

**MZ PLONGEE LA NEUEVILLE**

# **PREPARATION DE MELANGES NITROX ET TRIMIX**

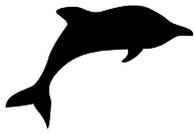
**COURS CONFORME AUX STANDARDS**

**CMAS.CH**



**TDI**





## A PROPOS DU COURS NITROX & TRIMIX BLENDER

L'essor de la plongée au nitrox est bien réel et la plongée au trimix prend de l'importance de jour en jour.

Pour effectuer ces plongées il faut passer par une étape incontournable : la fabrication des mélanges respiratoires.

Afin de garantir la sécurité des utilisateurs il est nécessaire de former les personnes qui seront chargées de réaliser ces mélanges au club ou à l'école de plongée.

Ce document est la documentation de base pour permettre à un plongeur de fabriquer des nitrox et des trimix.

Merci à Erni Voelm, à Pierre Dumont et à Martial Riedi pour leur collaboration à la réalisation de ce manuel.

---

Ce manuel a été conçu comme le support du cours théorique pour l'enseignement de la spécialité « NITROX – TRIMIX GAZ BLENDER » de l'école de plongée MZPLONGEE à La Neuveville.

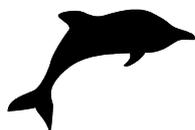
Ce support a été téléchargé sur le site [www.mzplongee.ch](http://www.mzplongee.ch) et peut être librement utilisé à condition qu'aucune modification ne lui soit apportée.

Mauro Zürcher

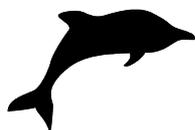
### QUI PEUT SUIVRE CE COURS ?

En principe chaque personne possédant un peu de rigueur et de sûreté peut suivre ce cours et fabriquer des mélanges.

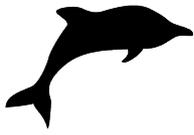
Cependant une formation de plongeur nitrox de base aidera à comprendre les phénomènes décrits plus loin.

**TABLE DES MATIÈRES**

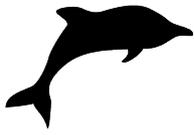
A PROPOS DU COURS NITROX & TRIMIX BLENDER.....	2
QUI PEUT SUIVRE CE COURS ? .....	2
BUTS DU COURS .....	6
DÉLIVRANCE DE L'ATTESTATION .....	6
PROGRAMME TYPE .....	6
L'AIR .....	7
FILTRATION SUPPLÉMENTAIRE POUR LE NITROX .....	7
L'OXYGÈNE .....	8
LA COMPRESSION ADIABATIQUE .....	8
MATÉRIAUX COMPATIBLES AVEC L'OXYGÈNE .....	9
MATÉRIAUX NON COMPATIBLES AVEC L'OXYGÈNE .....	9
LE MARQUAGE DES BOUTEILLES D'OXYGÈNE EN SUISSE .....	10
LES FOURNISSEURS D'OXYGÈNE .....	10
QUALITÉ DE L'OXYGÈNE PUR .....	11
STOCKAGE DES BOUTEILLES D'OXYGÈNE .....	11
L'AZOTE .....	12
LE NITROX .....	12
DÉFINITION .....	12
DÉSIGNATION .....	12
RÉGLEMENTATION POUR L'UTILISATION DU NITROX .....	13
MARQUAGE DES BOUTEILLES NITROX .....	13
UTILISATIONS D'ANCIENNES BOUTEILLES POUR LE NITROX .....	13
PRESCRIPTIONS POUR LES ROBINETTERIES .....	13
PREMIER ÉTAGE HAUTE-PRESSION DU DÉTENDEUR ET MANOMÈTRE? .....	14
INFLATEUR ET DEUXIÈME ÉTAGE .....	14
SI LES PRESCRIPTIONS NE SONT PAS RESPECTÉES .....	14
STOCKAGE DES BOUTEILLES DE NITROX .....	14
DANS LES AUTRES PAYS .....	15
USA .....	15
FRANCE .....	15
NORVEGE .....	15
LE MATÉRIEL UTILISÉ POUR PLONGER AU NITROX .....	16
PRÉPARATION DES BOUTEILLES .....	16
OUVRIR, DÉGRAISSER, RINCER ET SÉCHER .....	16
LA PROCÉDURE DE DÉGRAISSAGE DES BOUTEILLES .....	16
PROCÉDURE DE NETTOYAGE .....	17
IDENTIFICATION DES BOUTEILLES POUR LA PLONGÉE AVEC DU NITROX .....	18
LES MÉTHODES DE MÉLANGE DU NITROX .....	19
MEMBRANES POUR LA PRODUCTION DE NITROX .....	19
APPAREILS AUTOMATIQUES .....	19
LA MÉTHODE DES PRESSIONS PARTIELLES .....	20
LES DIFFÉRENTS TYPES DE NITROX .....	20



PRINCIPAUX MÉLANGES UTILISÉS.....	20
IDENTIFICATION DU MÉLANGE NITROX SUR LES BOUTEILLES.....	21
L'UTILISATEUR.....	21
L'HELIUM.....	22
LE TRIMIX.....	22
DÉFINITION.....	22
DÉSIGNATION.....	22
RÉGLEMENTATION POUR L'UTILISATION DU TRIMIX.....	23
PRÉPARATION DU MATÉRIEL POUR LE TRIMIX.....	23
LES DIFFÉRENTS TYPES DE TRIMIX.....	23
FABRIQUER LES MÉLANGES DE GAZ.....	24
RAPPEL DES LOIS PHYSIQUE.....	24
LA LOI DE DALTON.....	24
LA LOI DE BOYLE/MARIOTTE.....	26
LOI DE GAY-LUSSAC OU DE CHARLES.....	26
NITROX.....	27
RAISONNEMENT.....	27
FORMULE.....	28
COMPLÉTER UNE BOUTEILLE.....	29
TRIMIX.....	31
DÉFINITION DU MÉLANGE.....	31
FABRICATION D'UN TRIMIX.....	32
EXERCICES.....	33
LE MATÉRIEL DU MÉLANGEUR.....	34
LA LYRE DE TRANSFERT.....	34
LE MANOMÈTRE.....	34
CONSEILS PRATIQUE POUR BIEN MÉLANGER.....	35
AUTRE TECHNIQUE DE MARQUAGE, UTILISÉE EN DRS :.....	36
ANALYSER LE NITROX.....	37
L'ANALYSEUR D'OXYGÈNE.....	37
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.....	37
CALIBRATION DE L'APPAREIL.....	38
INFLUENCE DE LA PRESSION, DE L'HUMIDITÉ ET DE LA TEMPÉRATURE.....	39
INFLUENCE DE LA PRESSION.....	39
INFLUENCE DE L'HUMIDITÉ.....	40
INFLUENCE DE LA TEMPERATURE.....	40
ANALYSER DU TRIMIX.....	41
L'ANALYSEUR D'HÉLIUM ATOMOX.....	41
PRINCIPE DE MESURE.....	41
LA CELLULE DE MESURE.....	41
MAUVAIS FONCTIONNEMENTS DE LA CELLULE.....	42
MESURER.....	42
ALIMENTATION DE L'APPAREIL DE MESURE.....	42
CORRIGÉ DES EXERCICES DE LA PAGE 33.....	43



LE REGISTRE DES MÉLANGES.....	<b>ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.</b>
TABELLE DE FABRICATION DES MÉLANGES NOUVEAUX .....	43
TABELLES DE FABRICATION DES MÉLANGES, AUTRES MÉLANGES .....	46
EVALUATION DU COURS .....	48



## BUTS DU COURS

Ce cours de préparateur de mélange Nitrox & Trimix a pour but de former des personnes capables de fabriquer n'importe quel mélange nitrox ou trimix ainsi que d'effectuer le remplissage de bouteilles de plongée avec de l'oxygène pur.

## DELIVRANCE DE L'ATTESTATION

L'attestation sera délivrée par un moniteur agréé par la commission Technical Diving à toute personne qui aura :

- Suivi régulièrement le cours théorique.
- Prouvé ses connaissances pratiques par le remplissage d'une bouteille de nitrox et de trimix d'un mélange choisi par le responsable du cours.

Le cours peut se dérouler sur une journée ou être séparé en deux demi-journées.

## PROGRAMME TYPE

### Théorie

Présentation du cours, du programme.

L'air, l'oxygène, l'azote, le nitrox, l'hélium, le trimix.

- La réglementation.
- Le matériel à utiliser.

Les méthodes de mélange.

Calcul des mélanges.

Examen théorique

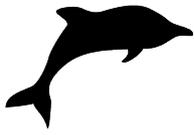
### Pratique.

Démonstration et travail pratique, chaque participant prépare seul une bouteille de mélange.

Pratique de l'analyse, analyse des gaz.

Administrations des mélanges, registre etc.

Matériel de plonger et de mélange.



## L'AIR

C'est le mélange de gaz fait par la nature et que chacun respire, y compris le plongeur, du moins jusqu'à présent.

Et, selon la définition, c'est un nitrox puisque c'est un mélange d'azote et d'oxygène...

L'air sec, à 1bar et 20°C est composé de :

78.084 % d'azote N<sub>2</sub> (nitrogen)

20.946 % d'oxygène O<sub>2</sub> (oxygen)

0.934 % d'argon Ar

0.033 % de dioxyde de carbone Co<sub>2</sub>

ainsi que de traces d'autres gaz comme le néon (Ne 18.18 ppm) l'hélium (He 5.24 ppm) le krypton, le xénon... (ppm = parties par million)

L'air contient aussi de l'eau, en plus ou moins grande quantité, sous forme de vapeur ainsi que plusieurs autres éléments tels que poussières, particules de graisses ou de gaz ajoutées par l'homme et ses industries (suies du mazout, CO des moteurs etc.)

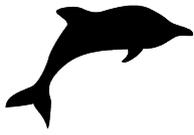
C'est la raison pour laquelle les compresseurs qu'utilise le plongeur sont munis de filtres.

## FILTRATION SUPPLÉMENTAIRE POUR LE NITROX

Afin d'assurer que l'air utilisé pour la fabrication des nitrox est exempt de toutes impuretés un filtre supplémentaire doit être utilisé sur le réseau d'air comprimé.

