygénée
  - Utilisation d'une table Air avec décompression O<sub>2</sub> (MT 92, USN2008 ou autre ...).
  - Utilisation d'un ordinateur de plongée Nitrox en mode Nitrox et mode Air – et/ou run time
  - Introduction à la fabrication des mélanges décompression suroxygénés
  - Procédure de secours et traitement en cas d'intoxication à l'oxygène

Cachet et signature de l'instructeur

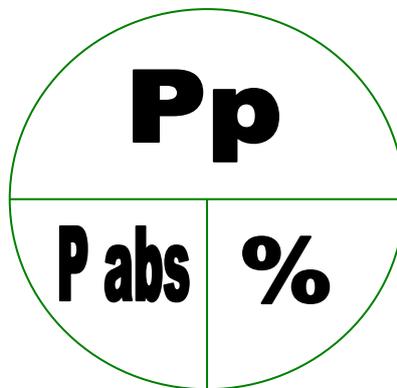
## 2. NOTIONS DE PHYSIQUE – RAPPEL

### 2.1 LOI DE DALTON

« LA PRESSION TOTALE D'UN GAZ EST ÉGALE À LA SOMME DES PRESSIONS QU'AURAIT CHACUN DES GAZ S'IL OCCUPAIT SEUL LE VOLUME TOTAL »

$$P_p = P_{abs} \cdot X \% \text{ du gaz dans le mélange}$$

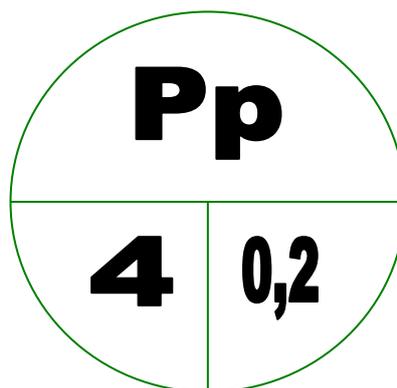
Pour le calcul de la profondeur maximum d'utilisation (MOD – Maximum operating Depth) d'un mélange Nitrox, on utilise la formule du « T » dans le cercle



$P_{abs}$  : pression absolue en bar

$P_p$  : pression partielle du gaz dans le mélange

$\%$  : pourcentage de gaz dans le mélange



#### Exemples :

Calculer la  $P_p$  de l'oxygène d'un mélange AIR (20%O<sub>2</sub> - 80% N<sub>2</sub>) à 30m de profondeur.

A 30m, la pression absolue est de 4b.

$$P_{pO_2} = 4 \times 0,2 = 0,8b$$

# 3. L'OXYGENE

## 3.1 PRÉAMBULE

L'oxygène est un gaz indispensable à la vie, cependant il peut se transformer en un redoutable adversaire. En effet, il n'est bien toléré par l'organisme que dans une plage de pressions partielles relativement étroite.

Pp	
3,0	- Utilisation thérapeutique d'un Nitrox 50 à 6 ATA
2,8	- Utilisation thérapeutique O <sub>2</sub> à 100% à 2,8 ATA
2,0	- Exposition exceptionnelle des plongeurs USN (effet P Bert)
1,6	- Exposition maximum pour la plongée loisir à l'air (effet P Bert)
1,4	- Expo. max. habituelle pour la plongée au Nitrox (effet P Bert)
0,5	- Exposition max. tolérée à saturation (effet Lorrain Smith)
0,35	- Exposition normale à saturation
0,21	- Normoxie
0,16	- Début de signes mineurs d'hypoxie
0,12	- Sérieux signes d'hypoxie
0,1	- Anoxie, inconscience
<0,1	- Coma et mort

## 3.2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

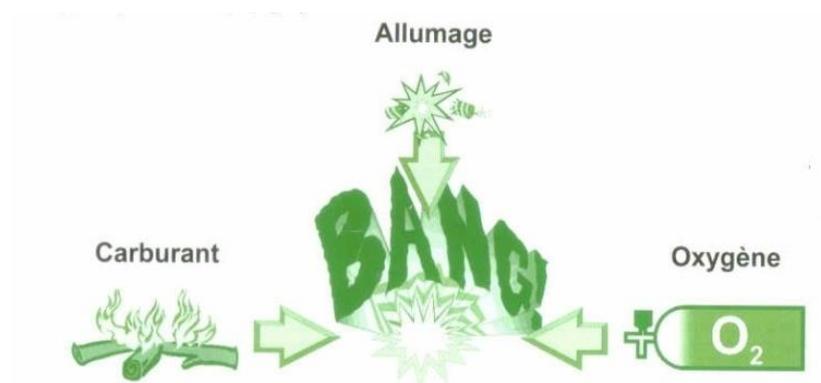
L'oxygène est un gaz incolore, inodore et sans saveur. De symbole O, son numéro atomique est 8, sa masse atomique 16 et sa densité 1,105.

Son point d'ébullition est de -183° à la pression atmosphérique.

L'oxygène liquide est paramagnétique, c'est-à-dire qu'il s'aimante faiblement lorsqu'il est placé dans un champ magnétique (il est attiré par un aimant).

L'oxygène est un gaz fortement oxydant. Tous les matériaux qui brûlent dans l'air atmosphérique brûlent encore mieux en présence de Nitrox. La réaction est d'autant plus violente que la température ou la PO<sub>2</sub> sont élevées.

Pour qu'il y ait inflammation ou explosion, il faut que les trois éléments suivants soient réunis : carburant, comburant (ici l'oxygène) et allumage.



- ◆ Carburant : On considère comme carburant un matériel combustible ; il peut s'agir d'une souillure.
- ◆ Oxygène : L'oxygène est l'élément oxydant. La réaction sera d'autant plus violente que la PO<sub>2</sub> sera élevée.
- ◆ Allumage : La combustion est provoquée par un allumage. Cet allumage peut résulter d'une réaction chimique, d'un échauffement lié à une compression rapide, des forces de frottement induites par un écoulement rapide ou une décharge électrostatique.

Il faut tenir compte des dangers liés à la présence d'oxygène à plus forte concentration partout où se trouve du Nitrox (dans les systèmes d'équilibrage et dans les vêtements étanches, par exemple). Les recommandations suivantes sont donc particulièrement importantes.

- ◆ Pas de feu ou de braises à proximité durant la manipulation d'O<sub>2</sub>. (Défense de fumer)
- ◆ Un extincteur doit être prêt à fonctionner lors d'un gonflage Nitrox.
- ◆ Pas de chaufferettes ou de coussins chauffants par réaction chimique dans les vêtements étanches.

### 3.3 TOXICITÉ

La toxicité de l'oxygène s'exerce dans une grande partie de l'organisme et à des degrés divers. On distingue cependant deux formes d'intoxications : l'effet PAUL BERT et l'effet LORRAIN-SMITH.

#### 3.3.1 L'EFFET PAUL BERT- NEUROTOXIQUE

Il s'agit d'une intoxication due à la respiration d'oxygène à des pressions partielles élevées (> 1,6 bar) pouvant conduire à des crises de convulsions de type épileptique. Cette intoxication se manifeste au niveau du système nerveux central (CNS en anglais).

Cette crise hyperoxique similaire à une crise épileptiforme est inaugurée par une perte de connaissance et se déroule en 3 phases :

- ◆ **Phase tonique** de contracture généralisée en extension. Les quatre membres sont raidis, la cage thoracique et le diaphragme sont immobilisés en expiration forcée. Cette phase dure en moyenne trente secondes ;
- ◆ **Phase clonique ou convulsive** : le patient est agité par des secousses brusques, rythmées, qui deviennent de plus en plus fortes et de moins en moins fréquentes. Ces contractions sont synchrones dans tout le corps avec morsure de la langue et émission d'urine. Cette phase dure deux à trois minutes ;
- ◆ **Phase de dépression post convulsive** d'une dizaine de minutes, avec retour progressif de la conscience dans un état confus avec parfois une grande agitation.

En plongée, cette crise qui débute par une expiration forcée peut provoquer la noyade si le plongeur n'est pas soustrait rapidement du milieu aquatique, l'accidenté doit être remonté en toute sécurité en surface par un coéquipier (remontée lente), puis débranché de son appareil respiratoire et surtout protégé de la noyade.

Les autres complications habituellement suspectées (barotraumatisme pulmonaire par surpression ou traumatismes divers) sont rarissimes.

La survenue d'une crise hyperoxique doit faire supprimer en premier lieu la cause toxique pour revenir le plus rapidement possible à une PpO<sub>2</sub> proche de la normoxie.

Le reste de la prise en charge est identique à celle d'une crise de type épileptiforme : respect de la liberté des voies aériennes, contention pour éviter tout traumatisme, mise au calme pour éviter le plus possible la phase d'agitation post convulsive.

Après un tel accident, en surface, si une complication est observée (Noyade, Surpression pulmonaire ou MDD) on donne de l'O<sub>2</sub>.

Le délai de reprise de la plongée dépend de la complication "surajoutée" : MDD ou SP .....

Remarque: si un plongeur accidenté (MDD, Embolie Gazeuse Artérielle), sous O<sub>2</sub> normobare, convulse, c'est parce qu'une zone du cerveau a "souffert "et est en hyperoxie .... On attend que les convulsions s'arrêtent et on redonne de l'O<sub>2</sub> à 100% !

Il est donc essentiel lors de plongées Nitrox de respecter strictement les profondeurs maximales autorisées en fonction du pourcentage d'oxygène et cela d'autant plus que le pourcentage est élevé. Cela explique en partie que le plongeur Nitrox soit limité à l'utilisation de Nitrox ne dépassant pas 40% d'oxygène, les mélanges plus oxygénés étant réservés aux plongeurs Nitrox Confirmés.

#### 3.3.1.1 Causes de l'intoxication à l'oxygène

- ◆ Augmentation du taux de formation de superoxydes, de peroxydes et d'autres radicaux libres s'attaquant au système nerveux central.
- ◆ Altération de la fonction de la membrane cellulaire amenant à un dysfonctionnement du métabolisme cellulaire.
- ◆ Blocage de la synthèse des neurotransmetteurs tels les GABA (gamma amino butyric), la dopamine, la décarboxylase ou le glutathion-décarboxylase.

#### 3.3.1.2 Mécanismes de défense physiologiques

- ◆ Production d'enzyme tel que le cytochrome oxydase réduisant l'oxygène moléculaire en eau sans réaction intermédiaire.
- ◆ Action de métallo enzymes qui par catalyse forment des peroxydes d'hydrogène.
- ◆ Catalase et peroxydase du Glutathion (GSH) ayant pour but de réduire le peroxyde d'hydrogène en eau.
- ◆ Action d'anti-oxydants tel la vitamine E, C.
- ◆ Régénération des enzymes oxydés et réparation des effets oxydants sur les composants tissulaires.

#### 3.3.1.3 Facteurs influençant la tolérance à l'O<sub>2</sub>

- ◆ L'air et l'eau (comparaison ambiance sèche-humide)
- ◆ La température ambiante
- ◆ Le travail répétitif
- ◆ La valeur de la pp CO<sub>2</sub>
- ◆ Les expositions répétées à l'oxygène

Mais aussi :

- ◆ Hyperthyroïde, aussi médicamenteuse
- ◆ Hypoglycémie
- ◆ Fièvre

- ◆ Médicaments :
  - ✓ Aspirine
  - ✓ Stéroïdes
  - ✓ Vasodilatateurs
  - ✓ Insuline
  - ✓ Acétazolamides
  - ✓ Catécholamine
  - ✓ Pénicilline à forte dose
  - ✓ Vitamine C, à forte dose (> 1gr/jour)
  - ✓ Cocaïne
  - ✓ Certains cytostatiques

#### 3.3.1.4 Le temps de latence

Comme dit précédemment, il n'y a pas de règle sûre pour prédire à quel moment vont se produire les signes d'une intoxication du SNC.

