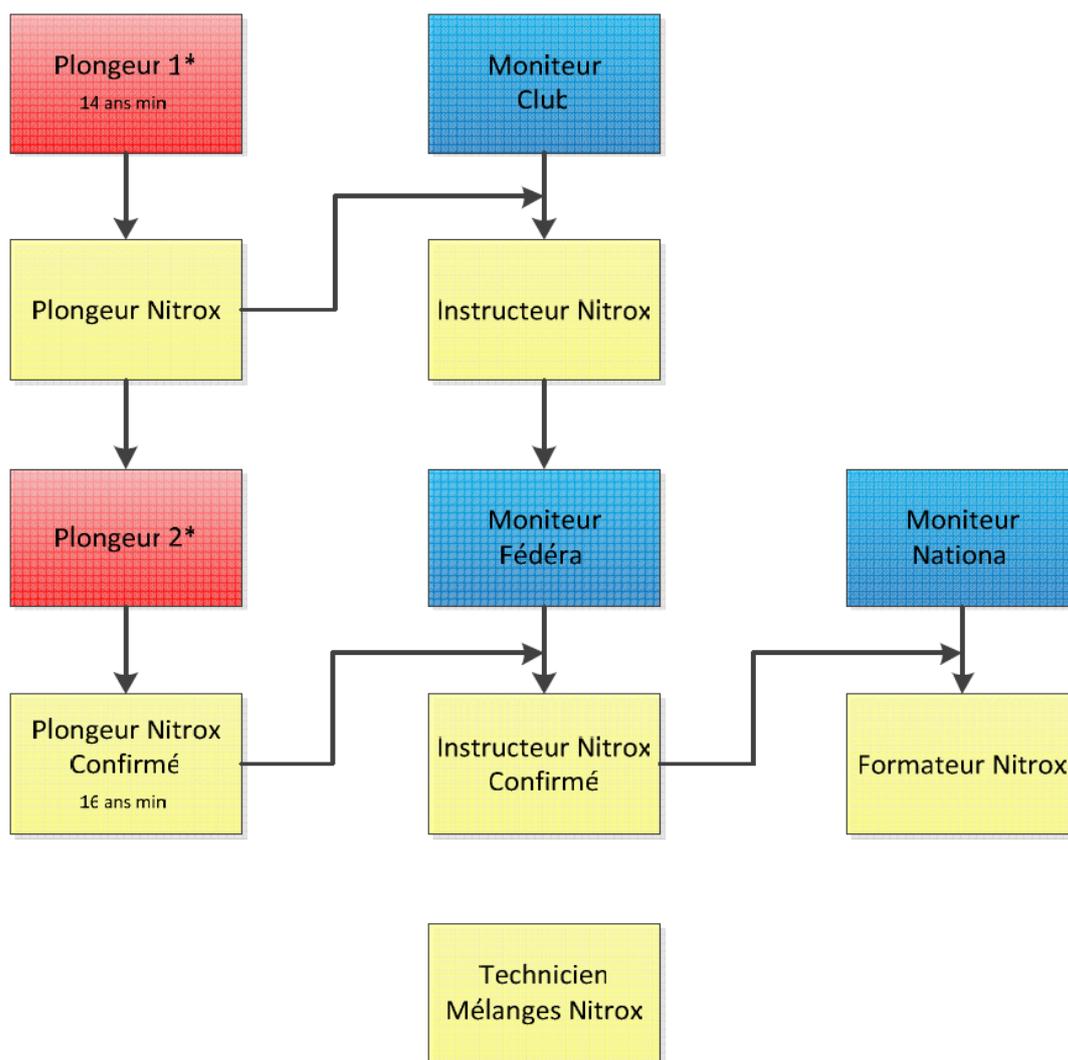


## Partie 1 : Administration

### Vue d'ensemble

Les formations Nitrox sont composées de 2 niveaux de plongeurs, 1 niveau technique (ne requiert pas de brevet de plongeur) et 2 niveaux d'instructeurs :