Il faut garantir que l'air utilisé pour la fabrication des nitrox est produit de manière à pouvoir répondre à la **norme AIR SELON DIN 3188**.

Lors du complément d'air par l'installation du compresseur, il faut prendre garde à ce qu'aucun retour d'oxygène au compresseur ne soit possible. Il faut être certain que l'installation est munie d'une soupape anti-retour.



## L'OXYGÈNE

L'oxygène est un gaz incolore, inodore, sans saveur. Il est indispensable au maintien de la vie animale ainsi qu'au processus de combustion.

L'oxygène est un gaz très réactif et il se combine directement avec la plupart des éléments pour former des oxydes (il est ce que l'on appelle un oxydant). La rouille des bouteilles et le durcissement de joints O-rings sont des exemples de cette oxydation.

Il peut réagir violemment avec les substances organiques (d'où l'importance de la filtration de l'air que l'on additionnera pour réaliser le mélange ainsi que des matériaux utilisés pour la construction des divers instruments de plongée, bouteilles, robinets, détendeurs...)

L'oxydation rapide de particules de matières produit de la chaleur et de la lumière : c'est la combustion. L'oxygène ne brûle pas, c'est un comburant, il permet et entretient la combustion. La combustion est accélérée si le pourcentage d'oxygène est important et si la pression est grande ( $PpO_2$ ).

Un mélange d'oxygène et de graisse forme un mélange qui peut s'enflammer sous l'effet d'une forte chaleur.

## LA COMPRESSION ADIABATIQUE

Le plongeur sait que de grandes différences de température se produisent quand un gaz est comprimé (chaud) ou détendu (froid).

La compression est « adiabatique » si le gaz ne peut évacuer la totalité de la chaleur produite lors de sa compression. Résultat : le gaz et son conteneur chauffe. Plus la compression est rapide plus l'écart de température est grand car le gaz dispose de moins de temps pour évacuer à l'extérieur la chaleur produite lors de la compression.

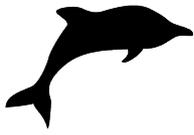
Le moment dangereux en ce qui concerne le préparateur sera celui où il ouvre la bouteille d'oxygène : tout le système, lyre de transfert, manomètre, robinetteries, bouteille est mis sous pression, donc chauffe. C'est à ce moment que risque de se produire une combustion spontanée, auto-allumage des particules de matière contenues dans l'espace dans lequel se répand l'oxygène.

Le même phénomène peut se produire quand le plongeur ouvre le robinet de son scaphandre par la mise en pression de l'ensemble robinetterie, manomètre, détendeur. Plus la pression est grande ou plus le pourcentage d'oxygène est élevé et plus le risque est grand (baisse des limites d'inflammabilité des matériaux).

C'est pour empêcher cette combustion spontanée qu'il faudra veiller, tout au long de la chaîne, qu'aucune particule susceptible de provoquer cette ignition n'entre dans l'espace des gaz.

Voilà pourquoi les appareils ou instruments utilisés doivent être spécialement traités (matériaux et graisses compatibles  $O_2$ ), l'air doit être spécialement filtré, surtout si le mélange contient plus que 40% d'oxygène.

Bien sûr il faut aussi veiller à contrôler l'échauffement en travaillant avec des vitesses de compression très lentes.



## **MATÉRIAUX COMPATIBLES AVEC L'OXYGÈNE**

Cuivre et ses alliages comme le Laiton par exemple.

Acier, acier Inox

Téflon

Kel-F® (Polytrifluorochloréthylène)

Viton®

Graisses diverses :

Halocarbon™

Voltalef

Fonblin

## **MATÉRIAUX NON COMPATIBLES AVEC L'OXYGÈNE**

Aluminium

Fonte

Alliages de titane

Résine époxy

Polyuréthane

Graisses :

Empreintes digitales grasses

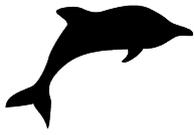
Silicone

En général toutes les autres graisses...

Solvants

Peinture

Marker



## LE MARQUAGE DES BOUTEILLES D'OXYGÈNE EN SUISSE

En suisse, les bouteilles contenant de l'oxygène pur doivent être marquées spécialement. Dès le premier juillet 2006 les bouteilles contenant de l'oxygène pur sont de couleur blanche.

### *Étiquetage*

L'étiquette comporte les indications obligatoires relatives au contenu de la bouteille. Les fournisseurs de gaz peuvent concevoir leurs étiquettes de différentes manières, toutefois les textes et les symboles doivent toujours correspondre aux prescriptions légales.

### *Remarques importantes*

Points essentiels de la norme SN EN 1089-3 et recommandations émanant de l'Association suisse des gaz industriels quant à leur mise en pratique en Suisse:

- La norme est valable pour les bouteilles de gaz industriels et médicaux; cependant, elle ne concerne pas les bouteilles de gaz liquides (LPG) tels que le propane, le butane etc, ainsi que les extincteurs.
- Le marquage en couleur est prescrit uniquement pour les ogives des bouteilles. Pour les marquages bicolores les couleurs sont appliquées de manière annulaire sur les ogives.
- La norme **ne** prescrit **pas** la couleur du corps cylindrique des bouteilles; elle peut, dans une large mesure, être choisie librement.

**Exception: pour tous les gaz et mélanges de gaz destinés à des applications médicales et d'inhalation (gaz respiratoires) le corps des bouteilles est peint en blanc, de manière à pouvoir les différencier nettement des bouteilles de gaz destinées à des applications industrielles.**

## LES FOURNISSEURS D'OXYGÈNE

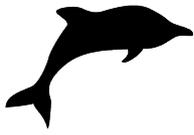
Il est possible de trouver dans le commerce des bouteilles de 4 à 50 litres.

Contre paiement d'une location annuelle, ces bouteilles sont mises à disposition et le plongeur peut rapidement les échanger.

Le raccord est un raccord légal (Suisse = G $\frac{3}{4}$ " DROITE).

Un adaptateur peut être nécessaire pour pouvoir brancher la lyre de transfert.

Attention chaque pays dispose de ses propres standards en matière de robinetterie pour les gaz. Le raccord n'est pas le même en Suisse qu'en France ( France = raccord « F ») ni qu'au USA par exemple.



## QUALITÉ DE L'OXYGÈNE PUR

En Suisse, les fournisseurs distinguent deux qualités de bouteilles d'oxygène : MÉDICAL ou TECHNIQUE.

L'oxygène contenu dans chacune des bouteilles est cependant le même produit.

La différence se fait au niveau du traitement des bouteilles et des divers contrôles lors des opérations de remplissage car l'oxygène dit « médical », comme d'ailleurs tous les autres gaz médicaux sont considérés, depuis 2002, comme des « médicaments ».

Les conséquences de cette classification sont que, comme tous les autres médicaments, l'oxygène « médical » doit être agréé et enregistré par SWISSMEDIC, l'organe de contrôle officiel suisse pour les médicaments en vente sur notre territoire. Ainsi, l'oxygène « médical », sa production, son stockage et sa distribution, est soumis à une réglementation spéciale appelée GMP pour *Good manufacturing practice*, procédure exigeant de nombreux contrôles et générant des coûts supplémentaires importants

La réglementation actuelle place l'oxygène comme médicament qui peut être délivré sans ordonnance.

### IL FAUT TOUJOURS UTILISER DE L'OXYGÈNE « MÉDICAL »

Voir aussi oxygène médicinal chez Pangas...

## STOCKAGE DES BOUTEILLES D'OXYGÈNE

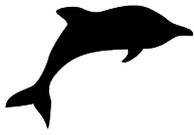
Ne pas stocker ou transporter avec des matériaux combustibles. Pas de prescriptions spéciales pour des petites quantités, chez le particulier (3-5 bouteilles).

## TRANSPORT

Classe ADR 2, Groupe 0, limite libre 1000 soit

Gazeux = volume en litre des bouteilles x nombre de bouteilles

2 B50 = 50 x 2 = 100 -> ou pourrait en prendre 20...



## L'AZOTE

Gaz neutre, l'azote est considéré, à pression atmosphérique, comme un diluant. Il ne participe pas à l'entretien de la vie. Ces effets en plongée sont par contre bien réels : Narcose (ivresse des profondeurs) et maladie de la décompression (saturation de l'organisme).

## LE NITROX

### DÉFINITION

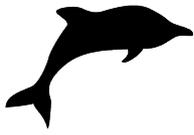
Un nitrox est un mélange d'oxygène et d'azote qui contient plus de 21% d'oxygène.

### DÉSIGNATION

Pour désigner un nitrox, l'on cite d'abord le pourcentage d'oxygène ( $O_2$ ) qu'il contient puis le pourcentage d'azote ( $N_2$ ) du mélange.

Exemple pour un nitrox contenant 40% d' $O_2$  et 60% de  $N_2$  :

**Nitrox 40/60**



## RÉGLEMENTATION POUR L'UTILISATION DU NITROX

Le 1er janvier 1997 la nouvelle classe 2 (gaz) révisée de la convention ADR/RID, qui réglemente le transport des matières dangereuses par route, respectivement par chemin de fer, est entrée en vigueur. Dans ce contexte, figurent les mélanges gazeux, entre autres le Nitrox, qui nous intéresse ici. Ce dernier y figure sous la mention "mélanges de gaz oxydants" et est classé sous chiffre 10 mention O (oxydant).

### MARQUAGE DES BOUTEILLES NITROX

L'identification d'une bouteille de plongée selon la nouvelle ordonnance est la suivante:

**3156 Nitrox**

Cette indication, de même que la date du prochain contrôle, doit être soit gravée soit collée par un procédé sûr et bien visible (laquage) sur la bouteille de plongée.

### UTILISATIONS D'ANCIENNES BOUTEILLES POUR LE NITROX

Les bouteilles prévues pour une utilisation à l'air comprimé et qui ont déjà servi doivent d'abord être nettoyées à fond et leur identification doit être modifiée en conséquence.

La mention "Air comprimé" doit être annulée et remplacée par "3156 Nitrox" selon une des méthodes signalées plus haut. Cette modification doit être contrôlée et attestée par l'EGI ou par un expert mandaté par celui-ci.

