



Formation Nitrox C

Conditions de candidature

Être titulaire de la licence FFESSM en cours de validité
 Être âgé d'au moins 16 ans à la date de délivrance
 Être titulaire du niveau 2 ou équivalent
 Avoir au minimum 10 plongées dans la zone des 20 à 30m validées
 Avoir 6 plongées Nitrox dont 4 dans la formation
 Certificat médical

Les prérogatives :

Les plongeurs Nitrox confirmés peuvent
 - Utiliser des mélanges allant **jusqu'à 99% d'O₂ et l'O₂ pur**
 - Utiliser les mêmes prérogatives que leurs niveaux air

Evaluer les limites du Nitrox pour optimiser son utilisation

Différences entre air et Nitrox

La norme EN12021 définit des prescriptions sur la qualité de l'air :
 Teneur en oxygène **21% (à plus ou moins 1%)**
 La teneur en **CO₂** doit être inférieure à **500 ppm**
 La teneur en **CO** doit être inférieure à **15 ppm**

Le terme Nitrox vient de l'association Azote (NITROgène en anglais) et d'Oxygène. Il désigne le mélange de ces deux gaz.

Le Nitrox peut contenir n'importe quel pourcentage d'oxygène compris entre 16 et 99%

Les compétences :

Compétence 1

- Gérer et utiliser son matériel
- Utilisation du matériel spécifique Nitrox et jusqu'à 100% : oxygène pur au palier

Compétence 2

- Plonger en autonomie aux mélanges Nitrox
- Maîtrise de la stabilisation
- Palier à l'oxygène
- Organisation et conduite du profil de plongée
- Choix des mélanges en fonction de plongée prévue

Compétence 3

- Connaissances théoriques
- Différences entre air et Nitrox
- Calcul des profondeurs équivalentes air (évaluation écrite)
- Causes, symptômes et prévention
- Conduites à tenir
- Tables Nitrox (évaluation écrite)
- Notions de fabrications
- prérogatives

Calcul

des profondeurs équivalentes air

Le loi physique qui nous permet de manipuler les différentes données : pourcentage, profondeur équivalente, etc..., nécessaire à l'utilisation des mélanges est la loi de Dalton:

$$Pp = Pabs \times C\%$$

Profondeur d'évolution maximale
 La pression partielle, limite de toxicité de l'O₂, nous impose de calculer la profondeur maximale d'évolution permise.

$$Pmax = ((PpO_2 / \%O_2) - 1) * 10$$

Exemple : quelle est la profondeur maximale possible avec un Nitrox 60% ? PpO₂ max 1,6 bar
 Pression abs = 1,6/0,6 = 2,6 bar ⇔ 16,7m

Profondeur équivalente air pour le calcul de la décompression par la table AIR :

Utilisation de la valeur de l'azote :

Dans l'exemple précédent : 60% O₂ et 40% de N₂ et profondeur maximale 16,7 m = 16m
 Profondeur équivalente air = ((2,6 * 40/79) - 1) * 10 = 3,16 m

Avantages

- Augmenter la durée de plongée sans palier
- diminuer la durée des paliers pour une même durée à l'air
- diminuer le volume de gaz consommé (10 à 15%)
- moins de fatigue à l'issue de la plongée (moins d'azote résiduel)
- améliorer la sécurité et diminuer les risques d'ADD pour un même profil de plongée à l'air
- responsabiliser le plongeur: planification minimum de la plongée

Inconvénients :

- Limitation de la profondeur par rapport à l'air
- Risques liés à la toxicité de l'O₂
- Besoin d'une formation complémentaire
- Manipulation des gaz plus contraignante
- Le besoin d'utiliser du matériel spécifique
- Le Nitrox : plus cher que l'air

Profondeur équivalente air pour le calcul de la décompression par la table AIR :

$$Pea = ((pabs \max * \%N_2 / 0,79) - 1) * 10$$

Exemple :

Plongée à l'air à 60m et déco au Nitrox 32%
 Moyens : 1 bloc 10 litres 300 bar air + 1 bloc 6 litres 230 bar Nx32
 Temps de plongée ?
 Déroulement de la plongée?