### Prérequis

- Etre âgé de 14 ans au moins. Si le plongeur n'est pas majeur, le consentement écrit des parents ou du tuteur légal est obligatoire.
- Etre membre d'un club affilié à la LIFRAS
- Etre en possession d'un certificat médical de non contre-indication à la plongée, valable pour l'année civile en cours avant de débiter les cours théoriques et pratiques.
- Etre en possession du brevet 1\* Lifras ou équivalent reconnu par la Lifras, ou être sous la responsabilité de l'instructeur Nitrox pour ce qui est de l'utilisation du Nitrox dans le cadre des plongées en vue de l'obtention du brevet de plongeur 1\*

## Prérogatives

Le « plongeur Nitrox » peut respirer un gaz ayant une teneur maximale d'O<sub>2</sub> de 40%.

Néanmoins :

- en mélange fond la pression partielle en oxygène respiré ne peut dépasser 1,6 bar,
- la profondeur maximale autorisée est limitée par la pression partielle maximale en oxygène et la prérogative en matière de profondeur du brevet de plongeur détenu

## Partie 2 : Définition - Rappel lois – Avantages

### Définition

Le Nitrox, dans son acceptation commune, c'est de l'air enrichi en oxygène. Mais d'une manière plus générale c'est un mélange de 2 gaz : l'azote et l'oxygène. On pourrait donc dire que l'air est du Nitrox à 21% d'O<sub>2</sub> mais communément, on appelle Nitrox les mélanges qui contiennent plus de 21% d'O<sub>2</sub>.

Le but du Nitrox est d'avoir moins d'azote, pas d'avoir plus d'oxygène. Mais si on « enlève » de l'azote, il faut bien mettre quelque chose à la place : dans le Nitrox c'est de l'oxygène.

### Avantages – Inconvénients du Nitrox par rapport à l'air

Les avantages et inconvénients principaux du Nitrox sont, d'une part, liés à la saturation / désaturation et, d'autre part, liés à la toxicité des gaz, en l'occurrence le mélange de gaz que nous respirons habituellement : l'azote et l'oxygène.

Puisque, par rapport à l'air, on diminue l'azote et on augmente l'oxygène, on va (toutes autres choses égales) :

- Diminuer le phénomène de saturation (dépendant de la profondeur et de la durée) à l'azote
- Augmenter les effets de la toxicité de l'oxygène. Ces effets se font sentir surtout sous de fortes pressions partielles (voir ci-après la loi de Dalton). Pour la description détaillée de la toxicité des gaz, voir la partie 3. On pourrait également penser que l'effet de la toxicité de l'azote (narcose) va diminuer mais il n'en est rien car l'O<sub>2</sub> est également narcotique.

Les principaux avantages sont donc :

- augmentation des temps de plongée sans palier
- diminution des temps de palier
- moins d'azote résiduel après la plongée
- diminution des risques d'ADD
- diminution de la fatigue (subjectif)

Les principaux inconvénients sont :

- augmentation des risques liés à la toxicité de l'O<sub>2</sub>
- mise en œuvre : gonflage et matériel spécifique
- formation spécifique
- coût

# Cours « Plongeur NITROX »

## Loi de Dalton

La pression partielle d'un gaz constituant d'un mélange est la pression qu'exercerait ce gaz s'il occupait seul le volume occupé par le mélange. En conséquence, la pression totale exercée par le mélange est la somme des pressions partielles de ses gaz constituants.

## Loi de Henri

A saturation (à l'équilibre), la quantité de gaz dissout dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par ce gaz à la surface de ce liquide.

Ceci explique que nous allons accumuler de l'azote dans nos tissus lorsque nous serons au fond et que nous allons rejeter (désaturation) cet azote à la remontée. Le problème qui risque de se poser est que, si nous désaturons trop vite, nous risquons la création de bulles avec des conséquences possibles dans l'altération de la circulation et donc l'alimentation des tissus en aval : c'est l'ADD (accident de décompression). Les paliers sont à faire pour éviter la formation de ces bulles « pathogènes ».