Par la même occasion, il est recommandé de procéder à un contrôle interne visuel, et si la dernière épreuve date de plus de 5 ans, à un contrôle sous pression.

Une utilisation des bouteilles, tantôt pour l'air comprimé, tantôt pour le Nitrox n'est pas conseillée car cela peut provoquer une « pollution » des bouteilles préparées si elles sont remplies avec de l'air insuffisamment filtrée.

Comme indications complémentaires il est possible d'apposer un autocollant avec le mot "Nitrox", pour autant que ce dernier soit d'une qualité telle qu'il ne se décolle pas malgré les plongées effectuées.

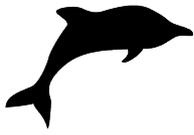
### PRESCRIPTIONS POUR LES ROBINETTERIES

La nouvelle norme européenne impose un robinet ayant une sortie nitrox dont le diamètre est de 26mm avec un pas de 2mm dite M26x2.

Sinon...

Il faut être attentif au fait que les matériaux des robinetteries doivent être compatibles au Nitrox. Cette compatibilité doit être attestée par écrit, soit par le fabricant, soit par le fournisseur.

Il n'y a toujours pas de normes unifiées pour les pas de vis sur la bouteille. Le M25 aussi bien que 3/4" peuvent être utilisés. Afin d'éviter de dangereuses confusions, ces pas de vis sont gravés sur les bouteilles.



### **PREMIER ÉTAGE HAUTE-PRESSION DU DÉTENDEUR ET MANOMÈTRE?**

Le premier étage des détendeurs et manomètres qui est en contact avec le Nitrox doit également être compatible Nitrox. Cependant l'on considère que lorsque le mélange ne contient pas plus de 40% d'oxygène un détendeur normal peut être utilisé.

### **INFLATEUR ET DEUXIÈME ÉTAGE**

Les problèmes de compatibilité ne sont pas critiques dans le domaine de la basse pression.

Dès lors il est impératif de ne pas utiliser la méthode "Do it yourself" dans ce domaine et de n'utiliser que des pièces de rechange appropriées et recommandées par le fabricant.

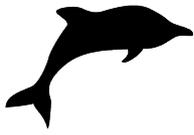
### **SI LES PRESCRIPTIONS NE SONT PAS RESPECTÉES**

Celui qui ne respecte pas ces prescriptions élémentaires de sécurité met sa vie et celle de tiers en danger. En cas d'accident, ces personnes doivent s'attendre à des suites pénales et à des problèmes au niveau des assurances.

### **STOCKAGE DES BOUTEILLES DE NITROX**

Rien de particulier au niveau légal.

Dans les locaux du club ou de l'école il faut s'assurer que les usagers non autorisés (sans brevet de plongeur mélange) ne puissent être en contact accidentellement avec des bouteilles contenant autre chose que de l'air.



## DANS LES AUTRES PAYS

### USA

Au USA, une agence fédérale, la NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration a été chargée de rédiger des recommandations concernant tout ce qui touche la plongée au nitrox.

Les prescriptions de la NOAA peuvent être résumées ainsi :

Bouteilles et robinets : doivent être spécialement préparés et dégraissés. Ne doivent être utilisées que pour du nitrox

Détendeurs : jusqu'à 40% d'oxygène dans le mélange pas de prescriptions spéciales. Au-delà de cette limite de 40%, le matériel doit être compatible oxygène.

### FRANCE

Le nouvel arrêté sur la plongée aux mélanges est paru le 9 juillet 2004.

Il précise aussi que rien de spécial ne doit être entrepris si le mélange ne contient pas plus que 40% d'oxygène. Au-delà de cette limite des 40%, le matériel doit être compatible oxygène pur.

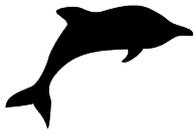
Toutefois, le chiffre 4 de l'arrêté précise que, si le remplissage des bouteilles se fait selon la méthode de la pression partielle (O<sub>2</sub> pur puis air comprimé) la robinetterie doit être compatible oxygène pur.

Lien sur l'arrêté français concernant la plongée aux mélanges :

<http://ctn.ffessm.fr/ar090704.htm>

### NORVEGE

Pour la plongée professionnelle, la limite est fixée à 25% d'oxygène. Tout mélange contenant plus de 25% d'oxygène doit être utilisé avec du matériel aux normes « compatible oxygène »



## LE MATÉRIEL UTILISE POUR PLONGER AU NITROX

En fonction des prescriptions légales le matériel pour les nitrox et pour l'oxygène pur doit être adapté et spécialement prévu pour cet usage.

A l'exception des bouteilles il n'est plus possible d'utiliser du matériel dégraissé « maison » car l'ordonnance précise que la comptabilité « oxygène » doit être certifiée par écrit par le constructeur ou par l'importateur.

### PREPARATION DES BOUTEILLES

#### OUVRIR, DEGRAISSER, RINCER ET SECHER.

Il est important de dégraisser les bouteilles car, lors de la fabrication des nitrox, celles-ci seront en contact avec de l'oxygène pur.

**Ensuite, il est indispensable de ne plus remplir ces bouteilles n'importe où, car si l'air qui est remis dedans ne correspond pas à la norme DIN 3188, il sera pollué par des particules de graisse et polluera aussi les détendeurs et manomètres qui avaient été spécialement préparés.**

Tout le processus de dégraissage serait donc à recommencer, sous peine de ne plus pouvoir plonger au nitrox avec ce matériel.

### LA PROCEDURE DE DEGRAISSAGE DES BOUTEILLES

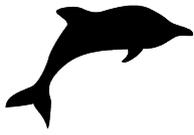
Concerne toutes les pièces en contact avec l'oxygène sous pression ou pouvant être mises en contact par défaut (fuites).

L'opérateur aura des vêtements propres, les mains soigneusement lavées, les outils dégraissés. Il travaillera sur une table parfaitement propre et recouverte d'un papier neuf non peluchant.

**Il faut bien comprendre que le dégraissage est une chaîne et que tous les éléments doivent être traités, en particulier les tuyaux, qu'il est primordial de bien dégraisser bien que cette opération soit complexe.**

**POUR DÉGRAISSER DES MATÉRIAUX DEVANT ÊTRE UTILISÉS AVEC DE L'O<sub>2</sub>  
IL EST DÉCONSEILLÉ D'UTILISER DE TRICHLORÉTHYLÈNE.**

Un détergent tel le Teepol® ou d'autres produits (Mister Proper, produit à vaisselle, lessive composée de phosphates trisodique, contenant du sodium et des additifs etc.) est préférable. Laver ensuite à l'eau propre et souffler de l'air sec, sans huiles ou de la vapeur.



### **PROCEDURE DE NETTOYAGE**

- Démontage complet de tous les éléments.
- Nettoyage préliminaire, grenailage des bouteilles.
- Rinçage sous pression avec de l'eau chaude (Karcher etc).
- Trempage ou rinçage dans de l'alcool à 70° (enlever les goûts ou les odeurs)
- Rinçage final à l'eau distillé.
- Séchage à l'air chaud ou à la vapeur.

Les lubrifiants possibles sont :

Les lubrifiants carbochlorofluorés :

- Fluorolub®
- Halocarbon®
- Huile Kel-F®
- L'huile Voltalef
- L'huile Fomblin
- L'huile Krytox
- L'huile Trobolub

Ci-dessous le lien sur la procédure française, à titre de documentation :

[http://ctn.ffessm.fr/tele\\_tiv/procedure\\_SO.pdf](http://ctn.ffessm.fr/tele_tiv/procedure_SO.pdf)

### **ROBINETTERIE**

Certifiée par le fabricant ou l'importateur.

### **DÉTENDEURS**

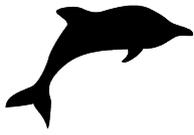
Certifiée par le fabricant ou l'importateur. Libre jusqu'à 40 % d'O<sub>2</sub> .

### **MANOMÈTRES**

Certifiée par le fabricant ou l'importateur.

### **INFLATEURS/GILETS**

Démonter, dégraisser. Dégraisser aussi le tuyau (interne).



## IDENTIFICATION DES BOUTEILLES POUR LA PLONGEE AVEC DU NITROX

### LA LOI

Selon la nouvelle ordonnance, les bouteilles qui contiennent autre chose que de l'air doivent être spécialement marquées.

Les bouteilles contenant un nitrox doivent être spécialement marquées « **3156 NITROX** » Il n'y a pas de normes unifiées concernant les robinets et tous peuvent être utilisés, à **conditions qu'ils soient construits avec des matériaux compatibles NITROX ou OXYGÈNE**, compatibilité certifiée par le constructeur ou par le fournisseur.

### LA PRATIQUE

Les règles de la pratique, notamment aux USA, ont abouti au consensus suivant :

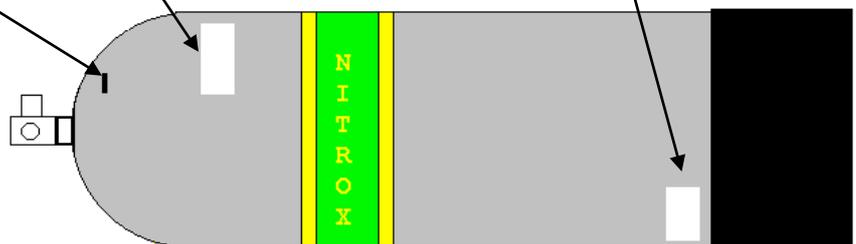
Les bouteilles contenant du nitrox ou du trimix seront marquées comme suit :

- Elles seront de couleur blanche si possible (sans que cela ne soit obligatoire).
- Elles porteront une large bande verte et jaune avec l'inscription NITROX ou TRIMIX apposée en grosses lettres.
- Elles porteront une étiquette indiquant la date de la préparation « compatible oxygène ».
- Elles porteront une étiquette signalant :

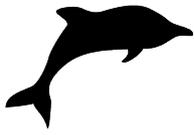
1. le % d'oxygène et de He dans le mélange
2. la pression du mélange
3. la date de fabrication du mélange
4. le visa de celui qui a fabriqué le mélange
5. éventuellement la profondeur maximale de plongée possible (MOD)

D'autre part, le numéro permettant l'identification formelle de la bouteille sera mis en évidence.