Toutefois, il existe une méthode qui est largement utilisée par les anglo-saxons qui s'appelle le «CNS clock» que l'on peut traduire par «horloge de toxicité du système nerveux central». Evidemment, plus on est proche, ou au delà de 100%, plus on risque de présenter des symptômes d'intoxication.

Le «pourcentage d'atteinte du SNC» est donc, pour une PpO<sub>2</sub> donnée le rapport entre le temps maximum autorisé et le temps d'exposition.

#### 3.3.1.5 Croissance du % de CNS :

Dans le tableau suivant, sont repris :

- ◆ dans la première colonne, les valeurs PpO<sub>2</sub> en bars ;
- ◆ dans la deuxième colonne, le pourcentage d'évolution par minute du CNS ;

L'utilisation de ce tableau est bien entendu nécessaire lors de l'utilisation de tables de plongées Nitrox, Air ou lors d'une décompression à l'O<sub>2</sub> pur. Dans le cas de l'utilisation d'un ordinateur, c'est ce dernier qui calcule la valeur du % de CNS résiduel et qui autorise ou non une autre plongée.

PO <sub>2</sub>	%CNS/min.	PO <sub>2</sub>	%CNS/min.	PO <sub>2</sub>	%CNS/min.
0,60	0,14	0,98	0,32	1,36	0,62
0,62	0,14	1,00	0,33	1,38	0,63
0,64	0,15	1,02	0,35	1,40	0,65
0,66	0,16	1,04	0,36	1,42	0,68
0,68	0,17	1,06	0,38	1,44	0,71
0,70	0,18	1,08	0,40	1,46	0,74
0,72	0,18	1,10	0,42	1,48	0,78
0,74	0,19	1,12	0,43	1,50	0,83
0,76	0,20	1,14	0,43	1,52	0,93
0,78	0,21	1,16	0,44	1,54	1,04
0,80	0,22	1,18	0,46	1,56	1,19
0,82	0,23	1,20	0,47	1,58	1,47
0,84	0,24	1,22	0,48	1,60	2,22
0,86	0,25	1,24	0,51	1,70	2,86
0, 88	0,26	1,26	0,52	1,80	4,00
0,90	0,28	1,28	0,54	1,90	6,67
0,92	0,29	1,30	0,56	2,00	10,00
0,94	0,30	1,32	0,57	2,10	20,00
0,96	0,30	1,34	0,60	2,20	100,00

### 3.3.1.6 Utilisation pratique du tableau

Si au cours d'une même plongée, on est exposé à des PpO<sub>2</sub> différentes, on additionne les valeurs calculées pour chacune de ces PpO<sub>2</sub>.

Exemple :

Vous plongez à 33 m avec un Nitrox 32 pendant 45 minutes et vous effectuez un palier de 10 minutes à 6 m avec de l'oxygène pur. Calculez la valeur de votre « CNS clock ».

A 33 m avec un Nitrox 32 on a :

$$PpO_2 = 4,3 \times 0,32 = 1,37 \text{ bar}$$

On entre dans le tableau à la valeur de 1,38 b et on trouve : 0,63 %/min.

$$\text{Après 45 minutes à 33 m, on a : } 45 \times 0,63 = 28,35 \%$$

A 6 m avec de l'O<sub>2</sub> pur, on a une PpO<sub>2</sub> = 1,6 bar.

Dans le tableau, à la valeur 1,6 b, on trouve : 2,22 %/min.

$$\text{Après 10 minutes, on a : } 2,22 \times 10 = 22,2 \%$$

$$\text{Le total pour la plongée sera de : } 28,35 + 22,2 = 50,55 \%$$

### 3.3.1.7 Décroissance du % de CNS

Cette valeur de «CNS clock» décroît de façon exponentielle avec une période de 90 minutes. C'est-à-dire que toutes les 90 minutes la valeur du % de CNS diminue de moitié.

Exemple :

Prenons le résultat du calcul précédent (50,55 %) et regardons quelle sera devenue la valeur du % de CNS après 4 heures 30 minutes.

Après 1h30 on a :  $50,55 / 2 = 25,28 \%$

Après 3h on a :  $25,28 / 2 = 12,64 \%$

Après 4h30 on a :  $12,64 / 2 = 6,32 \%$

On peut également utiliser le tableau ci-dessous, pour des calculs plus approximatifs.

% CNS départ	30 min	60 min	90 min	2 hrs	3 hrs	4 hrs	5 hrs	6 hrs
100	83	66	49	41	24	16	11	7
95	79	63	46	38	22	15	10	7
90	75	59	44	37	22	15	10	7
85	71	56	42	35	21	14	9	6
80	66	53	39	32	19	15	9	6
75	62	49	37	31	18	12	8	5
70	58	46	34	28	17	11	7	5
65	54	43	32	27	16	11	7	5
60	50	40	29	24	14	9	6	4
55	46	36	27	22	13	9	6	4
50	41	33	24	20	12	8	5	3
45	37	30	22	18	11	7	5	3
40	33	26	20	17	10	7	5	3
35	29	23	17	14	8	5	3	2
30	25	20	15	12	7	5	3	2
25	21	16	12	10	6	4	3	2
20	17	13	10	8	5	3	2	1
15	12	10	7	6	3	2	1	1
10	8	7	5	4	2	1	1	1

On peut également utiliser la formule :

% CNS résiduel = %CNS x (0,5) Exp t/90 avec t = intervalle en minutes

Il est recommandé d'interrompre sa plongée lorsque le % de CNS atteint 75% et de ne pas entreprendre une successive tant qu'il n'est pas redescendu en dessous de 40 %. Il s'agit d'un conseil et non d'une obligation absolue.

Comme nous l'avons dit précédemment, dans le cas où on utilise un ordinateur comme moyen de décompression ce sera ce dernier qui calculera la valeur du % de CNS résiduel et qui autorisera ou non une autre immersion.

### **3.3.2 EFFET LORRAIN SMITH - PNEUMOTOXIQUE**

L'autre effet néfaste de l'oxygène se manifeste au niveau pulmonaire dès que la pression partielle d'oxygène dépasse 0,5 bar mais pour des temps généralement longs. Cet effet est quasi négligeable pour le plongeur sportif, car il n'a jamais l'occasion de réaliser des profils de plongées qui l'amène à subir ces conséquences. Cependant, dans le cadre des traitements hyperbares et/ou après des plongées extrêmes avec de longues décompressions à l'oxygène pur ce phénomène pourrait se manifester.

L'action toxique de l'oxygène sur les poumons est le moindre danger de l'empoisonnement à l'O<sub>2</sub>. Elle n'a pas les mêmes caractéristiques dramatiques pour la vie que dans le cas de l'effet Paul Bert.

Le taux de développement de la toxicité pulmonaire est approximativement proportionnel à la PO<sub>2</sub> respirée. Elle est principalement rencontrée dans les cas d'expositions de longue durée à des PO<sub>2</sub> basses ou modérées alors qu'un effet aigu (Paul Bert) a peu de chance de survenir.

A titre indicatif, des dommages significatifs sont constatés après 18 heures à 1 ATA, 7 heures à 2 ATA et 4 heures à 3 ATA.

Il est quasiment certain que la respiration d'oxygène à des pp inférieurs à 0,5 bar pendant une longue période ne cause aucun dommage fonctionnel ou structurel aux poumons.

#### **3.3.2.1 Symptômes progressifs**

- ◆ Gène au niveau de la cage thoracique
- ◆ Douleurs bronchiques
- ◆ Toux sèche incontrôlable accentuée par l'inspiration profonde
- ◆ Diminution de la capacité vitale
- ◆ Diminution de l'élasticité pulmonaire
- ◆ Diminution de la capacité de diffusion entre le sang et le poumon
- ◆ Diminution de la capacité de résistance du poumon aux infections
- ◆ Atélectasie
- ◆ Fibrose pulmonaire irréversible

De façon à pouvoir mesurer cette toxicité pulmonaire, il a été développé le concept d'UPTD (Unit of Pulmonary Toxic Dose), parfois appelé OTU (Oxygen Tolerance Unit) ou encore, CPTD (Cumulative Pulmonary Toxic Dose).

On considère généralement qu'une accumulation de 615 à 625 UPTD (selon les auteurs) en plongée est acceptable et ne provoque une réduction de la capacité vitale que de 2%. Le total peut cependant être porté à 1425 UPTD dans le cas de traitements hyperbares. Il est également acquis que la respiration d'air en alternance avec l'oxygène pur augmente ces tolérances.

### 3.3.2.2 Calcul UPTD : Kp fonction de PpO<sub>2</sub>

Pour déterminer cette quantité, on utilise le tableau ci-dessous qui donne la valeur de Kp en fonction de la PO<sub>2</sub>. Ce facteur Kp multiplié par le temps d'exposition exprimé en minutes donne le nombre d'UPTD.

PO <sub>2</sub>	Kp	PO <sub>2</sub>	Kp	PO <sub>2</sub>	Kp
0,55	0,15	1,10	1,16	1,7	2,07
0,60	0,26	1,15	1,24	1,8	2,22
0,65	0,37	1,20	1,32	1,9	2,36
0,70	0,47	1,25	1,40	2,0	2,50
0,75	0,56	1,30	1,48	2,1	2,64
0,80	0,65	1,35	1,55	2,2	2,77
0,85	0,74	1,40	1,63	2,3	2,91
0,90	0,83	1,45	1,70	2,4	3,04
0,95	0,92	1,50	1,78	2,5	3,17
1,00	1,00	1,55	1,85	2,6	3,31
1,05	1,08	1,60	1,93	2,7	3,44

Exemple d'utilisation :

$$\text{UPTD} = Kp \times t \text{ (min.)}$$

100 minutes d'exposition à une PpO<sub>2</sub> de 1,4 bar donnent :

$$1,63 \times 100 = 163 \text{ UPTD}$$

On peut également utiliser la formule :

$$\text{UPTD} = t \times ((0,5 / (PpO_2 - 0,5)) \exp. 0,833$$

La réduction de capacité vitale s'exprime par la relation :

$$\%D \text{ VC} = -0,011 (PpO_2 - 0,5) \times t$$

### 3.3.3 AUTRES EFFETS ÉVENTUELS SUITE À UNE LONGUE EXPOSITION

- ◆ Yeux :
  - ✓ Myopie
  - ✓ fibrose rétino-lenticulaire
- ◆ Oreille moyenne :
  - ✓ troubles auditifs passagers
- ◆ Erythrocytes :
  - ✓ modification de la masse des érythrocytes
- ◆ Phénomènes off :
  - ✓ crampes

## 4. NARCOSE, HYPOTHERMIE, CO<sub>2</sub>

### 4.1 LA NARCOSE A L'AZOTE

L'avantage du Nitrox se situe dans la réduction presque totale du risque de la narcose à l'azote. En effet :

- ✓ Les mélanges Nitrox ne nous permettent pas dans la majorité des cas de descendre à des profondeurs supérieures à 40m.
- ✓ Pour une même profondeur, la pression d'azote est inférieure dans les mélanges Nitrox par rapport à l'air, d'où une saturation moindre.