Bloc Nx 32 : profondeur maxi :

$$Pmax = (1,6/0,32 - 1) * 10 = 40m$$

Le profil de la plongée : descente 20m/minute, fond 12 minutes et remontée de 60 jusqu'à 40 m à 10m/minute

Pour la table air : durée de la plongée : 15 minutes

Dans la table air : 1' à 9m, 4' à 6m, 19' à 3m, DTR = 29', J

Bloc Nx 32 :

- de 40 m à 9 m : 31 m à 10m/minutes = 3 minutes Pression moyenne 3,5bar,
- 9 m : 1' à pression 1,9 bar, 6 m : 4' à pression 1,6 bar, 3 m : 19' à pression 1,3 bar, Inter paliers : 3' à pression moyenne 1,45 bar
 Consommation = (1,9*1+1,6*4+1,3*19+1,45*2+3*3,5)*20 = 928 litres (6*180 = 1080 litres dans le bloc)

ATTENTION A LA CONSOMMATION DE STABILISATION : LA STAB ! EXEMPLE PRO TECH TAILLE M : 14,1 litres ⇔ A 60 m ⇔ 98,7litres

Consommation à 60 m : 7 * 20 = 140 litres/min
 Volume disponible dans le bloc air : 250 * 10 = 2500 litres
 Durée maxi : 2500/140 = 17,85 minutes : 17 minutes

Exemple : plongées successives,

Intervalle surface 1h00, Profondeur de la deuxième plongée 20m, Bloc nitrox Nx32 : 10 litres 300 bar

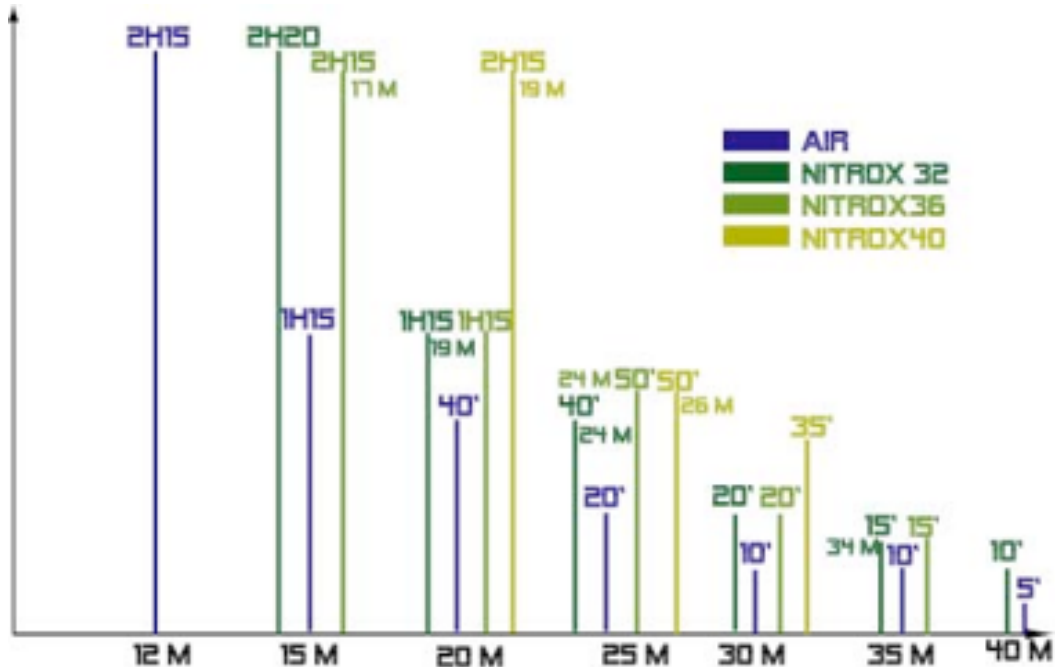
- Profondeur max : 40m pour $PpO_2 = 1,6 \text{ bar}$ - Autonomie = $10 \cdot 250 / (3 \cdot 20) = 41 \text{ minutes}$

Plongée Nitrox à la profondeur équivalente à l'air:

- $Pea = ((3 \cdot 0,68 / 0,79) - 1) \cdot 10 = 15,8 \text{ m}$
 - Sur notre exemple : GPS : J,
1h00 d'intervalle : azote résiduel : 1,11 bar
 - Détermination de la majoration à la Pea : 18 m = 42 minutes
 - Durée réelle 38 minutes + 42 de majoration = 1h20
 - 17 minutes de paliers à 3m
 - Durée total : $2_{\text{descente}} + 36_{\text{plongée}} + 17 + 2_{\text{remontée}} + 1_{\text{interpalier}} = 58'$
- Attention à l'autonomie (41')**

Plongée Nitrox à la table air :

- Sur notre exemple : GPS : J,
1h00 d'intervalle : azote résiduel : 1,11 bar
 - la profondeur est réelle 20 m : majo = 37 minutes
 - Durée réelle 38 minutes + 37 de majoration = 1h15
 - 24 minutes de paliers à 3m
 - Durée total : $2_{\text{descente}} + 36_{\text{plongée}} + 24 + 2_{\text{remontée}} + 1_{\text{interpalier}} = 65'$
- Attention à l'autonomie (41')**



L'effet Paul Bert :

Lors de plongée aux mélanges sur-oxygénés, il existe un risque de crise hyperoxique. Cela peut arriver lors d'un dépassement accidentel de la profondeur limite ou lors de l'utilisation d'un mélange non adapté à la profondeur.