Ce numéro, ainsi que le % d'O<sub>2</sub> trouvé lors du contrôle fait par l'utilisateur et le visa de l'utilisateur seront portés dans le cahier de contrôle spécialement prévu à cet effet.



Certains proposent aussi d'inscrire en grand la MOD (profondeur maximale) à ne pas dépasser avec le mélange contenu dans la bouteille...



## LES MÉTHODES DE MÉLANGE DU NITROX

### MEMBRANES POUR LA PRODUCTION DE NITROX



L'industrie utilise depuis longtemps un appareil servant à produire de l'azote, par filtration de l'air.

Imaginez un gros cylindre contenant des membranes retenant une partie de l'azote contenu dans l'air. D'un côté il sort de l'azote, utilisé comme gaz de protection dans des fours de trempe par exemple et de l'autre côté il ressort le reste c'est à dire un mélange qui contient moins d'azote... donc plus d'oxygène.

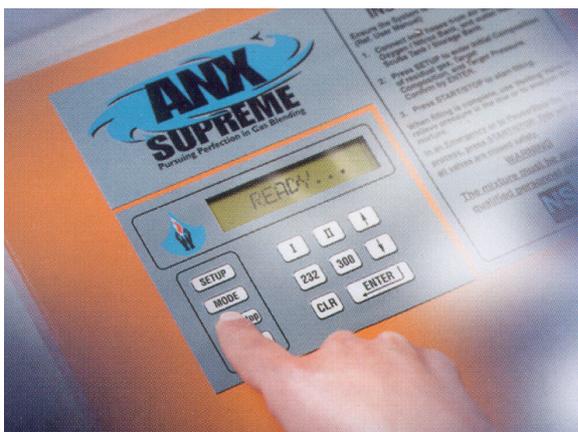
Il suffit d'utiliser ce mélange sortant pour remplir les bouteilles de nitrox.

Le pourcentage d'oxygène du mélange sortant de filtre à membrane dépend du débit et de la pression avec laquelle on entre dans le filtre...

Avantage : pas de manipulation d'oxygène pur

Inconvénient : le prix

### APPAREILS AUTOMATIQUES

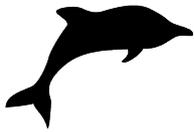


Imaginez un panneau de contrôle muni d'un clavier. Depuis le clavier l'on donne le pourcentage et la pression du nitrox restant dans la bouteille puis le pourcentage et la pression finale que l'on désire.

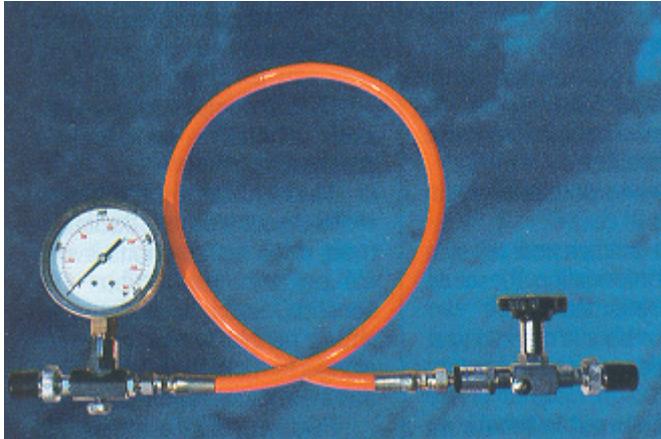
Ensuite l'ordinateur contrôle l'ouverture et la fermeture de vannes magnétiques et ajoute l'oxygène et l'air nécessaire à la fabrication du mélange demandé.

Avantage : mélange réalisé automatiquement

Inconvénient : le prix



## LA METHODE DES PRESSIONS PARTIELLES



Pour fabriquer un nitrox ou un trimix il faut:

- Une bouteille vide.
- Transvaser la quantité d'oxygène pur et d'hélium nécessaire.
- Compléter avec de l'air comprimé jusqu'à la pression finale.

Bien entendu, il est possible de compléter une bouteille contenant du nitrox, du trimix pour disposer à nouveau d'une bouteille

gonflée à la pression finale et à la pression désirée (200 ou 300 bars).

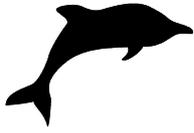
## LES DIFFERENTS TYPES DE NITROX

Théoriquement, l'on peut fabriquer n'importe quel nitrox.

Dans la pratique, l'on descend rarement le pourcentage d'O<sub>2</sub> en dessous de 30% car l'on est alors trop proche de l'air comprimé et les avantages du nitrox deviennent insignifiants. D'autre part, si le pourcentage d'O<sub>2</sub> est supérieur à 50%, la profondeur de la plongée est tellement réduite que, là aussi, les avantages du nitrox s'estompent.

## PRINCIPAUX MELANGES UTILISES

Nitrox Pourcentage de O <sub>2</sub> / N <sub>2</sub>	Profondeur maximale pour une pression partielle de 1,6b
30/70	43m
<b>32/68</b>	<b>40m</b>
36/64	34m
<b>40/60</b>	<b>30m</b>



### IDENTIFICATION DU MELANGE NITROX SUR LES BOUTEILLES

Une fois le mélange fabriqué et contrôlé, il est indispensable de marquer distinctement les bouteilles de nitrox.

- **METTRE UNE ÉTIQUETTE MENTIONNANT LE % D'OXYGÈNE DANS LE MÉLANGE, LA PRESSION, LA DATE DE FABRICATION ET LE VISA DU FABRICANT DU NITROX.**

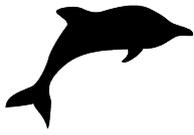
PUIS LE MÉLANGEUR REMPLIRA LE REGISTRE DES MÉLANGES, CAHIER DANS LEQUEL TOUTES LES BOUTEILLES SERONT CONSIGNÉES.

### L'UTILISATEUR

AVANT L'UTILISATION L'UTILISATEUR DOIT

**TOUJOURS CONTRÔLER LE MELANGE AVANT DE PLONGER**

ET COMPLÉTER LE REGISTRE DES MÉLANGES.



## L'HELIUM

Très fin et très léger l'hélium « diffuse » très bien mais est moins soluble que l'azote. Considéré aussi comme un diluant il n'est pas narcotique et est utilisé à la place de l'azote.

Il s'est formé par « fusion nucléaire », dans les étoiles, quand les noyaux d'hydrogènes ont « fusionnés », sous l'effet de la chaleur et de la pression.

L'hélium existe en abondance dans l'atmosphère du Soleil (d'où l'origine de son nom : Helios), mais on ne le trouve qu'à l'état de traces dans l'atmosphère terrestre (0.0005%). Il provient en grande partie de puits de gaz naturels et quelques gisements pétroliers et les plus grandes réserves sont au USA. On en trouve aussi en Algérie, Pologne, Russie, Inde. On l'extrait au moyen de forages profonds dans le sous-sol.

Ces gisements d'hélium représentent la partie d'hélium qui a été produit dans les étoiles et est resté « piégé » sur terre (par la gravité).

Aucune réglementation spéciale n'existe pour ce gaz, qui n'est pas dangereux.

## LE TRIMIX

### DÉFINITION

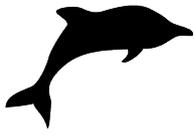
Un trimix est un mélange d'oxygène, d'azote et d'hélium.

### DÉSIGNATION

Pour désigner un trimix, l'on cite d'abord le pourcentage d'oxygène (O<sub>2</sub>) qu'il contient puis le pourcentage d'hélium (He) et enfin celui de d'azote (N<sub>2</sub>) contenu dans le mélange.

Exemple pour un trimix contenant 20% d'O<sub>2</sub>, 23% d'He et 57% de N<sub>2</sub>:

**Trimix 20/23/57 ou aussi Trimix 20/23.**



## RÉGLEMENTATION POUR L'UTILISATION DU TRIMIX

Actuellement (2009) aucune réglementation n'existe en suisse. Même la SUVA n'a pas défini le problème des accidents avec du trimix...

## PREPARATION DU MATERIEL POUR LE TRIMIX

Rien de spécial ne doit être fait pour le trimix.

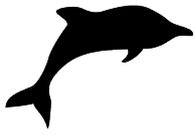
## LES DIFFÉRENTS TYPES DE TRIMIX

Le pourcentage des gaz sera calculé en fonction des pressions partielles que le plongeur acceptera de respirer et qui sont compatibles avec les législations en vigueur.

A observer :

Limite azote : maximum 4 bars de  $P_p N_2$  à la profondeur maximale.

Limite oxygène : maximum 1,4 bar de  $P_p O_2$  à la profondeur maximale  
maximum 1,6 bar en décompression.



## FABRIQUER LES MÉLANGES DE GAZ

### RAPPEL DES LOIS PHYSIQUE

#### LA LOI DE DALTON

La pression partielle est une partie de la pression.

C'est la partie de la pression exercée par l'un des gaz composant le mélange : -> une partie du mélange

#### EXEMPLE

Air, au niveau de la mer.

Air -> 79% N<sub>2</sub> Pp = 0,79b

21% O<sub>2</sub> Pp = 0,21b

100% P = 1 b

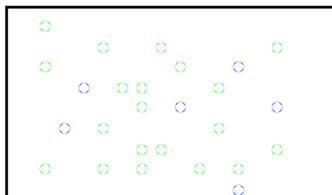
Cette pression partielle a été mise en évidence par John Dalton, physicien anglais (1766-1844)

#### ÉNONCÉ DE LA LOI

«A température constante, la pression partielle exercée par un gaz dans un mélange équivaut à celle qu'il exercerait s'il occupait seul le volume total du mélange. »

ou

«A température donnée, la pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qu'aurait chacun des gaz s'il occupait seul le volume total. »



AIR : 21% O<sub>2</sub>  
79% N<sub>2</sub>

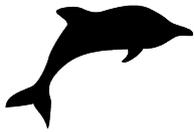


O<sub>2</sub> -> 0.21 b



N<sub>2</sub> -> 0.79 b

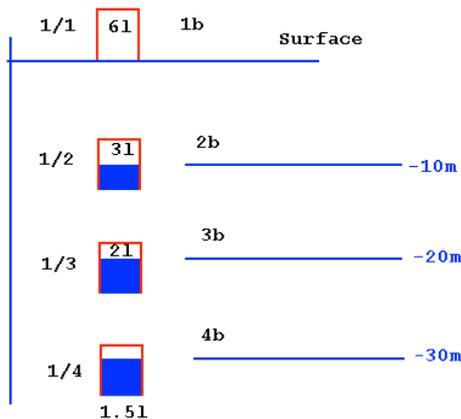




LA LOI DE BOYLE/MARIOTTE

Un récipient vide est descendu bien droit, orifice d'entrée vers le bas. L'on constate que l'eau monte dans le récipient, en fonction de la pression.