### 4.2 L'INFLUENCE DU CO<sub>2</sub>

Le CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) a plusieurs effets néfastes pour le plongeur. Avec son action vasodilatatrice :

- ◆ Il va permettre une plus grande dissolution d'azote dans les tissus d'où un risque accru d'accident de décompression ;
- ◆ Il va amplifier l'effet narcotique de l'azote en profondeur, en lui permettant de se dissoudre massivement ;
- ◆ Enfin il va augmenter la potentialité d'agression de l'oxygène sur le système nerveux central pour la même raison.

Si la cause principale d'élévation du taux de CO<sub>2</sub> est l'effort, on constate que certaines personnes ont une prédisposition à faire de la rétention de CO<sub>2</sub>. L'identification de ce phénomène est généralement constatée par des maux de tête après la plongée, une hypersensibilité à la narcose et une consommation anormalement basse par rapport à la moyenne.

Une bonne ventilation, c'est-à-dire inspirer profondément, insister sur l'expiration et ne pas faire d'apnée entre les cycles respiratoires, permet de limiter l'élévation du taux de CO<sub>2</sub>.

### 4.3 L'HYPOTHERMIE

La plongée au Nitrox permettant de longs séjours en plongée, le risque de refroidissement augmente et mérite que l'on y apporte une attention particulière.

La thermorégulation en plongée est fortement influencée par la déperdition calorifique liée à la transmission de chaleur (convection et conductibilité) dans l'eau qui est 25 fois plus dense que l'air. L'air respiré à plus grande pression augmente sa densité et sa conductibilité thermique et contribue à augmenter la déperdition calorifique. Finalement, chez les plongeurs détendus, la production calorifique musculaire est réduite.

L'organisme du plongeur est exposé à un refroidissement progressif qu'il tente de contenir dans des limites acceptables par des modifications physiologiques (redistribution de la circulation, vasoconstriction périphérique, production de chaleur par tremblements musculaires).

Si les mesures de protection ne suffisent pas (vêtements adaptés, modifications physiologiques), l'agression du milieu entraîne un refroidissement progressif pouvant conduire à l'hypothermie.

L'abaissement de la température de l'organisme entraîne des pertes fonctionnelles constituant un risque accru pour le plongeur qui les subit. L'exposition au froid cause notamment les sensations désagréables au niveau de la peau. Si la température de l'organisme décroît, après une perte de quelques degrés déjà, apparaissent les symptômes d'atteinte du système nerveux central et/ou des troubles fonctionnels.

### **Température de la peau**

< 20° C = Sensations désagréables, chair de poule

< 15° C = Troubles de la conscience

< 10° C = Troubles des fonctions musculaires

< 5° C = Perte de la sensibilité, douleurs

### **Température corporelle**

< 36° C = Frissons (compensation) : Vasoconstriction  
Consommation accrue d'O<sub>2</sub>

< 34° C = Cessation des frissons : Refroidissement progressif  
Diminution de la temp. corporelle

< 30° C = Diminution rapide des fonctions vitales : Perte des fonctions motrices  
Arythmie cardiaque  
Chute de tension  
Perte de connaissance

## 5. LE MATERIEL

### 5.1 AVERTISSEMENTS

- ◆ Tous les gaz utilisés pour la plongée au Nitrox doivent être de qualité respiratoire.
- ◆ Le gaz Nitrox ne doit être utilisé qu'avec un système respiratoire à circuit ouvert standard.
- ◆ Les bouteilles tampons, les bouteilles de plongée, les détendeurs ainsi que les équipements de transfert haute pression qui sont utilisés avec de l'oxygène pur ou avec un mélange Nitrox qui contient plus de 40% d'O<sub>2</sub> doivent être nettoyés et maintenus pour le service Oxygène.

Le plongeur Nitrox Confirmé doit être capable d'utiliser un matériel permettant de plonger avec un Nitrox d'une teneur en oxygène supérieure à 40%.

Pour cela, il est obligatoire que les récipients, détendeurs et tout le circuit où passe le gaz soient nettoyés et compatibles pour une utilisation à l'oxygène.

### 5.2 RAPPELS

**Nettoyé pour l'oxygène** : on dit qu'un matériel est nettoyé pour l'oxygène, lorsque celui-ci a été débarrassé de toute huile et de tout contaminant qui pourraient être une source d'ignition. Ce nettoyage doit être effectué par une personne qualifiée et il est impératif pour l'utilisateur de conserver ce matériel dans le même état.

**Compatible pour l'oxygène** : Certains matériaux ne peuvent pas être mis en contact avec l'oxygène.

Pour exemple : un robinet de bouteille est nettoyé et dégraissé: on dit alors qu'il est nettoyé pour l'oxygène. Les O-rings en silicone et le clapet sont changés : on dit que le robinet est compatible pour l'oxygène.

### 5.3 MATERIEL SPECIFIQUE POUR LA PLONGEE AU NITROX

*(RAPPEL : Voir Chapitre 4 du cours Nitrox )*

#### 5.3.1 LA BOUTEILLE

Certaines méthodes de remplissage utilisent au départ de l'oxygène pur. Même si de nombreux centres de gonflage remplissent votre bouteille directement avec du Nitrox à une teneur inférieure à 40% d'oxygène, il faut maintenir sa bouteille dans un état impeccable (nettoyé pour l'oxygène et compatible) car vous ne connaîtrez pas toujours la méthode de gonflage de la station où vous faites remplir votre bouteille.

IL EST ESSENTIEL DE RAPPELER ICI QUE LE PLONGEUR EST SEUL RESPONSABLE DE SA BOUTEILLE OU DE LA BOUTEILLE QU'IL A RECUE EN LOCATION TANT AU POINT DE VUE DE LA RÉÉPREUVE QUE DE SON ÉTAT PAR RAPPORT AU GAZ UTILISÉ.

La bouteille doit être marquée pour le Nitrox ; au lieu d'avoir le marquage normal AIR/LUCHT sur l'ogive, la bouteille doit être frappée par un organisme accrédité (AIB, Vincotte, Apragaz,...) NITROX et livrée avec un certificat de conformité.

La bouteille doit également être pourvue d'un bandeau jaune et vert marqué NITROX.

Les bouteilles de plongée à l'air sont revêtues d'un film de paraffine lourde qui retarde l'oxydation du métal. Les bouteilles de Nitrox sont évidemment dépourvues d'un tel traitement ce qui risque de favoriser le développement de la rouille. Il est donc conseillé de faire vérifier sa bouteille annuellement.



**N'OUBLIEZ JAMAIS QUE VOUS ÊTES SEUL RESPONSABLE DE LA BOUTEILLE ET QU'UN PEU DE GRAISSE PEUT AVOIR DES CONSÉQUENCES FATALES!**

La bouteille de Nitrox ne peut servir que pour le Nitrox.

**IL EST IMPÉRATIF DE NE JAMAIS FAIRE REGONFLER UNE BOUTEILLE NITROX AVEC DE L'AIR SANS PASSER PAR UN SURFILTRE.**

Un compresseur classique risque de polluer la bouteille avec de l'huile.

### **5.3.2 LE ROBINET**

Bien que bon nombre de robinetteries équipant des bouteilles Nitrox soient encore d'anciens modèles, actuellement les nouvelles robinetteries dédiées à l'utilisation du Nitrox sont filetées en M26 X 200. Ce filetage spécifique ne permet que le montage de détendeurs eux-mêmes filetés M26 X 200. Le volant est généralement de couleur verte afin d'être reconnu facilement.

Les robinets ¼ d tour sont interdits pour l'utilisation du Nitrox.

### **5.3.3 LE DÉTENDEUR**

Si le détendeur est utilisé avec un Nitrox contenant un pourcentage d'oxygène inférieur à 40%, il n'est pas obligatoire de le rendre compatible et dégraissé pour l'oxygène.

La formation de plongeur Nitrox interdit l'utilisation d'un Nitrox contenant plus de 40% d'oxygène ou l'utilisation de l'oxygène pur, ce qui permet l'utilisation d'un détendeur de type conventionnel sur une bouteille qui est encore munie d'une robinetterie « étrier » ou « DIN ».

Au-delà de 40% d'oxygène dans le mélange utilisé, les détendeurs, manomètre, inflateur, etc.... doivent être compatibles oxygène.



UNE ERREUR ÉTANT TOUJOURS POSSIBLE, IL EST OBLIGATOIRE DE CONNAÎTRE LA TENEUR EN OXYGÈNE DE SON MÉLANGE. IL EST DONC ESSENTIEL D'ANALYSER SON NITROX À L'AIDE D'UN OXYMÈTRE AVANT DE BRANCHER UN MANOMÈTRE OU UN DÉTENDEUR.

**AFIN D'ÉVITER TOUT ACCIDENT TANT HORS DE L'EAU QU'EN PLONGÉE, IL NE FAUT JAMAIS FAIRE TOTALE CONFIANCE AUX INDICATIONS PORTÉES SUR LA BOUTEILLE.**

### **ANALYSEZ TOUJOURS VOTRE MÉLANGE VOUS-MÊME !**

Pour ceux qui plongent souvent au Nitrox, il est conseillé d'utiliser un matériel dégraissé et compatible pour l'oxygène.

#### **5.3.4 MANOMÈTRE, GILET DE STABILISATION, TUYAUX, COMBINAISON SÈCHE...**

Tout ce matériel ne peut jamais être en contact avec un Nitrox dont le pourcentage d'oxygène est supérieur à 40%. Sachez que les plongeurs qui utilisent un mélange fortement suroxygéné emportent avec eux un second gaz (air, argon...) pour la compensation de leur gilet et/ou de leur combinaison.

Rappel : ce cours n'est pas fait pour les plongeurs utilisant des appareils à circuit fermé ou semi-fermé.

#### **5.3.5 L'ORDINATEUR**

Certains ordinateurs sont prévus pour une utilisation du Nitrox. Ils permettent pour la plupart de plonger à l'air (21%) ou au Nitrox. Il est évidemment important de programmer le type de Nitrox utilisé. Sur la majorité des ordinateurs, il est possible de programmer la pression partielle maximum d'oxygène.

Certains permettent l'utilisation de plusieurs mélanges pendant la même plongée.

La plongée au Nitrox a été créée pour plonger plus confortablement et en plus grande sécurité et non pour repousser les barrières. Programmez votre ordinateur avec le plus grand sérieux.

#### **5.3.6 L'OXYMÈTRE**

Il existe différents types d'analyseurs d'oxygène. Les plus répandus en plongée sportive sont ceux à cellule électrochimique. Ils coûtent + ou - 200 € et la cellule doit être changée périodiquement (voir durée de vie donnée par le fabricant). L'analyse du mélange doit se faire directement à la bouteille. Chaque marque d'appareil a sa méthode, mais tout oxymètre doit d'abord s'étalonner. Le plus simple est l'étalonnage à l'air (20,9%). La lecture se fait sur un écran numérique.



**L'ANALYSE NE DOIT SE FAIRE QUE SI LE MÉLANGE EST PARFAITEMENT HOMOGÉNÉISÉ. IL EST CONSEILLÉ D'ATTENDRE QUELQUES HEURES APRÈS LA FABRICATION.**

**L'ANALYSE DU MÉLANGE FAIT PARTIE DE LA FORMATION DU PLONGEUR NITROX.**

Puisqu'en plongée Nitrox, nous sommes confrontés à des pressions partielles d'oxygène élevées, le risque de combustion ou d'explosion augmente. Le matériel employé et tous les lubrifiants doivent impérativement être « oxygène compatibles ». Cela veut dire qu'ils ne donnent pas naissance à des réactions néfastes lorsqu'ils entrent en contact avec de l'oxygène à des températures et des pressions spécifiques. Une matière synthétique peut, par exemple, être tout à fait compatible à la pression atmosphérique et perdre sa compatibilité à haute pression ou à haute température.

