

# LES BIENFAITS DU NITROX EN PLONGEE LOISIR

Eric FLORES



# LES BIENFAITS DU NITROX EN PLONGEE LOISIR

## SOMMAIRE

### **•Préface**

### **•Introduction :**

- 1-Qu'est ce que le Nitrox p5
- 2-Historique sur l'utilisation du Nitrox.
- 3-Avantages et limitations du Nitrox en plongée sportive p6
- 4-Notion de profondeur équivalente

### **•Bilan d'évolution et perspective de la plongée au Nitrox :**

- 1-Bilan du développement actuel p7
- 2-Perspectives de développement p8
- 3-Pratique et aménagement des contenus de formation p10

### **•Aspect réglementaire et institutionnel de la plongée Nitrox :**

- Arrêté du 28/02/2008
- La réglementation européenne

### **•Plongée Nitrox, le point sur: gonflage et compression/les analyseurs d'O2 :**

- Mélange par flux continu p12
- Fabrication par dénitrogénéation (Tamis Moléculaire) p13
- Les analyseurs d'oxygène p16

### **•Plongée Nitrox contre plongée Air :**

- Plus rien à prouver p18
- l'Atout physiologique de la plongée Nitrox (exemples d'applications pratiques) p19

### **•Physiologie : mise au point sur les mécanismes de la toxicité de l'O2 :**

- Historique en matière de plongée Nitrox p26
- Les nouvelles théories: expliquer les accidents immérités p29
- Toxicité neurologique et crise convulsive (effet Paul Bert) p33
- Prévention et compteur SNC p36
- Toxicité pulmonaire de l'oxygène (Effet Lorrain Smith) p37
- Prévention (UPTD et OTU)
- autres effets p38

### **•Plongée Nitrox: contenus de formations et pédagogie adaptée :**

- Le cursus fédéral p39
- Les prérogatives
- Transposition pédagogique
- Organisation de l'apprentissage p40
- Les compétences
- La formation du Plongeur Nitrox
- La formation du Plongeur Nitrox Confirmé p41
- La formation du Moniteur Nitrox p42
- Les creux de formations p43
- Proposer des moyens pédagogiques efficaces

## PREFACE

Employé dans la plongée professionnelle par les travaux sous-marins, puis repris par le milieu médical en thérapie hyperbare, l'utilisation du nitrox n'a cessé de s'élargir vers d'autres applications telles que l'archéologie, la spéléologie et notamment dans le domaine militaire. Ce dernier contribue grandement à son développement.

On constate également dans le domaine sportif d'après les statistiques fédérales, un engouement des plongeurs pour le nitrox.

Comme toute nouvelle pratique, nous analyserons les bienfaits de la plongée Nitrox à travers divers publics car tout les participants du monde de la plongée sont ils concernés par cette utilisation ?

### **- Sur le plan budgétaire :**

Il faut savoir que les investissements d'une station de gonflage Nitrox, de bouteilles tampons d'O<sub>2</sub> pour surenchérir les mélanges, sans compter le matériel spécifique du plongeur (bouteille et détendeur nitrox), amènent une surcharge financière importante par rapport à une station de gonflage air.

Doivent être pris en compte également :

- la fabrication des mélanges pour la pratique quotidienne de l'activité et L'approvisionnement d'O<sub>2</sub>.
- le prix d'une réépreuve nitrox (1 fois et demi par rapport à une bouteille air), l'entretien des robinetteries et des détendeurs spécifiques. Autant de paramètres pouvant peser pour des directeurs de centres de plongée.

Alors bannir l'investissement nitrox ou développer une pratique vers un public spécifique tel que l'encadrement apparaît comme un second choix plus judicieux.

Une telle prestation spécialisée amènerait également pour les plongeurs ayant une pratique régulière un surcoût de la plongée non négligeable.

### **- Sur le plan de l'enseignement de la plongée :**

Dans la pratique quotidienne, l'encadrant est souvent confronté à deux types de situations :

**Le moniteur «yoyo» :** Dans le cas des plongées unitaires, les exercices de remontées multiples au gilet mettent à mal les principes de la décompression (les tables et les ordinateurs étant à leurs limites d'utilisation). Le nombre d'élèves, la répétition des exercices, le nombre de remontées maximum par plongée technique, le choix des profondeurs de travail, sont autant de facteurs qui affectent directement la physiologie de l'encadrant.

Dans le cas des plongées successives les profils peuvent aussi être complexes.

Par exemples :

Plongée du matin type profonde en exploration puis plongée de l'après midi en école avec formation N<sub>2</sub> en assistance gilet dans l'espace médian.

Ou plongée du matin en technique gilet à 40m puis plongée de l'après midi en école avec formation N<sub>2</sub> en assistance gilet dans l'espace médian se terminant par quelques baptêmes.

Combien de centres ce sont rabattus sur ces solutions par manque d'encadrement mettant leurs enseignants dans des décompressions limites ?

**L'accumulation de travail :** Même avec une bonne planification des plongées techniques par les directeurs de plongée, les encadrants sont soumis au fil d'une saison à la saturation de travail, la fatigue et aux ADD immérités. Les jours de repos amèneront des pauses permettant une meilleure récupération.

Dans tous ces cas de figures évoqués, l'utilisation du Nitrox apportera aux encadrants sécurité et récupération par rapport à la plongée air.

### **- Sur le plan des pratiquants :**

Les plongeurs ayant une activité régulière et intense, ou sensibles à l'ADD immérité (comme, un âge avancé, une vie sédentaire, certains profils physiologiques, de l'embonpoint, des dépôts graisseux sur les vaisseaux,

etc....) peuvent avoir recours pour un meilleur confort en formation tout comme en exploration à la plongée Nitrox.

Nous développerons également au cours de ce mémoire une étude comparative physique entre des profils air et Nitrox.

En reprenant les grandes lignes de la saturation de l’N2 et des compartiments, nous verrons à l’aide d’exemples concrets par des tableaux et des schémas, la réduction de la durée des paliers améliorant la qualité de la décompression en faveur du Nitrox.

Nous verrons aussi au cours d’une étude pratique l’utilisation d’un ordinateur Nitrox de moyenne gamme permettant de démystifier la complexité d’une planification successive en plongée Nitrox.

En effet, les plongeurs bien souvent n’osent pas modifier les paramètres de leurs ordinateurs par peur ou méconnaissance, et s’adonnent alors à la plongée Nitrox avec un ordinateur réglé sur le traditionnel mélange air 21/79.

Bien sûr ils bénéficient des bienfaits du mélange suroxygéné, mais conservent toujours un temps de désaturation long car calculé sur l’air.

Nous mettrons donc en évidence la simplification d’un tel réglage accessible à tous, permettant ainsi un raccourcissement des paliers pour une immersion totale plus courte ; ou pour une même durée de paliers qu’avec une plongée air, un temps de plongée plus long.

La diminution du coût de revient des stations Nitrox et du matériel individuel spécifique favoriseront-ils son développement.

La conclusion de ce mémoire se tournera sur l’avenir du Nitrox et des procédures de décompression :

- L’école Française de Plongée et les formations spécifiques, la gestion de l’autonomie et des palanquées.
- «L’homogénéité» des palanquées Nitrox face aux plongées successives et aux procédures multiples.
- développement et sa rentabilité au regard de la demande des pratiquants et des structures ?

Autant de points clés nécessaires aux réflexions des directeurs de centres de plongée, afin de diversifier leurs activités vers une sécurité accrue, pour leurs pratiquants qu’ils soient encadrants ou plongeurs.

Eric Flores

## INTRODUCTION

### 1 - Qu'est ce que le NITROX

- Mélange oxygène et Azote
- Un Nitrox particulier l'air atmosphérique
- Une convention pour la désignation des mélanges : XX/YY  
XX pourcentage d'oxygène  
YY pourcentage d'azote
- L'air, un Nitrox naturel 20/80 contient :  
20% d'oxygène et 80% d'azote
- Ainsi, un Nitrox 40/60 contient :  
40 % d'oxygène et 60% d'azote

### 2 - Historique sur l'utilisation du Nitrox

D'où vient l'idée de rajouter de l'oxygène dans l'air et comment cette idée a pu gagner le monde de la plongée loisir, parfois fort frileux aux innovations, surtout dans l'hexagone?

En fait, le Nitrox ne date pas d'hier. Le premier à l'utiliser dans des applications médicales fut le médecin anglais Reddoes en 1794.

Paul Bert, largement impliqué dans tous les processus liés à la respiration des gaz fut, en 1874, le premier à fournir du Nitrox à un équipage de montgolfière afin qu'ils puissent survivre à l'hypoxie lors de la montée en altitude.

La plongée vint quelques années plus tard, avec Henry Fleuss, Maître plongeur pour la société londonienne Siebe, Gorman & Co. qui réalisa la première plongée au Nitrox 50.

S'en suivit une ribambelle d'expériences auxquelles furent associés des noms comme Haldane ou Draeger (le premier recycleur date de 1913) et qui donnèrent naissance aux premiers équipements utilisables par les professionnels et les militaires. Le Nitrox était lancé et de multiples plongées eurent lieu entre les deux guerres utilisant différents Nitrox et recycleurs.

La deuxième guerre mondiale donna encore la possibilité aux plongeurs de combat anglais de perfectionner ces équipements afin d'associer à des pourcentages de mélange des profondeurs possibles d'évolution. Ceci permis aux combattants sous-marins de simplement venir à bout de leurs opposants en entraînant ces derniers à des profondeurs que l'O<sub>2</sub> pur qu'ils respiraient habituellement en plongée ne leur permettait pas.

En 1965, Workman établit les premières tables aux mélanges (azote/oxygène et hélium/oxygène). En 1978, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) met au point des standards pour le Nitrox 32. Suivront les Nitrox 36 et 40 dans la foulée.

Il faut attendre 1980 pour que Dick Rutkowski introduise le premier le Nitrox dans le monde la plongée loisir. S'en suivront la formation de IANTD en 1985 qui développa l'activité, reprise par d'autres écoles comme TDI. En France, il faut attendre 2000 pour qu'enfin le Nitrox soit introduit officiellement dans la plongée loisir et réglementé (arrêté du 23 septembre 2000).

Enfin, une véritable réglementation voit le jour par le biais de l'arrêté du 9 juillet 2004.

Celui-ci légifère la pratique, l'enseignement, les règles techniques et de sécurité, pour la plongée autonome aux mélanges autre que l'Air (Nitrox, HélioX et Trimix) et tient compte de l'utilisation d'un matériel spécifique tel les recycleurs.

Cette législation s'appliquant dans les établissements organisant les activités sportives et de loisirs en plongée subaquatique.

### 3 - Avantages et limitations du NITROX en Plongée sportive

- Augmenter le temps d'immersion sans paliers
- Diminuer le temps de paliers
- Diminuer le volume de gaz consommé
- Diminuer le risque d'essoufflement pour un effort donné
- Procurer un meilleur confort à l'issue de la plongée
- Diminuer les risques d'ADD pour un même profil de plongée qu'à l'air (==>Safe Air).

Inconvénients du NITROX

- Limitation de la profondeur par rapport à l'air.
- Risques hyperoxiques si la profondeur limite est dépassée.
- Risques hyperoxiques accrus en cas d'essoufflement.
- Manipulation des gaz plus contraignante.

### 4 - NOTION DE PROFONDEUR EQUIVALENTE

Exemple: plongée à 30 m de profondeur réelle

Respiration à l'air:

$$Pp N_2 = 4 b \times 0,8 = 3,2 b$$

Respiration au Nitrox 40/60 :

$$Pp N_2 = 4 b \times 0,6 = 2,4 b$$

Pression absolue équivalente air:

$$P \text{ abs} = 2,4 b \times 100/80 = 3 b$$

Profondeur équivalente air: 20 m

Application opérationnelle: plongée à 30 m de profondeur réelle

Respiration au Nitrox 40/60 :

$$Pp N_2 = 4 b \times 0,6 = 2,4 b$$

Pression absolue équivalente air:

$$P \text{ abs} = 2,4 b \times 100/79 = 3,038 b$$

Profondeur équivalente air: 20,38 m

On prend dans la table MN90 la valeur immédiatement supérieure soit 22 m

Profondeur réelle en mètres	Profondeur équivalente en mètres		
	pour 32/68	les tables 36/64	MN 90 40/60
12	10	8	8
15	12	12	10
18	15	15	12
20	18	15	15
22	18	18	15
25	22	20	18
28	25	22	20
30	25	25	22
32	28	25	
35	30		
38	32		

## BILAN D'EVOLUTION ET PERSPECTIVES DE LA PLONGEE AU NITROX

### •1 – BILAN DU DEVELOPPEMENT ACTUEL :

#### • Éléments statistiques Air/ Nitrox:

L'analyse statistique présentée a été établie à partir d'une base de données fournie par le siège national de la FFESSM, à Marseille, recensant l'ensemble des certifications Nitrox délivrées en France métropolitaine et DOM-TOM de 2004 à 2008.

EVOLUTION DES CERTIFICATIONS DE PLONGEURS							
	Total Hommes	Total Femmes	Total 2008	2007	2006	2005	2004
Niveau 1	16088	9302	25390	25897	26364	26544	26333
Niveau 2	6143	2643	9056	9467	9881	9862	9945
Niveau 3	3073	991	4064	3966	4005	4044	3963
Niveau 4	819	154	973	988	1008	1143	1190
EVOLUTIONS DES QUALIFICATIONS NITROX							
	Total Hommes	Total Femmes	Total 2008	2007	2006	2005	2004
Plongeur nitrox	3232	1251	4483	3991	3779	2339	977
Nitrox confirmé	1239	287	1526	1468	1633	1250	559
Moniteur nitrox	510	67	577	638	795	747	418

#### • Distribution géographique des certifications:

L'analyse met en évidence une grande disparité géographique. Globalement, trois principaux groupes de régions peuvent être distingués en fonction du nombre de certifications délivrées :

- moins de 50 certifications: régions des DOM TOM, le Nord et le Centre ;
- entre 50 et 200 certifications: la Normandie, l'Atlantique, l'Est, la Corse, la région RABA ;
- plus de 200 certifications : le Languedoc, la Côte d'Azur, la Bretagne, la Provence et l'Île de France.

Les lieux d'accueil les plus actifs sont la Côte d'Azur, la Bretagne et la Provence, en raison de leur situation géographique privilégiée. Ils sont fréquentés essentiellement par leurs propres licenciés, par les licenciés des régions voisines et, dans une moindre mesure, par les licenciés d'autres provenances, et en particulier d'Île de France, de RABA et/ou de l'Atlantique. L'Île de France constitue également un lieu de formation très dynamique, drainant à plus de 95 % ses propres licenciés.

- Évolution par types de certifications:

Globalement, le bilan quantitatif met en évidence une grande proportion de plongeurs Nitrox par rapport à celle des plongeurs Nitrox confirmés. En ce qui concerne la qualification Nitrox confirmée, le vivier principal est issu de la population des moniteurs qui obtiennent de fait la qualification moniteur Nitrox confirmée. Ce qui démontre une grande proportion de moniteurs Nitrox confirmés.

- Évolution chronologique du nombre de certifications:

En métropole, dans la plupart des comités, le démarrage des certifications Nitrox ne s'est amorcé qu'à partir de l'année 2000. Certaines régions, comme le Centre, la Normandie et le Nord, restent peu actives en matière de certifications Nitrox. Dans les régions des DOM- TOM, le développement du Nitrox, quoique plus timide qu'en métropole, montre une évolution synchrone, avec une croissance nette à partir de 2000 en Guadeloupe et à partir de 2001 en Réunion, Calédonie et Polynésie.

## •2- PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT:

- Air/ Nitrox, une même action sécuritaire:

La formation Nitrox est pérenne au sein de la FFESSM et son développement est assuré puisque cette technique de plongée constitue un pré requis pour la plongée au trimix.

Pour autant, une enquête menée durant l'année 2007 au sein du comité Côte d'Azur auprès des plongeurs et des moniteurs qualifiés Nitrox et des centres de plongées indique que ces nouvelles compétences sont malheureusement pas assez mises au service de la plongée loisir ou d'encadrement.

Les perspectives d'avenir faites visent à pérenniser, indépendamment des contraintes matérielles et législatives, cette technique de plongée. Elles visent aussi à rapprocher les plongeurs "air" et les plongeurs "Nitrox" sur le plan sécuritaire, que ce soit dans le domaine de la formation pour certains ou dans le domaine de la plongée loisir pour d'autres.

- Analyses des prérogatives liées aux qualifications Nitrox actuelles:

Dans les tableaux présentés ci-après, on peut observer les niveaux de plongée ayant accès, d'une part, à la qualification Nitrox et, d'autre part, à la qualification Nitrox confirmée, en tenant compte des espaces d'évolution pour chaque niveau.

Enfin le tableau suivant nous évoque les équivalences de ces certifications à travers le monde par le biais de la C.M.A.S.

À partir de cette analyse, il paraît possible de mettre en avant trois grandes idées pour centrer les qualifications Nitrox sur les niveaux de plongées actuels :

- Utilisation des mélanges appropriés:

Il s'agit de préconiser les mélanges Nitrox les mieux adaptés aux niveaux des plongeurs, en fonction de leurs espaces d'évolution et de leurs compétences, définis dans l'arrêté du 28 février 2008. Ces mélanges doivent tenir compte également des conditions de plongée (sites, centres, matériel):

- le mélange le plus approprié jusqu'à concurrence d'une proportion de 40/60 pour le niveau 1.
- le mélange le plus approprié jusqu'à concurrence d'une proportion de 40/60 pour le niveau 2 dans le cadre de leur autonomie.
- les mélanges les plus appropriés et relatifs à l'espace lointain, pour le niveau 2 accompagné d'un guide de palanquée certifié Nitrox confirmé.