Si l'on multiplie le volume restant par la pression absolue qu'il subit, le résultat est une constante.



Pression	Volume	K
1 bar	6 l	6
2 bars	3 l	6
3 bars	2 l	6
4 bars	1,5 l	6
10 bars	0,6 l	6

Cela signifie donc que plus l'on descend sous l'eau, plus le volume d'air diminue. Inversement, si l'on remonte, le volume d'air augmentera. Donc :

« A TEMPERATURE CONSTANTE, LE VOLUME D'UN GAZ EST INVERSEMENT PROPORTIONNEL A LA PRESSION QU'IL SUBIT »

Formules

P1 \* V1 = P2 \* V2

$$P_1 = \frac{P_2 * V_2}{V_1} \quad V_1 = \frac{P_2 * V_2}{P_1}$$

LOI DE GAY-LUSSAC OU DE CHARLES

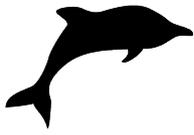
« A volume constant, la pression d'un gaz est proportionnelle à la température qu'il subit »

Si la température augmente, P \* V augmente et la pression dans la bouteille augmente.

La formule devient :

$$\frac{P_1 * V_1}{T_1} = \frac{P_2 * V_2}{T_2}$$

T = température absolue, en Kelvin (t en °C + 273,15)



## NITROX

### RAISONNEMENT

Pour arriver à 100 bars de nitrox 40/60 il faut avoir 40 bars d'O<sub>2</sub> et 60 bars de N<sub>2</sub>

Si nous avons de l'azote pur et de l'oxygène pur nous pourrions mettre 60 bars d'azote et 40 bars d'oxygène et les proportions seraient juste.

Cependant nous mettrons l'azote nécessaire avec de l'air.

Ainsi, quand nous aurons mis 60 bars d'azote nous aurons aussi mis de l'oxygène, selon la règle de trois suivante :

$$\frac{60 \times 100}{79} = 75,95 \rightarrow 76 \text{ bars d'air soit } 60 \text{ bars d'azote et } 16 \text{ bars d'oxygène.}$$

C'est donc OK pour l'azote mais il manque  $40 - 16 = 24$  bars d'oxygène.

Il faudra alors ajouter ces 24 bars d'oxygène dans la bouteille et les proportions seront juste.

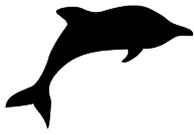
### NITROX 40/60 À 200 BARS

La bouteille à remplir est vide.

Il faut transvaser d'abord 48 bars d'oxygène puis la bouteille sera complétée par de l'air, jusqu'à 200 bars, avec le compresseur (152 bars d'air).

Contrôle :

Azote	= 79 % de 152 bars d'air =	120 bars
Oxygène	= 21 % de 152 bars d'air =	32 bars
	Déjà dans la bouteille	48 bars
	Total	200 bars

**FORMULE**

Nitrox 40/60 à 200 bars:

Le rapport AIR/AZOTE est :

$$\text{AIR/AZOTE} = 100/79 = 1,27$$

LA FORMULE EST :

$$P_{\text{FINALE}} * (1,27 * \% \text{ N}_2 \text{ DU NITROX})$$

SOIT

$$200 * (1,27 * 0,6) = 152 \text{ BARS D'AIR} \rightarrow \text{METTRE 48 BARS D'OXYGÈNE PUR}$$

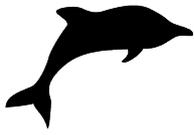
OU BIEN

$$1,27 * 0,6 = 0,76 \rightarrow \text{COEFFICIENT PAR LEQUEL LA PRESSION FINALE EST MULTIPLIÉE}$$

SOIT

$$200 \text{ bars} * 0,76 = 152 \text{ bars d'AIR} \rightarrow \text{mettre 48 bars d'OXYGÈNE PUR}$$

**A PARTIR DE CETTE FORMULE ON PEUT CONSTRUIRE UNE TABELLE. (VOIR PAGE 45)**

**COMPLETER UNE BOUTEILLE****MÊME MÉLANGE**

Il reste du nitrox dans la bouteille et l'on ne veut pas le jeter.

**EXEMPLE**

Il reste 40 bars de nitrox 40/60 et l'on veut remonter à 200 bars du

**MÊME MÉLANGE**

Il faut tenir compte de la différence à rajouter c'est à dire :

$$200 \text{ bars} - 40 \text{ bars} = 160 \text{ bars}$$

Le calcul devient :

$$160 * 0.76 = 122 \text{ bars d'air}$$

donc

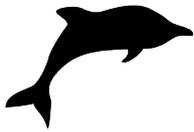
$$160 \text{ bars} - 122 \text{ bars} = 38 \text{ bars O}_2$$

Pour faire le complément l'on lira sur le manomètre de précision:

$$40 \text{ bars de 40/60 restant} + 38 \text{ bars d'O}_2 = 78 \text{b}$$

et l'on ajoutera 122 bars d'air avec le compresseur pour atteindre la pression finale de 200 bars.

Voir tablelle page 45



**AUTRE MÉLANGE**

FICHE DE FABRICATION

Pression de complément

A = Pression finale du nitrox à fabriquer, en bars

C = Pression résiduelle du nitrox à recycler, en bars

D = Pression de complément, en bars

$$A \quad \boxed{\phantom{000}} \quad - C \quad \boxed{\phantom{000}} \quad = D \quad \boxed{\phantom{000}}$$

G = % de N<sub>2</sub> dans le nitrox à recycler

H = % de N<sub>2</sub> dans le nitrox à fabriquer

I = Pression partielle de N<sub>2</sub> dans le nitrox à recycler

J = Pression partielle de N<sub>2</sub> dans le nitrox à fabriquer

K = Différence des pressions partielle de N<sub>2</sub>

$$A \quad \boxed{\phantom{000}} \quad * H \quad \boxed{\phantom{000}} \quad \% = J \quad \boxed{\phantom{000}}$$

$$C \quad \boxed{\phantom{000}} \quad * G \quad \boxed{\phantom{000}} \quad = I \quad \boxed{\phantom{000}}$$

$$J \quad \boxed{\phantom{000}} \quad - I \quad \boxed{\phantom{000}} \quad = K \quad \boxed{\phantom{000}}$$

E = Pression d'air à compléter

F = Pression de O<sub>2</sub> à compléter

R = Pression lue au mano, après complément de O<sub>2</sub>

$$1,27 \quad * K \quad = E \quad \boxed{\phantom{000}} \quad \boxed{\phantom{000}}$$

$$D \quad \boxed{\phantom{000}} \quad - E \quad \boxed{\phantom{000}} \quad = F \quad \boxed{\phantom{000}} \quad \text{Pression d'O}_2 \text{ à ajouter.}$$

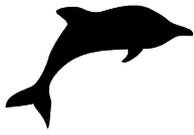
$$F \quad \boxed{\phantom{000}} \quad + C \quad \boxed{\phantom{000}} \quad = R \quad \boxed{\phantom{000}} \quad \text{Pression après ajout O}_2$$

**CONTRÔLE**

$$F \quad \boxed{\phantom{000}} \quad + E \quad \boxed{\phantom{000}} \quad + C \quad \boxed{\phantom{000}} \quad = A \quad \boxed{\phantom{000}}$$

Attention : Si la bouteille est trop pleine d'un mélange riche en O<sub>2</sub> il peut être nécessaire de vider la bouteille puis de rajouter seulement de l'air.

Voir tablelle page 46



## TRIMIX

### DEFINITION DU MELANGE

La composition du mélange nécessaire pour effectuer une plongée se calcule et tenant compte des limites que nous imposent les gaz concernés c'est à dire :

**Oxygène -> PpO<sub>2</sub> maximale de 1.4**

**Azote -> PpN<sub>2</sub> maximale fixée à 4 bars.**

Le reste est de l'hélium.

### EXEMPLE :

**Une plongée à 50 mètres de profondeur : 50m. = 6 bars de PA.**

$$\text{Oxygène} \quad \frac{1.4}{6} * 100 = 23 \%$$

$$\text{Azote} \quad \frac{4}{6} * 100 = 67 \%$$

Total 90% -> il faudra donc 10% d'hélium dans le mélange.

Il faut fabriquer un trimix 23/10/67.

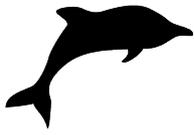
**Une plongée à 60 mètres de profondeur : 60m. = 7 bars de PA.**

$$\text{Oxygène} \quad \frac{1.4}{7} * 100 = 20 \%$$

$$\text{Azote} \quad \frac{4}{7} * 100 = 57 \%$$

Total 77% -> il faudra donc 23% d'hélium dans le mélange.

Il faut fabriquer un trimix 20/23/57.



### FABRICATION D'UN TRIMIX

Fabrication d'un trimix 20/23/57, bi de 2x10 litres à 200 bars.

Raisonnement :

Pour 100% ou 100 bars :

N<sub>2</sub> -> L'azote sera ajouté en gonflant le bi au compresseur, avec de l'air. Cependant si l'on ajoute de l'air on ajoutera aussi de l'oxygène... dans une proportion de 1.27 (100/79)

Pour avoir 57 bars d'azote je dois mettre  $57 * 1.27 = 72$  **bars d'air**. Ce faisant j'aurai :

O<sub>2</sub> -> 72 bars d'air contenant 57 bars d'azote donc  $72 - 57 = 15$  bars d'oxygène donc,

Pour avoir 20 bars d'oxygène il faut ajouter  $20 - 15 = 5$  **bars d'O<sub>2</sub>**

He -> Le reste est de l'hélium c'est-à-dire  $72 + 5 = 77$  -> pour 100 = **23 bars d'hélium**

Fabrication :

Dans le bi-bouteille vide on transvasera d'abord l'hélium :

#### 1. He

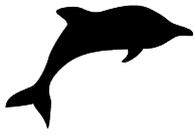
23% de 200 bars = 46 bars He (920 litres soit 19 bars d'une B50 qui doit être au moins à 65 bars)

#### 2. O<sub>2</sub>

Transférer 10 bars d'oxygène. (5 bars pour 100). Il faut que la B50 contienne au moins 70 bars d'O<sub>2</sub>.