*Ex. de matériaux compatibles :*

- ◆ Cuivre, laiton, acier inox.
- ◆ Téflon (PTFE)
- ◆ Joints toriques en viton
- ◆ Lubrifiants spéciaux (p.ex ; Voltalef, Krytox, Fonblin, Triolub)

*Matériaux incompatibles*

- ◆ Acier normal, zinc.
- ◆ Néoprène
- ◆ Soft téflon
- ◆ Lubrifiants normaux (p.ex. graisse silicone)

Les réponses aux questions de compatibilité des matériaux et des produits peuvent être données par des personnes ayant une formation appropriée ou par les fabricants.

Toutes les parties du matériel qui entrent en contact avec de l'oxygène à plus haute concentration doivent non seulement être compatibles avec l'oxygène, mais aussi avoir subi un traitement approprié pour l'oxygène : elles doivent être libres de toute souillure (Oxygen clean). Ces souillures sont, entre autres :

- ◆ Particules de rouille
- ◆ Huile ou graisse (y compris les empreintes digitales sur un matériel nettoyé)
- ◆ Différents résidus savonneux
- ◆ Produits de nettoyage
- ◆ Peinture (stylos marqueurs)

### **5.3.7 MATÉRIEL POUR LA DECOMPRESSION A L'OXYGENE**

En plongée sportive, les mélanges Nitrox avec un pourcentage d'oxygène supérieur à 40% ne seront utilisés que pour les paliers lors de plongées profondes à l'air.

Le matériel de plongée employé pour la décompression à l'oxygène doit être compatible avec l'oxygène. Il doit être spécialement identifié et ne doit en aucun cas être employé pour de l'air comprimé normal.

## 6. LA DECOMPRESSION

### 6.1 LA TABLE DE PLONGEE

La maîtrise de l'utilisation des tables est considérée comme acquise au niveau plongeur Nitrox.

#### TOUTES LES RÈGLES D'UTILISATION DES TABLES DE PLONGÉE RESTENT D'APPLICATION

##### 6.1.1 LA TABLE DE PLONGEE NITROX

N.O.A.A. a conçu des tables de plongée spécifiques à la plongée au Nitrox. Ces tables (NITROX I et NITROX II) permettent d'effectuer la décompression avec de l'oxygène pur pour les paliers de 6 et 3 mètres et de réduire, de la sorte, le temps de cette décompression.

On remarque que le temps à l'O<sub>2</sub> pur est la moitié du temps « air » arrondi à l'unité supérieure.

Remarque : Ces tables (NITROX I et II) ne sont pas des tables de plongée à l'air avec décompression à l'oxygène mais bien des tables composées pour des plongées avec des mélanges Nitrox (NITROX I 32% et NITROX II 36%) et une décompression suroxygénée.

Exemple :

Une plongée à l'air à 42 mètres pendant 40 minutes imposent 2 minutes à 9 m, 16 minutes à 6m et 26 minutes à 3 mètres.

Avec un mélange 32 % (Nitrox I) la même plongée impose 5 minutes à 6 mètres et 25 minutes à 3 mètres

Avec un mélange 32% (Nitrox I) mais avec une décompression à l'oxygène pour cette plongée impose 3 minutes à 6 mètres et 13 minutes à 3 mètres.

**TABLES DE DÉCOMPRESSION N.O.A.A. NITROX I (32%)**

Prof. (m)	Temps (min.)	Paliers 6m	Nitrox 3m	Paliers 6m	O <sub>2</sub> 3m	Symboles	Rem.
15	200		0			N	
	210		2		1	N	
	230		7		4	N	
	250		11		6	O	
	270		15		8	O	
18	100		0			L	
	110		3		2	L	
	120		5		3	M	
	140		10		5	M	
	160		21		12	N	
	180		29		15	O	
	200		35		18	O	
21	60		0			J	
	70		2		1	K	
	80		7		4	L	
	100		14		7	M	
	120		26		13	N	
	140		39		20	O	
24	50		0			J	
	60		8		4	K	
	70		14		7	L	
	80		18		9	M	
	90		23		12	N	
	100		33		17	N	
	110	2	41	1	21	O	
	120	4	47	2	24	O	
	130	6	52	3	26	O	
27	40		0			I	
	50		10		5	K	
	60		17		9	L	
	70		23		12	M	
	80	2	31	1	16	N	
	90	7	39	4	20	N	
	100	11	46	6	23	O	
	110	13	53	7	27	O	

Prof. (m)	Temps (min)	Paliers 9m	Paliers 6m	Paliers 3m	Paliers 6m	O2 3m	Symboles	Rem.
30	30			0			H	
	40			7		4	J	
	50			18		9	L	
	60			25		13	M	
	70		7	30	4	15	N	
	80		13	40	7	20	N	*1
	90		18	48	9	24	O	*1
33	25			0			H	
	30			3		2	I	
	40			15		8	K	*1
	50		2	24	1	12	L	*1
	60		9	28	5	14	N	*1
	70		17	39	9	20	O	*1
	80		23	48	12	24	O	*1
36	25			0			H	*1
	30			3		2	I	*1
	40			15		8	K	*1
	50		2	24	1	12	L	*1
	60		9	28	4	14	N	*1
	70		17	39	9	20	O	*1
	80		23	48	12	24	O	*1
39	20			0			G	*1
	25			3		2	H	*1
	30			7		4	J	*1
	40		2	21	2	11	L	*1
	50		8	26	4	13	M	*1
	60		18	36	9	18	N	*1
	70		23	48	12	28	O	*1
42	15			0			G	*1
	20			2		1	H	*1
	25			6		3	J	*1
	30			14		7	L	*1
	40		5	25	3	13	M	*1
	50		15	31	8	16	N	*1
	60	2	22	45	11	23	O	*1

**TABLEAU DES INTERVALLES(EN HH:MM) ET DES PÉNALITÉS(EN MIN.)**

															<b>A</b>	0:10 12:00
														<b>B</b>	0:10 3:20	3:21 12:00
												<b>C</b>	0:10 1:39	1:40 4:49	4:50 12:00	
										<b>D</b>	0:10 1:09	1:10 2:38	2:39 5:48	5:49 12:00		
									<b>E</b>	0:10 0:54	0:55 1:57	1:58 3:24	3:25 6:34	6:35 12:00		
								<b>F</b>	0:10 0:45	0:46 1:29	1:30 2:28	2:29 3:57	3:58 7:05	7:06 12:00		
							<b>G</b>	0:10 0:40	0:41 1:15	1:16 1:59	2:00 2:58	2:59 4:25	4:26 7:35	7:36 12:00		
						<b>H</b>	0:10 0:36	0:37 1:06	1:07 1:41	1:42 2:23	2:24 3:20	3:21 4:49	4:50 7:59	8:00 12:00		
					<b>I</b>	0:10 0:33	0:34 0:59	1:00 1:29	1:30 2:02	2:03 2:44	2:45 3:43	3:44 5:12	5:13 8:21	8:22 12:00		
				<b>J</b>	0:10 0:31	0:32 0:54	0:55 1:19	1:20 1:47	1:48 2:20	2:21 3:04	3:05 4:02	4:03 5:40	5:41 8:50	8:51 12:00		
			<b>K</b>	0:10 0:28	0:29 0:49	0:50 1:11	1:12 1:35	1:36 2:03	2:04 2:38	2:39 3:21	3:22 4:19	4:20 5:48	5:49 8:58	8:59 12:00		
		<b>L</b>	0:10 0:26	0:27 0:45	0:46 1:04	1:05 1:25	1:26 1:49	1:50 2:19	2:20 2:53	2:54 3:36	3:37 4:35	4:36 6:02	6:03 9:12	9:13 12:00		
	<b>M</b>	0:10 0:25	0:26 0:42	0:43 0:59	1:00 1:18	1:19 1:39	1:40 2:05	2:06 2:34	2:35 3:08	3:09 3:52	3:53 4:49	4:50 6:18	6:19 9:28	9:29 12:00		
	<b>N</b>	0:10 0:24	0:25 0:39	0:40 0:54	0:55 1:11	1:12 1:30	1:31 1:53	1:54 2:18	2:19 2:47	2:48 3:22	3:23 4:04	4:05 5:03	5:04 6:32	6:33 9:43	9:44 12:00	
	<b>O</b>	0:10 0:23	0:24 0:36	0:37 0:51	0:52 1:07	1:08 1:24	1:25 1:43	1:44 2:04	2:05 2:29	2:30 2:59	3:00 3:33	3:34 4:17	4:18 5:16	5:17 6:44	6:45 9:54	9:55 12:00
<b>Z</b>	0:10 0:22	0:23 0:34	0:35 0:48	0:49 1:02	1:03 1:18	1:19 1:36	1:37 1:55	1:56 2:17	2:18 2:42	2:43 3:10	3:11 3:45	3:46 4:29	4:30 5:27	5:28 6:56	6:57 10:05	10:06 12:00
<b>P (m)</b>	<b>Z</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>L</b>	<b>K</b>	<b>J</b>	<b>I</b>	<b>H</b>	<b>G</b>	<b>F</b>	<b>E</b>	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
15	257	241	213	187	161	138	116	101	87	73	61	49	37	25	17	7
18	169	160	142	124	111	99	87	76	6	56	47	38	29	21	13	6
21	122	117	107	97	88	79	70	61	52	44	36	30	24	17	11	5
24	122	117	107	97	88	79	70	61	52	44	36	30	24	17	11	5
27	100	96	87	80	72	64	57	50	43	37	31	26	20	15	9	4
30	84	80	73	68	61	54	48	43	38	32	28	23	18	13	8	4
33	73	70	64	58	53	47	43	38	33	29	24	20	16	11	7	3
36	64	62	57	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	10	7	3
39	57	55	51	47	42	38	34	31	27	24	20	16	13	10	6	3

### 6.1.2 LA TABLE DE PLONGEE « AIR »

L'US NAVY a édité des tables de décompression « air » intégrant la possibilité d'une décompression à l'oxygène pur dans l'exécution de certains paliers. De la sorte, la durée de ceux-ci sera réduite de manière significative.

Toutefois, d'autres tables de plongée « air » validées peuvent également être utilisées pour autant que l'usage en soit maîtrisé. Lors de l'usage de ces tables, il faudra tenir compte d'une modification de la fraction (pourcentage) spécifique d'azote du mélange utilisé. Le plongeur calcule alors la profondeur équivalente.

Profondeur équivalente

Un mélange contenant X% d'azote respiré à une profondeur de P mètres donne la même décompression que de l'air (79% d' $N_2$ ) respiré à une profondeur de P' mètres où la  $PpN_2$  est identique à celle du mélange. La profondeur P' est donc la *profondeur équivalente* à P.

A P' mètres de profondeur, la pression absolue exprimée en mètres d'eau est égale à P'+ 10 (10 mètres d'eau correspondant à la valeur de la pression atmosphérique).

L'égalité des pressions partielles d'azote s'écrit alors:

$$(P+10) \times X = (P' + 10) \times 0,79$$

Avec :

P' : profondeur équivalente en mètres d'eau

P : profondeur réelle atteinte en mètres d'eau

X : part de l'azote dans le mélange

0,79 : part de l'azote dans l'air

On en déduit donc la formule de **LA PROFONDEUR ÉQUIVALENTE** :

$$\text{Prof. Equi} = \frac{X \times (P + 10)}{0,79} - 10$$

**Remarques** : cette méthode impose de respecter strictement la profondeur planifiée sous peine de devoir entreprendre ce calcul sous l'eau, avec tous les risques d'erreurs inhérents à ce genre d'exercice.