L'oxygène ne pose pas ce problème car contrairement à l'azote qui est un gaz inerte (qui ne réagit pas dans notre corps), l'oxygène va être métabolisé dans nos tissus qui vont, en quelque sorte, consommer l'oxygène au fur et à mesure.

## Partie 3 : Toxicité des gaz

### Narcose

La narcose, aussi nommée ivresse des profondeurs, est due à une pression partielle d'un gaz narcotique dans le mélange respiré et agit sur le système nerveux en entraînant des troubles du comportement.

A titre informatif, voici les coefficients de solubilité dans l'huile de certains gaz (cela donne une indication sur leur pouvoir narcotique) :

- Hélium 0,015
- Hydrogène 0,042
- Azote 0,052
- Oxygène 0,110
- Argon 0,15
- Krypton 0,44
- Dioxyde de carbone 1,34

Il est intéressant de remarquer que l'oxygène n'est pas moins narcotique que l'azote, d'une part et, d'autre part, que les gaz intéressants du point de vue « effet narcotique » sont l'hélium et l'hydrogène. On préférera l'hélium pour sa moindre difficulté de mise en œuvre (voir cours trimix).

### Azote

2 problèmes avec l'azote :

- la toxicité à proprement parler c'est la narcose qui peut intervenir dès une pression partielle d'azote de 3,2 bars. Suivant les individus les effets de la narcose se font sentir à partir d'une

pression partielle de 3,2 bars mais tout le monde est narcosé à une pression partielle de 5,6 bars càd, à l'air, à des profondeurs de 30 à 60 mètres.

- la saturation / désaturation des tissus par l'azote, avec par conséquent un risque d'ADD.

Pour diminuer ces 2 problèmes, il faut diminuer la pression partielle d'azote et donc soit plonger moins profond et moins longtemps !!! soit diminuer la proportion d'azote dans le mélange respiré.

## Oxygène

Alors que les pressions partielles tolérables avec l'azote sont très variables (de 0 à plus de 6, même si cela implique narcose et saturation) puisque l'azote est inerte, la plage des pressions partielles d'oxygène tolérable est beaucoup plus réduite puisque l'oxygène interagit avec notre organisme.

La pression partielle normale est de 0,21 bar. En dessous de 0,16, on commence à montrer des signes d'hypoxie. En dessous de 0,10 c'est le coma puis la mort. Au-delà de 1,6 bars la toxicité de l'oxygène sur le système nerveux central devient critique : c'est l'effet Paul Bert . Mais déjà au-delà de 0,5 bar, l'oxygène peut provoquer des lésions : c'est l'effet Lorain-Smith. Pour ces 2 effets la durée d'exposition doit aussi être prise en compte. Dans le cas de Paul Bert, c'est surtout la pression partielle qui joue, dans le cas de Lorain-Smith c'est surtout la durée.

### *Effet Paul Bert ou toxicité neurologique de l'O<sub>2</sub>*

C'est une crise convulsive généralisée semblable à une crise d'épilepsie lorsqu'on dépasse la PPO<sub>2</sub> de 1,6 b. Il existe des tolérances variables entre plongeurs et entre deux plongées.

### **Mécanisme**

Cette forme de toxicité touche le Système Nerveux Central (SNC ou CNS en anglais) l'oxygène est à l'origine de production de substances toxiques que sont les radicaux libres qui provoquent cette crise d'épilepsie. En temps normal le système physiologiquement régularise automatiquement cette production

### **Symptômes**

Crise généralement sans signes annonciateurs, Avec de « la chance » le plongeur peut ressentir :

- une accélération de la fréquence cardiaque et respiratoire sans effort particulier.
- sensation de malaise général.
- vertiges, nausées, troubles du comportement, (hallucination, euphorie, désorientation....)
- Crampes musculaires
- troubles visuels : réduction du champ visuel, points lumineux, déformations
- trouble auditif : bourdonnements, sifflement
- contractions involontaires des muscles de la face, principalement les lèvres et les paupières
- nystagmus : va et vient rapide des yeux