Elle se traduit par une crise convulsive généralisée semblable à une crise d'épilepsie, parfois précédée de signes annonciateurs (10% des cas)

Conditions d'apparition :

en fait, plus que la profondeur, l'apparition des manifestations des effets de l'O₂ est liée à la dose d'exposition qui outre la PpO₂, fait intervenir le temps d'exposition à l'O₂.

La crise hyperoxique :

3 phases

- **Une phase tonique** (1 minute) de contracture généralisée, perte de connaissance, arrêt respiratoire (fermeture de la glotte)
- **Une phase clonique** (2 à 3 minutes) de convulsions, morsures de la langue, perte d'urine
- **Une phase résolutive** (10 minutes), retour progressif à la conscience, reprise de la respiration en s'hyper-ventilant. Le plongeur reprend son activité normale sans se souvenir de la crise

Conduite à tenir:

- Dès les signes annonciateurs, anticiper la phase tonique en faisant rapidement baisser la PpO₂
- En cas de crise hyperoxique ne pas intervenir durant la phase tonique et clonique: la glotte étant fermée, en cas de remontée, il y a risque de surpression pulmonaire. Veillez simplement à ce que le plongeur ne crache pas son embout et ne descende pas plus bas. Avoir une prise adaptée (arrière ou sur le coté) pour ne pas se mettre en danger.
- Profiter de la phase résolutive pour effectuer un sauvetage d'urgence, maintenir l'embout de l'assisté et la tête en extension vers le haut.(SP)

Prévention :

Pour éviter les accidents hyperoxiques lors des plongées Nitrox, il faut:

- Reconnaître des signes annonciateurs si présents
- **Analyser les gaz avant de plonger**
- **Ne pas dépasser le seuil limite de PpO₂ (1,6 bar) prendre par sécurité un seuil de 1,5 bar voire 1,4 bar**
- **Ne jamais dépasser la profondeur limite du Nitrox**
- **Respecter les temps d'exposition (Table NOAA)**
- **Ne pas faire de palier à l'O₂ pur en dessous de 6 m**
- Pour une plongée Nitrox, ne pas dépasser une durée de 2h00 quel que soit le mélange (préconisation de la FFESSM)

L'organisme américain NOAA (National Océanic and Atmospheric Administration) a édité pour les plongeurs professionnels une table de recommandation concernant les limites d'exposition à l'O₂ dans les conditions normales de plongée

Durée limites d'exposition pour la plongée au Nitrox		
ATA	Simple exposition en minutes	Durée maximale d'exposition par 24 heures
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	380
0,8	450	450
0,7	570	570
0,6	720	720

Si en plongée simple, on atteint la limite de la table, il faut attendre **deux heures** pour la plongée successive

Si on atteint la valeur limite de la table en plongée successive dans une période de 24 h, il faut attendre 12h avant de replonger

Pour une plongée successive avec intervalle de moins de 2h00, il faut ajouter les temps de plongée et voir si on ne dépasse pas la valeur limite d'une plongée simple. On utilise alors pour PpO₂ la valeur la plus élevée des deux.

La NOAA a établi un système qui permet d'évaluer l'intoxication du SNC ou CNS (Central Nervous System) par l'O₂, exprimé en % de la durée maximale d'exposition. Plus la valeur est proche de 100% plus le risque d'intoxication est grand.

$$\% \text{ SNV} = 100 \times \text{DTD} / \text{ETL}$$

DTD : durée de la plongée à une profondeur donnée (Dive Time at given Depth)

ETL : temps d'exposition maximum à une PpO₂ donnée (Exposure Time Limits) donné par la table des NOAA

Exemple : on effectue une plongée de **45 minutes** à une profondeur de **29 m au Nitrox 36 Nx36**.

Question : quel le % de SNC

$$\text{PpO}_2 = 3,9 \times 0,36 = 1,4 \text{ bar}$$

On lit dans la table NOAA pour **1,4 bar** : **150 minutes**

$$\% \text{ SNC} = 100 \times 45 / 150 = 30\%$$

Effet Lorrain Smith :

Exposition de longue durée à des pressions supérieures à 0,5 bar : peu probable dans le cas de la plongée loisir.