**Exemple** : calculer la profondeur équivalente à 33 mètres pour un Nitrox 32.

Nitrox 32 : 32 %  $O_2$  et 68 %  $N_2$

Ce qui revient à dire que plonger à 33m avec un Nitrox 32, cela correspond pour la décompression à une plongée à l'air à 27m.

$$\frac{0,68 \times (33 + 10)}{0,79} - 10 = 27 \text{ m}$$

## **MOD (Maximum Operating Depth)**

Comme nous l'avons vu lors du cours Plongeur Nitrox, nous définissons la profondeur maximale d'utilisation d'un mélange en nous basant sur la valeur de la pression ambiante P (pression absolue).

Exemple :

A quelle profondeur atteint-on une  $PpO_2$  de 1,4b avec un mélange Nitrox 32?

$$1,4 = ? \times 0,2$$

$$1,4 / 0,2 = 7 \text{ Ce qui correspond à une profondeur de } 34\text{m.}$$

Cette notion de MOD (Maximum Operating Depth) trouve en plongée à mélange suroxygéné encore plus de sens pour le plongeur Nitrox confirmé. Il faudra certainement en tenir compte par exemple pour l'utilisation à une profondeur maximum d'un gaz de décompression.



**RAPPELONS QU'IL EST RECOMMANDÉ D'UTILISER, COMME LE PRÉCONISENT DE NOMBREUSES AGENCES ET/OU L'IMPOSENT CERTAINES RÉGLEMENTATIONS/LÉGISLATIONS (ZÉLANDE, EGYPTÉ NOTAMMENT), UNE PRESSION PARTIELLE D'OXYGÈNE MAXIMUM DE 1,4 BAR.**

## **6.2 PLONGEE A L'ORDINATEUR**

Bien évidemment, la décompression à l'ordinateur, de plus en plus généralisée, résout tous les problèmes de calculs faits précédemment.

Si ces ordinateurs sont configurables au mode Nitrox ils permettent en plus de profiter de tous les avantages de la décompression Nitrox.

## **6.3 PLONGEE SUR BASE D'UN SOFTWARE**

Des logiciels de décompression ont été commercialisés. Ils s'apparentent à une table de plongée adaptative à certains critères introduits par l'utilisateur.

**LES RÉSULTATS PRODUITS PAR CE LOGICIEL DEVRONT ÊTRE RETRANSCRITS POUR ÊTRE UTILISÉS SOUS EAU. LA DÉCOMPRESSION EFFECTUÉE À L'AIDE D'UNE « TABLE » ÉDITÉE PAR SOFTWARE EST PERSONNELLE COMPTE TENU DES DIVERS PARAMÈTRES INDIVIDUELS SUSCEPTIBLES D'ÊTRE INTRODUIES. L'EXÉCUTION DE LA DÉCOMPRESSION PROGRAMMÉE, APPELÉE RUN TIME, NÉCESSITE UN RESPECT STRICT.**

# 7. PROCÉDURE ET PLANIFICATION

## 7.1 RAPPEL

### Avant la plongée

- ◆ Mesurer la teneur en O<sub>2</sub> du mélange
- ◆ Inscrire le résultat sur l'étiquette de la bouteille
- ◆ Régler l'ordinateur Nitrox ou utiliser la table adéquate
- ◆ Définir la prof. max. d'utilisation (MOD) en fonction PpO<sub>2</sub> max. admissible
- ◆ Calculer au besoin la profondeur équivalente à l'air (EAD)
- ◆ Planifier le déroulement de la plongée

### Pendant la plongée

- ◆ Respecter la planification strictement

### Après la plongée

- ◆ Noter le temps de plongée et la teneur du mélange utilisé
- ◆ Relever et inscrire sur l'étiquette la pression résiduelle
- ◆ Ranger la bouteille

Hormis les divers points abordés au chapitre 3 du cours Nitrox de base, il est important d'insister sur les points suivants :

#### Remarques importantes concernant la PpO<sub>2</sub>:

1. La pression partielle en oxygène du mélange respiré ne peut dépasser 1,6 b certainement en mélange de décompression
2. Dans d'autres organismes et/ou dans d'autres endroits, la PpO<sub>2</sub> maximale ne peut dépasser 1,4 b. (En Zélande, ...) en mélange fond
3. Il est recommandé d'effectuer les plongées de formation Nitrox avec une pression partielle d'oxygène maximale de 1,4 bar.

La décompression à l'oxygène pur est une technique qui doit être utilisée avec la plus grande rigueur. En effet, on ne l'utilise que pour les paliers de 6 et 3 mètres afin d'éviter les risques d'hyperoxie. Cela sous-entend que la profondeur du palier sera strictement respectée. Comme on l'a précédemment fait remarquer, le temps de décompression est la moitié du temps de décompression à l'air (ou au Nitrox) arrondi à l'unité supérieure. Cette règle est assez facile à retenir et permet d'être facilement appliquée même en l'absence de tables spécifiques.

Il est à noter que de plus en plus de plongeurs sportifs pratiquant des plongées à décompression obligatoire exécutent leurs paliers au Nitrox ou à l'oxygène pur sans modifier les temps le palier qu'ils devraient exécuter s'ils n'avaient pas leur « mélange déco. »

## 7.2 CALCUL DU BEST MIX

Le « best mix » ou meilleur mélange est le pourcentage de mélange nitrox le plus élevé à respirer à une profondeur déterminée.

Ce meilleur mélange est fixé en utilisant des tables préétablies, en le calculant ou en paramétrant son ordinateur de plongée (pour autant que cet aspect de la planification soit réalisable avec l'ordinateur de plongée utilisé)

La table prédéfinie du meilleur mélange se lit aisément. La détermination de la pression partielle tolérée fixera en fonction de la profondeur ce « best mix ».

Oxygen Percentages for Best Mix						
P02		1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
fsw	msw					
40	12	40%	40%	40%	40%	40%
45	14	40%	40%	40%	40%	40%
50	15	40%	40%	40%	40%	40%
55	17	40%	40%	40%	40%	40%
60	18	40%	40%	40%	40%	40%
65	20	40%	40%	40%	40%	40%
70	21	40%	40%	40%	40%	40%
75	23	37%	40%	40%	40%	40%
80	24	35%	38%	40%	40%	40%
85	26	34%	36%	39%	40%	40%
90	27	32%	35%	38%	40%	40%
95	29	31%	34%	36%	39%	40%
100	30	30%	32%	35%	37%	40%
105	32	29%	31%	33%	36%	38%
110	33	28%	30%	32%	35%	37%
115	35	27%	29%	31%	33%	36%
120	36	26%	28%	30%	32%	35%
125	38	25%	27%	29%	31%	33%
130	40	24%	26%	28%	30%	32%

Exemple : à 36 mètres avec un PpO<sub>2</sub> de 1,4 bar « le best mix » = 30%

## 7.3 PRATIQUE DE LA PLONGÉE

Si nous planifions une plongée avec décompression à l'oxygène pur, nous devons tenir compte de plusieurs points particuliers. La valeur de la PpO<sub>2</sub> max. = 1,6 bar ne doit en aucun cas être dépassée. La profondeur du palier à l'oxygène de - 6 mètres (PpO<sub>2</sub> = 1,6 bar) est en contradiction avec les valeurs de 1,4 bar qui s'applique aux plongées loisirs ou en eaux froides et/ou avec effort ou stress. C'est pour cette raison qu'il convient de prendre des mesures de sécurité particulières durant la décompression à l'oxygène.

Le calcul du stock d'oxygène nécessaire à cette décompression est particulièrement important. Lors de son calcul, il faut intégrer une marge de sécurité de 30%.

Exemple :

Calcul du stock d'oxygène nécessaire à une décompression de 14 min à 3 mètres

Besoin pour la décompression : consommation/min x durée du palier x p

$$20 \text{ l/min} \times 14 \times 1,6 \text{ bar} = 448 \text{ litres d'O}_2$$

Besoins, marge de sécurité incluse : 448 litres + 30% = 583 litres d'O<sub>2</sub>.

## 7.4 PLANIFICATION DE LA DECOMPRESSION

Nous pouvons envisager 3 manières différentes d'envisager la décompression : une table de plongée, un ordinateur et un software

### 7.4.1 DÉCOMPRESSION À L'AIDE D'UNE TABLE DE PLONGÉE

Nous pouvons donc procéder de 3 manières différentes : décompression à la table de plongée, à l'ordinateur et au software.

Dans la pratique, 2 de ces méthodes ont perdu de leur signification car la majorité des plongeurs emploient actuellement des ordinateurs de plongée. Pour la planification de plongées, par contre, ces méthodes retrouvent toute leur raison d'être et sont importantes :

**Méthode 1 :** Fondamentalement, on peut déterminer une décompression à l'oxygène à l'aide d'une table de plongée à l'air ou au Nitrox, puisque les durées définies par ces tables sont plus conservatrices que celles prévues pour la décompression à l'oxygène. Il est toutefois impératif de tenir compte et de respecter les profondeurs maximales d'utilisation de l'oxygène et de ne pas oublier les problèmes toxiques induits par l'oxygène. Il est aussi possible d'utiliser la table EAD avec cette méthode.

**Méthode 2 :** La méthode la plus simple consiste à recourir à une table spécialement calculée pour la décompression à l'oxygène. Il faut cependant employer des tables à chaque mélange fond (« Bottom Mix »).

### 7.4.2 DÉCOMPRESSION À L'AIDE D'UN ORDINATEUR

Avec les ordinateurs, il existe aussi 2 méthodes pour déterminer une décompression à l'oxygène

**Méthode 1 :** La décompression à l'oxygène peut s'effectuer en respectant les indications d'un ordinateur de plongée pour l'air comprimé ou le Nitrox, puisque les décompressions à l'air ou au Nitrox sont plus restrictives que les décompressions à l'oxygène. Il ne faut pas oublier de calculer et de respecter la profondeur maximale et la neurotoxicité de l'oxygène.

**Méthode 2 :** La méthode la plus confortable pour effectuer ce type de décompression est l'utilisation d'ordinateurs prévus pour la décompression à l'oxygène. Cependant, il faut un ordinateur particulier équipé des algorithmes spécifiques. La permutation « bottom-mix »- oxygène doit correspondre à la réalité. Elle exige généralement une manipulation que le plongeur ne doit pas oublier d'effectuer (sur certains ordinateurs ce changement est proposé dès le niveau de paliers atteint) et de la faire à la bonne profondeur.

### 7.4.3 DÉCOMPRESSION À L'AIDE D'UN SOFTWARE

Il existe un certain nombre de logiciels permettant de calculer des profils de décompression (ex. : Abyss, V-planner, ...) qui intègrent diverses possibilités de paramétrages ainsi que des outils pour le calcul des mélanges. Ces planifications de décompression sont donc des profils personnalisés en fonction de profils prédéterminés. Les divers paramétrages demandent de la part de leurs utilisateurs une bonne connaissance et une bonne compréhension des modèles mathématiques utilisés.

Il est bien évident que les «run time» ainsi que les changements de gaz proposés doivent être scrupuleusement suivis pendant la plongée au risque de sortir de la planification.

Exemple de software « V-planner », « deco planner », ...