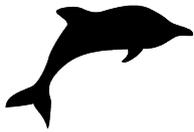
#### 3. Air

Compléter avec le compresseur jusqu'à 200 bars ->  $200 - (46 + 10) = 144$  bars d'air.

**EXERCICES**

Réponse en page 43

- 1) Quelle est la  $P_p O_2$  maximale qu'un plongeur peut respirer ?
- 2) En suisse, quelle pression partielle d'azote ne devrait-on pas dépasser ?
- 3) Quel est le pourcentage d'oxygène maximal possible pour une plongée à :  
30m, 40m, 60m, 80m, palier de 6m ?
- 4) Quelle est la pression partielle de chacun des gaz d'un nitrox 34/66 à 32m, de profondeur ?
- 5) Quelle pression d'oxygène pur faut-il mettre dans la bouteille pour fabriquer un nitrox 32 à 200 bars.
- 6) Combien d'oxygène fait-il rajouter pour refaire un nitrox 36 à 200 bars, partant d'une bouteille de nitrox 36 à 80 bars.
- 7) Quelle est la pression finale après ajout d'oxygène. (question 6)
- 8) Combien faut-il rajouter d'oxygène pour finir avec un nitrox 40 à 200 bars, partant de 80 bars de nitrox 32 ?
- 9) Combien faut-il rajouter d'oxygène pour finir avec un nitrox 32 à 200 bars, partant de 60 bars de nitrox 40 ?
- 10) Que faut-il faire pour finir avec un nitrox 36 à 200 bars, partant de 130 bars de nitrox 50 ?



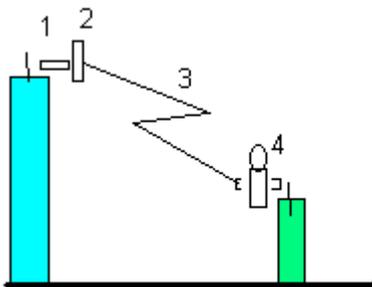
## LE MATÉRIEL DU MÉLANGEUR

C'est un peu la « valise de l'alchimiste ». Il faut investir environ CHF 1'500.- pour disposer du matériel de base.

Regroupé dans une valise solide le matériel du mélangeur lui permettra de travailler partout.

Bien sûr, une installation fixe est aussi possible.

## LA LYRE DE TRANSFERT



B50 Oxygène

Bouteille à remplir

C'est l'accessoire principal. Prévu pour l'usage de l'oxygène pur elle est bien sûr dégraissée. L'idéal est de disposer d'un tuyau d'environ 1.50m. (3) à chaque extrémité se trouve un raccord DIN AIR COMPRIME (G 5/8 droite) mâle.



Un clapet anti-retour (1), une vanne de précision (2), un manomètre et une purge (4) sont nécessaires.

Le clapet anti-retour évitera que du nitrox entre accidentellement dans la bouteille d'oxygène.

La vanne des bouteilles n'est pas précise et ne permet pas de « laminer » correctement le flux d'oxygène. C'est pourquoi il est nécessaire de monter une vanne de précision (contrôle du débit = contrôle de l'échauffement).

La purge servira à vider le tuyau et à pouvoir ainsi le dévisser des bouteilles...

Il faut encore une série de raccords permettant de raccorder la lyre aux bouteilles d'oxygène. Pour cela, en suisse, il faut disposer d'un raccord DIN air comprimé femelle d'un côté et 3/4 pouces droite femelle de l'autre côté (bouteille O<sub>2</sub>). (5)

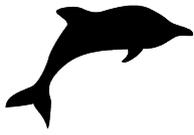
ATTENTION : chaque pays a ses raccords spécifiques...

## LE MANOMÈTRE

Lui aussi doit être compatible oxygène. Ce doit être au moins un manomètre de classe 1 (précision de lecture).

Il existe actuellement de très bon manomètres avec un affichage digital...





## CONSEILS PRATIQUE POUR BIEN MÉLANGER

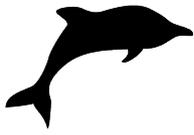
1. Il faut être seul → personne ne vous dérange, dans un local bien aéré et avec la sortie facilement accessible.
2. Placer dans un endroit accessible instantanément un extincteur et une paire de gros gants de jardin.
3. Ne pas fumer...
4. Brancher les raccords puis la lyre de transfert sur la bouteille d'oxygène.
5. Brancher l'autre extrémité sur la bouteille à gonfler. Enlever l'ancienne étiquette d'identification se trouvant éventuellement encore sur la bouteille.
6. Fermer la vanne de précision.
7. Ouvrir la bouteille d'O<sub>2</sub>.

### SI LA BOUTEILLE EST VIDE :

8. Ouvrir le robinet de la bouteille à gonfler.
9. Ouvrir délicatement la vanne de précision : l'oxygène se transvase dans la bouteille de plongée.
10. Laisser monter lentement la pression dans la bouteille de plongée jusqu'à la valeur désirée.
11. Pendant ce temps préparer l'étiquette d'identification : n'inscrire que le % d'oxygène qu'il y aura dans le mélange final. On sait ainsi que cette bouteille n'a pas encore le complément air...
12. Quand la pression désirée est atteinte, fermer la vanne de précision, contrôlez la pression puis fermez le robinet de la bouteille de plongée. Purgez la lyre et finir de gonfler la bouteille de plongée avec de l'air.

### SI LA BOUTEILLE N'EST PAS VIDE :

8. Ouvrir le robinet de la bouteille de plongée, lire la pression au manomètre. Sur l'autre sortie, analyser précisément le mélange.
9. Consulter la table de fabrication des mélanges → Laisser éventuellement s'échapper par la purge les quelques bars en trop. Ne pas purger la lyre.



10. Quand la pression désirée est atteinte refermer la purge et ouvrir délicatement la vanne de précision : l'oxygène se transvase dans la bouteille de plongée.
11. Laisser monter lentement la pression dans la bouteille de plongée jusqu'à la valeur désirée.
12. Pendant ce temps préparer l'étiquette d'identification : n'inscrire que le % d'oxygène qu'il y aura dans le mélange final. On sait ainsi que cette bouteille n'a pas encore le complément air...
13. Quand la pression désirée est atteinte, fermer la vanne de précision, contrôlez la pression puis fermez le robinet de la bouteille de plongée. Purgez la lyre et mettre la bouteille de plongée au gonflage air.

#### ATTENTION

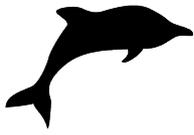
Organiser le gonflage et le stockage des bouteilles de manière à ce que les bouteilles de nitrox ne puissent être confondues avec des bouteilles contenant de l'air comprimé.

#### AUTRE TECHNIQUE DE MARQUAGE, UTILISEE EN DRS :

- 1) Raccorder la bouteille vide à la source d'O<sub>2</sub>.
- 2) Après le remplissage de l'O<sub>2</sub> retirer l'étiquette.
- 3) Raccorder la bouteille à la source d'air.
- 4) Après le remplissage de l'air, coller une nouvelle étiquette.
- 5) Analyser le mélange.
- 6) Compléter l'étiquette avec les données de l'analyse.

Cette manière de faire présente les avantages suivants :

Bouteille avec l'ancienne étiquette = bouteille vide (utilisée).  
Bouteille sans l'étiquette = bouteille remplie seulement avec l'oxygène.  
Bouteille avec l'étiquette vide = bouteille pleine mais pas encore analysée.  
Bouteille avec l'étiquette remplie = bouteille prête à l'emploi.



## ANALYSER LE NITROX

Après la fabrication du mélange il faut le contrôler.

Cependant, il n'est pas possible de réaliser ce contrôle tout de suite après la fabrication car le mélange a besoin de temps pour se mélanger parfaitement (Règle de Bertholet).

**EN RÈGLE GÉNÉRALE, IL FAUT ATTENDRE  
12 HEURES AVANT DE PROCÉDER AU CONTRÔLE**

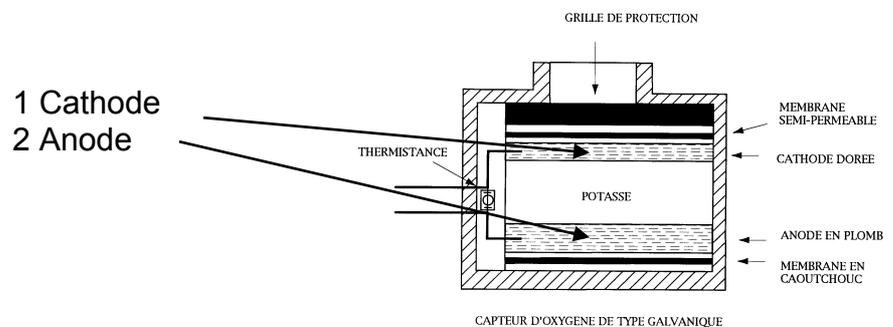
En pratique il a été observé que si le mélange a été fabriqué dans de petites bouteilles, 4-5 litres, il n'y a pratiquement pas de changement alors que sur des grandes bouteilles, 10-15 litres, les gaz doivent avoir le temps de se mélanger.

Il a été constaté aussi que des mélanges trimix ou des nitrox à plus de 40% d'oxygène pouvaient ne pas être mélangées correctement si elles sont stockées debout. **C'est pourquoi nous recommandons de toujours stocker ces bouteilles couchées et de bien vérifier la composition des mélanges avant l'utilisation**

## L'ANALYSEUR D'OXYGÈNE

### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Chaque appareil a besoin d'un capteur, par exemple de type galvanique. Ce capteur possède 2 électrodes :

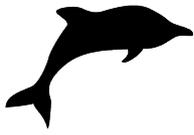


L'anode en plomb et la cathode dorée en alliage de cuivre et de béryllium baignent dans un électrolyte, une solution de potasse. Une membrane semi-perméable en téflon laisse passer le gaz tout en empêchant l'électrolyte de s'échapper. Entre la cathode et l'anode, une thermistance compense les variations de température.