### **Conduite à tenir en plongée**

- AVERTIR rapidement l'équipier et le reste de la palanquée
- REMONTER en respectant les procédures de sécurité et sous étroite surveillance

# Cours « Plongeur NITROX »

Si la crise survient, elle se présentera en trois phases :

## *PHASE TONIQUE : DUREE 1 MINUTE ENVIRON*

Symptômes :

- Contraction généralisée des muscles du corps
- Extension en apnée
- Blocage de la glotte

Conduite à tenir en plongée

- Maintien de la victime au même niveau en maintenant son embout en bouche fermement
- Ne pas descendre

## *PHASE CLONIQUE : DUREE 2 A 3 MINUTES*

Symptômes :

- Convulsions
- Morsure de la langue
- Emission d'urine

Conduite à tenir :

- Remonter à vitesse contrôlée, la tête en hyper extension

## *PHASE RESOLUTIVE : DUREE ENVIRON 10 MINUTES*

Symptômes :

- Relâchement musculaire
- Reprise progressive de la conscience
- Etat confus et agité
- Amnésie de la crise après récupération de plusieurs heures

Conduite à tenir

- Remontée contrôlée avec maintien de l'embout en bouche

### *Effet Lorain-Smith ou toxicité pulmonaire de l'O<sub>2</sub>*

Cette toxicité pulmonaire se traduit par une irritation pulmonaire entraînant un œdème aigu des poumons avec éventuellement une défaillance respiratoire.

Elle apparaît tardivement après la plongée, elle touche le système nerveux central (SNC ou CNS en anglais).

Cette toxicité est la conséquence d'une exposition à l'O<sub>2</sub> maximale à des pressions partielles supérieures à 0,5 b elle implique des plongées répétées au nitrox et des paliers prolongés à l'oxygène.

### **Conduite à tenir**

- diminution de la PP O<sub>2</sub> respiration à l'air,
- donc (espacement des plongées mélanges)
- Alerte des secours ou consultation médicale selon gravité

### **Prévention**

- Contrôle de cette limite d'exposition à l'O<sub>2</sub>
- Ne pas dépasser 2h de plongée avec un mélange suroxygéné

**Table NOAA**

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) PRESSIONS PARTIELLES D'OXYGENE ET DUREES LIMITE D'EXPOSITION POUR DES PLONGEES AU NITROX		
ATA	Simple exposition (mn)	Durée maximale d'exposition pendant 24 h
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	300	300
0,9	360	360
0,8	450	450
0,7	570	570
0,6	720	720

## En pratique

POURCENTAGE DU COMPTEUR SNC DE TOXICITE POUR LE NITROX 40/60 (Tables FFESSM)														
PROF. (m)	PRESSION (ata)	PpO2 (bar)	Durée de la plongée (mn)											
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
11	2,1	0,84	2,8	5,6	8,3	11,1	13,9	16,7	19,4	22,2	25	27,8	30,6	33,3
13	2,3	0,92	3,3	6,7	10	13,3	16,7	20	23,3	26,7	30	33,3	36,7	40
16	2,6	1,04	4,2	8,3	12,5	16,7	20,8	25	29,2	33,3	37,5	41,7	45,8	50
19	2,9	1,16	4,8	9,5	14,3	19	23,8	28,6	33,3	38,1	42,9	47,6	52,4	57,1
23	3,3	1,32	6,7	13,3	20	26,7	33,3	40	46,7	53,3	60	66,7	73,3	80
26	3,6	1,44	8,3	16,7	25	33,3	41,7	50	58,3	66,7	75	83,3	91,7	100
27	3,7	1,48	8,3	16,7	25	33,3	41,7	50	58,3	66,7	75	83,3	91,7	100
30	4	1,6	22,2	44,4	66,7	88,9	111,1	133,3	155,6	177,8	200	222,2	244,4	266,7