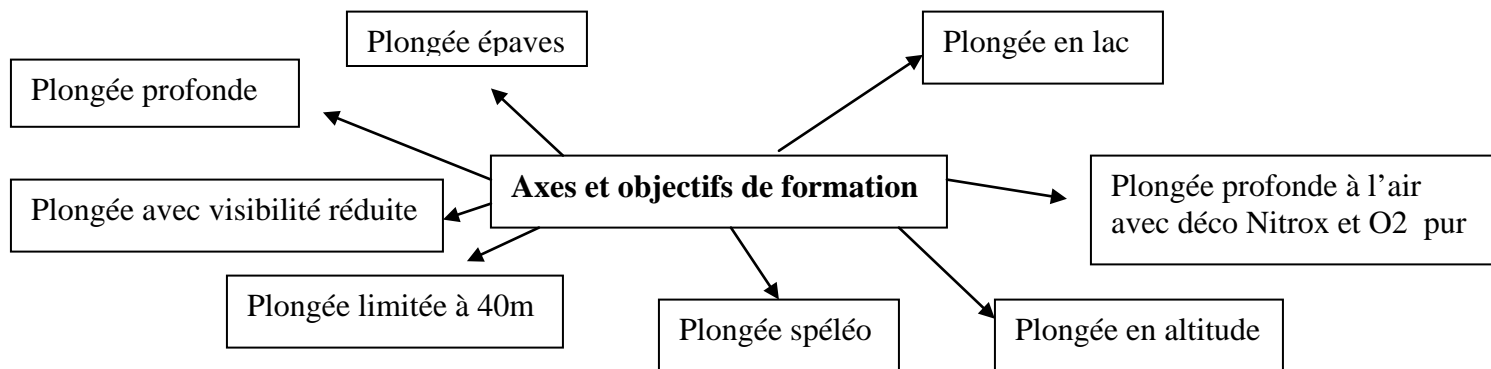


- tous les mélanges, y compris bien entendu l'utilisation de l'oxygène pur, tels que définis actuellement dans le contenu de formation Nitrox confirmé, pour le niveau 2 qualifié Nitrox et les niveaux 3 et 4 moniteurs.

- Adaptation des contenus de formation:

L'Amélioration des contenus de formation passe par une prise en compte de l'utilisation de ces différents mélanges et des compétences de chaque niveau de plongée.

Il faut aussi proposer des contenus en relation directe avec leurs prérogatives et donner des axes (spécialisations) en fonction des affinités du plongeur et de sa future pratique Nitrox :



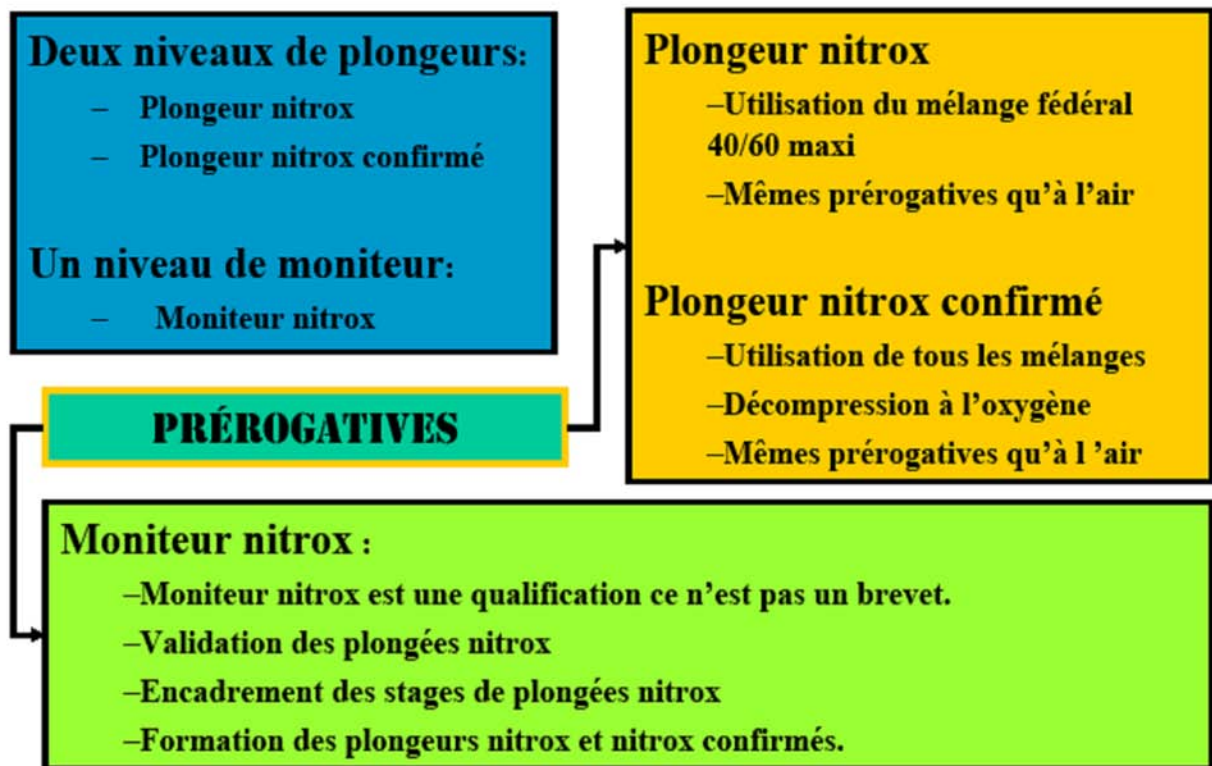
- Définitions des niveaux de qualifications:

Si l'on considère un contenu de formation nitrox entièrement dédié au niveau 1, il semble normal de l'identifier. Il sera donc différencié notamment du contenu de formation d'un niveau 2.

Pour conclure, cette proposition d'aménagement des contenus de formation "un niveau de qualification pour un niveau de plongée" semble restrictive par rapport à ce que nous connaissons.

Mais l'architecture existante a été respectée pour que le plongeur niveau 2 qualifié Nitrox puisse accéder à la qualification Nitrox confirmé, bien entendu dans le respect de ses prérogatives.

## Contenus de formation et qualifications fédérales



### •3 – PRATIQUES ET AMENAGEMENT DES CONTENUS DE FORMATION :

#### •Le Nitrox pour la sécurité :

Les moniteurs sont chargés, entre autre, de faire appliquer les règles de sécurité et d'observer une obligation de moyens pour les prestations qu'ils assurent. Pourtant s'il est un plongeur soumis à des variations de pression, à des agressions dues à la désaturation, même si celle-ci est optimisée par les calculateurs, c'est bien lui.

Par habitude, on s'attache surtout à la sécurité des plongeurs et un peu moins à celle des moniteurs. Je pense qu'une réflexion la plus large possible devrait être menée avec les intervenants concernés pour une utilisation plus généralisée du Nitrox.

Même s'il est vrai que par endroits, cela se pratique déjà dans certains clubs ou centres. Elle concerne:

- les moniteurs de plongée employés à plein temps dans les centres de plongées,
- les moniteurs de clubs assurant des formations et examens pour les niveaux 2, 3 et 4 avec des profils de plongées sévères,
- les instructeurs nationaux lors des formations et des examens au monitorat fédéral deuxième degré.

#### •Le Nitrox pour la décompression:

Dans l'aménagement des contenus de formation, le Nitrox en décompression est mis en avant. À ce jour, certains plongeurs qualifiés Nitrox confirmés privilégient cette décompression. Cette méthode implique un équipement adéquat et de ce fait un investissement financier conséquent ainsi qu'une grande rigueur dans la gestion des différentes phases de la décompression.

•**Le Nitrox pour la plongée:**

Pour vanter les mérites de cette activité, donc développer la plongée aux mélanges d'une façon générale, il existe des solutions simples comme l'intégration de la formation Nitrox dans des stages organisés par les commissions dites culturelles, telle la biologie.

En effet, avec le cursus de la formation Nitrox élémentaire, les plongeurs d'un stage de biologie peuvent découvrir, s'initier à cette forme de plongée.

**ASPECT REGLEMENTAIRE ET INSTITUTIONNEL DE LA PLONGEE AU NITROX**  
**(Arrêté du 28/02/2008)**

•Relatif aux règles techniques et de sécurité dans les établissements organisant la pratique et l'enseignement des activités sportives et de loisir en plongée autonome aux mélanges autres que l'air.

Dispositions générales de l'article A.322-115:

- Applicable à la plongée souterraine uniquement en ce qui concerne la qualification requise pour l'utilisation de mélanges en plongée.
- Non applicable à la plongée archéologique

**LA REGLEMENTATION EUROPEENNE**

**MISE EN APPLICATION**

•Une période transitoire jusqu'en novembre 2008 d'une durée de 5 ans :

–période pendant laquelle les anciens et les nouveaux équipements peuvent cohabiter dans le circuit de distribution.

–les particuliers, les structures, qui mettent le matériel NITROX à disposition (gracieusement ou en location) de leurs membres ou clients, ne sont pas tenus de remplacer ce matériel par un nouveau matériel conforme aux normes EN 144-3 et EN 13949.

– le matériel non conforme aux « nouvelles » normes ne bénéficie plus du marquage CE.

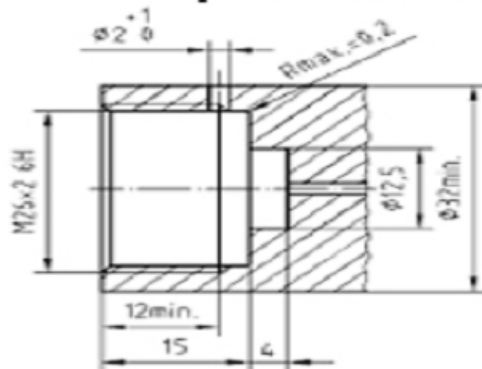
**NORME NF EN-144-3**

•Concerne les robinets de bouteilles et les raccords de sorties (connexion M26 X 200) pour les scaphandres utilisant des Nitrox avec une teneur d'O<sub>2</sub> supérieure à 22% ou utilisant de l'O<sub>2</sub> pur.

- Obligation d'être compatible 100% O<sub>2</sub>.

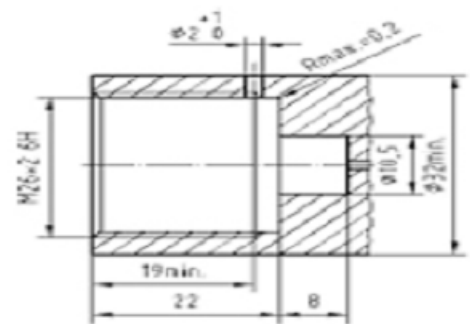
# Raccords Nitrox (norme EN 144-3)

**Jusqu'à 250 bar**

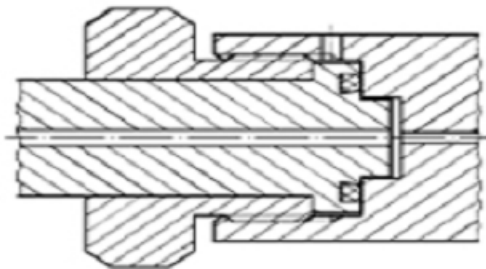


**Sortie robinet bouteille**

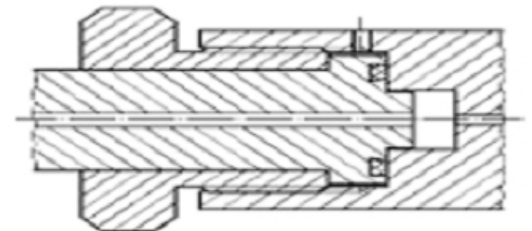
**De 250 à 350 bar**



**Sortie robinet bouteille**



**Assemblage détendeur/bouteille  
jusqu'à 250 bar**



**Assemblage détendeur/bouteille  
de 250 à 350 bar**

## NORME NF EN-13949

- Concerne les scaphandres à circuit ouvert contenant des nitrox avec une teneur d'O<sub>2</sub> supérieure à 22% ou utilisant de l'O<sub>2</sub> pur.
- Obligation d'être compatible 100% O<sub>2</sub>:
  - Bouteilles, robinets, pour utilisation en O<sub>2</sub> pur
  - flexible de manomètre HP, pour utilisation en O<sub>2</sub>
  - Marquage spécifique pour O<sub>2</sub> pur (≠ avec bouteille dégraissé « Nitrox »).

## COHABITATION DES BOUTEILLES NITROX

• Pour une utilisation avec un NITROX jusqu'à 40 % d'oxygène : le matériel "AIR" peut être utilisé conformément au code du sport (disposition réglementaire).

• Pour une utilisation avec un NITROX supérieur à 40 % d'oxygène, ou un NITROX compris entre 22 et 40 % d'oxygène et fabriqué par la technique des pressions partielles, deux cas sont possibles :

– la bouteille NITROX dispose d'une robinetterie ancien modèle (DIN ou étrier) plus conforme aux nouvelles normes, demeure conforme à la réglementation et pourra donc continuer d'être utilisée par un particulier ou mise à disposition par une structure.

– la bouteille NITROX dispose d'une robinetterie munie d'une connexion M 26 x 200, elle est conforme à la norme EN 144-3 et à la réglementation.

## PLONGEE NITROX, LE POINT SUR: GONFLAGE ET COMPRESSION/ANALYSEUR D'OXYGENE

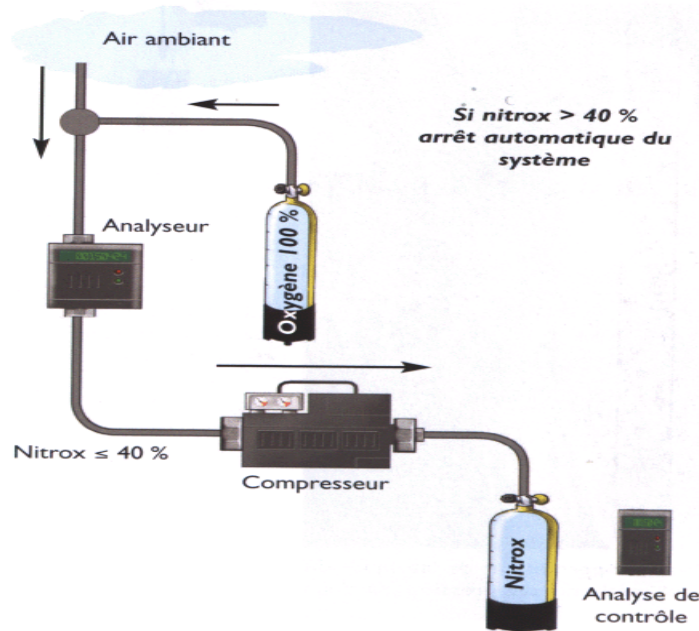
### 2 TYPES DE COMPRESSEURS :

- METHODE PAR FLUX CONTINU (STICK)

#### Mélange par flux continu

- Très utilisé aux USA.
- Avantage, pas besoin d'attendre 24 h pour l'homogénéisation.
- Ajustement de la concentration en temps réel.
- On peut utiliser les réserves d'O<sub>2</sub> jusqu'au bout car on injecte à pression atmosphérique.
- Utilisation d'O<sub>2</sub> liquide ==> Coût bas

• **Idéal pour les petites structures (avec tampons) ou des groupes de plongeurs (bouteilles).**



#### **Exemple concret de micro production : Mélange par flux continu**

• **Exemple** : Un compresseur Bauer Junior 6m<sup>3</sup>/h, donc délivrant 100 litres par minute, reçoit 15 litres par minute de dioxygène délivrés par un mano-détendeur/débitre médical réglé sur cette valeur.

•85 litres d'air sont donc pompés en une minute, ce qui fait  $0,2 \times 85 = 17$  litres de dioxygène dans cet air. Ces 17 litres s'ajoutent aux 15 litres injectés, formant un total de 32 litres de dioxygène par minute pour un volume total de 100 litres de mélange... et une FO2 de  $32/100 = 0,32 = 32\%$ .

• **FABRICATION PAR DENITROGENATION (FILTRATION PAR TAMIS MOLECULAIRE)**

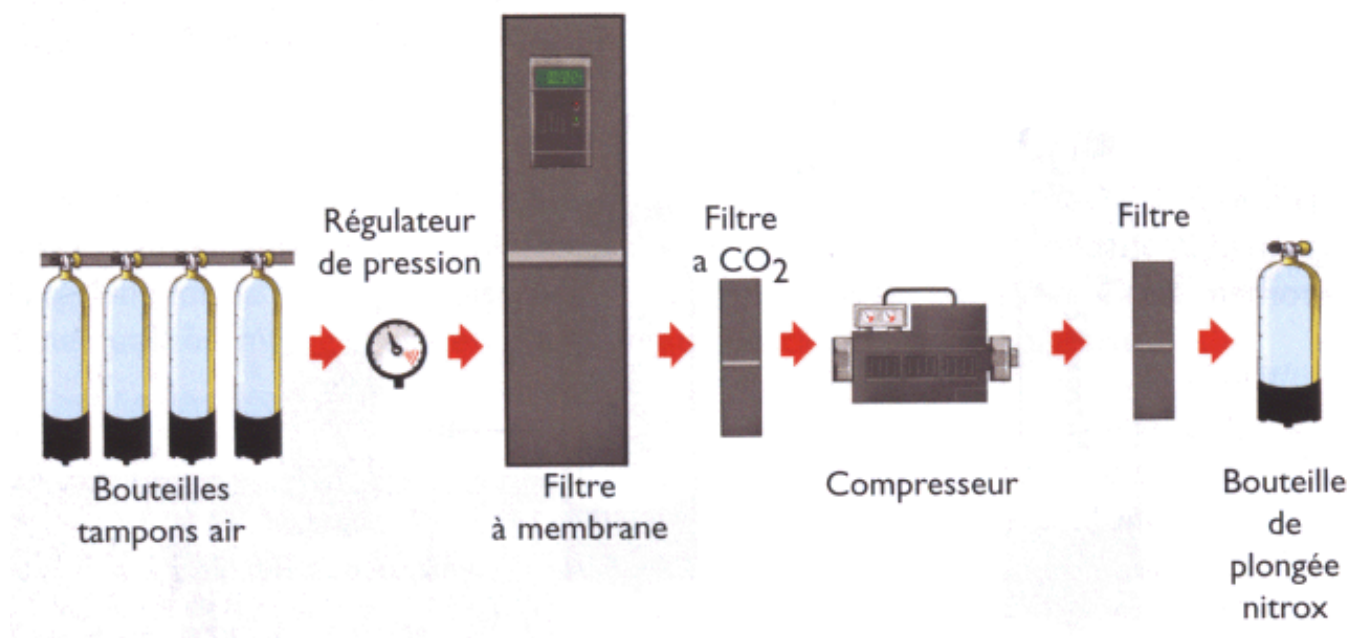
COMPOSITION DE LA CHAINE DE PRODUCTION DES NITROX :

- Un compresseur basse pression
- Une membrane couplée à un système de filtration.
- Un compresseur h.p.