Le capteur d'oxygène se comporte comme une pile. Le courant entre l'anode et la cathode va être proportionnel à la quantité d'oxygène qui va traverser la membrane semi-perméable de téflon et oxyder l'anode.

Ce courant est mesuré, corrigé du facteur de température et transformé en une valeur qui va s'afficher sur l'écran de l'appareil.

Et comme la cellule de mesure est toujours en contact avec l'oxygène de l'air elle fonctionne tous le temps et s'use lentement, même si l'appareil n'est pas utilisé en mesure.



### **CALIBRATION DE L'APPAREIL**

Pour calibrer l'appareil il est possible d'utiliser de l'oxygène pur (100%). Mais la calibration la plus simple se fait avec de l'air.

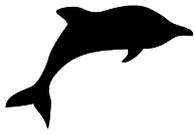
- Enclencher l'appareil.
- Mettre le capteur dans un flux de gaz dont la concentration en oxygène est connue (air = 20.9%).
- Attendre environ 20 secondes (ou jusqu'à ce que l'affichage soit stable).

Sur certains analyseurs :

- Si l'affichage n'indique pas la valeur souhaitée, ajuster cette valeur avec la commande prévue à cet effet ou, en fonction du type d'analyseur, confirmer la calibration.
- S'IL EST IMPOSSIBLE D'AFFICHER LA VALEUR VOULUE C'EST QUE LE CAPTEUR OU L'APPAREIL EST DÉFECTUEUX ET NE PEUT ÊTRE UTILISÉ.

### **CALIBREZ L'APPAREIL CHAQUE FOIS QU'IL EST ENCLENCHÉ**





## INFLUENCE DE LA PRESSION, DE L'HUMIDITÉ ET DE LA TEMPÉRATURE

Pour avoir toujours des mesures exactes et fiables il est nécessaire de comprendre quelles seront les influences de la pression, de l'humidité et de la température sur ces mesures.

### INFLUENCE DE LA PRESSION

**Le capteur détecte les changements de pression partielle et pas les changements de concentration d'oxygène.** Que la pression barométrique change et l'indication de l'affichage change aussi, sans que la concentration n'ait été modifiée. La pression partielle d'oxygène est égale au pourcentage d'oxygène multiplié par la pression du gaz mesurée.

$$P_{pO_2} = (\%O_2) * (Pa)$$

### EXEMPLE

Au niveau de la mer, à une pression égale à 1.000 bars et avec de l'air sec l'on obtient un affichage de 21%.

$$PO_2 = (21 \%) * (1 \text{ bar}) \rightarrow PO_2 = 0.21 \text{ bar}$$

Si l'appareil est ainsi calibré, (0.21 bar, 21% O<sub>2</sub>) la mesure que l'on effectuera en altitude, par exemple 1'000m, environ (0.9 bar) l'affichage montrera la valeur suivante :

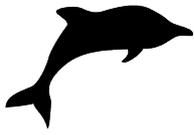
$$PO_2 = (21\%) * (0,9 \text{ bar}) \rightarrow PO_2 = 0.19 \text{ bar}$$

$$\frac{PO_2 \text{ Effective}}{PO_2 \text{ H. sur Mer}} = \frac{X}{21\%} = \frac{0.19 \text{ bar}}{0.21 \text{ bar}} = \frac{X}{21\%} \quad \text{ou} \quad X = \frac{(21\%) * (0.19 \text{ bar})}{0.21 \text{ bar}}$$

$$X = 19 \%$$

Ainsi l'appareil trouve que le pourcentage d'oxygène est de 19 % alors qu'il est toujours de 21 % mais que c'est l'altitude, donc la pression absolue qui a changée...

Afin de minimiser l'erreur qui pourrait se produire suite à une diminution de la pression ambiante il est recommandé de toujours calibrer l'appareil sur le lieu même où la mesure sera effectuée, ceci juste avant d'effectuer cette mesure.



### **INFLUENCE DE L'HUMIDITE**

La conséquence de l'humidité sur une mesure se traduit par une mesure en général plus faible, donnant une concentration d'oxygène plus basse qu'en réalité. L'humidité agit comme un diluant.

#### **EXEMPLE :**

Lors d'une mesure d'oxygène pur (100%) avec un taux d'humidité de 100% aussi, la valeur affichée tombe à environ 96-97%.

Si de l'humidité s'est déposée sur la membrane du capteur, le passage de l'oxygène peut être bloqué et la mesure affichera une valeur plus faible que la valeur réelle. Ce problème, typique des sondes de mesures, explique pourquoi il est difficile d'effectuer une mesure dans le flux respiratoire d'un plongeur par exemple.

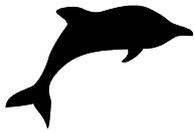
Pour éviter ce problème il faut calibrer l'appareil avec le flux d'air d'une bouteille contenant de l'air, air qui sera aussi sec que le nitrox contenu dans la bouteille que nous voulons analyser.

### **INFLUENCE DE LA TEMPERATURE**

Chaque sonde possède un Thermistor servant à compenser l'effet de la température. Les différences de mesures sont inférieures à 3% pour autant que l'appareil reste dans une plage de température comprise entre 0 et 40°C. La plus grande précision sera obtenue lorsque la mesure est effectuée à la même température que l'étalonnage de l'appareil.

#### **MISE EN GARDE :**

Prendre garde à ne pas tenir la sonde trop longtemps dans la main avant ou pendant la mesure car la température, transmise à la sonde, peut influencer la mesure.



## ANALYSER DU TRIMIX

### L'ANALYSEUR D'HÉLIUM ATOMOX

#### PRINCIPE DE MESURE



Le principe de mesure de l'Atomox est basé sur la conductibilité thermique des gaz.

L'Atomox fournit une mesure en comparant continuellement le gaz à analyser avec un gaz de référence.

La cellule de mesure est composée de deux parties, l'une, étanche, contient le gaz de référence, le gaz à analyser passant dans l'autre. Dans chaque cellule un filament (thermo conducteur) chauffé et sensible au « refroidissement » produit par la conductibilité thermique du gaz est relié à un circuit spécial produisant un courant électrique. C'est la différence de courant électrique qui est mesurée et interprétée en une mesure de pourcentage.

Ainsi l'appareil ne doit pas être étalonné avant la mesure.

Par contre le résultat de la mesure peut être influencé si la cellule de référence n'est plus étanche (gaz étalon différent) ou si la température du gaz à analyser est différente de celle du gaz de référence (mesure immédiatement après le gonflage, bouteille de mélange stockée dans un autre endroit que l'analyseur etc.).

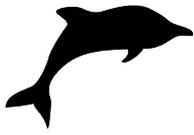
Ce principe de mesure demande aussi que les gaz mesurés soient connus (on sait que l'on va mesurer un mélange contenant de l'hélium, de l'oxygène et de l'azote) Des concentrations de moins de 1% d'autres gaz sont sans importance et peuvent être ignorées car elles n'influenceront pas sensiblement la conductibilité thermique du mélange. Ainsi, l'analyseur ne peut pas détecter la présence d'autres gaz ( $\text{CO}_2$ , Argon etc.) dans le mélange car il ne fait que de comparer des conductibilités thermiques différentes entre le gaz étalon et le gaz à tester et considère que la différence est produite par un ajout d'hélium dans le mélange à tester.

#### LA CELLULE DE MESURE

La cellule de mesure est constituée de deux thermo conducteurs enfermés à l'intérieur d'une enceinte en acier inoxydable résistant à l'explosion.

La construction correspond aux normes de diverses associations (BASEEFA, British Approvals Service for Electrical Equipment in Flammable Atmospheres et le CENELEC, European Committee for Electrotechnical Standardization).

Chaque thermo conducteur est construit en platine et est inséré sur une plaque de céramique (peut être comparé au filament d'une ampoule) L'un est scellé, l'autre est libre. Le temps de réponse de l'appareil dépend de la possibilité des gaz de passer au travers de membranes métalliques. Il est relativement rapide et donne une mesure fiable après 15 secondes déjà.



### **MAUVAIS FONCTIONNEMENTS DE LA CELLULE**

Les « cellules » sont assemblées minutieusement et leur durée de vie espérée est de 10 ans. Passé ce délai il sera nécessaire de remplacer la cellule.

Deux types de dysfonctionnements peuvent être constatés :

Le premier sera la rupture du filament, panne comparable à la rupture du filament d'une ampoule domestique. Dans ce cas l'affichage montrera un chiffre situé entre <5% ou >90%.

Le second cas possible, très rare, serait une infiltration du gaz à mesurer dans la cellule de référence. Le résultat de la mesure ne dépasserait pas une différence de 5%.

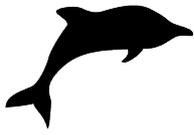
### **MESURER**

La calibration de la mesure a été faite avec un débit de gaz de 2 litres/minute. C'est donc le débit qu'il faut apporter à la cellule de mesure (+/- 0.25l/m).

Il faut que le gaz à mesurer soit à une température égale à celle de la cellule de mesure.. Une différence significative de température peut conduire à une mesure d'hélium erronée. La différence est d'autant plus grande que la température est différente et que le pourcentage d'hélium est grand.

### **ALIMENTATION DE L'APPAREIL DE MESURE**

L'appareil est fourni avec un transformateur. Celui-ci alimente l'appareil en 12V 1.3A. L'analyseur peut aussi être équipé de 8 piles AA. La durée de vie sera de 14 heures environ. Une indication « LOW BATTERY » apparaîtra si la tension est trop faible pour pouvoir effectuer une analyse correcte.

**CORRIGÉ DES EXERCICES DE LA PAGE 33**

1) Mélange fond 1,4 bar, mélange décompression 1.6 bar.