## Partie 4 : Utilisation pratique

### Procédures pour plonger Nitrox

Vu les spécificités et risques de l'emploi d'un mélange suroxygéné, des procédures strictes doivent être adoptées. La marche à suivre devra comporter (chronologiquement) :

- Etablissement des palanquées
- Choix du moyen de décompression
- Planification de la plongée
- Prise en charge de la bouteille
- Respect de la PMO pendant la plongée
- Calcul du CNS

# Cours « Plongeur NITROX »

## Etablissement des palanquées

Lors de l'établissement des palanquées, et quand c'est possible, on évitera de mixer des plongeurs utilisant des mélanges différents. En effet, le plongeur qui utiliserait le mélange le moins riche en O2 risquerait de se voir pénalisé au niveau des profondeurs possibles et il pénaliserait les plongeurs utilisant un mélange plus riche en O2 au niveau de la décompression.

## Moyen de décompression

### Table air et notion de « profondeur équivalente Air (PEA) »

La PEA est la pression absolue (c'est-à-dire la (profondeur/10) + 1) à laquelle devrait être soumis le plongeur respirant à l'air pour que la PP N<sub>2</sub> soit exactement égale à celle que le plongeur respire avec un nitrox déterminé.

$$PEA = P \text{ absolue (profondeur réelle plongée)} \times \% N_2 \text{ (du Nitrox)} / 0,79 \text{ (\% du } N_2 \text{ dans l'air)}$$

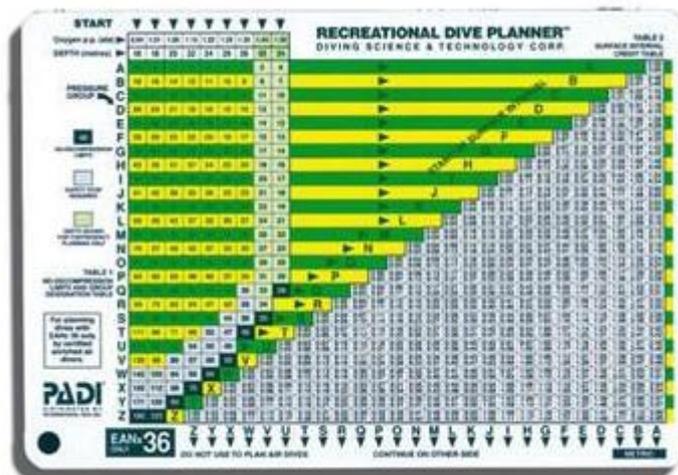
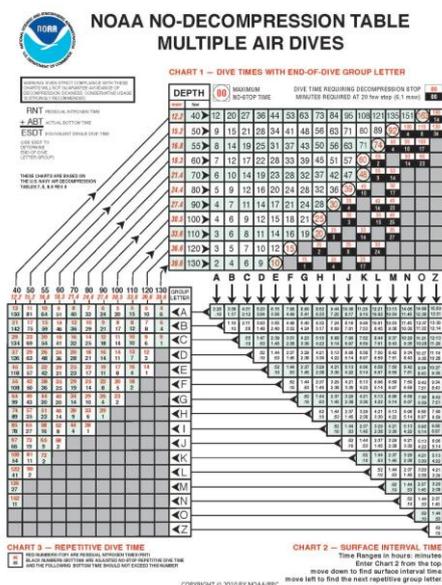
La PEA est toujours inférieure à la profondeur réelle et ne sert qu'aux calculs de la décompression à l'aide de table air.

### Procédure d'utilisation de la P.E.A pour calculer sa décompression avec des tables air

- Profondeur à prendre en compte pour le calcul de la décompression est la PEA ( attention : la PEA est une profondeur fictive servant à calculer la décompression, mais n'est pas la profondeur réelle de la plongée)
- Prendre la durée de remontée de la profondeur réelle (et non de la PEA)
- Les temps de plongée se prennent selon les normes d'utilisation de la table à l'air
- La vitesse de remontée et les procédures sont identiques à celle de la table à l'air
- Les profondeurs des paliers éventuels sont identiques à ceux de la table à l'air
- Si la PEA n'existe pas dans la table à l'air, choisir la profondeur immédiatement supérieure

### Table Nitrox

Pour éviter des calculs compliqués sous l'eau si on emploie des tables air, on utilisera des tables Nitrox.