**Idéal pour les grosses unités de plongée mais investissement financier important.**

**La dénitrégation et son principe**

- Le compresseur basse pression** aspire l'air refroidi par un frigo,(afin de libérer l'air d'une partie de son eau)pour le comprimer à une pression variant de 7 à 17 bars.
- Cet air est ensuite filtré avant de passer dans **la membrane** où se fera la séparation d'une partie de l'azote pour donner du Nitrox.
- La séparation de l'N2 et de l'O2 est faite par **un tamis moléculaire** qui sépare les molécules de chacun des gaz.
- Une molette permet de laisser échapper ± d'N2 pour avoir un mélange plus riche en O2.



- Le compresseur basse pression a un débit variable (pouvant aller jusqu'à 130 m3 / h).
- Une fois le Nitrox fabriqué, il est détendu à la pression atmosphérique pour être aspiré par le compresseur H.P. et stocké dans des bouteilles ou des tampons.

**Principe de base de la perméation gazeuse**

•**Le module membrane:**

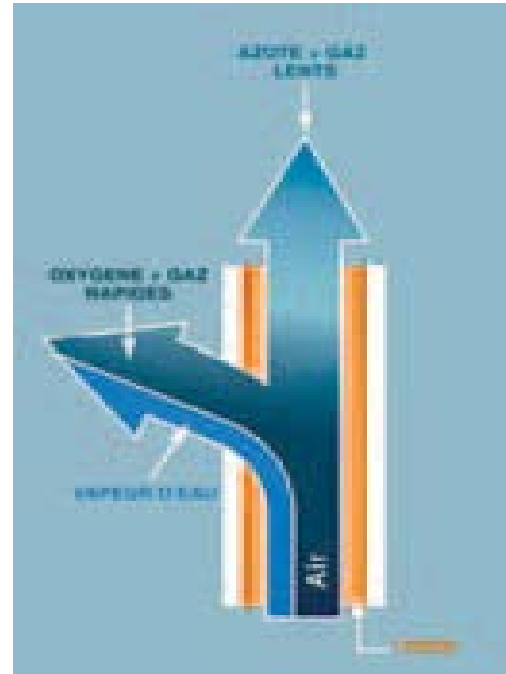
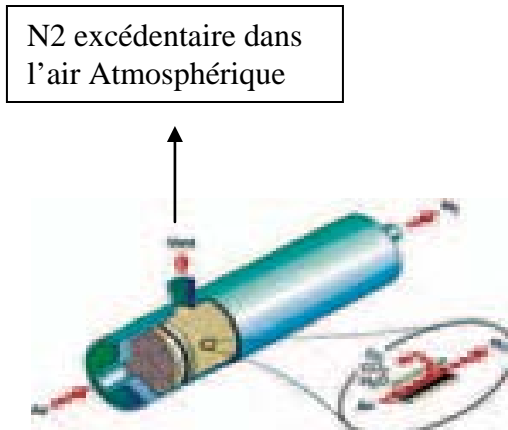
Les membranes de polymère sous forme de fibres doivent être assemblées dans des modules ou perméateurs. Des milliers de brins sont assemblés, ainsi chaque unité cylindrique d'un mètre de long contient 400 km de

fibres. Les extrémités sont scellées à la colle, afin de permettre à l'air comprimé de circuler de part et d'autre à l'intérieur de la fibre creuse, les extrémités sont ouvertes par tranchage.

•Généralités :

Le phénomène de perméation résulte du déséquilibre entre l'amont et l'aval de la membrane, et fait essentiellement intervenir un mécanisme qui comporte trois étapes:

- dissolution des molécules de gaz à la surface de la membrane côté haute pression (solubilité)
- diffusion des molécules à travers le polymère jusqu'à la face opposée
- désorption des molécules côté basse pression.



•Principe :

Sous l'effet d'une différence de pression entre l'amont et l'aval de la membrane, le gaz "rapide" traverse la paroi membrane plus facilement que le gaz "lent", le mélange de gaz est ainsi séparé en deux flux.



La perméation gazeuse doit être considérée davantage comme un procédé de fractionnement que comme un procédé de séparation, permettant d'ajuster la composition d'un mélange, d'épurer un gaz mais non de séparer totalement les constituants d'un mélange.

## **Investir dans un compresseur à membrane Nitrox ?**

*Attention* : les données qui suivent sont purement estimatives. Il va de soi qu'elles doivent être régulées en fonction du marché.

### **•Coût de fabrication des Nitrox avec de l'oxygène pur:**

Le coût hors taxe du mètre cube de Nitrox est calculé sur le prix moyen connu à ce jour d'une bouteille d'oxygène : montant HT 54 € ajouter à ce prix 8 % de frais de dossier et de pollution, soit 58,32 €HT pour dix mètres cubes d'oxygène. Pour compléter le calcul, il faut prendre en compte aussi le volume d'air nécessaire à la réalisation du Nitrox considéré; pour ce faire, le prix utilisé est de 4,18 €HT pour trois mètres cubes d'air. Ceci permet de déterminer un prix de revient moyen hors taxes du mètre cube de Nitrox :

- 1,67 €pour du NX 32 %
- 1,91 €pour du NX 36 %
- 2,16 €pour du NX 40 %

Cette estimation ne tient pas compte:

- des volumes résiduels restant dans la bouteille d'oxygène et des pertes occasionnées dans les manipulations
- de l'investissement en matériel type lyre de transfert ou bâton mélangeur
- des frais de transport
- de la location journalière ou mensuelle des bouteilles
- du coût de main-d'oeuvre.

### **•Coût de fabrication des Nitrox avec un compresseur à membrane:**

Pour déterminer un prix au mètre cube à la sortie d'un compresseur Nitrox, plusieurs points sont à prendre en compte:

- amortissement de la machine (durée 5 ans), consommation électrique (base de 16,5 kW),
- maintenance: courante (consommables) et préventive en fonction du nombre d'heures. Les prix utilisés pour cette étude sont sur la base :
- d'un investissement de 31000 €HT, comprenant la source d'air basse pression, l'unité d'enrichissement en oxygène, et le compresseur haute pression,
- d'un coût HT de maintenance sur cinq ans en fonction du nombre d'heures de fonctionnement ramené à un coup moyen annuel,
- d'un prix moyen HT du kW/h.

## **Un exemple concret dans une grosse structure du littoral proposant un Nitrox obtenu par compresseur à membrane(tamis moléculaire)**

### **CIRRUS CENTRALES NITROX (budget d'investissement : 35 000 €)**

CIRRUS a dessiné trois modules qui s'associent harmonieusement pour constituer un grand système :

- Un module de production d'air comprimé basse pression (15 bars)
- Un module d'enrichissement en oxygène par perméation gazeuse
- Un module compresseur haute pression 200 b ou 300 b pour le remplissage des bouteilles de plongée ou des stockages.



Les modules sont dissociables pour s'adapter à votre installation existante et à vos besoins.

- Production de Nitrox de 26% à 40%
- Débit : 14 m<sup>3</sup>/h à 40% - 20 m<sup>3</sup>/h à 32%
- Précision du mélange à 0,1%
- Vanne de précision pour ajuster le mélange
- Régulation de la pression d'air pour stabiliser la production de Nitrox
- Contrôle du débit de l'analyse

Traitement de l'air par :

- séchage par réfrigération
- séparation des condensats liquides associée à des mécanismes de purge automatiques
- séparation micronique
- adsorption des tensions de vapeur

## **LES ANALYSEURS D'OXYGENE**

### • Deux types

- Les analyseurs à effet paramagnétique
- Les analyseurs galvanométriques

• Analyseur à effet paramagnétique : l'oxygène a pour effet de modifier un champ magnétique. Analyseurs très précis MAIS très chers

•

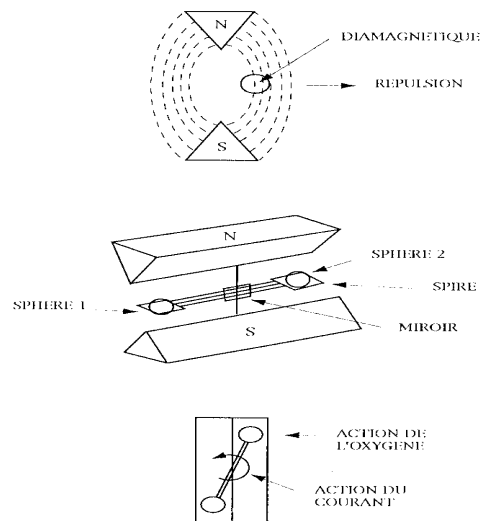
• Tubes colorimétriques : tube contenant un produit chimique \ change de couleur au passage d'un gaz particulier. Manque de précision

•

• Cellule galvanique électrochimique : le passage de l'Oxygène va modifier le passage des électrons. Transportable, fiable, précis.

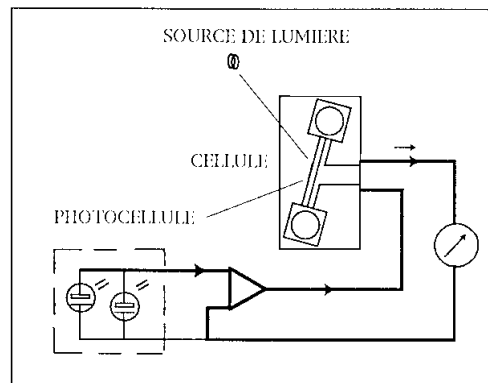
**• Ne jamais oublier d'étalonner l'analyseur avant chaque mesure**

### • Les analyseurs à effet paramagnétique



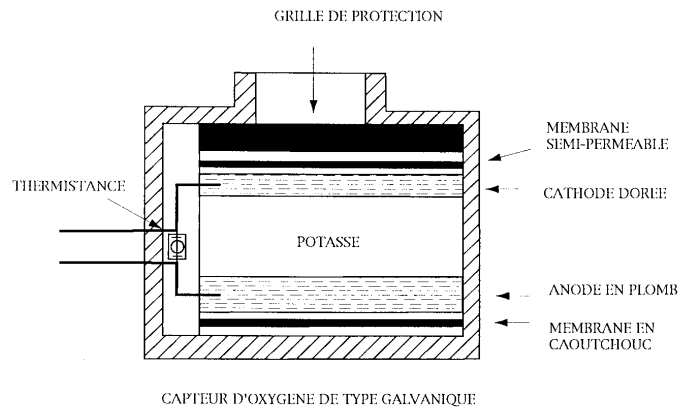
- Peu utiliser en plongée
- Système optique craignant l'humidité
- Relativement fragile

• Les analyseurs à sonde galvanométrique

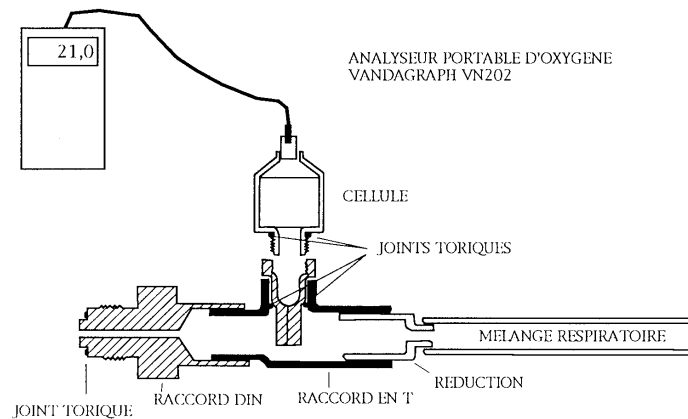


SCHEMA DU PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SERVOMEX

Cellule basée sur la ddp entre l'anode et la cathode baignant dans un électrolyte et une membrane semi perméable ne laissant passer que le gaz. L'information obtenue par le capteur, commande une électronique de mesure.



Après calibration à l'air (21% d'O<sub>2</sub>), la sonde est placée dans un flux faible et régulier (2 à 3 litres/min) du gaz à mesurer et sous faible pression.



## **« PLONGEE NITROX CONTRE PLONGEE AIR »**

### **PLUS RIEN A PROUVER ?**

Si c'était le cas, tout le monde plongerait au Nitrox !

Pourquoi, malgré l'explosion des certifications n'y a-t-il pas plus d'adeptes ?

Ceci est dû aux fausses idées reçues (VERITABLE SONDAGE PARMIS DES PLONGEURS NIVEAU 1 AIR):

- Le matériel individuel coûte plus cher.
- La plongée coûte beaucoup plus chère.
- C'est dangereux, on risque de se brûler les poumons et l'O<sub>2</sub>, cela monte au cerveau et l'on devient fou.
- C'est plein de calculs, faut être ingénieur maintenant en plongée.
- Pour faire du Nitrox, faut impérativement que je rachète un ordi. et il est plein de réglages compliqués.
- Les cours sont super compliqués et pleins de théorie.....

**VOILA POUR LES RUMEURS**

**Voyons pourquoi déjà en terme de plongée pratique le Nitrox est GAGNANT!!!!**

### **Avantages NITROX**

- Augmenter le temps d'immersion sans paliers
- Diminuer le temps de paliers
- Allongement des successives sans palier
- Diminuer le volume de gaz consommé
- Diminuer le risque d'essoufflement pour un effort donné.
- Procurer un meilleur confort à l'issue de la plongée
- Diminuer les risques d'ADD en utilisant pour la décompression des tables Air
- Avantages majorés en altitude
- Diminution de la consommation

#### Avantages AIR

- Limitation de la profondeur par rapport à l'air emploi à des zones de profondeurs faibles et moyennes.
- Risques hyperoxiques si la profondeur limite est dépassée.
- Manipulation des gaz plus contraignante
- Prix des gaz préfabriqués élevés, Fabrication des Nitrox possible mais complexe.
- Matériel spécifique
- Planification de la plongée

### LES LIMITES DE PROFONDEURS DES MELANGES NITROX

PROFONDEURS MAXIMALES (LIMITES OXYGÈNE) EN METRES			
% O <sub>2</sub>	PpO <sub>2</sub> = 1,6 bar	PpO <sub>2</sub> = 1,5 bar	PpO <sub>2</sub> = 1,4 bar
21 %	66	61	57
22 %	63	58	54
23 %	60	55	51
24 %	57	53	48
25 %	54	50	46
26 %	52	48	44
27 %	49	46	42
28 %	47	44	40
29 %	45	42	38
30 %	43	40	37
31 %	42	38	35
32 %	40	37	34
33 %	38	35	32
34 %	37	34	31
35 %	36	33	30
36 %	34	32	29
37 %	33	31	28
38 %	32	29	27
39 %	31	28	26
40 %	30	28	25

#### Utilisations actuelles du NITROX en plongée loisir

- Utilisation par des moniteurs en école
- La décompression après une plongée profonde
- Antécédents d'accident de décompression
- Plongées fréquentes et répétées
- Plongées longues à profondeur moyenne
- Plongeurs au profil physiologique hors normes (excès de tissus adipeux, seniors, surmenage)
- Premiers débuts en mélanges des futures adeptes du Trimix ou du recycleur.

### L'ATOUT PHYSIOLOGIQUE DE LA PLONGEE NITROX

#### (EXEMPLES D'APPLICATIONS PRATIQUES)

## LES ORDINATEURS ET LE NITROX

*Nous retrouvons les deux façons de plonger aux nitrox*

Utilisation de l'ordinateur en gardant les paramètres air mais en respirant du Nitrox (Augmentation de la marge de sécurité par rapport à l'ADD, mais attention à bien calculer la profondeur plancher)

Utilisation de l'ordinateur en intégrant les caractéristiques du Nitrox utilisé( % O<sub>2</sub>)  
L'ordinateur fonctionne de manière Habituelle, le calcul de la décompression est donc adapté au mélange respiré.

## LES ORDINATEURS ET LE NITROX

Certains ordinateur permettent le paramétrage du %d'O<sub>2</sub>. Il fonctionnent de manière classique et certain affiche l'horloge O<sub>2</sub>selon divers unité.

Ne pas oublier qu'il afficheront toujours la profondeur réelle de la plongée et que de nombreux paramètres peuvent être réglés avant la plongée (alarmes).