2) En principe 40m à l'air donc une Pp N<sub>2</sub> de 4 bars

$$3) 30m = (1.4 \text{ bar} / 4) * 100 = 35 \%$$

$$40m = (1.4 \text{ bar} / 5) * 100 = 28 \%$$

$$60m = (1,4 \text{ bar} / 7) * 100 = 20 \%$$

$$80m = (1,4 \text{ bar} / 9) * 100 = 16 \%$$

$$6m = (1,6 \text{ bar} / 1,6) * 100 = 100 \%$$

$$4) O_2 = 4.2 \text{ bars} * (34 / 100) = 1.43$$

$$N_2 = 4.2 \text{ bars} * (66 / 100) = 2.77$$

5) Il faut faire 200 bars de nitrox 32.

$$1.27 * 0.68 = 0.86$$

$$200 * 0.86 = 173 \text{ bars d'air} \rightarrow \text{il faut 27 bars d'O}_2$$

6) 200 – 80 = 120 Il faut faire 120 bars de nitrox 36 donc :

$$1.27 * 0.64 = 0.81$$

$$120 * 0.81 = 98 \text{ bars d'air} \rightarrow \text{il faut 22 bars d'O}_2$$

7) 80 + 22 = 102 bars

8) Tablette page 46, ligne « reste pression » colonne 80.

Descendre dans le tableau « Pression après ajout d'oxygène pour un mélange de 40% ».

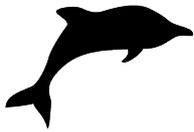
Choisir 32% dans la colonne « reste mélange » du tableau « Pression après ajout d'oxygène pour un mélange de 40 % » La valeur est de 117. Cela représente la pression après ajout d'oxygène.

$$117 - 80 = 37 \text{ bars d'O}_2$$

9) Utilisation de la tablette ci-dessus : Pression après ajout d'O<sub>2</sub> = 73 bars.

Il faut ajouter 13 bars d'oxygène.

10) Il faut vider la bouteille jusqu'à 100 bars, ajouter 1 bar d'oxygène puis rajouter de l'air jusqu'à 200 bars.



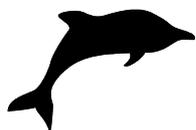
LE REGISTRE DES MÉLANGES

CONTRÔLE DES BOUTEILLES DE NITROX

FABRICATION

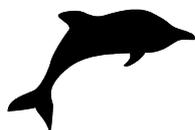
UTILISATION

DATE	NUMÉRO BTE	% O <sub>2</sub>	VISA	DATE	NUMÉRO BTE	% O <sub>2</sub>	VISA



## TABELLE DE FABRICATION DES MÉLANGES NOUVEAUX

<b><i>Fabrication d'un nitrox</i></b> <b><i>Pression à fabriquer</i></b>	<b>30/70</b>	<b>32/68</b>	<b>40/60</b>	<b>50/50</b>	<b>60/40</b>
	Oxygène à ajouter				
50	6	7	12	18	25
60	7	8	14	22	30
70	8	10	17	26	34
80	9	11	19	29	39
90	10	12	21	33	44
100	11	14	24	37	49
110	12	15	26	40	54
120	13	16	29	44	59
130	14	18	31	47	64
140	16	19	33	51	69
150	17	20	36	55	74
160	18	22	38	58	79
170	19	23	40	62	84
180	20	25	43	66	89
190	21	26	45	69	93
<b>200</b>	<b>22</b>	<b>27</b>	<b>48</b>	<b>73</b>	<b>98</b>
210	23	29	50	77	103
220	24	30	52	80	108
230	26	31	55	84	113
240	27	33	57	88	118
250	28	34	60	91	123
<b><i>Fabrication d'un nitrox</i></b> <b><i>Reste dans la bouteille</i></b>	<b>30/70</b>	<b>32/68</b>	<b>40/60</b>	<b>50/50</b>	<b>60/40</b>
	<b>à 200 bars</b>				
	Pression au mano après ajout O2				
40	58	62	78	98	119
50	67	70	86	105	124
60	76	79	93	111	129
70	84	88	101	117	134
80	93	96	109	124	139
90	102	105	116	130	144
100	111	114	124	137	149
110	120	122	131	143	154
120	129	131	139	149	159
130	138	140	147	156	164
140	147	148	154	162	170
150	156	157	162	168	175



## TABELLES DE FABRICATION DES MÉLANGES, AUTRES MÉLANGES

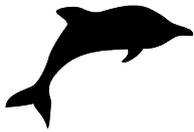
Pression finale 200 bars

Reste pression:	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
<b>Reste mélange</b>	<b>Pression après ajout d'oxygène pour un mélange de 32%</b>																
<b>32%</b>	28	36	45	54	62	71	79	88	97	105	114	123	131	140	148	157	166
<b>36%</b>	28	36	44	52	60	68	76	85	93	101	109	117	125	133	141		
<b>40%</b>	28	35	43	51	58	66	73	81	89	96	104	111					
<b>50%</b>	28	34	41	47	53	59	66	72									
<b>60%</b>	28	33	38	43	48	53											
<b>Reste mélange</b>	<b>Pression après ajout d'oxygène pour un mélange de 36% O<sub>2</sub></b>																
<b>32%</b>	38	47	55	64	72	81	90	98	107	115	124	133	141	150	158	167	176
<b>36%</b>	38	46	54	62	70	78	87	95	103	111	119	127	135	143	151	159	168
<b>40%</b>	38	46	53	61	68	76	84	91	99	106	114	122	129	137	144	152	
<b>50%</b>	38	44	51	57	63	70	76	82	89	95	101						
<b>60%</b>	38	43	48	53	58	63	68	73									
<b>Reste mélange</b>	<b>Pression après ajout d'oxygène pour un mélange de 40% O<sub>2</sub></b>																
<b>32%</b>	48	57	65	74	83	91	100	108	117	126	134	143	151	160	169	177	186
<b>36%</b>	48	56	64	72	81	89	97	105	113	121	129	137	145	153	162	170	178
<b>40%</b>	48	56	63	71	78	86	94	101	109	116	124	132	139	147	154	162	170
<b>50%</b>	48	54	61	67	73	80	86	92	99	105	111	118	124	130			
<b>60%</b>	48	53	58	63	68	73	78	84	89	94							
<b>Reste mélange</b>	<b>Pression après ajout d'oxygène pour un mélange de 50% O<sub>2</sub></b>																
<b>32%</b>	73	82	91	99	108	116	125	134	142	151	159	168	177	185	194		
<b>36%</b>	73	82	90	98	106	114	122	130	138	146	154	163	171	179	187	195	
<b>40%</b>	73	81	89	96	104	111	119	127	134	142	149	157	165	172	180	187	195
<b>50%</b>	73	80	86	92	99	105	111	118	124	130	137	143	149	156	162	168	175
<b>60%</b>	73	78	84	89	94	99	104	109	114	119	124	129	134	139	144		
<b>Reste mélange</b>	<b>Pression après ajout d'oxygène pour un mélange de 60% O<sub>2</sub></b>																
<b>32%</b>	99	107	116	125	133	142	150	159	168	176	185	193					
<b>36%</b>	99	107	115	123	131	139	147	155	164	172	180	188	196				
<b>40%</b>	99	106	114	122	129	137	144	152	159	167	175	182	190	197			
<b>50%</b>	99	105	111	118	124	130	137	143	149	156	162	168	175	181	187	194	
<b>60%</b>	99	104	109	114	119	124	129	134	139	144	149	154	159	165	170	175	180

CMAS Suisse, Commission Technical Diving

© 2002 Ernst Völlm

- Choisir la colonne correspondante à la pression restante dans la bouteille.
- Choisir la table correspondante au % d'O<sub>2</sub> final désiré.
- Choisir le % d'oxygène dans le mélange restant. Le chiffre de la table indique jusqu'à quelle pression l'ajout d'oxygène doit être fait.
- Remplir ensuite la bouteille avec de l'air jusqu'à une pression finale de 200 bars.



## MAURO ZÜRCHER

Né le 09.10.1954

plonge depuis 1976

**CMAS** \*\*\* Instructor CMAS.CH National Instructor

**CMAS** Nitrox Staff Instructor

**CMAS** Trimix Staff Instructor

**CMAS** UW Photo Instructor

**RAB.eV** Instructor Trainer

**ETDS** Instructor Trainer

**TDI** Instructor Trainer

**NAUI** Instructor

**SDI** Instructor

**PADI** Divemaster

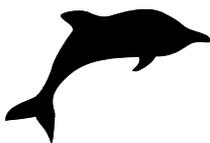
Spécialiste de la plongée profonde, aux mélanges ou avec un recycleur.

Anime une école de plongée en eau douce, à la Neuveville, en Suisse.

A plongé avec son équipe lors de records mondiaux pour assurer la sécurité des apnéistes profonds comme Roland Specker ou Umberto Pelizzari, Frédéric Buyle, Heimo Hanke etc...

A participé à plusieurs tournages de films, notamment au Mexique, dans les Cénotes du Yucatan, avec les requins marteaux de l'île Coco (Costa Rica) ou sur des épaves antiques de méditerranée, en compagnie de Henri Delauze, le célèbre PDG de la Comex.

Contact :



**MZ PLONGEE**

Mauro Zürcher  
Diving Instructor

Case postale 33

2520 La Neuveville

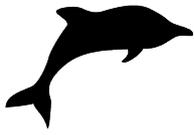
Suisse

Tél. + Fax +41 32 751 45 28

Mobil +41 79 230 56 77

E-Mail [mauro@mzplongee.ch](mailto:mauro@mzplongee.ch)

[www.mzplongee.ch](http://www.mzplongee.ch)



### EVALUATION DU COURS

COURS \_\_\_\_\_ DATE \_\_\_\_\_

Donné par: \_\_\_\_\_

\*\*\*\*\*

1) Quelle est votre impression générale ?

MAUVAISE

MOYENNE

BONNE

\*\*\*\*\*

2) L'objectif du cours a-t-il été atteint ?    NON    PARTIELLEMENT    OUI

POURQUOI ?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\*\*\*\*\*

3) Qu'est ce qui vous a particulièrement

plu

ou

déplu


\*\*\*\*\*

4) Que peut-on améliorer ?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\*\*\*\*\*

REMARQUES/SUGGESTIONS (éventuellement nom et prénom)