Exemple : avec V-planner Version3.91 : Une plongée à l'air à 42 mètres pendant 40 minutes avec une décompression à l'oxygène pur imposera des paliers à 21m, 18m, 15m, 12m, 9m, à 6 mètres pendant 7 minutes et un palier à 3 mètres de 12 minutes.

## 7.5 GESTION DE LA CONSOMMATION

La gestion de son mélange gazeux est une chose très importante et pas seulement dans le cadre de la plongée technique.

Il est important dans toute plongée d'avoir à sa disposition non seulement la quantité de gaz nécessaire à la plongée et à sa décompression mais également une réserve suffisante. Cette réserve doit permettre de faire face à un problème matériel ou d'aider son compagnon.

Pour déterminer ses besoins, il faut connaître sa consommation. Beaucoup d'entre nous considèrent que leur consommation est de 20 litres/minutes en surface pour une activité modérée. Il s'agit d'une approximation qui peut parfois s'éloigner fort de la réalité. Certains voient leur consommation multipliée par 6 lorsqu'ils doivent faire un effort important et soutenu. Il faut donc évaluer sa consommation en régime modéré et à l'effort et en tenir compte dans ses calculs d'autonomie.

**Rappel** : extraits du syllabus Plongée profonde à l'air LIFRAS

Toute plongée bouteille s'effectue avec une quantité limitée d'air. Le problème consiste à évaluer correctement la quantité d'air dont on va avoir besoin pour réaliser la plongée envisagée.

Il n'y a pas que la loi de Boyle et Mariotte ni la prévoyance du plongeur qui intervienne dans la gestion de la consommation. L'augmentation de la densité du gaz respiré avec la profondeur engendre un accroissement du travail respiratoire (inspiratoire et expiratoire) et donc de la consommation.

D'autres paramètres influent aussi sur la consommation du plongeur, et donc sur son autonomie :

- ◆ Le niveau de stress, généré par exemple par des conditions de plongée difficiles (ex : faible visibilité, courant, la réalisation des paliers en pleine eau), la fatigue ou encore la nécessité d'encadrer d'autres plongeurs moins expérimentés, augmente la consommation d'air.
- ◆ Le froid a aussi un effet sur la ventilation, le corps se met à consommer de grande quantité d'O<sub>2</sub> (pour se maintenir à température normale) qui se répercute sur la consommation d'air. De plus, il réduit l'amplitude de la respiration, ce qui rend l'expiration moins efficace.
- ◆ L'équipement : un problème de flottabilité généré par un lestage mal adapté, une combinaison ou un gilet stabilisateur trop serré provoquent par exemple une surconsommation d'air ; le gonflage de la combinaison étanche et du parachute nécessitent également une certaine quantité d'air ; la configuration du matériel sur le plongeur peut aussi impacter la consommation (ex: manque d'hydrodynamisme qui entraîne une résistance à l'avancement dans l'eau plus importante et donc de l'effort à fournir).

- ◆ L'entraînement physique : une bonne hygiène de vie, un entraînement régulier en mer ou en piscine permettent de diminuer la consommation ; à l'inverse, un effort physique, (ex: palmage contre le courant, long déplacement sous l'eau) augmentent la consommation.
- ◆ Un comportement "nerveux" : mouvement intempestif des bras, palmage inefficace ou trop rapide, vidage de masque incessant ont aussi un effet néfaste sur la consommation.
- ◆ Le facteur physiologique : chaque individu a une consommation normale, au repos, qui lui est propre. La capacité pulmonaire ainsi que la  $VO_2$  (oxygène métabolisé), différentes pour chaque individu, intervient aussi dans le niveau de consommation d'une personne.

L'erreur classique, effectuée dans les calculs de détermination de la quantité de gaz nécessaire, est de prendre comme référence une consommation moyenne, au repos et à 1 atmosphère, de 20L/minute. Le plongeur doit être conscient que la consommation varie non seulement d'un individu à l'autre, mais également d'une plongée à l'autre pour un même individu. Il est donc nécessaire de connaître sa consommation personnelle dans différentes conditions de plongée.

Technique d'évaluation de sa consommation personnelle (VRM)

**Rappel** : extraits du syllabus Plongée profonde à l'air LIFRAS

Le calcul de la consommation s'effectue pour une plongée au cours de laquelle vous effectuez vos déplacements calmement et fournissez un effort normal continu. Cet exercice n'a d'utilité que si vous êtes équipés du matériel que vous utilisez habituellement en plongée (ex : même combinaison, même bloc bouteille, même redondance de certains équipements, ...) ; puisque le matériel a un impact direct sur l'effort fourni pour évoluer en profondeur et donc sur la consommation.

Cet exercice consiste à s'immerger à la profondeur de 10m. Arrivé à cette profondeur, le chrono est déclenché de façon à pouvoir déterminer un intervalle de temps de 10 minutes exactement. L'utilisation d'un timer électronique/ordinateur n'est pas prônée puisqu'elle ne donne pas une précision suffisante du temps écoulé (en minute et seconde). Lors du déclenchement du chrono, relever la pression de votre bouteille et notez la sur une plaquette immergeable (par exemple : 195bar). Vous entamez alors un palmage à un rythme constant durant 10 minutes à la profondeur de 10m. Après 10 minutes, relevez à nouveau la pression dans votre bouteille (par exemple : 175bar).

Il ne vous reste plus qu'à déduire votre consommation 'normale' à partir de ces données.

Pour un parcours de 10 minutes à 10m (soit à 2bar de pression absolue) avec un effort normal, la consommation (dans l'exemple) est de  $195 - 175 = 20$  bar. Si vous aviez une 15L sur le dos, cela donnerait  $20 * 15L = 300L$ , soit une consommation de  $[(300L / 10 \text{ minutes}) / 2bar] = VRM = 15L$  par minute en situation normale.

Il vous est aussi conseillé de réitérer cet exercice (même durée et même profondeur, même équipement, ...) en simulant un effort intense (comme s'il y avait du courant) et une situation de stress, en entreprenant un palmage rapide et soutenu pendant les 10 minutes. Vous obtiendrez une autre estimation de votre consommation « en cas d'effort intense » qui sera beaucoup plus importante qu'en situation normale (par exemple :  $VRM = 26L/min$  en cas d'effort soutenu). Ce volume respiratoire par minute « en cas d'effort intense » peut être nettement plus important que le VMR en situation normale, le cas présenté ici n'est qu'une illustration,

Comme vous ne savez pas ce qui peut arriver lors d'une plongée, vous devez anticiper une situation difficile et prendre, comme consommation de référence pour vos calculs, une moyenne des deux situations. Dans l'exemple cela donnerait :  $(15 + 26) / 2 = 20,5 L/min$  comme consommation moyenne.

Evidemment, si vous plongez sur un site sur lequel vous êtes certain que les conditions seront difficiles (p.e. vous êtes certains d'avoir du courant), faites vos calculs en utilisant votre consommation « en cas d'effort soutenu », il vaut mieux prévoir que se retrouver dans une situation de panne d'air.

### **7.5.1 ESTIMATION DES BESOINS EN GAZ : MARGE DE SÉCURITÉ**

Lors de la planification de la plongée, on doit tenir compte de sa consommation en fonction de l'activité envisagée en plongée.

Après avoir déterminé le volume de gaz nécessaire à la réalisation de la plongée et à sa décompression, il faut déterminer les marges de sécurité.

En ce qui concerne la plongée, il est prudent d'appliquer la « règle des tiers ». C'est-à-dire 1/3 pour aller, 1/3 pour le retour et 1/3 de réserve.

Pour la décompression, on utilise la règle « la moitié plus 15 bars ».

Ce qui veut dire que si j'utilise une bouteille gonflée à 200 bars pour ma décompression, le calcul de consommation ne doit pas utiliser plus de 85 bars de cette bouteille. Cela permet de pratiquer la décompression entièrement avec un compagnon. Ces marges peuvent paraître à certains comme excessives, cependant si vous envisagez des plongées qui nécessitent plusieurs mélanges, il est fortement conseillé de les respecter.

## **7.6 EXECUTION DE LA PLONGEE**

### **7.6.1 LA PLONGEE PROFONDE A L'AIR ET LA DECOMPRESSION AU NITROX**

Cette technique, communément appelée « extended range diving » par les anglo-saxons est intéressante à plus d'un titre.

Il est cependant recommandé pour les plongées dépassant 60 mètres d'utiliser des mélanges autres que l'air (Héliox – Trimix) faisant l'objet d'une formation spécifique.

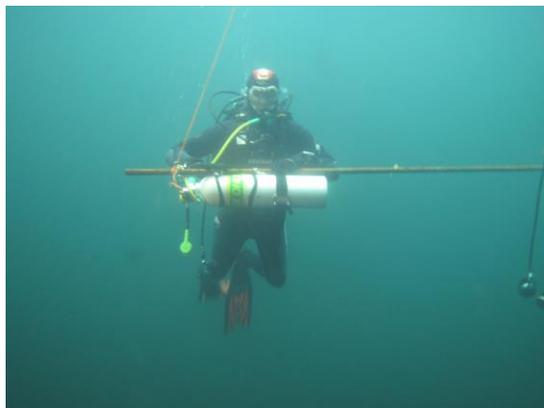
La technique consiste à emporter un (ou plusieurs) Nitrox pour effectuer la décompression. Cela nécessite une adaptation de la configuration de son matériel permettant d'emporter plusieurs bouteilles différentes. Cette technique impose une grande rigueur ; en effet il ne faut pas utiliser un Nitrox à une profondeur interdite par erreur, distraction, etc.

L'intérêt majeur est de réduire le risque d'accident de décompression en effectuant sa décompression en utilisant un ou plusieurs Nitrox mais pour des temps de paliers calculés pour l'air.

### **7.6.2 CONDITIONS IDÉALES DE SÉCURITÉ POUR LA DÉCOMPRESSION À L'O<sub>2</sub>**

Lors de la décompression en pleine eau, il faut prendre les mesures appropriées pour empêcher le plongeur de descendre en dessous de la limite des 6 mètres.

Si l'on plonge à partir d'un bateau, on place une barre de palier à 6 mètres. Deux corps flottants (p.ex. des bouées) maintiennent cette barre en position et évitent que les mouvements (tangage et roulis) du bateau ne soient transmis à la barre de paliers. Cette barre doit être d'un moyen permettant au plongeur de s'y fixer (cordelette, mousquetons).



Si l'on remonte en pleine eau, on peut, une fois la profondeur du palier atteinte, envoyer en surface une bouée de palier, laquelle sera fixée à un dévidoir. Ce dévidoir est ensuite bloqué et fixé au plongeur ou à son gilet de stabilisation. Le plongeur peut alors effectuer sa décompression, confortablement pendu sous sa bouée. Lors du choix de cette bouée de paliers, il faut prendre garde à ce qu'elle ait un volume suffisant. Une couleur « fluo » est un atout.

L'utilisation d'un masque facial représente une sécurité supplémentaire puisqu'il empêcherait l'aspiration d'eau dans les voies respiratoires du plongeur en cas de perte de connaissance ou de crise provoquées par une intoxication à l'oxygène. La présence d'un plongeur d'assistance au niveau de la décompression augmente encore cette sécurité. Il s'agit d'un plongeur qui n'a pas plongé, qui est présent afin de surveiller les camarades lors de leur décompression et qui est à même d'intervenir judicieusement en cas de problème.

Bien évidemment les conditions décrites ci-dessus représentent les conditions idéales que l'on peut envisager pour la décompression à l'oxygène.