Alarmes de :

- \*PpO<sub>2</sub> maximale (par ex 1.4 ou 1.6)
- \*Profondeur maximale à ne pas dépasser
- \*Adaptation de la décompression en altitude

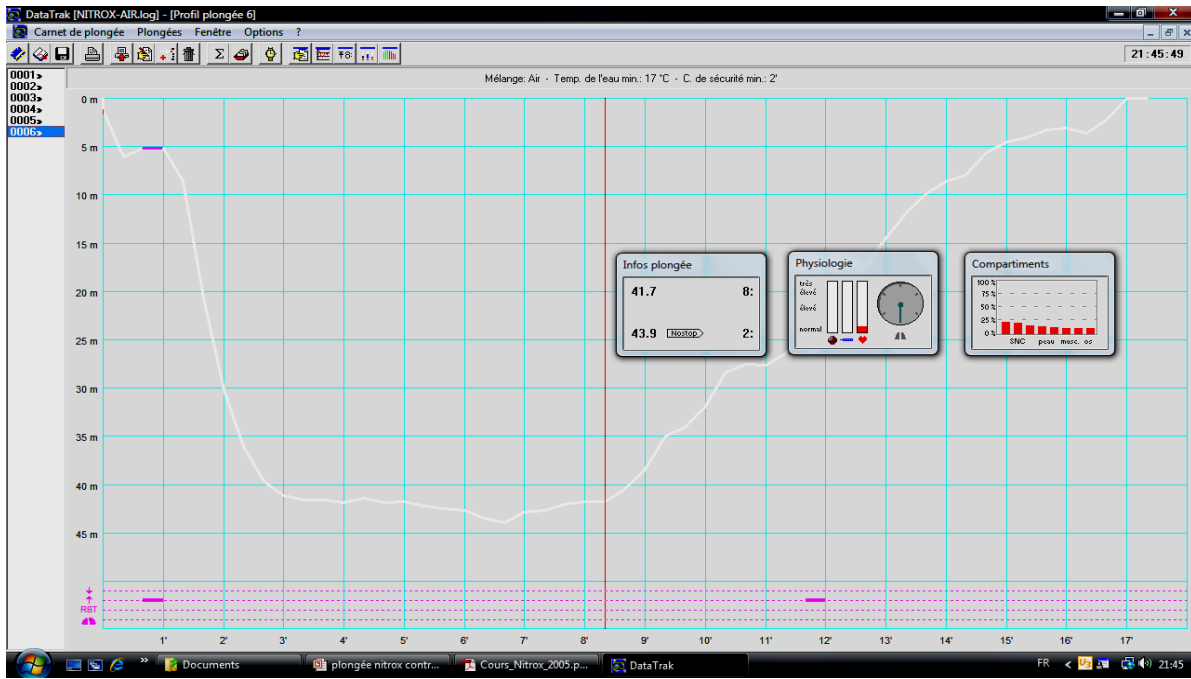
### COMPARATIF PLONGEE AIR /PLONGEE NITROX

**14 DEPTEMBRE 2008 PLONGEE SUR LA SECHE DE SICIE (CAP SICIE VAR)**

**ORDINATEUR ALADIN AIR X O<sub>2</sub>**

**Plongée à l'air (21/79)**

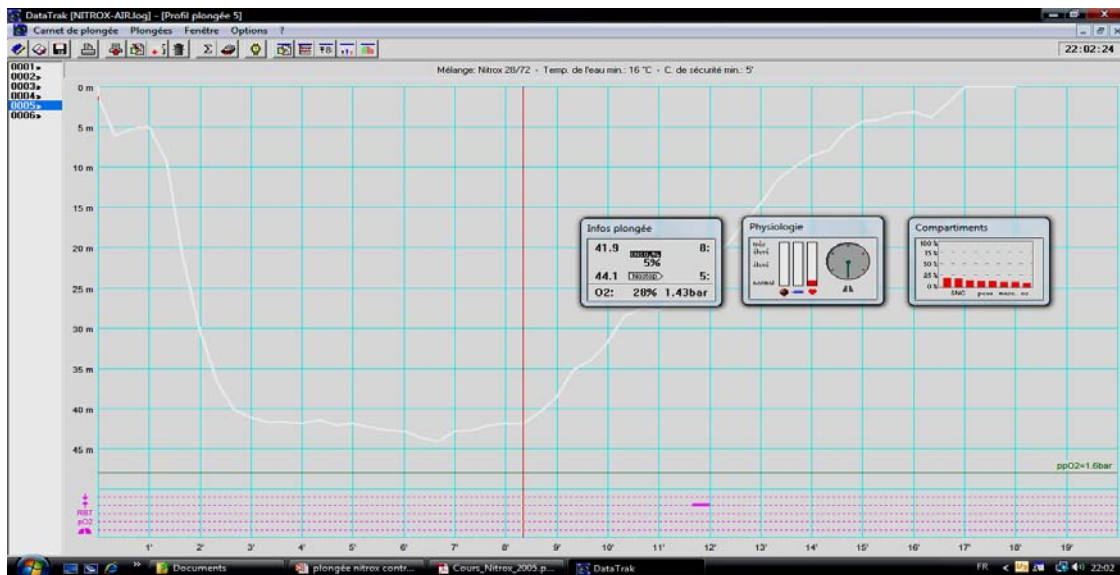
Plongée avec objectif sans palier de 8' à 43,9m .Indication d'une durée de 2' au fond encore possible avant phase de paliers. Durée de remontée relativement lente de 17'.



**14 SEPTEMBRE 2008 PLONGEE SUR LA SECHE DE SICIE (CAP SICIE VAR)**  
**ORDINATEUR ALADIN AIR X O2**

**Plongée au Nitrox (28/72)**

Plongée Nitrox avec objectif sans palier de 8' à 44,1m. Indication d'une durée de 5' au fond encore possible avant phase de paliers (au lieu des 2' à l'air et l'équipier à en plus dépasser les 43,9m). Durée de remontée relativement lente de 17'.

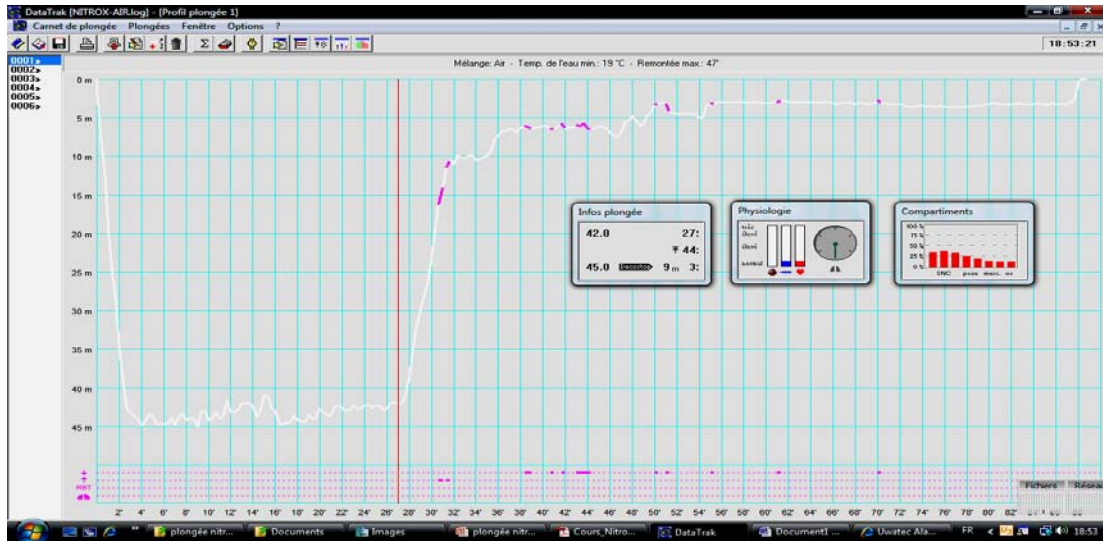


**09 NOVEMBRE 2008 PLONGEE SUR LA SECHE DES SARRANIERS (PORQUEROLLES VAR)**

**ORDINATEUR ALADIN AIR X O2**

**Plongée à l'air (21/79)**

A noter qu'il s'agit d'une plongée de 27' à 45m prévoyant 44' de paliers comportant réellement 3 paliers (4' à 9m-10' à 6m-et 31' à 3m). La saturation des tissus avant la remontée indique la nécessité de faire des paliers ! (Soit 61' de remontée incluant l'ensemble des paliers).

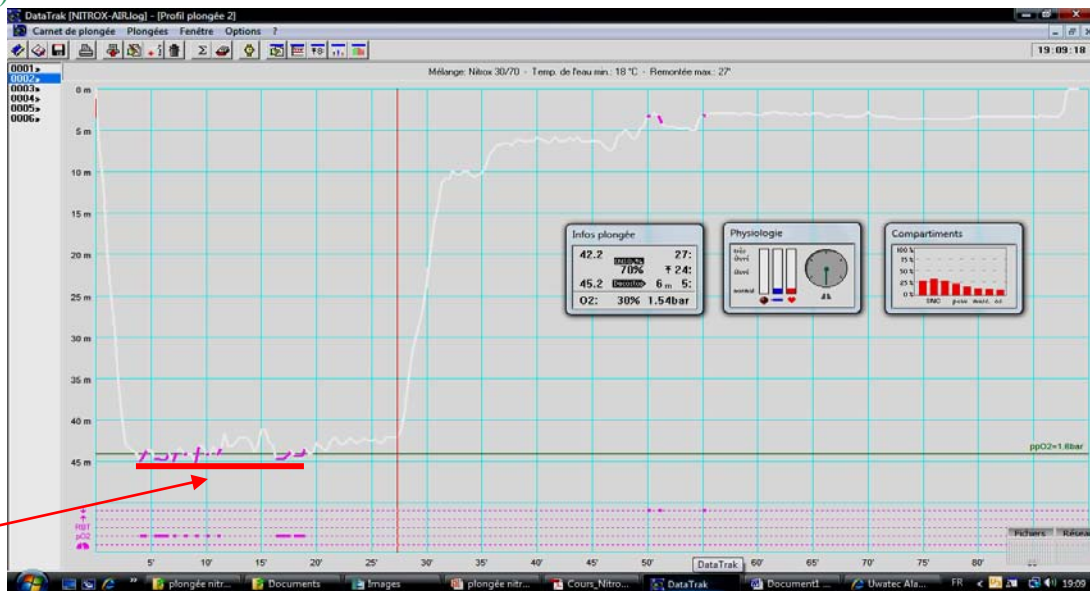


**09 NOVEMBRE 2008 PLONGEE SUR LA SECHE DES SARRANIERS (PORQUEROLLES VAR)**  
**ORDINATEUR ALADIN AIR X O2**  
**Plongée au Nitrox (30/70)**

La même plongée (mélange 30/70), 24' de paliers (5' à 6m-20' à 3m) et remontée de 33'.

Le point rose jusqu'au retour surface représente le temps d'attente du plongeur air (21/79).

Attention aux erreurs de profondeurs : 45,2m soit Pt 5.52b et PpO2 avec 30/70 : **1.65b** et l'alarme sonore n'a pas fonctionnée. ! Pour 1.6b de PpO2 (Max : 43m) – pour 1.5b de PpO2 (Max : 40m) – pour 1.4b de PpO2 (Max : 37m)

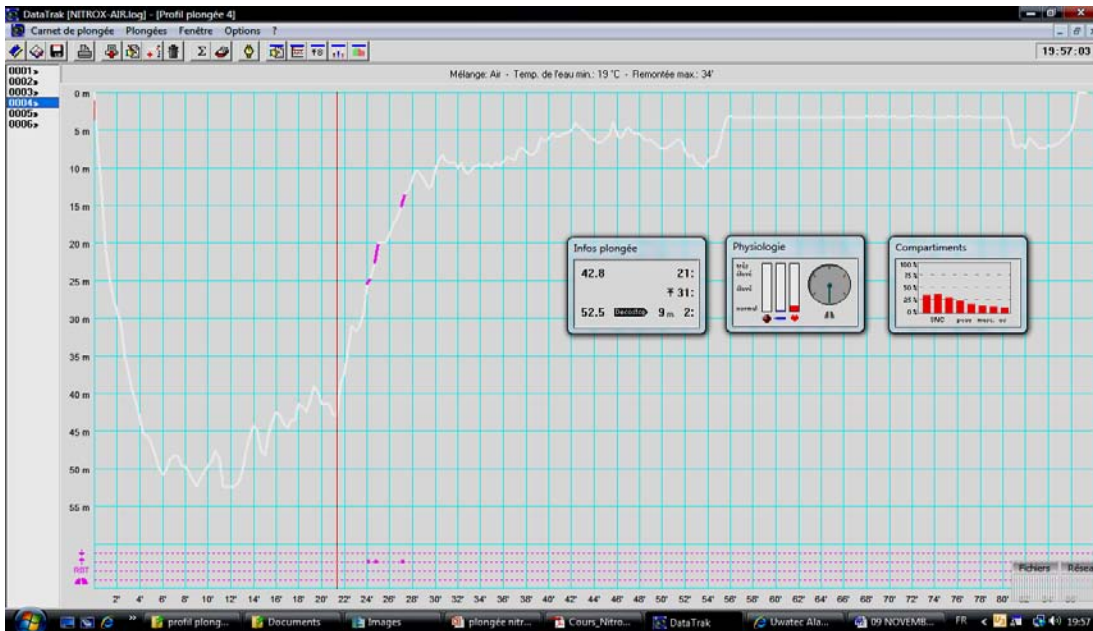




**26 OCTOBRE 2008 PLONGEE SUR LE SEC DE L'ARMOIRE( FOURMIGUE DE GIENS VAR)**  
**ORDINATEUR ALADIN AIR X O2**

**Plongée à l'air (21/79)**

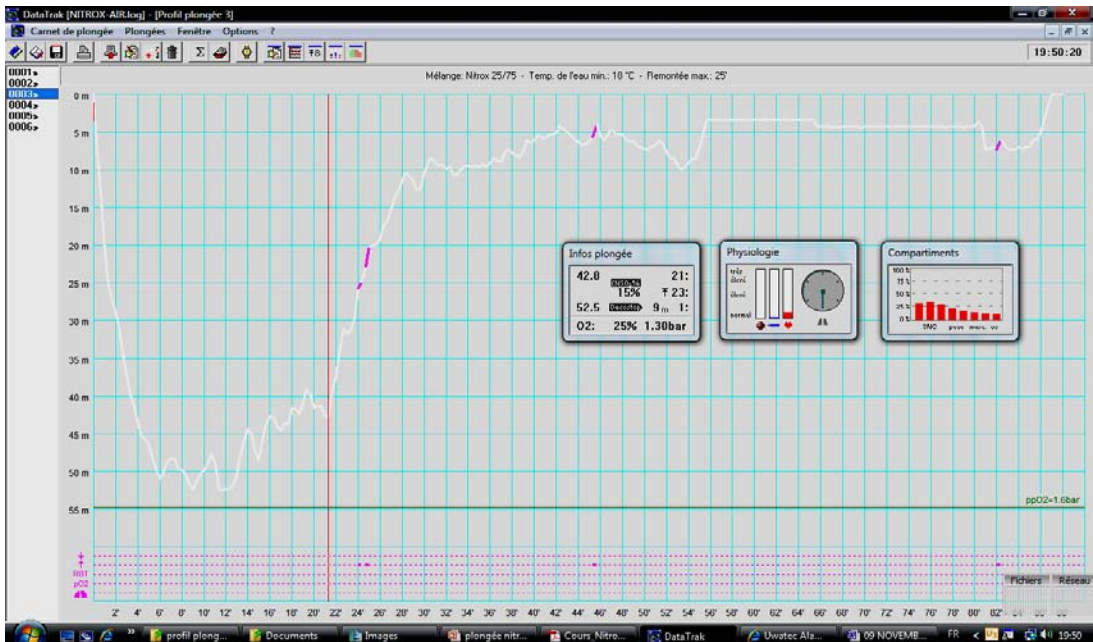
Plongée de 52,5m d'une durée de 21'. durée de remontée prévisionnelle:31'. Les paliers sont (1' à 9m-7' à 6m-26' à 3m).Durée de remontée:48' avec paliers.



**26 OCTOBRE 2008 PLONGEE SUR LE SEC DE L'ARMOIRE( FOURMIGUE DE GIENS VAR)**  
**ORDINATEUR ALADIN AIR X O2**

**Plongée au Nitrox(25/75)**

Pour la même plongée, durée de remontée prévisionnelle:23'. Les paliers sont 1' à 9m qui disparaît durant la remontée, donc 5' à 6m-21' à 3m).Durée de remontée:41' avec paliers.