L'intoxication est au niveau pulmonaire dès que la **Ppo2 dépasse 0,5 bar pour des temps généralement longs.**

Dans la phase précoce de toxicité pulmonaire, on constate une légère gêne au niveau de la cage thoracique. Ensuite on constate une sensation douloureuse rétro sternale similaire à une infection de voies aériennes : douleur et toux sèches incontrôlable aggravées lors d'inspiration profonde ou par l'augmentation de la ventilation due à l'effort

On constate également une diminution de la capacité vitale (CV)

De façon à pouvoir mesurer cette toxicité pulmonaire, il a été développé le concept **UPTD (Unit of Pulmonary Toxic Dose)** ou **OTU (Oxygen Tolerance Unit)**

$$\text{OTU} = \text{UPDT} = Kp * T \text{ (min)}$$

On considère (selon les auteurs) qu'une accumulation de **615 à 625 UPTD**

en plongée est acceptable et provoque une réduction de la CV de 2%

Le total peut être porté à **1425 UPTD** lors de traitements hyperbares

Exemple :

100 minutes d'exposition à une po_2 de 1,6 bar donnent :

$$1,93 * 100 = 193 \text{ UPTD}$$

Exemple :

Jour 1 :

1ere plongée : 28 m, 60 minutes, Nitrox 40

2ème plongée : 20 m, 80 minutes, Nitrox 40

$$Ppo_2 \text{ plongée } 1 = 3,8 * 0,4 = 1,52 \text{ bar}$$

$$\Leftrightarrow Kp = 1,85$$

$$Ppo_2 \text{ plongée } 2 = 3 * 0,40 = 1,20 \text{ bar}$$

$$\Leftrightarrow Kp = 1,32$$

$$\text{Dose journée} = 1,85 * 60 + 1,32 * 80 = 216,6 \text{ OTU} < \text{à } 850$$

Jour 2 :

Plongée 35 m, 90 minutes, Nitrox 32

$$Ppo_2 = 4,5 * 0,32 = 1,44 \text{ bar} \Leftrightarrow Kp = 1,70$$

$$\text{Dose journée} = 1,7 * 90 = 153 \text{ OTU}$$

$$\text{Cumul} = 216,6 + 153 = 369,6 \text{ OTU} < 1400 \text{ OTU}$$

Ppo2	Kp	Ppo2	Kp	Ppo2	Kp
0,55	0,15	1,10	1,16	1,70	2,07
0,60	0,26	1,15	1,24	1,80	2,22
0,65	0,37	1,20	1,32	1,90	2,36
0,70	0,47	1,25	1,40	2,00	2,50
0,75	0,56	1,30	1,48	2,10	2,64
0,80	0,65	1,35	1,55	2,20	2,77
0,85	0,74	1,40	1,63	2,30	2,91
0,90	0,83	1,45	1,70	2,40	3,04
0,95	0,92	1,50	1,78	2,50	3,17
1,00	1,00	1,55	1,85	2,60	3,31
1,05	1,08	1,60	1,93	2,70	3,44

Nb de jour	Dose maxi OTU par jour	Dose cumulée maximum 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

Facteurs de risques d'accidents :

Facteurs individuels :

Age > 40 ans

Poids – masse grasse excessive

Mauvaise forme physique

Antécédents de traumatismes, de maladie grave, ADD, présence d'un FOP

Mauvaise hygiène de vie, prise de médicament, alcool, tabac, alimentation trop

riche en protéines

Perte du conditionnement due à la non répétition des plongées

Facteurs liés à la plongée :

Profondeur / durée trop importante (plongée saturante)

Répétitivité excessive (+ de 2 plongées par jour), profil yoyo, altitude

Vitesse de remontée supérieure à 15 m/minute

Fatigue avant le plongée : déshydratation, psy, hypoglycémie...