Diverses techniques peuvent être mises à profit pour effectuer une décompression à l'oxygène.

Parmi celles-ci :

- ◆ le lieu d'approvisionnement en oxygène a été défini. Des bouteilles peuvent être déposées ou une alimentation par narguilé est assurée depuis la surface.
- ◆ l'oxygène est emmené par les plongeurs durant toute l'immersion, ou l'alimentation depuis la surface n'est pas liée à un endroit particulier (bateau).

### **7.6.3 ALIMENTATION EN OXYGÈNE DEPUIS LA SURFACE**

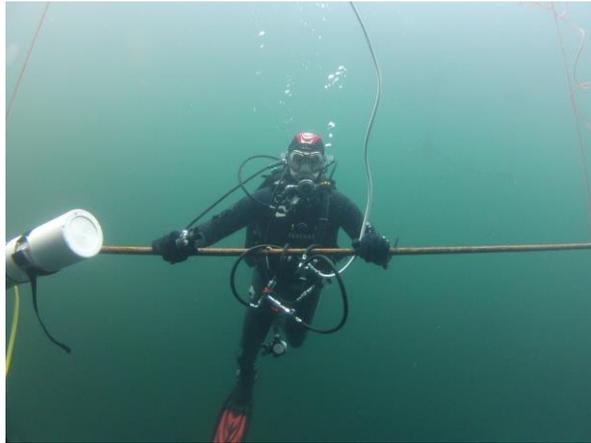
#### **7.6.3.1 Technique**

On dispose à terre ou sur le fond d'un bateau des cylindres d'oxygène de grande capacité (B 50 à 200 bars) qui sont couplés à une alimentation. La détente de l'oxygène à moyenne pression peut se faire de manière centrale ou séparément pour chaque sortie. Des seconds étages de détendeurs sont reliés à cette alimentation en oxygène à moyenne pression par des tuyaux d'une longueur suffisante permettant de respirer correctement l'oxygène au palier de 6 mètres. Si le plongeur remonte en pleine eau, une fois arrivé au niveau du palier, il envoie son parachute de palier en surface. L'équipage du bateau se rend au dessus de lui et lui envoie son détendeur à oxygène en le faisant coulisser le long du bout du parachute de palier.

#### **7.6.3.2 Dangers**

De telles alimentations en oxygène sont encombrantes et d'un prix de revient élevé (1<sup>er</sup> étage détendeur, chômage bouteille). Les bouteilles employées sont généralement des B 50 qui ont une taille non négligeable et qui sont lourdes. Le risque de givrage n'est pas négligeable (plusieurs 2<sup>ème</sup> étages et température extérieure basse). L'équipage du bateau est en charge

d'une mission considérable ; si pour une raison ou une autre (panne mécanique, incident, météo, etc.) le bateau ne peut pas rejoindre la position marquée par le parachute du plongeur, celui-ci sera privé d'O<sub>2</sub> pour sa décompression.



### 7.6.3.3 Sécurité

Mêmes aspects que mentionnés sous dépôt d'oxygène.

## 7.7 LE DÉPÔT D'OXYGÈNE

### 7.7.1 TECHNIQUE

Les bouteilles et les détendeurs prévus pour la décompression à l'oxygène sont déposés à un endroit prédéfini. Il peut s'agir d'une chaîne d'ancre, une barre de palier ou directement sur le fond.

### 7.7.2 DANGERS

En cas d'incident en cours de plongée ou d'erreur d'orientation, le dépôt risque de ne pas être retrouvé.

### 7.7.3 SÉCURITÉ

Il convient, à l'aide de moyens appropriés, de s'assurer un retour correct vers le dépôt d'oxygène et d'avoir la certitude de pouvoir le retrouver. Si on plonge à partir d'un bateau, il est raisonnable de l'ancre, de plonger à partir de la chaîne d'ancre et d'y revenir. L'utilisation d'un fil d'Ariane peut s'avérer judicieuse.

Dans tous les cas, on emporte un stock de mélange fond suffisant pour permettre la réalisation correcte de sa décompression en cas de problème en cours de plongée ou si l'on ne devait pas retrouver le dépôt d'oxygène.

## 7.8 L'OXYGÈNE EN AUTONOMIE

### 7.8.1 TECHNIQUE

La bouteille d'oxygène (2 à 7l) pour la décompression est, en principe, fixée sur le devant du plongeur (front-mount, diagonal-mount), sur son côté (side-mount), ou fixée sur son bloc principal (pony-mount). Des anneaux en inox peuvent y être fixés, de sorte qu'il est possible d'accrocher cette bouteille au moyen de mousquetons aux boucles appropriées du gilet de stabilisation du plongeur. Le tuyau MP, le 2<sup>ème</sup> étage du détendeur et son manomètre sont maintenus contre la bouteille au moyen de «sandows».

## 7.8.2 DANGERS

Muni de cet équipement supplémentaire, le plongeur est plus lourd et sa mobilité est réduite. Le risque d'erreur de manipulation (prise de détendeur à oxygène en grande profondeur) est un danger non négligeable.

## 7.8.3 SÉCURITÉ

La bouteille d'oxygène doit être munie d'un détendeur et d'un manomètre immergeable. Le détendeur pour l'oxygène doit être spécialement et clairement (couleur spéciale) identifié de manière à éviter d'être pris pour un détendeur air ou Nitrox. Il devra être «détrompé» (dissimulé, emballé, embout obturé...).

Le robinet de la bouteille d'oxygène ne sera ouvert qu'au niveau du palier approprié. Le stock d'oxygène emporté doit être calculé en prenant en compte la marge de sécurité appropriée.

## 7.9 EQUIPEMENT DE SÉCURITÉ

### 7.9.1 BARRE DE PALIER AVEC BOUÉES

Si la décompression est effectuée à une barre de paliers fixée au bateau, les mouvements de ce dernier (roulis et tangage) sont transmis à cette barre. Ces mouvements ne sont pas nécessairement synchronisés avec les mouvements de l'eau, le bateau pouvant avoir un retard. En fonction de la taille du bateau, l'amplitude de ces mouvements peut dépasser un mètre, empêchant la réalisation correcte des paliers de décompression. Dans ce cas, il est judicieux de suspendre la barre de paliers à des bouées ou des parachutes fixés à ces extrémités. Afin d'éviter que cette installation ne dérive, elle est reliée au bateau. Les mouvements de la barre de paliers sont réduits et la décompression peut avoir lieu dans de bonnes conditions.

### 7.9.2 POSITIONNEMENT DE LA BOUTEILLE EMMENÉE

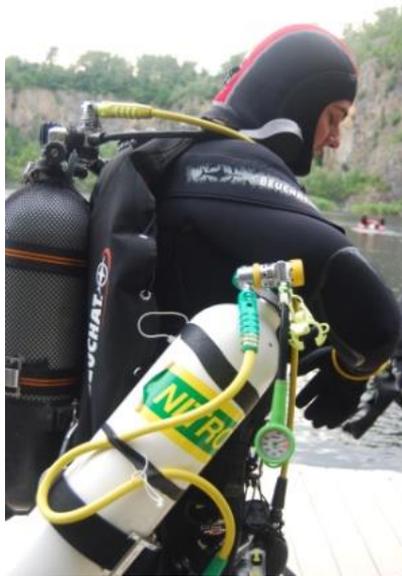
Il existe divers moyens d'emmener avec soi la bouteille pour la décompression à l'oxygène. La taille de ce scaphandre est déterminante pour le choix de la méthode de fixation. Une longue bouteille de 4 litres n'est pas emportée de la même façon qu'une bouteille courte de 4 litres. On aura recours à des cerclages métalliques dotés d'anneaux « D » pour la fixation de ces cylindres. On place un cerclage sur le haut, un autre sur la partie basse de cette bouteille. Des mousquetons peuvent être frappés sur ces anneaux « D ». Les scaphandres portés en side-, front- et diagonal-mount peuvent être équipés de manomètres directement fixés au premier étage du détendeur à oxygène.

Il faut veiller dans tous les types de port, à ce que la robinetterie reste accessible et facilement manipulable.

### 7.9.3 SIDE-MOUNT

Le port « side-mount » est approprié pour emporter de longues bouteilles d'oxygène. La partie basse de ce cylindre est fixée à l'arrière gauche ou droit du gilet de stabilisation. La partie haute, au niveau de la poitrine du plongeur, du même côté. Comme dans l'eau le plongeur peut être déporté latéralement, on y remédie en déplaçant les plombs de la ceinture.





#### **7.9.4 FRONT-MOUNT**

Dans le port « front-mount », le cylindre d'oxygène est porté sur le devant, placé perpendiculaire au sens de la nage. Ce cylindre est fixé au bas de la partie avant du gilet de stabilisation et se situe au niveau du bassin du plongeur. Les manipulations du gilet de stabilisation ne sont pas entravées par ce type de port, qui présente l'inconvénient d'augmenter la résistance à la progression. Avec une « wing-jacket, une position correcte lors de la remontée peut être obtenue.



#### **7.9.5 DIAGONAL-MOUNT**

Le port « diagonal-mount » se prête bien aux bouteilles d'oxygène courtes. Un point est fixé au bas du gilet de stabilisation, l'autre au niveau de la poitrine, diagonalement opposé. Ce port présente l'avantage de réduire la résistance à la progression du plongeur. Avec l'emploi d'une « wing-jacket », on retrouve les mêmes problèmes qu'avec le « front-mount ».



### 7.9.6 PONY-MOUNT

Dans ce cas, le cylindre d'oxygène est fixé, soit à l'aide de sangles, soit au moyen d'un système à glissière, latéralement sur le scaphandre principal. Le scaphandre d'oxygène doit être monté, de préférence, robinetterie vers le bas. Le 2<sup>ème</sup> étage du détendeur et le manomètre doivent être amenés sur l'avant du plongeur. Ce type de port présente l'avantage de ne pas influencer sur la mobilité et la progression du plongeur, il permet également une assistance aisée à un autre plongeur en difficulté (remontée technique ou physique).



### Règles de sécurité générales

Ne jamais respirer de l'oxygène sans connaître sa provenance

Pendant la plongée, la bouteille d'oxygène doit toujours être fermée

Le robinet de la bouteille d'oxygène et le détendeur doivent toujours pouvoir être atteints par le plongeur

Le détendeur de l'oxygène doit être marqué clairement et doit être détrompé

La réserve de gaz (mélange fond) doit aussi suffire pour une décompression sans oxygène

## 7.10 L'APRES PLONGEE

Au débriefing, noter dans les carnets de plongée, outre les paramètres classiques de plongée, ceux spécifiques à la plongée Nitrox : numéro de la plongée Nitrox ; type de mélange ; mode de décompression utilisé ; éventuellement % CNS (horloge toxicité).