## *Ordinateur de plongée et Nitrox*

Les ordinateurs Nitrox sont nombreux, ils ont les mêmes avantages et les mêmes limites, leurs logiciels permettent d'être préconfigurés en fonction de la PPO2 de votre mélange.

Le calcul de la décompression est donc adapté pour chaque plongée en fonction du mélange respiré.

La majorité des ordinateurs sont multi gaz et permettent de plonger indifféremment à l'air et faire ses décompressions aux mélanges en ayant au préalable configuré ceux-ci avec le % d'O2 du mélange

On peut également intégrer :

- La PPO2 maximale en fonction des facteurs de risques hyperoxiques
- La profondeur maximale à ne pas dépasser
- L'adaptation de la décompression en fonction de l'altitude

De plus, les ordinateurs nouvelle génération quantifient les différentes toxicités et intègrent des concepts comme le % SNC, les OTU et d'autres méthodes :

- SNC: CNS Clock sont les compteurs SNC ou horloge à oxygène, une méthode de calcul de la toxicité de l'O2
- OTU: Oxygen unit toxic correspond à la dose toxique produite par une respiration d'O2 à 100%, à 1 b de pression et pendant 1 minute

Pour cela ne perdez pas de vue que :

- l'analyse d'O2 doit être faite avec sérieux
- le plongeur commande l'ordinateur et pas le contraire
- restez vigilant pendant la programmation de l'ordinateur
- avant chaque plongée, calculez votre MOD et votre PEA
- ayez un backup de décompression adapté
- ne changez pas de méthode de décompression au cours de la journée.

N'oubliez pas que votre ordinateur vous indique :

- la profondeur réelle de la plongée et non la P.E.A.
- La profondeur et le temps de palier à effectuer.
- Le temps restant sans palier en extrapolant une courbe de sécurité en fonction du nitrox respiré.

## **Planification : Notion de « profondeur maximale opérationnelle (PMO)**

La profondeur maximale opérationnelle (PMO ou, en anglais : MOD, « maximum operating depth ») est la profondeur à ne pas dépasser avec la fraction d'O<sub>2</sub> dans le mélange sous peine de dépasser la PpO<sub>2</sub> maximum de 1.6 bar.

Vu le risque encouru (effet Paul Bert), il est extrêmement important de calculer et de respecter scrupuleusement la MOD.

### **Méthode de calcul**

La loi de Dalton nous dit :  $P_p = P_{Abs} \times \text{proportion du gaz dans le mélange}$

Par conséquent :  $P_{Abs} = P_p / \text{pourcentage du gaz dans le mélange}$

Et donc :  $PMO = ((1,6 / \text{proportion O}_2) - 1) \times 10$

# Cours « Plongeur NITROX »

## **Notion de « best mix »**

Le « best mix » sera le Nitrox avec la proportion maximum d'O<sub>2</sub> par rapport à la profondeur envisagée.

Toujours en partant de Dalton, la formule devient :  $\text{Proportion O}_2 = 1,6 / ((\text{Prof} / 10) + 1)$

## **Contrôle des mélanges et prise en charge des bouteilles**

La bouteille doit avoir son ogive peinte en quartiers noir et blancs (norme industrielle actuelle). Le corps de la bouteille portera l'inscription « Nitrox » en jaune dans un bandeau vert. La robinetterie sera en filet M26, la manivelle sera de couleur verte et les joints, de couleur verte, seront « compatibles Nitrox ».