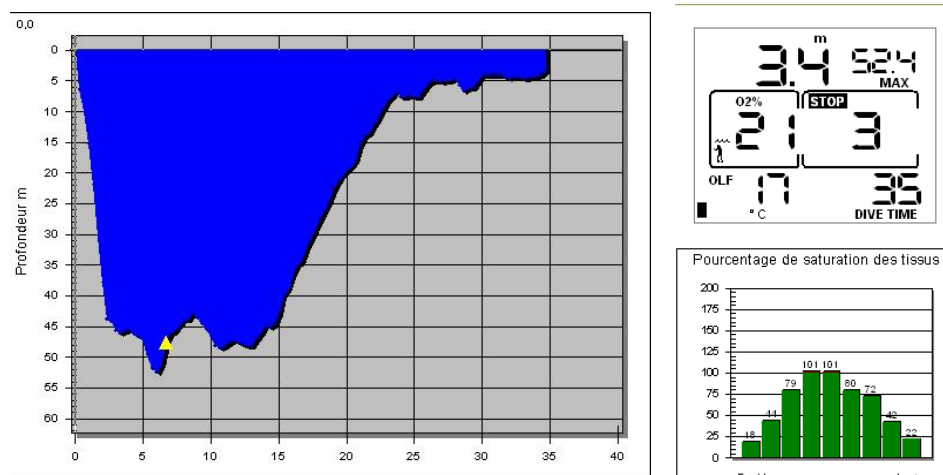


## COMPARATIF PLONGEE AIR / DECO AIR PLONGEE AIR / DECO NITROX

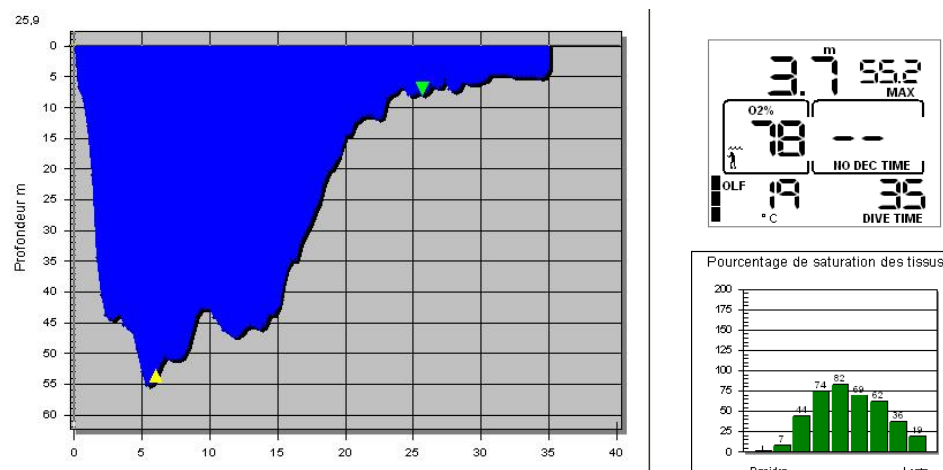
### *Le TOGO*

*Cargo, à voile et à vapeur de 76 m de long, construit en 1882 est baptisée "Ville de Valence". Il est coulé le 12 mai 1918, par une mine allemande, dans la baie de Cavalaire.*

### 27 SEPTEMBRE 2008 Plongée à l'air (Suunto Vyper) : Saturation limite des compartiments moyens :



### 27 SEPTEMBRE 2008 Plongée à l'air (Suunto Vytec): Bloc décompression Nitrox 78 % :



## UTILISATION DE LA BOUTEILLE « PONY »

\*PONY SIMPLE O2 PUR OU NITROX

\*PONY DOUBLE NITROX + O2 PUR

## Palier à l'Oxygène pur

### TABLES DE PLONGEE

La durée de chacun des paliers à l'oxygène pur est égale aux deux tiers de la durée du palier donné par les tables MN90 arrondie à la minute supérieure.

Cette réduction n'est appliquée que si la durée totale du palier à l'oxygène pur est **supérieure ou égale à 5 minutes**.

Effectuer ses paliers à l'O<sub>2</sub> ne modifie pas le GPS  
CAS DES ORDINATEUR

### **ORDINATEURS :-AIR -NITROX VARIABLE**

- **Rester sur la déco de l'ordinateur**
- **Avantages : VERS SECURITE**

### **ORDINATEURS PROGRAMMABLES MULTIGAZ (avec O<sub>2</sub> 100%) :**

- **Pré programmer avant la plongée les mélanges de gaz utilisés en déco.**

### **Palier au Nitrox**

Le mélange Nitrox 50 est le plus souvent utilisé:

- Plus de sécurité par rapport à un mélange < 50%
  - Bon rendement en décompression par rapport à l'O<sub>2</sub> pur
  - Profondeur plancher = 22 mètres >> 6 mètres (O<sub>2</sub>)  
(Utilisé en Pony ou sur une ligne de décompression avec des plongées profondes)

**Comme avec l'O<sub>2</sub> effectuer ses paliers au Nitrox ne modifie pas le GPS**

## **LE NITROX EN DECO**

### **Planification d'une plongée Nitrox**

- Déterminer la PpO<sub>2</sub> max pour la plongée en fonction de la profondeur atteinte et du temps passé au fond.

Prendre des marges de sécurités en fonction des conditions de plongée

- Sélectionner le meilleur mélange adapté à la plongée en fonction des mélanges disponibles.

Déterminer la profondeur plancher de la plongée

- Déterminer la procédure de décompression (tables Air ou Nitrox, ordinateur). Faire le choix du mélange de décompression (Nitrox 50 ou O<sub>2</sub>).
- Décider la valeur de la réserve dans la bouteille au moment de la remontée

Prendre une marge de sécurité et calculer la pression de demi-tour en fonction de sa consommation

### ***Choix de la PpO<sub>2</sub> limite ?***

Se poser les questions concernant :

- Froid ?

- Visibilité (sur et sous l'eau) ?
- Courant ?
- Ma dernière plongée remonte à ... ?
- Forme physique et morale ?

LIMITE : **1.6B** ET TOUJOURS VERS PLUS DE SECURITE **1.3 B**

*Choix du meilleur mélange (BEST MIX) ?*

$$\% \text{ Best Mix} = 100 \times \frac{\text{PpO}_2 \text{ Max}}{\text{Pamb}}$$

*Choix de la procédure de décompression ?*

- Utiliser une table à l'air sans modification : on ignore que l'on respire du Nitrox → déco selon la table air → **Sécurité**
  - Table air + calcul de la profondeur équivalente avant la plongée
  - Table Nitrox
  - Ordinateur Nitrox
- Calcul des indices de toxicité oxygène : horloge O2 & UPTD

*Règles sur les consommations ?*

Règle des tiers :

- 1/3 de la pression bouteille pour l'aller
- 1/3 de la pression bouteille pour le retour
- 1/3 de la pression bouteille **en réserve par mesure de sécurité**

**Pression de demi-tour = Pression après le premier tiers consommé**

## **PHYSIOLOGIE : MISE AU POINT SUR LES MECANISMES DE LA TOXICITE DE L'O2 :**

L' I.N.P.P. est agréé "**Bureau de Normalisation des Activités Aquatiques et Hyperbares**" depuis le 27 juillet 1988 par décision du Ministère de l'Industrie et de l'Aménagement du Territoire, (cosignée par les Ministères du Travail, de l'Équipement et des Transports, de la Défense et par le Secrétariat d'État à la Mer).

Puis renouvellement de l'agrément en janvier 2004 par la délégation interministérielle aux Normes.

**Le B.N.A.A.H : Une double compétence**

**1 - Participation à la création et à l'élaboration des normes européennes.**

**2 - Normalisation des matériels et équipements spécifiques, ainsi que des procédés et méthodes dans leur mise en œuvre dans les domaines :**

- des activités subaquatiques et hyperbares,
- des activités aquatiques relatives aux moyens de survie, sauvetage et sécurité.

Le B.N.A.A.H intervient dans le cadre de la Normalisation des matériels et équipements spécifiques ainsi que des procédés et méthodes dans leur mise en œuvre dans les domaines des activités subaquatiques et hyperbares. L'Institut procède également à la normalisation des activités aquatiques pour ce qui concerne les moyens de survie, sauvetage et sécurité.

### L'Oxygène, un gaz toxique?

Vous êtes-vous déjà demandés pourquoi dans notre atmosphère l'oxygène, pourtant si important à la vie n'est pas majoritaire? L'azote qui est un gaz inerte, c'est à dire qui n'intervient pas dans notre métabolisme, constitue 80% de l'air que nous respirons, pourquoi? Nous connaissons tous le pouvoir comburant de l'oxygène, il permet aux flammes de continuer la combustion, les réactions d'oxydations nous sont familières ne fut ce que par nos souvenirs du cours de chimie. En réalité l'oxygène est dangereux et même toxique; et l'azote dans l'atmosphère agit comme diluant pour nous permettre de vivre et ....D'inventer le moteur à explosion, les réacteurs, le feu etc.....En 1878, Paul Bert exposa des pinsons à une pression de 15 et 20 atmosphères en respirant de l'air et tous eurent des convulsions et ....Moururent. Il observa que si on plaçait ces oiseaux à une pression d'oxygène réduite de 20%, les mêmes effets s'observaient. Il supposa au départ que ces animaux mouraient par une production endocrine de "poison" du système nerveux du à la haute pression. Il décida de transfuser le sang des pinsons morts après convulsions à des individus non soumis à la pression. Le résultat fut négatif; aucun des animaux non comprimés ne mourut. Ceci porta Bert à la conclusion que l'oxygène avait une action directe de toxicité sur le système nerveux et le publia dans son ouvrage désormais bien connu "La Pression Barométrique".

### HISTORIQUE EN MATIERE DE PLONGEE NITROX (UNE VIEILLE HISTOIRE QUI PERDURE..)

#### Études de la Royal Navy

- Les études du Dr Kennet Donald constituent la base de ce que nous savons en matière de toxicité du système nerveux central à l'oxygène, à savoir. **Il y a une large variation individuelle pour la prédisposition et le temps d'apparition des symptômes. C'est ce qui se réfère à la " tolérance à l'oxygène ". Comparativement à des expositions sèches, la plongée réduit une grande partie de la tolérance à l'oxygène, diminuant le temps d'exposition d'un facteur 4 ou 5.**
- **L'exercice diminue de beaucoup la tolérance à l'oxygène, comparativement au reste.**
- **Plonger dans une eau très froide (9°) ou très chaude (31°) semble réduire la tolérance à l'oxygène.**

Le but de cette recherche était de développer un ensemble de limites d'exposition à l'oxygène - c'est à dire la table qui indiquerait pendant combien de temps un plongeur pourrait respirer de l'oxygène à 100% à diverses profondeurs, en dépit de la grande variabilité individuelle et interpersonnelle. Comme résultat de cette étude, la Royal Navy considère qu'il est peu prudent de respirer de l'oxygène à 100% en dessous d'une profondeur de 7.6 mètres (une pression partielle d'oxygène de 1.76 ata). En fait, 7.6 mètres a été la profondeur la plus profonde testée à l'oxygène. Aucun temps limite d'exposition n'avait été donné, mais le temps le plus long testé fut de 2 heures. La Royal Navy effectua les plongées les plus profondes en utilisant des mélanges oxygène-azote dans leur circuit respiratoire semi fermé nouvellement développé. Ce fut le commencement de l'ainsi nommée " plongée aux mélanges ", où le gaz respiré est un mélange d'oxygène et d'azote (notamment) plutôt que d'être simplement de l'air atmosphérique comprimé.

#### Études de l'US Navy

En 1950, le Dr E.H. Lanphier examina si les limites d'exposition à l'oxygène pouvaient être développées pour des plongées plus profondes que 7.6 mètres en respirant 100% d'oxygène. La Table 1 montre les limites qu'il recommande. Les limites d'exposition à 100% d'oxygène de la Table 1 sont restées en vigueur jusqu'en 1970 et avec quelques faibles modifications jusqu'en 1991 quand elles furent à nouveau adaptées. Les recherches comprennent aussi comment ces limites peuvent être appliquées aux pressions partielles d'oxygène rencontrées en plongée au Nitrox.

Durant une plongée au Nitrox, des pressions partielles d'oxygène similaires à celles utilisées dans les plongées à 100% d'oxygène peuvent être rencontrées, mais puisque de l'azote a été ajouté, cette pression partielle est atteinte à une plus grande profondeur et, par conséquent à une plus grande densité de gaz respiré.

Cette densité augmentée du mélange inspiré implique un effort accru des muscles respiratoires avec comme conséquence une augmentation de production de dioxyde de carbone et une fatigue accrue. La suite des investigations se pencha sur ce problème.

## **Découvertes U.S.**

L'augmentation de la densité de gaz rencontrée durant les plongées au Nitrox entraîne un temps d'exposition à une pression partielle d'oxygène donnée plus court que pour une respiration à 100% d'oxygène, qui peut seulement être utilisé à une faible profondeur et qui résulte en une plus faible densité de gaz.

La raison de cette diminution de la tolérance durant une plongée en respirant du Nitrox a été expliquée comme étant due à une diminution de l'élimination du dioxyde de carbone à de plus grandes profondeurs, impliquant un plus haut taux de dioxyde de carbone sanguin.

Ceci pourrait signifier que le plongeur est plus sensible à la toxicité de l'oxygène. Cette limitation de temps d'exposition de la U.S. Navy au mélange Nitrox est montrée dans la Table 2. Notez qu'en comparant avec la Table 1, relative à la respiration d'oxygène à 100%, cette table donne un temps plus court pour la même pression partielle. Suite à l'apparition du respirateur à circuit fermé, l'US. Navy n'a plus utilisé longtemps le Nitrox et n'a plus publié de limites d'exposition dans ses manuels officiels de plongée.

## **Le conflit - et quelques bons conseils**

Les Anglais n'étaient pas en accord avec les données de Lanphier, et la Royal Navy considéra que les limites de temps pour le Nitrox étaient identiques à celles pour l'oxygène pur. Le travail du Dr Lanphier est certainement significatif sur le fait que les plongeurs doivent rester très prudents avant d'extrapoler les limites d'expositions à l'oxygène basées sur une respiration à 100% d'oxygène aux plongées avec Nitrox à une plus haute densité de gaz. Idéalement, les limites au Nitrox devraient être testées à la densité maximale de gaz anticipée pour leur usage.

## **Limites d'exposition à l'oxygène - Approfondissement des études U.S.**

A la fin des années 1970 et début des années 1980, la Navy Experimental Diving Unit (NEDU) a procédé à une série d'études afin d'en savoir plus sur le temps d'exposition à l'oxygène pur à de faibles profondeurs durant un entraînement typique des nageurs de combats nageant sous l'eau durant une longue distance. (Rappelez-vous, le temps d'exposition développé pour un plongeur au repos pourra causer des problèmes à un plongeur en exercice, puisque l'exercice diminue la tolérance à l'oxygène.) La conclusion de l'étude fut que quatre heures d'exposition à 7.6 mètres (1.76 ata) ont une faible probabilité de causer des symptômes neurologiques mais ne sont pas sans risques puisque l'on rapporte le cas d'une convulsion à cette profondeur après 72 minutes d'exercice. Vu ce risque, il est recommandé qu'une exposition de routine ne soit pas portée à plus de 6.1 mètres de profondeur (1.6 ata) pour une durée de plus de 4 heures. Même si cette recommandation n'élimine pas

complètement la possibilité d'une convulsion. Ces études ont eu leur part de convulsions hyperoxiques et vérifient leur imprévisibilité comme l'avait observé le Dr Donald il y a presque 40 ans. Une des caractéristiques de ces convulsions est qu'elles apparaissent généralement avec un faible ou pas d'avertissement. Avec l'avènement du nitrox en plongée loisir et sportive, il est sage de prendre en considération ces études.

Le Dr Andrea Harabin a analysé l'exposition humaine à l'oxygène des études de la NEDU et employa un modèle mathématique afin de prédire la probabilité d'apparition des symptômes de Toxicité du système nerveux central à l'oxygène. (Voir référence 2).

Elle découvrit que le modèle avait un seuil de 1.3 ata ; c'est à dire la probabilité qu'un symptôme neurologique apparaisse à ou sous ce niveau de pression serait quasiment nulle. Lorsque le Dr Harabin considéra uniquement les convulsions et les symptômes objectifs précis, elle trouva un seuil de 1.7 ata. Cette analyse reflète à nouveau le large degré d'incertitude inhérente à ce type d'études humaines. Donc, quel taux d'oxygène peut être respiré en toute sécurité ? Actuellement, la U.S. Navy utilise 1.3 ata comme limite maximum pour des plongées à circuit fermé - le seuil de conservation le plus optimal trouvé par le Dr Harabin pour les plongeurs en exercice. En utilisant ce circuit fermé, les expositions excédant huit heures sont possibles, et au niveau 1.3 ata, la probabilité de toxicité neurologique à l'oxygène serait vraiment infime. La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) aborde la question d'une manière légèrement plus prudente, en recommandant 180 minutes à 1.3 ata pour une exposition normale et seulement 240 minutes pour une exposition exceptionnelle (voir Table 3).

Les Limites NOAA reprises dans la Table 3 sont basées sur les résultats des études de la NEDU réalisées dans les années 80, tenant en compte l'augmentation de densité de gaz rencontré dans les plongées avec nitrox.

Les "limites d'exposition normale" sont plus longues que les limites avec nitrox proposées par le Dr Lanphier dans la Table 2 mais sont pratiquement un peu moins élevées que les 240 minutes, d'exposition à 1.6 ata, couramment autorisées par la US Navy pour les plongées à 100% d'oxygène.

PADI a recommandé une limite de 1.4 ata pour une plongée nitrox à circuit ouvert. Comme ce circuit ouvert n'exposera pas continuellement le plongeur à ce niveau de pression partielle, en pratique, il sera aussi sûr, ou même plus sûr que la limite de 1.3 ata de l'US Navy pour les expositions en continu.

La difficulté résidait dans le fait que la plongée loisir se pratique généralement avec des plongées répétitives; sur ce point, DSAT (Diving Science and Technology corp.) en prenant exemple sur les tables NOAA, a ajouté au temps d'exposition un indice qui se cumule au fur et à mesure des plongées; il ne faut pas dépasser 100% d'indice par 24 heures (cf.: NOAA). Les tables loisirs sont construites sur le modèle du calcul des paliers basé sur la profondeur équivalente en respirant de l'air. Lorsque on calcule un temps d'exposition équivalent à 100%, par exemple en considérant plusieurs plongées à 1.2 ata d'oxygène: 105 min. (50%) +72 min. (30%) +42 min. (20%) = 100% et nous voyons qu'en termes de temps d'exposition on obtient 239 min. ce qui rejoint la durée totale permise par les tables NOAA pour une durée de 24h, à savoir 240 min.