Le nouveau log book LIFRAS a été prévu pour plongée en mélange. Il justifie notamment ici sa parfaite existence

Plongée n°	Date:	Compagnons :			
Lieu:					
Départ :	hr	Sortie :	hr		
Max :	m	Gaz 1 :			
Tps tables :		Gaz 2 :			
Tps total :		CNS :	%		
Palier(s) :	12 : 9 :	6 :	5 :	3 :	
Indice :		Ex n° :			
Désat. Rés. :	hr	No fly :	hr		
Commentaires :					
Air :	°C	Eau :	°C		
				Tps cumulé :	hr

## 8. LOGISTIQUE DES GAZ

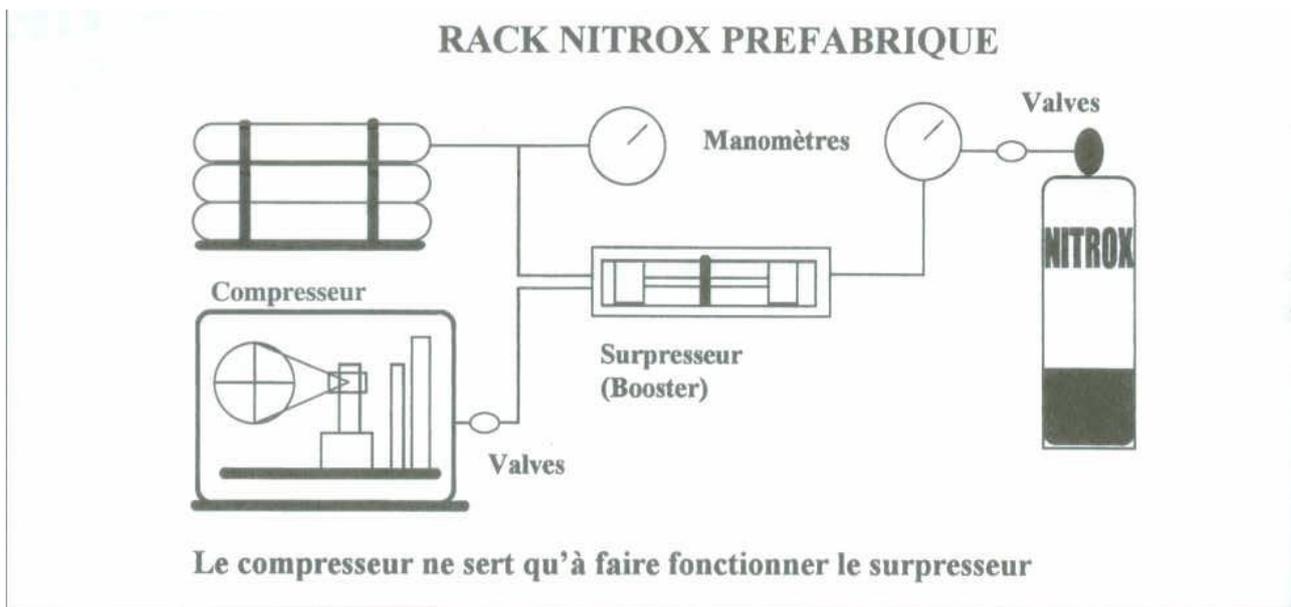
Il existe 4 méthodes courantes qui permettent de fabriquer du Nitrox

1. Remplissage à partir d'un mélange préfabriqué
2. Remplissage avec la méthode à double filtration (ou à pp partielle)
3. Remplissage avec la méthode à membrane de séparation
4. Remplissage à l'aide d'un « stick Nitrox » mélangeur

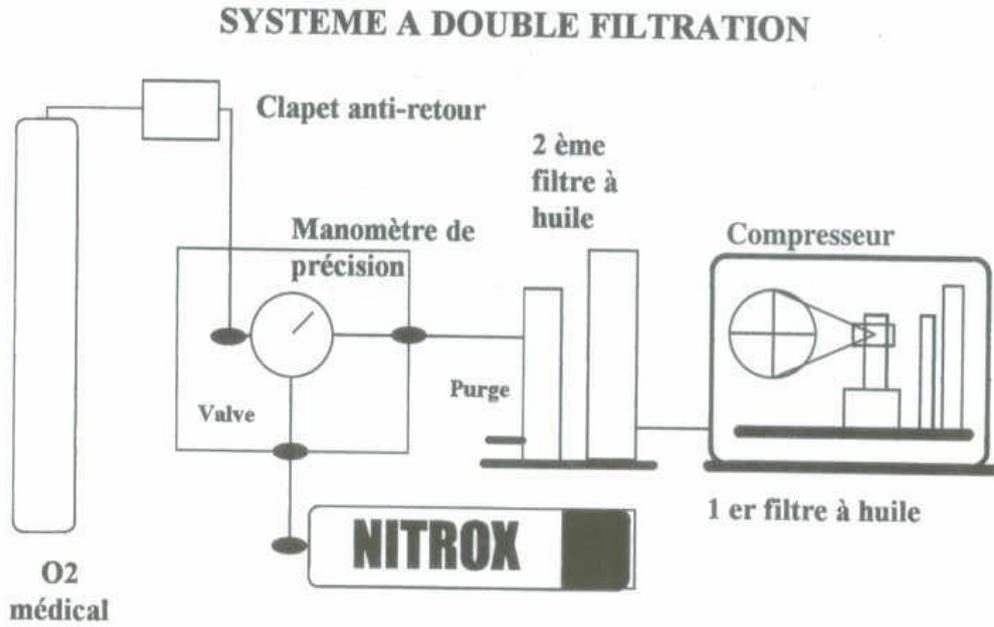
La fabrication de mélanges NITROX fait l'objet d'une formation spécifique : technicien de mélanges. Les avantages et les inconvénients de chaque technique sont notamment abordés lors de cet enseignement.

Voici en quelques lignes les techniques les plus fréquentes

## 8.1 REMPLISSAGE À PARTIR D'UN MÉLANGE PRÉFABRIQUÉ

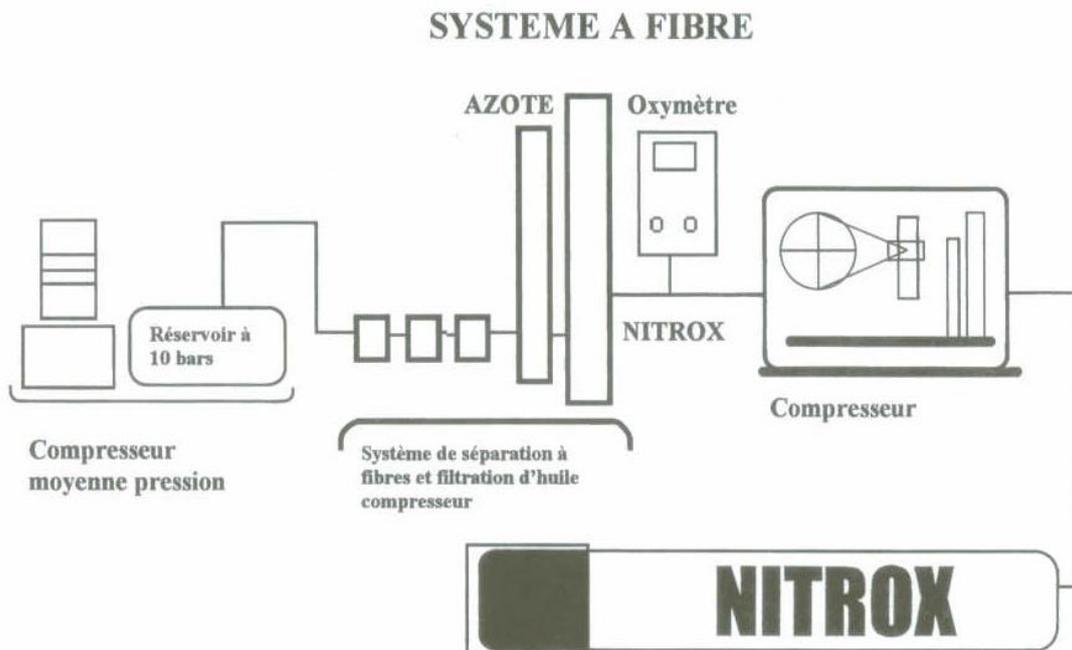


## 8.2 REMPLISSAGE AVEC LA MÉTHODE À DOUBLE FILTRATION

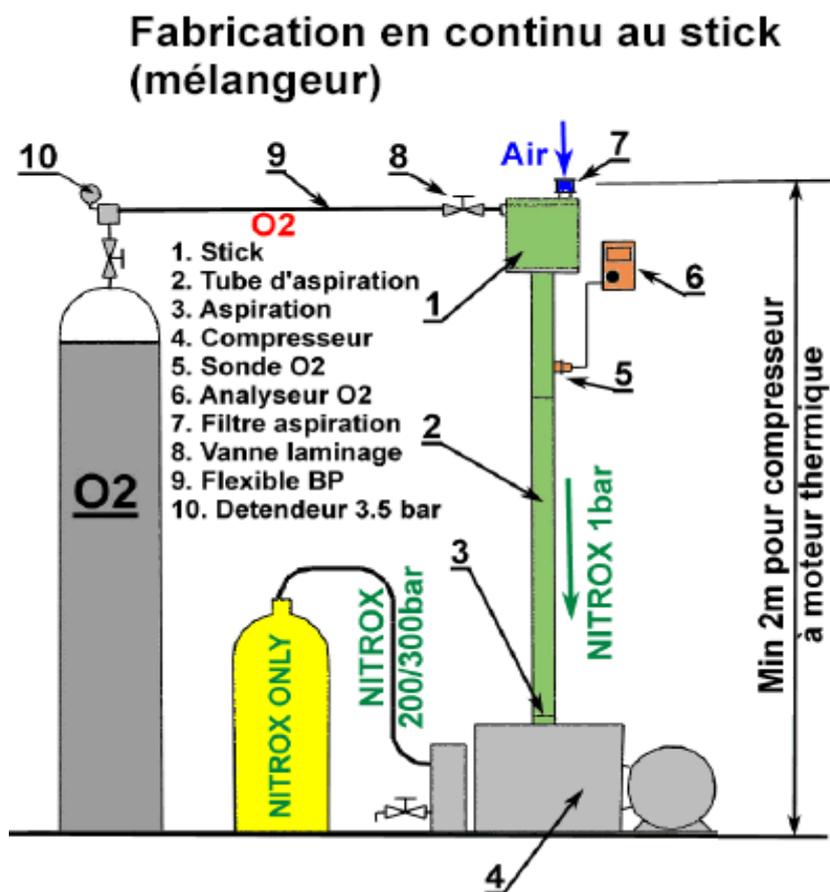


## 8.3 REMPLISSAGE AVEC LA MÉTHODE À MEMBRANES SEMI-PERMÉABLES

### 8.3.1



## 8.4 REMPLISSAGE À L'AIDE D'UN « STICK » MÉLANGEUR



## 9. BIBLIOGRAPHIE

### **MANUEL D'INSTRUCTION PLONGEUR NITROX BASIC LIFRAS**

Support de cours officiel de la LIFRAS 2<sup>ième</sup> édition 2009

### **MANUEL D'INSTRUCTION PLONGEUR NITROX CONFIRME LIFRAS**

Support de cours officiel de la LIFRAS 1<sup>ière</sup> édition 1997

### **MANUEL D'INSTRUCTION PLONGEUR NITROX CMAS.CH**

Support de cours officiel de la CMAS.CH 2<sup>ième</sup> édition

### **MANUEL D'INSTRUCTION PLONGEUR NITROX CONFIRME CMAS.CH**

Support de cours officiel de la CMAS.CH 1<sup>ième</sup> édition

### **PLONGEE PROFONDE A L AIR MANUEL du candidat « brevet de spécialisation »**

Support de cours officiel de la LIFRAS édition 2010



**lifras**

Ligue Francophone de  
Recherches et d'Activités  
Subaquatiques

#### **LIFRAS asbl**

rue Jules Broeren, 38

1070 BRUXELLES

TÉL. : 02/521 70 21

FAX : 02/522 30 72

lifras@lifras.be

<http://www.lifras.be>



lifras



CERTIFIED