Lors de la prise en charge de la bouteille, le plongeur doit effectuer les opérations suivantes :

- Vérification des indications : n° de bouteille, réépreuve, marquage Nitrox, et étiquetage du pourcentage
- Test du pourcentage d'O<sub>2</sub> grâce à un oxymètre
- Reporter la date, le pourcentage mesuré, la MOD et la pression de la bouteille sur la fiche de gonflage et signer

Vous êtes responsable de votre bouteille et du gaz qu'elle contient. C'est votre responsabilité de vérifier le mélange et l'utilisation éventuelle de votre bouteille par un tiers non averti est également de votre responsabilité, aussi ne laissez jamais trainer votre bouteille Nitrox !

## **Calcul du CNS**

Le plongeur calcule (cfr tables) ou lit sur son ordi son pourcentage CNS et le reporte dans son carnet.

## **Partie 5 : Le matériel**

### **Problématique liée à l'Oxygène**

L'oxygène est un comburant c'est-à-dire un corps qui en association avec un combustible permet une combustion. Sous pression et en présence de combustible (de la graisse par exemple), l'O<sub>2</sub> peut provoquer une flamme ou une explosion. Dès lors, dès que nous serons en présence d'un mélange fortement suroxygéné, il faudra prendre certaines précautions. On considère qu'un mélange peut présenter des risques dès qu'il dépasse 40 % d'O<sub>2</sub>. Donc, à priori, pas de problème pour nous, cependant, lors du gonflage, il est fréquemment utilisé de l'O<sub>2</sub> pur. Par conséquent, dès qu'il y a un mélange suroxygéné, le matériel qui peut être mis en contact avec l'O<sub>2</sub> pur doit être « compatible O<sub>2</sub> » et « nettoyé O<sub>2</sub> ».

### **Notion « Compatible O<sub>2</sub> » et « Nettoyé O<sub>2</sub> »**

#### **Compatible O<sub>2</sub>**

Certains matériaux ne sont pas compatibles avec l'utilisation d'O<sub>2</sub> à forte concentration. Un matériel sera dit « compatible O<sub>2</sub> » s'il est fabriqué dans des matériaux qui supportent de l'O<sub>2</sub> à forte concentration. Exemple : les joints de robinetteries.

# Cours « Plongeur NITROX »

## *Nettoyé O<sub>2</sub>*

On dit qu'un matériel est nettoyé pour l'O<sub>2</sub> lorsque celui-ci a été débarrassé de toute huile et de tout contaminant qui pourrait être une source d'ignition. Attention, après le nettoyage, il faut être attentif à ne pas « resalir », par exemple en regonflant la bouteille Nitrox à l'air sans précaution.

## **Méthodes de fabrication**

### *Préfabriqué*

On commande de grandes bouteilles de Nitrox préfabriqué (Air Liquide par exemple) et on remplit les bouteilles de plongée avec un supprimeur.

Ce système est peu utilisé car il est coûteux, et ne permet qu'un seul type de Nitrox.

### *Méthode « des pressions partielles » ou « de la double filtration »*

On remplit d'abord la bouteille de plongée jusqu'à une certaine pression avec de l'O<sub>2</sub> pur et on complète par de l'air, l'O<sub>2</sub> pur provenant d'une grande bouteille d'O<sub>2</sub>.

Avantages : faible coût (même si gaspillage d'O<sub>2</sub>, pas d'infrastructure complexe, choix du Nitrox

Inconvénients : manipulation d'O<sub>2</sub> pur, compresseur d'air avec double filtration

### *Compresseur à membrane*

Un premier compresseur basse-pression (environ 10 bars) envoie de l'air à travers une membrane semi-perméable dans un réservoir. Cette membrane laisse passer l'O<sub>2</sub> mais pas l'azote. Le Nitrox ainsi fabriqué est ensuite comprimé par un compresseur haute pression.

Avantages : réglage libre du Nitrox jusqu'à 40%, pas d'O<sub>2</sub> pur, faible coût de gonflage

Inconvénients : prix de l'installation, consommation électrique, faire attention au rejet de l'azote