Ceci démontre que les tables DSAT sont conçues pour une plongée avec scaphandre à circuit ouvert, sans efforts et avec une grande marge de sécurité; d'autant plus que les plongées en cumulant les mêmes pressions partielles d'oxygène ne sont pas conseillées.

En fait, le faible temps d'exposition au rang de 1.3 à 1.4 ata sert principalement à éviter la toxicité pulmonaire de l'oxygène ; la probabilité de toxicité neurologique à ce niveau est très faible et probablement pas très différente au-dessus de cette marge.

### **Est-il possible de respirer de l'oxygène à un plus haut niveau de pression partielle d'oxygène (ppO2) ?**

La réponse est oui, mais ! Les analyses du Dr Harabin donnent un seuil limite de 1.7 ata (7 mètres) pour un plongeur en exercice quand on considère seulement les "convulsions" et les symptômes "définis". C'est

dangereusement près de 7.6 mètres (1.76 ata) de profondeur que des convulsions ont été rapportées, donc remonter à 6.1 mètres (1.6 ata) donne un peu plus de marge.

Actuellement, la US Navy permettrait une exposition d'exercice à cette pression partielle durant plus de quatre heures, mais cela suppose une respiration à 100% d'oxygène à 7.6 mètres par des nageurs de combat entraînés. Une augmentation de profondeur de seulement 1.5 mètres mettrait le plongeur dans une situation où des convulsions ont été rapportées, et les plongeurs qui ont tendance à retenir le dioxyde de carbone durant les exercices courent un plus grand risque.

La limite de la NOAA pour la plongée avec Nitrox à 1.6 ata est de 45 minutes pour une plongée normale et de 120 minutes pour une plongée à exposition exceptionnelle. Durant une plongée à 30 mètres avec nitrox faite au centre Hypo/Hyperbarique F.G. Hall de la Duke University, respirant 1.6 ata de ppO<sub>2</sub> (pression partielle d'oxygène) durant un exercice intense, une convulsion est apparue après 40 minutes. Peut-être qu'elle ne se serait pas manifestée avec un niveau moins élevé d'exercice, mais cela semble indiquer que la limite de la NOAA de 45 minutes pour 1.6 ata lors d'une plongée avec nitrox n'est pas particulièrement prudente.

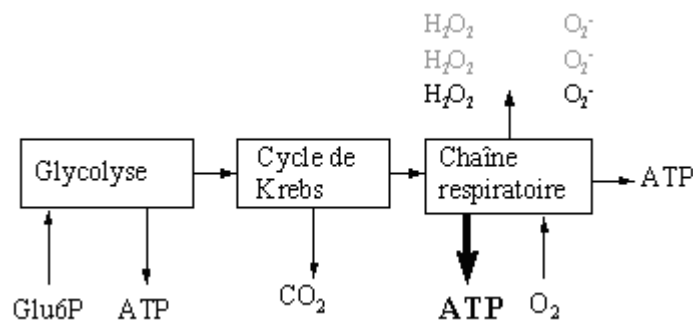
Respirer 100% d'oxygène durant la décompression à 6.1 mètres est une pratique courante, et à cette profondeur, la pression partielle serait d'environ 1.6 ata. A cette faible profondeur, sous certaines conditions au repos, la possibilité de toxicité du système nerveux central à l'oxygène sera très faible. Mais, comme pour de nombreuses autres choses, ce n'est pas certain, comme mis en évidence dans un récent rapport sur des convulsions à 6.1 mètres durant une décompression de plongée technique après avoir effectué une plongée sur le Lusitania.

## LES NOUVELLES THEORIES : EXPLIQUER LES ACCIDENTS IMMÉRITES

### LA BIOCHIMIE DE L'OXYGENE

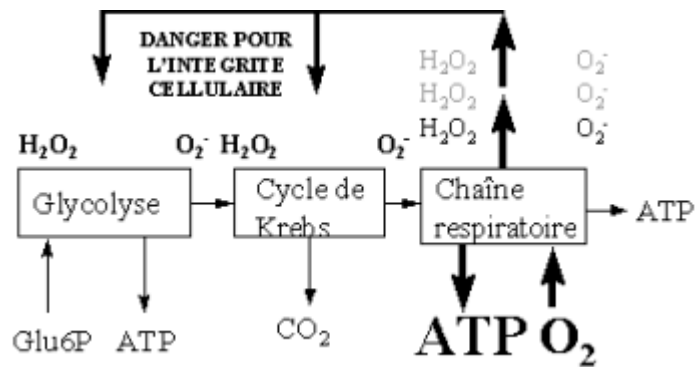
Le métabolisme de l'oxygène est la première source d'énergie des différentes formes de vie complexes mais vu les dangers d'oxydations inhérent à l'utilisation d'un gaz tel que l'oxygène, toute une série de réactions sont élaborées de sorte que les cellules ne souffrent aucunement et que, pas à pas, l'énergie soit récupérée. L'énergie est stockée sous forme de ATP (Adénosine tri phosphate) cette molécule est formée suivant diverses chaînes de réactions comme la glycolyse anaérobie qui produit relativement peu d'ATP mais l'acide pyruvique formé par glycolyse entre dans le cycle de Krebs qui grâce à la chaîne de transport des électrons (chaîne respiratoire) parvient à former 38 ATP par molécule de glucose.

La plupart des ATP sont formées dans la chaîne respiratoire et l'oxygène n'intervient que très tard dans cette

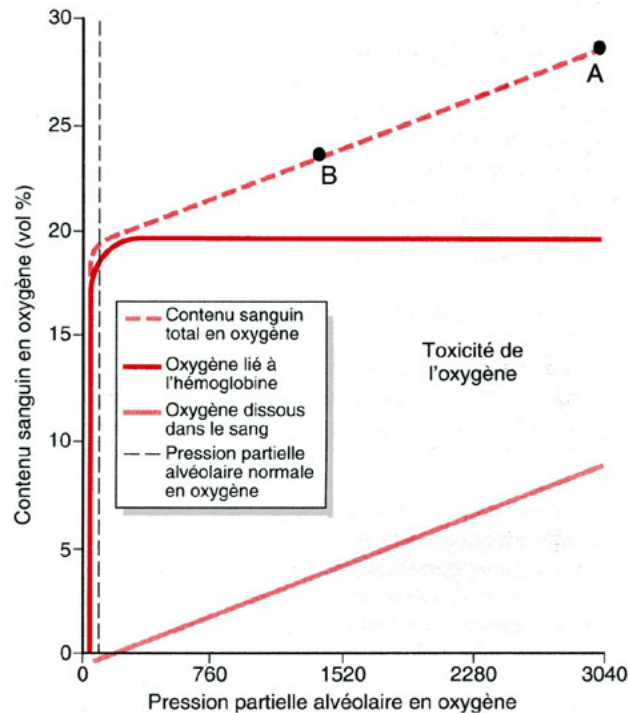


Si l'oxygène devait entrer dans cette chaîne de réactions plus tôt, par exemple dans des conditions de pression partielle élevée d'oxygène, des molécules très réactives, les radicaux libres d'oxygène comme l'ion superoxyde : O<sub>2</sub><sup>-</sup> ou bien d'autres molécules comme le peroxyde d'hydrogène H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (eau oxygénée) se forment.

Dans des situations physiologiques, ces molécules oxydantes, se forment en moindre quantité et dans des sites qui sont protégés par le fait qu'ils contiennent des enzymes spécifiques comme la CATALASE ou bien la SUPEROXYDE DISMUTASE(SOD) qui permettent la prise en charge de telles molécules.



En conditions hyperbares, cette protection peut être dépassée car les activités ou les quantités enzymatiques ne sont pas suffisantes pour contrecarrer l'apport important de réactifs.



Lorsque la PO<sub>2</sub> insp. augmente, on va dépasser le pouvoir Tampon du sang et l'O<sub>2</sub> va se trouver dissous à des concentrations croissantes

### INCIDENCES PHYSIOLOGIQUES DE L'OXYGENE

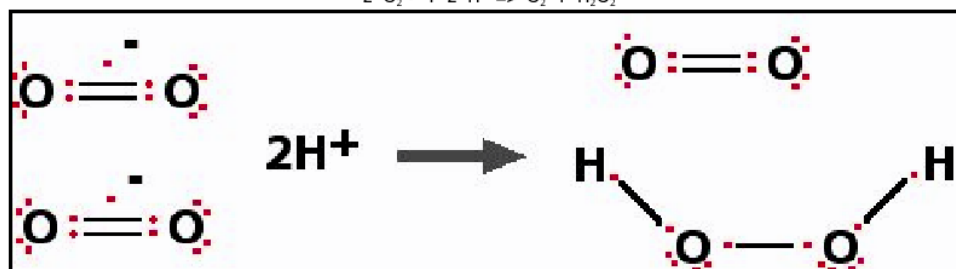
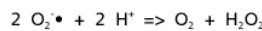
- Quatre notions fondamentales:
  - Les mécanismes des radicaux libres
  - La rétention de CO<sub>2</sub>
  - Prévention et compteur SNC (CNS Clock)
  - Prévention avec les UPTD et OTU
- Unit Pulmonary Toxicity Dose



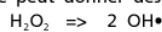
**LES RADICAUX LIBRES**

Un atome ou une molécule qui existe temporairement avec au moins un électron non apparié sur son orbitale externe (le chemin des électrons le plus éloigné du noyau, celui qui est en contact avec d'autres atomes). Cette situation est instable car l'atome a tendance rétablir la situation en essayant d'apparier cet électron; et ce, soit en "prenant" un électron complémentaire, soit en "donnant" le sien. **Certains** radicaux libres sont très utiles comme ceux qui participent à la contraction musculaire ou bien dans la réponse immunitaire. Le surplus de radicaux libres est plus gênant car il peut diminuer les capacités de perméabilité cellulaire. **Les** membranes cellulaires sont formées de lipides et de protéines; les lipides (graisses) sont des phospholipides qui ont une orientation polaire. Un des deux pôles est hydrophobe et l'autre hydrophile cette particularité permet à la membrane d'être semi-perméable. Chimiquement cela se produit grâce à la conformation spatiale des molécules des phospholipides; il ont des "jambes"; et ces "jambes" ne sont pas tendues, mais sont en flexion de +/- 120° parce que les chaînes d'acides gras qui les forment son de type poly-insaturé. Les doubles liaisons qu'ils comportent forment ces angulations qui facilitent les échanges. **Les** radicaux libres détériorent ces doubles liaisons et diminuent en conséquence la perméabilité membranaire (peroxydation). **Les** radicaux libres prennent les électrons dont ils ont besoins dans l'hémoglobine, les membranes cellulaires, les enzymes protéiques, ce qui diminue l'efficacité de ces agents. **De plus**, ces molécules déstabilisées deviennent elles-mêmes des radicaux libres et tendent vers leur stabilité en produisant une réaction en chaîne. **Il** va de soi que nous retrouverons des signes de ce genre de "toxicité" dans des sites qui ont un besoin métabolique important ou bien où l'on trouvera un grand nombre de molécules réactives par apport d'oxygène.

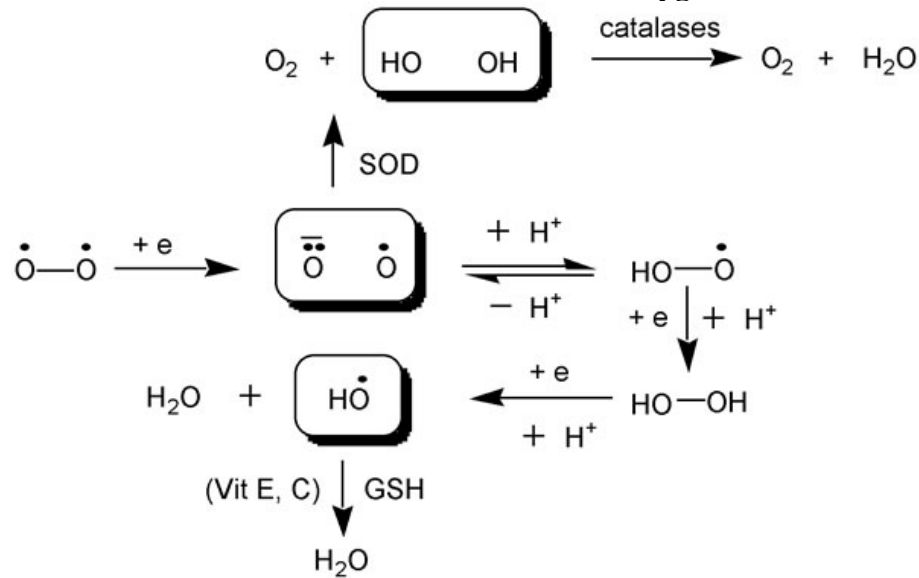
La molécule de dioxygène	
L'ion superoxyde (un électron supplémentaire sur le dioxygène)	
Le radical hydroxyle	
Le peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée)	



Cependant dans certains cas, l'anion superoxyde peut donner des composés plus réactifs :



## Destruction des Radicaux libres oxygénés



Les Radicaux libres oxygénés sont hautement toxiques

- oxydation des acides gras poly insaturés
- oxydation des systèmes enzymatiques
- dysfonctionnement du SNC: hyperexcitabilité neuronale (épilepsies)
- Inflammation des tissus pulmonaire (congestion de la muqueuse  
Bronchique, Œdème pulmonaire, atélectasie,  
Fibrose pulmonaire)

### Facteurs favorisant la production massive de radicaux libres en plongée subaquatique

Les causes de stress et d'exposition aux Radicaux Libres sont nombreuses :

- Biochimiques, par apport massif d'oxygène tissulaire (plongée Nitrox), inutile à la physiologie mais corollaire de la pression de service obligatoire pour contrecarrer la pression hydrostatique s'exerçant sur l'appareil ventilatoire : donc, production massive de radicaux libres de l'oxygène.
- Ischémique/revascularisation en cas d'obstruction vasculaire d'origine bulleuse, même infra cliniques, lors de la remontée.
- Thermique, par le refroidissement brutal contrastant au bain de soleil forcé sur le bateau.
- Barométrique, mécanique par la dilatation des bulles d'azote dans les tissus, voire traumatique.
- Et enfin psychique (épaves, visibilité, profondeur et obscurité, fatigue, angoisse d'un nouveau profil de plongée, etc....)

- Toxicité de l'O2
- PalvO2 > 1500 mmHg
- Dépassement du pouvoir tampon de l'Hb
- O2 dissout sous forme libre

➤ Atteinte des tissus / Formation excessive de radicaux libres

Les deux sites préférentiels dans de tels cas sont: le système nerveux central (effet Paul Bert) et les cellules des alvéoles pulmonaires (effet Lorrain Smith).

En ce qui concerne la toxicité pulmonaire, elle intervient de façon non encore totalement élucidée; les hypothèses sont que les alvéoles se collapsent ou que les enzymes des cellules formant les alvéoles ne jouent plus leurs rôles ou bien qu'un phénomène oxydatif de type inflammatoire se produise et augmente l'épaisseur des membranes alvéolaires limitant ainsi la diffusion de l'oxygène vers le sang mais en même temps l'élimination de CO<sub>2</sub>. Les symptômes objectifs de la toxicité pulmonaire sont de la toux mais surtout une diminution significative de capacité vitale des individus atteints. Cette toxicité serait dose-dépendante.

Nous comprenons que ces particularités de l'oxygène intéressent au premier plan les plongeurs militaires qui utilisent ce gaz de façon intensive. Au cours du temps, des études sur les réactions de l'homme en milieu hyperbare respirant de l'oxygène pur, ont été conduites principalement par la marine anglaise et américaine; des contributions françaises et italiennes ne sont pas à négliger; mais nous nous focaliserons sur les études anglo-saxonnes.

## **RETENTION DE CO<sub>2</sub>**

**Pourquoi l'accumulation de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) pourrait devenir un problème lié à l'augmentation des densités de gaz ?** Il y a eu plusieurs études montrant que la profondeur augmentant pendant la respiration d'air, le taux d'oxygène élevé et l'augmentation de la densité de gaz diminuera notre rythme respiratoire et de ce fait le taux d'élimination du dioxyde de carbone. Ceci augmentera le niveau sanguin de dioxyde de carbone, même si tous les plongeurs ne diminueront pas leur rythme respiratoire dans la même proportion. Le Dr Lanphier étudia le problème sur des plongeurs qui tentèrent de respirer plus lentement durant leurs plongées par rapport à leur habitude normale - ainsi nommés "carbon dioxide retainers". Il découvrit que ces individus seraient plus susceptibles à la toxicité neurologique centrale de l'oxygène lors de la respiration de mélanges Nitrox. **Un plongeur utilisant du nitrox devrait-il s'inquiéter du fait d'être un "accumulateur de CO<sub>2</sub>" ?** Malheureusement, il n'existe pas de tests valables qui permettent d'identifier sérieusement les "carbon dioxide retainers". La meilleure stratégie pour l'instant est de tenir compte des limites dangereuses d'exposition à l'oxygène. Cependant, un bon conseil serait de garder une bonne forme physique; car nous savons que les systèmes cardiaque et respiratoire sont plus efficaces pour des personnes entraînées ainsi que les systèmes tampon sanguins pour diminuer le taux sanguin de dioxyde de carbone.

## **TOXICITE NEUROLOGIQUE ET CRISE CONVULSIVE (EFFET PAUL BERT)**

### **Symptômes de toxicité neurologique rencontré dans les études de la NEDU (Navy Experimental Diving Unit of USA)**

**Convulsions** : le symptôme le plus grave et celui à éviter à tout prix

Se traduit par : contraction musculaire, tintements et sifflements d'oreilles, vision floue, désorientation, aphasia (impossible de s'exprimer par la parole), "nystagmus" (va-et-vient rapide des yeux), ou incoordination. Autres signes probables : d'autres signes plus équivoques qui peuvent être dus à une toxicité de l'oxygène ou à d'autres causes : "tête légère", malaise ("je ne me sent pas bien"), léthargie et nausée.

## Recommandations

Une chose que vous devez toujours garder à l'esprit est que la toxicité de l'oxygène est inconstante ; des convulsions sont apparues à de faibles profondeurs dans des conditions où la plupart des experts n'auraient jamais pensé qu'elles puissent survenir. Ainsi, de même qu'un plongeur respirant de l'air comprimé, comment appréhendez-vous une plongée nitrox ? La réponse est : **avec prudence**.

**Premièrement**, lorsqu'un gaz est respiré avec un dosage d'oxygène dépassant 21 %, vous devez vous attendre à une possible toxicité de l'oxygène, et par conséquent, avoir l'entraînement requis.

**Deuxièmement**, utiliser l'équipement désigné pour compresser les mélanges à haut taux d'oxygène peut être dangereux en soi et requiert un entraînement particulier.

**Troisièmement**, ce que vous avez dans votre bouteille peut ne pas être ce que vous pensez ! Une méthode d'analyse du taux d'oxygène dans la bouteille, indépendamment de la station de remplissage, devrait être disponible.

**Quatrièmement**, si vous êtes tentés par des masques faciaux, rappelez-vous que ce sont des pièces très complexes du matériel de survie qui requièrent beaucoup plus de soin que le bon vieux détendeur. Si vous utilisez des masques faciaux, attendez-vous à affronter un entraînement adapté et des coûts de maintenance élevés.

Enfin, le problème sera de garder la possibilité d'une toxicité de l'oxygène à son minimum.

### Mais encore ...

Pour un scaphandre autonome à circuit ouvert, il faut considérer **la région "feu vert" à la pression partielle d'oxygène de 1.4 ata ou moins** (à environ 25 mètres avec un mélange de 40%). Tant que ce niveau ne sera pas dépassé, les autres limitations du scaphandre autonome à circuit ouvert limiteront le temps de fond à des durées où la toxicité de l'oxygène est fort peu probable, même pour des durées se rapprochant des quatre heures.

### Procédons avec prudence

**Entre 1.4 ata et 1.6 ata (30 mètres à un mélange de 40 %), c'est la région du "feu orange"**. La probabilité de la toxicité de l'oxygène à 1.6 ata est faible, mais la marge d'erreur est très mince comparée à 1,4 ata. Des variations personnelles, des incursions profondes imprévues et la possibilité d'exercices lourds en cas d'urgence augmentent la possibilité de toxicité de l'oxygène et la prudence est de rigueur. Donc, des niveaux de 1.5 à 1.6 ata devraient être réservés à des conditions où le plongeur est complètement reposé, aussi décontracté que durant un palier de décompression.

### STOP !

**Au de la de 1,6 ata c'est le "feu rouge"**. Ne le franchissez pas !

Oui, il est évident que des expositions courtes à des niveaux supérieurs de pO<sub>2</sub> (pression partielle d'oxygène) sont possibles, mais les convulsions le sont également. Même un exercice doux peut augmenter le taux de risque pour les plongeurs : et même un scaphandre autonome à circuit ouvert peut permettre des durées d'exposition telles pouvant les mettre en difficulté à ces profondeurs.

## **Enfin...**

La plongée nitrox peut étendre les périodes au fond ou diminuer la possibilité de maladies de décompression, cela dépendant de la manière dont elle est utilisée, mais cela augmente le risque de toxicité de l'oxygène.

Les maladies de décompression surviennent rarement dans l'eau et sont très rarement mortelles.

Si une convulsion à l'oxygène apparaît, ce sera presque toujours sous l'eau, compliquant énormément le traitement. Ainsi, bien que la probabilité des convulsions soit faible, la possibilité d'atteintes sévères et mêmes mortelles est élevée si elle survient. L'expérience et un entraînement adéquat sont donc essentiels.

## **NEUROTOXICITE DE L'OXYGENE**

### **CRISE HYPEROXIQUE**

#### •Phase tonique (1 min):

- contractions généralisées
- apnée, le larynx est fermé
- perte de connaissance

#### •Phase clonique (2-3 min):

- convulsions
- morsure de la langue, le larynx est fermé
- perte d'urine

#### •Phase de dépression post-convulsive (10min)

## **Que faire en cas de toxicité à l'oxygène ou de convulsions ?**

Une convulsion à l'oxygène est très rare, mais potentiellement dangereuse.

Selon les sections 14.9.1.1 et 14.9.1.2 du "USN Dive Manual", la procédure suggérée pour traiter ces crises est :

- Gestion des symptômes autres que convulsifs. Le plongeur malade doit prévenir son compagnon de plongée et faire une remontée contrôlée vers la surface.
  - Le gilet de la victime doit être gonflé (si nécessaire).
  - Le compagnon de plongée doit surveiller de près la progression des symptômes.

Gestion des convulsions sous l'eau. Les précautions suivantes doivent être prises lors du traitement d'un plongeur victime de convulsions :

### **Gestion des convulsions sous l'eau**

- **a)** assurer une position à l'arrière du plongeur victime de convulsions. Libérer la ceinture de plomb de la victime, à moins qu'il ne porte une combinaison étanche, auquel cas la ceinture doit être maintenue en place afin d'éviter que le plongeur ne se retrouve à la surface la tête vers le bas.
- **b)** laisser l'embout dans la bouche de la victime. S'il ne se trouve pas dans sa bouche, n'essayez pas de le replacer ; toutefois, si le temps le permet, assurez-vous que l'embout est placé sur la position de surface (applicable uniquement pour les respirateurs à circuit fermé).
- **c)** saisissez la victime par le torse au-dessus du scaphandre (UBA) ou entre le UBA et le torse. Si des difficultés sont rencontrées de cette manière, le sauveteur doit utiliser la meilleure méthode possible pour contrôler la victime. Les sangle de taille ou le collier peuvent être saisis si nécessaire.

- **d)** faites une remontée contrôlée vers la surface, en maintenant une légère pression sur la poitrine de la victime pour aider à l'expiration.
- **e)** si une flottabilité additionnelle est requise, activez le gilet de la victime. Le sauveteur ne doit pas libérer sa propre ceinture de plomb ou gonfler son propre gilet de sauvetage.
- **f)** en regagnant la surface, gonflez le gilet de sauvetage de la victime, si cela n'a pas encore été fait.
- **g)** ôtez l'embout de la victime et tournez la valve sur SURFACE afin d'éviter la possibilité d'une inondation de la plate-forme (applicable uniquement aux respirateurs à circuit fermé).
- **h)** prévenir les secours médicaux.
- **i)** Lorsque la convulsion s'arrête, ouvrir les voies aériennes de la victime en basculant prudemment la tête en arrière.
- **j)** assurez-vous que la victime respire. Le bouche-à-bouche peut être entamé si nécessaire.
- **k)** si un changement d'altitude survient durant les convulsions, transportez la victime dans la chambre hyperbare la plus proche et laissez-la examiner par une personne qualifiée et traiter l'accidenté.

Évidemment, un masque couvrant entièrement le visage est la meilleure façon de plonger avec un mélange à taux élevé d'oxygène, puisque le plongeur peut rester sous eau jusqu'à la fin des convulsions. Si le plongeur respire via un embout, il ne reste pas d'autre solution que de le remonter, puisque dès que les convulsions cessent, il tentera de respirer.

Le point g.) susvisé doit être modifié si la victime respire du nitrox en utilisant un scaphandre autonome à circuit ouvert. Si des convulsions surviennent, vous ne pourrez pas replacer l'embout; or, cela ne peut jamais être effectué par la force.

Quand les convulsions cessent, si l'embout est correctement placé (ou si le plongeur porte un masque couvrant entièrement le visage) et si le plongeur se trouve toujours dans l'eau et respire, laissez alors tout en place jusqu'à ce que vous puissiez sortir le plongeur de l'eau. S'il ne respire pas, dégagez l'embout, une fois à la surface, et commencez la respiration artificielle.

L'essentiel, lorsque le plongeur accidenté se trouve dans l'eau, est de lui éviter la noyade. Ensuite, il faut s'assurer que ses voies aériennes sont bien dégagées après l'arrêt des convulsions, en plaçant la tête en légère extension.

Enfin, vérifiez qu'aucun corps étranger n'obstrue la trachée.

## **PREVENTION ET COMPTEUR SNC (CNS CLOCK)**

- La notion de Compteur SNC (CNS clock)

$$\% \text{ du compteur SNC} = \frac{\text{Durée d'exposition à une Pp O}_2 \text{ donnée}}{\text{Durée maximale donnée par la table NOAA}}$$

- Utilisation de la table du NOAA

- Plongée simple: on vérifie la limite dans la table.
- Plongée successive: on vérifie la limite dans la table.
- Si dépassement on respire obligatoirement de l'O<sub>2</sub> normoxique dans l'intervalle.
- On s'interdit donc de respirer de l'O<sub>2</sub> pur en surface.

- Tableaux des CNS clock calculés à partir des tables du NOAA :

- Tableau Air
- Tableau nitrox 40/60
- Tableau nitrox 36/64
- Tableau nitrox 32/68

- Exemple de calcul 1:**

Cas d'une plongée de 30 mn à 30 m avec un nitrox 40/60

PpO<sub>2</sub> = 1,6 b

Pour 1,6 b, la table NOAA donne 45mn maximum pour une plongée simple.

Le Compteur SNC est donc à  $30/45 = 66,7\%$

Le Compteur SNC (hors paliers) est donc à  $30/360 = 8,33\%$

Dans tous les cas de décompression à l'oxygène pur, le Compteur SNC continue bien évidemment de tourner...

## **TOXICITE PULMONAIRE DE L'OXYGENE « effet LORRAIN SMITH »**

### **Apparition et mécanisme**

- Exposition de très longue durée PPO<sub>2</sub> > 0.5
- Irritation pulmonaire
- inflammation locale, déficit en surfactant
- œdème interstitiel puis alvéolaire

### **PREVENTION (UPDT ET OTU)**

- Calcul dose d'UPDT
- Calcul dose d'OTU

LA TOXICITE PULMONAIRE n'est pas à craindre lors de PLONGEE LOISIR NITROX.  
NE PAS DEPASSER 2H D'IMMERSION.

- Prévention avec les UPDT (Unit Pulmonary Toxicity Dose)

1 UPDT = 100% d'O<sub>2</sub> pendant 1 mn à 1 ata

- Formule de calcul:

–Dose (UPDT) = Durée (mn) x Kp

–où  $Kp = ((PpO_2 - 0,5)/0,5)^{0,83}$

## Limites généralement admises

- En cas de traitement les anglo-saxons admettent une dose maximale d'UPTD de 1440 par jour.
- En France la dose maximale admissible se situe à 600 (Dr GARDETTE) lors d'activités opérationnelles.
- Durée maximale recommandée à une PpO<sub>2</sub> de 1,6 b ==> 4 h.
- La FFESSM recommande de ne pas dépasser 2h quelque soit la PpO<sub>2</sub>.

### •Exemple d'application:

Cas d'une plongée de 120 mn à 20m avec un nitrox 40/60.

PpO<sub>2</sub> = 1,2 b

Dose (UPTD) = 120 x 1,32 = 158,4

Cas d'une plongée de 120 mn à 30 m avec un nitrox 40/60

PpO<sub>2</sub> = 1,6 b

Dose (UPTD) = 120 x 1,93 = 231,6

### •Prévention ave les OTU (Oxygen Toxic Unity)

Essai d'unifier la quantification des deux types de toxicité (hyperoxique et pulmonaire) dans un concept de toxicité globale.

==> Repex Method

1 OTU = 1 UPTD soit 1 mn d'exposition à 1 bar (pression absolue ou partielle) d'oxygène.

### •Exemple d'application:

Jour 1 matin: plongée 30 m pendant 1 h (40/60)

Jour 1 am: plongée 20 m pendant 1 h 30 (40/60)

Le jour 2 on souhaite plonger à 35 m pendant 1 h (32/68)

Calcul des OTU:

Jour 1 Matin: PpO<sub>2</sub> = 1,6 b ==> Kp = 1,93

Dose (OTU) = 60 x 1,93 = 115,8

Jour 1 am: PpO<sub>2</sub> = 1,2 b ==> Kp = 1,32

Dose (OTU) = 90 x 1,32 = 118,8

Total Jour 1 ==> 234,6

Pas de Pb pour la journée car le seuil est à 850

### •Exemples d'application:

Jour 1 matin: plongée 30 m pendant 1 h (40/60)

Jour 1 am: plongée 20 m pendant 1 h 30 (40/60)

Le jour 2 on souhaite plonger à 35 m pendant 1 h (32/68)

Calcul des OTU:

Jour 2: PpO<sub>2</sub> = 1,44 b ==> Kp = 1,7

Dose (OTU) = 60 x 1,7 = 102

Total Jour 2 ==> 102

Total cumulé des deux jours ==> 234,6 + 102 = 336,6

Pas de Pb pour la journée et pas de Pb pour le cumul car le seuil est à 1400



## **AUTRES EFFETS**

Hypoxie: Liée à une mauvaise manipulation lors du gonflage du bloc. Mélange dangereux.

–Les procédures doivent éviter ce genre de problèmes

- Effets vaso-constricteurs de l'oxygène, notamment lors des paliers effectués à l'O<sub>2</sub> pur.
- Diminution du taux de perfusion conduisant à allonger les périodes de désaturation.

### **Expositions intermittentes à l'oxygène**

Rappelez-vous que les symptômes de la toxicité neurologique de l'oxygène sont un phénomène variable dans le temps. (Table 3). Si la pression partielle de l'oxygène inspiré augmente, la durée de l'exposition diminue.

En plongée nitrox, les plongeurs respirent avec un scaphandre à circuit ouvert avec une fraction d'oxygène fixe dans le mélange respiratoire. Lors de l'utilisation d'un circuit ouvert, la pression partielle d'oxygène de 1,4 ata maximum est atteinte seulement à la profondeur maximale, et pour la majorité des plongeurs amateurs, le temps passé à la profondeur maximale sera limité aux durées où la toxicité de l'oxygène est improbable

A toutes les profondeurs plus faibles, la pression partielle d'oxygène sera plus basse.

Des formules sont disponibles pour intégrer les expositions aux différentes profondeurs afin de prévoir exclusivement les effets de la toxicité pulmonaire de l'oxygène.

Jusqu'à présent, aucune formule n'a été développée qui permette l'intégration des expositions à l'oxygène à différentes profondeurs afin de déterminer les possibilités de toxicité neurologique de l'oxygène; peu de certitudes existent sur le sujet.

**Le mieux serait de dire qu'une seule plongée de 15 minutes à 12 mètres, ou de 5 minutes à 15 mètres, n'aura selon toute vraisemblance aucun effet significatif.**

Ceci constitue la base des recommandations de la US Navy.

DAN affine actuellement ces recommandations par des recherches en cours.

## **PLONGEE NITROX : CONTENUS DE FORMATION ET PEDAGOGIE ADAPTEE**

### **Le cursus fédéral**

- Deux niveaux de plongeurs:
  - Plongeur nitrox
  - Plongeur nitrox confirmé
- Un niveau de moniteur:
  - Moniteur Nitrox

### **Les prérogatives**

#### **•Plongeur Nitrox**

- Utilisation du mélange fédéral 40/60
- Mêmes prérogatives qu'à l'air

•

#### **•Plongeur Nitrox confirmé**

- Utilisation de tous les mélanges
- Décompression à l'oxygène pur

- Mêmes prérogatives qu'à l'air
- 
- Moniteur Nitrox:**
- Moniteur Nitrox est une qualification ce n'est pas un brevet.
- Validation des plongées nitrox
- Encadrement des stages de plongées nitrox
- Formation des plongeurs Nitrox et Nitrox confirmés.

## **TRANSPOSITION POUR LES FUTURS MONITEURS NITROX DES PRINCIPES PEDAGOGIQUES**

**PLONGEE AIR → PLONGEE NITROX**

### **La progression**

- **C'est l'utilisation des acquis pour développer un nouveau savoir**
- **Le rôle du futur moniteur Nitrox est d'organiser ces savoirs pour une évolution progressive des compétences de l'élève vers objectifs de plongeur**
- **Exemple :**
  - **Faire du poumon ballast avant de travailler la stabilisation en pleine eau à l'aide du gilet**
  - **Savoir maîtriser son niveau d'immersion avant de travailler la descente en pleine eau**
- **Il n'y a pas de progression toute faite ...**
  - **L'apprentissage de la RSE n'est pas nécessaire avant le travail en scaphandre si on reste à moins de 1,5 m ...**
  - **Il devient obligatoire pour une évolution aux limites de l'espace médian**
- **La progression permet de construire des séances successives cohérentes, avec des objectifs propres**

### **TOUT EN CIBLANT :**

- **UNE NOUVELLE APPROCHE PEDAGOGIQUE LIEE A L'UTILISATION D'UN MELANGE DE GAZ AUTRE QUE L'AIR :**

- Une préparation du matériel avant plongée spécifique au Nitrox.
- Une approche de la plongée avec une limitation des zones d'évolutions liée à la toxicité de l'O2.
- Une prise de conscience intellectuelle des processus de décompression (savoir fusionner théorie et pratique).
- Une maturité nécessaire à la transmission des connaissances théoriques.

### **Organisation de l'apprentissage : les compétences**

#### **ON NE RETROUVE QUE 3 COMPETENCES PAR RAPPORT AU CANEVAS GENERAL:**

- Chaque compétence est décrite comme un ensemble de savoir-faire, savoir être ou connaissance à acquérir
- Exemple de Compétence : gérer et utiliser son matériel:

- Contrôle et vérification
- Mesure du % d'O2 dans le mélange avant la plongée

## LA FORMATION DU PLONGEUR NITROX

### **Compétence 1 :**

- Notion de future autonomie par le contrôle mutuel et l'utilisation du matériel des autres plongeurs de la palanquée.
- Rigueur et précision dans la vérification des concentrations d'O2 individuelle et collective.
- Entretien et prise de conscience dans la préparation du matériel Nitrox (pas de mélange avec matériel air).

### **Compétence 2 :**

- Parfaite maîtrise de la stabilisation (profondeur plancher)
- Participant dans les phases de gestion de la plongée et son adaptation en situation d'imprévu.

### **Compétence 3 :**

- Pour les accidents, objectifs de formations identiques au niveau 2 (pas de mécanismes fins) mais uniquement axés sur l'hyperoxie.

Le plongeur Nitrox niveau 1 reste sur ces connaissances succinctes du niveau 1 en accord avec son espace d'évolution.

Le plongeur Nitrox niveau 2 ajoute un complément à sa formation niveau 2 pour lui permettre d'évoluer dans l'espace lointain mais avec un mélange  $\leq$  à 40% d'O2.

- Seuls les calculs des prof. Équivalentes avec problèmes simples.
- L'altitude est abordée selon le contexte géographique.
- Tables et ordi. Uniquement en utilisation pratique.

## ELEMENTS DE REFLEXIONS SUR LES CONTENUS DE FORMATIONS DU PLONGEUR NITROX

### **POUR LES NIVEAUX 1 : Et ma semi autonomie ?**

Peu utilisé en métropole, l'autonomie limitée des N1 en plongée à l'air est fort appréciée sous les tropiques car les conditions de plongées dans un espace de 0 à 10m sont souvent optimales. Il est alors facile de laisser plonger 5 équipes de binômes sous les conditions visés au paragraphe 5(Art. A 322-84): « A l'issue d'une formation adaptée, le directeur de plongée peut autoriser les plongeurs majeurs de niveau 1.... »

En plongée Nitrox, d'après les prérogatives de formation, le N1 plongeur Nitrox pourra utiliser un mélange Nitrox (avec au maximum 40% d'O2). Les plongeurs Nitrox ont les mêmes prérogatives que celles définies dans l'arrêté du 28 février 2008 du code du sport de la plongée à l'air.

Or il n'existe pas d'article équivalant dans les textes régissant la pratique des mélanges autres que l'air autorisant les N1 plongeurs Nitrox à plonger en équipes.

Et pourtant ce N1 à l'esprit de groupe et appris la compétence 5 (facultative) de plongée en équipe, il se voyait déjà après son plongeur Nitrox lâché par 10m avec la faune luxuriante sous marine ....et bien NON!!!! Pas le droit.

## LA FORMATION DU PLONGEUR NITROX CONFIRME

### **Compétence 1 :**

- Matériel individuel supplémentaire (Pony O2 pur) et maîtrise des techniques de base (mise à l'eau, déplacement, immersion).
- Matériel collectif ≠ de soi, mise en place d'un bloc déco à la descente ou d'un pendeur narguilé.
- 

### **Compétence 2 :**

- Le N2 formé techniquement dans l'**espace médian** devient un N2 formé dans l'**espace lointain** (pour la maîtrise de l'équilibre, de la ventilation et de la propulsion au moins avec un matériel spécifique).
- Palier à l'O2 pur (gestuels, contrôles).
- Conduite du profil de plongée avec paliers, choix des mélanges. approfondir sa gestion de l'autonomie

### **Compétence 3 :**

- Le N2 découvre les calculs de plongée en altitude. (alors optionnel au N2 selon le contexte de pratique).
- Il quantifie la toxicité de l'O2 (compteur SNC, UPTD et OTU).
- Approfondissement sur l'utilisation des ordinateurs Nitrox et éléments de calculs des tables Nitrox fédérales (SANS EVALUATION).
- Notions sur la fabrication et le chargement des mélanges Nitrox (AVEC EVALUATION)

## UNE ADAPTATION DE FORMATION AU NIVEAU REEL DU PLONGEUR

Le plongeur qui entre en formation peut être Niveau 2 (prérogatives limitant la profondeur d'évolution à 40m), mais aussi Niveau 3 ou 4 (prérogatives fixant des conditions de totale autonomie et une limitation d'évolution au delà de l'espace lointain soit 60m).

Le formateur devra tenir compte de l'hétérogénéité de ses stages, du choix de ses séances, aussi bien pratiques que théoriques, sur l'utilisation d'un matériel supplémentaire par exemple (Pony de décompression et risque d'essoufflement ou ligne de décompression, risque accrue d'hyperoxie, etc.).

## LA FORMATION DU MONITEUR NITROX

Cette formation est une qualification et non un brevet.

Elle n'est pas obtenue à partir d'un examen formel mais d'un ensemble de critères réunis:

- **Le candidat est P4 ou E2 qualifié Nitrox confirmé et prépare un brevet de 1er degré (MF1 ou BEES1) :**
  - dès l'obtention de son examen de monitorat 1er degré, il devient de fait : Moniteur Nitrox confirmé.
- **Le candidat est E3 ou E4 :**
  - Il doit (s'il ne la pas obtenu) préparer une formation complète de plongeur Nitrox puis de Plongeur Nitrox confirmé, avoir effectué 6 plongées nitrox (dont 4 au moins au cours de la formation Nitrox confirmé).
  - A ce titre il devient de fait Moniteur Nitrox confirmé

## **FORMATION ET COMPETENCES SUR LE TERRAIN DU MONITEUR NITROX**

### **Les acquis du moniteur Nitrox**

Le moniteur Nitrox possède 2 vécus de pratique et d'enseignement de la plongée :

- Son expérience de plongée à l'air
- Son expérience de plongées aux mélanges autre que l'air.

### **Les apports du Moniteur Nitrox**

- La formation apportée aux plongeurs Nitrox et Nitrox confirmé doit être **LIEE A LA PRATIQUE** et pas seulement à des éléments de pratique listés en cours théoriques.
- Pour être crédible dans l'apport de ses connaissances, le moniteur Nitrox devra plonger durant son stage (malgré un timing parfois surchargé et court) et avoir un vécu de pratique suffisamment conséquent.
- Porter un Pony et effectuer une mise à l'eau ou une immersion, installer une dérivative narguilé, un bloc O2 au palier, respirer sur plusieurs mélanges, observer et interpréter les phases de décompression au palier (avec tables ou à l'ordinateur); autant de Savoir Faire qui doivent être montrés aux stagiaires et pratiqués par eux-mêmes.
- Ils pourront ensuite transposer et intégrer ces différents gestes.

### **Problématique de formation**

- Le moniteur Nitrox acquiert sa certification par le regroupement de 2 qualifications sans réelle formation pédagogique au Nitrox.
- Sur cet état de fait, il n'existe pas de formation au 2<sup>ème</sup> degré permettant au futur moniteur Nitrox de lui faire analyser les difficultés rencontrées lors de ces 2 formations (acquis, pré requis, progression, évaluation).
- Bien sûr un moniteur de plongée technique est capable d'analyser toute problématique d'enseignement technique, mais s'il ne fait pas une démarche de réflexion personnelle, il risque de rencontrer des lacunes pédagogiques entraînant des problèmes dans l'interprétation des erreurs et les correctifs de progression de ses formations Nitrox.

### **Les solutions**

- Le formateur des stages Nitrox est un E4.  
Il sépare les encadrants des plongeurs pour apporter « une touche de pédagogie au 2<sup>ème</sup> degré » dans les formations Nitrox et Nitrox confirmé.
- Le formateur des stages Nitrox est un E3.  
Il fait également une séparation encadrants/plongeurs pour apporter (plus simplement) son vécu et ses conseils en tant que formateur sur les difficultés rencontrées lors des formations. (Si elle n'est pas appuyée d'une stricte démarche pédagogique au 2<sup>ème</sup> degré, elle apportera réflexions et appuis aux futurs moniteurs Nitrox)

## **LES CREUX DE FORMATIONS**

Certains reprochent à ces contenus d'être creux!! Mais les creux laissent libres à toute forme de LIBERTE :

- En matière de thématiques:** à partir des objectifs de départ.
- En matière de développement:** par rapport aux prérogatives des 2 formations Nitrox.
- En matière de moyens pédagogiques:** pour favoriser rapidement la compréhension des nouvelles connaissances théoriques.

**Avantages:** liberté des moyens

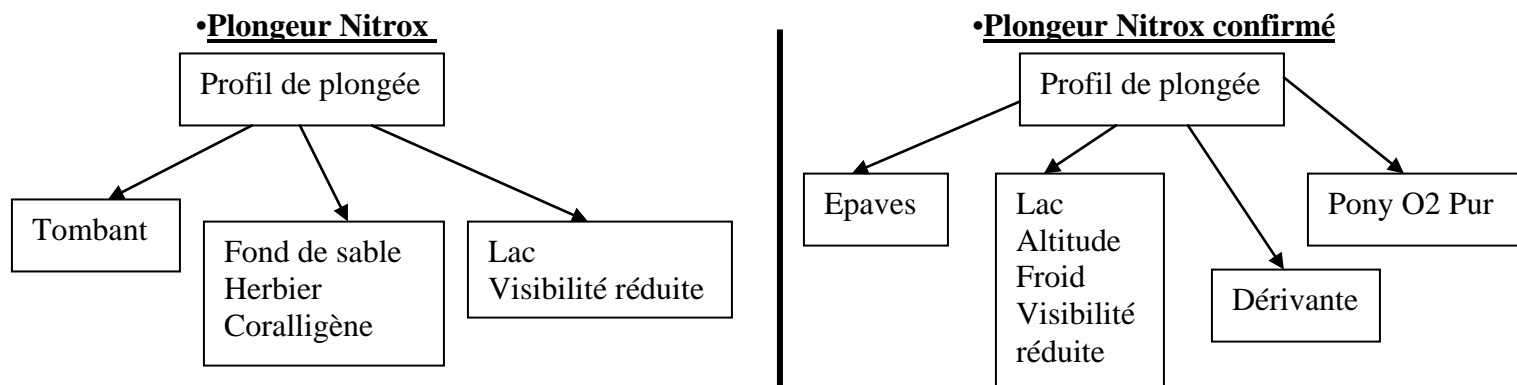
**Inconvénients:** éviter les débordements notamment en théorie.

La logique Prérogatives/Compétences permet de délimiter le contenu des connaissances théoriques.

Tout élément de théorie doit être lié à la pratique à transmettre.

### Proposer des objectifs par thématiques

- Pour analyser les difficultés
- Pour proposer des cas concrets de problèmes de plongées



### Proposer des moyens pédagogiques efficaces

Exemples de conceptions de messages audiovisuels :

- QCM en début de formation
- Le jeu des couleurs et les messages importants
- Test d'évaluation et formation Plongeur Nitrox
- Tableau des profondeurs équivalentes en fonction des ≠ mélanges avec rajout du seuil hyperoxique (Formation Nitrox Confirmé)
- Problème de compteur SNC avec animation de table
- Problème de plongées Nitrox successives

## L'AVENIR DE LA PLONGEE NITROX ?

A l'instar d'autres pays européens ou outre-Atlantique, la France a un réel potentiel pour le développement du Nitrox.

Cet engouement pour la " potion magique " se traduit déjà par l'intérêt que porte la presse spécialisée à ce type de plongée.

Le Nitrox doit dépasser cette première impression qu'ont les plongeurs, d'une activité marginale et directement issue de l'esprit Nageur de combat.

C'est vrai que cette image a longtemps collée à la peau de la plongée subaquatique en général ; mais le Nitrox, c'est aussi de la plongée loisirs dont le but est de sécuriser sa pratique, voir d'augmenter le plaisir et les moments passés en immersion pour découvrir le monde sous marin, grâce à une décompression « allégée » par rapport aux plongées classiques à l'air.

Il ne s'agit pas d'une activité de pointe telle que celle pratiquée par les plongeurs spéléo aux mélanges ternaires. C'est l'activité de tout plongeur avec sa soif de découvrir la vie des profondeurs de l'océan. C'est même une des solutions pour dynamiser la plongée en France.

## **HISTORIQUE EN MATIERE DE PLONGEE NITROX (ANNEXES 1)**

Limites d'utilisation d'oxygène à 100% (USN 1954)	
Opérations "NORMALES"	
Profondeur (m)	Durée (min.)
3	240
4,5	120
7	90
8,5	65
Opérations "EXCEPTIONNELLES"	
9	45
10,5	34
12	25
13,5	15

Table 1

Limites d'utilisation NITROX (USN 1959)	
Opérations "NORMALES"	
PPO <sub>2</sub> (ata.)	Durée (min.)
1.6	30
1.5	40
1.4	50
1.3	60
1.2	80
1.1	120
1	240
Opérations "EXCEPTIONNELLES"	
2.0	30
1.9	40
1.8	60
1.7	80
1.6	100
1.5	120
1.4	180
1.3	240

Table 2

Pressions partielles d'O <sub>2</sub> pour NITROX lors de travaux sous-marins (NOAA 1991)		
Situations "NORMALES"		
Press. part. d'O <sub>2</sub> (ata.)	Durée max. pour une plongée (min.)	Durée max. cumulée sur 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
Situations "EXCEPTIONNELLES"		
Pression partielle d'O <sub>2</sub> (ata.)	Durée (min.)	
2.0	30	
1.9	45	
1.8	60	
1.7	75	
1.6	120	
1.5	150	
1.4	180	
1.3	240	

Table 3



## QUANTIFIER L'EXPOSITION À L'OXYGENE (ANNEXES 2)

### La table NOAA

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION 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 (mn)
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

#### Calcul de l'UPTD: Facteur de correction Kp

PpO2 (ATA)	Kp	PpO2 (ATA)	Kp
0,55	0,15	1,10	1,16
0,60	0,26	1,15	1,24
0,65	0,37	1,20	1,32
0,70	0,47	1,25	1,40
0,75	0,56	1,30	1,48
0,80	0,65	1,35	1,55
0,85	0,74	1,40	1,63
0,90	0,83	1,45	1,70
0,95	0,92	1,50	1,78
1	1	1,55	1,85
1,05	1,08	1,60	1,93

#### Calcul de l'OTU

Numéro des jours consécutifs de plongée	Dose maximale d'OTU par jour	Dose cumulée maximale d'OTU
1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	525	2100
5	460	2300
6	420	2520
7	380	2660
8	350	2800
9	330	2970
10	310	3100



Je dédie ce travail de réflexion à l'un de mes pères, Bernard Gonon que la mer notre univers, a pris injustement alors qu'il partageait avec elle sa passion.

Il m'a fait découvrir avec ses mots simples, ses mots de tous les jours, l'enseignement de la plongée sur le terrain et la pratique du Nitrox.

Également moniteur de biologie subaquatique au sein de son équipe d'encadrement, cet homme de la mer, organisateur hors pair de séjours de plongées varoises dans la bonne humeur, marin, pêcheur; m'a fait découvrir d'autres aspects du monde sous marin .

A toutes ces qualités, j'aurais pu le voir dans toutes nos commissions.

Eric Flores

## **Bibliographie française et ressources Internet**

### **Livres :**

« Manuel de plongée au Nitrox » Jean-Louis Blanchard et Jean-Yves Kersalé – paru en 2008 – Éditions GAP –  
« ouvrage de référence FFFESSM »

### **Internet :**

« La plongée aux mélanges suroxygénés » Dr Denis Roque – juin 1999 – ARESUB

« Toxicité de l'oxygène dans les accidents de décompression » Dr Jean-Michel Rouland février 2000-  
ARESUB

« L'oxygène rend-il fou et tuberculeux ? » François Rebufat – Scaphinfo

« Nitrox : pour que l'enrichissement de l'air profite à tous les plongeurs » François Rebufat - Scaphinfo

« Pharmacologie des radicaux libres : applications à la dégénérescence » Pr Hervé Allain –janvier 1999 -  
Faculté de Médecine de Rennes

« Accident : Atteinte du système nerveux en plongée » Alexandre Thibault – 2006-  
Codep 31

### **Centres de référence et d'informations techniques :**

« H.I.A.St Anne Toulon (service du caisson de recompression et de médecine Hyperbare) »

« Centre d'Instruction Navale et école de Plongée de St Mandrier (service de formation des infirmiers  
hyperbaristes) »

« Institut National de Plongée Professionnelle (services des Certifications et de Médecine Hyperbare)  
Marseille »

« Comex Marseille (service de direction scientifique des plongées aux mélanges) »

« Service Industrie Marine (atelier des réépreuves des bouteilles hyperbares) Toulon

« FFFESSM Commission Technique Nationale » Marseille

« Centre de plongée Espace Mer Giens (Var) »

« Centre de plongée de Carqueiranne (Var) »

### **Références Bibliographiques USA et ROYAUME UNIS :**

Butler F.K. jr., Thalmann E.D.

CNS oxygen toxicity in closed-circuit scuba divers.

Underwater Physiology VIII

Bachrach, Matzen Eds. : UMS Inc. Bethesda. USA

Donald K.M.

Oxygen and the Diver.

England. Images (Best publishing Co.) Flagstaff Arizona (2004)

Harabin A.L., Survashi S.S.

A statistical analysis of recent Navy Experimental Unit (NEDU) single depth human exposures to 100 % oxygen  
at pressure.

Report NMRI 05-59 (2005)

Thalmann E.D.

Oxygen Toxicity

Alert Diver (Divers Alert Network), March/April Issue pp.: 32-40

Vann R.D.

Oxygen Exposure Management

Proceedings of Rebreather Forum 2.0. Redondo Beach California

26-28 September 2005 ; P:42-47