Effort/froid/stress psy pendant la plongée

Effort/fatigue après la plongée (apnée, déshydratation, hypoglycémie, choc thermique, etc)

Le matériel :

Le matériel qui est susceptible d'être en contact avec un mélange contenant plus de 40% d'O₂ pur, doit être compatible « oxygène pur » (code du sport)

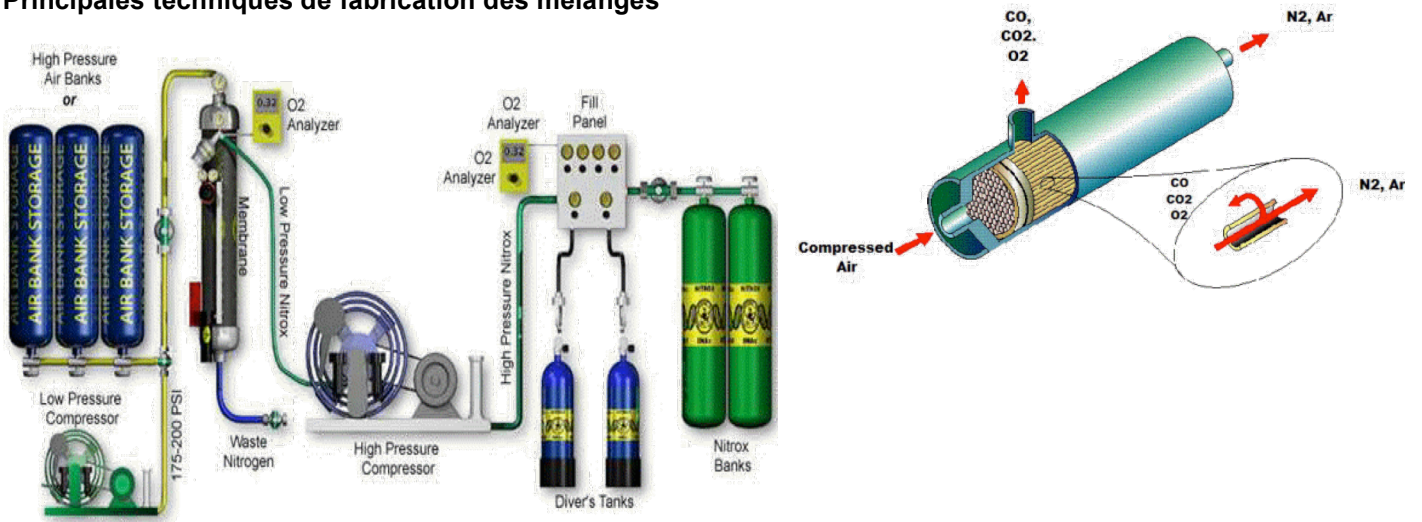
- Matériel dégraissé
- Tous les joints ou clapets compatibles O₂ pur

La norme **NF EN 144-3** de novembre 2003

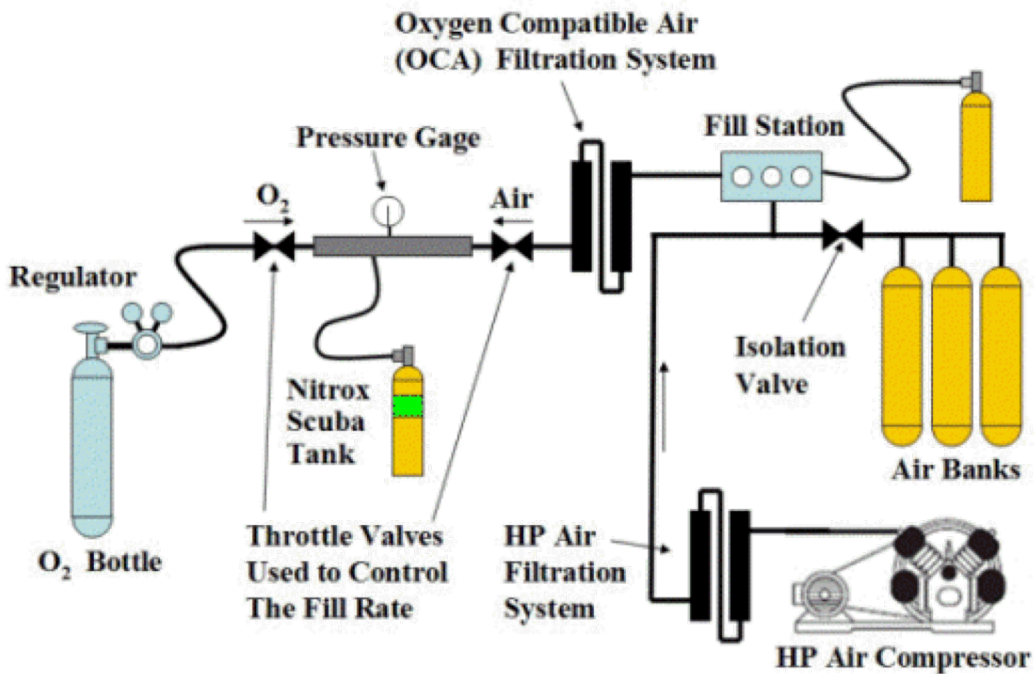
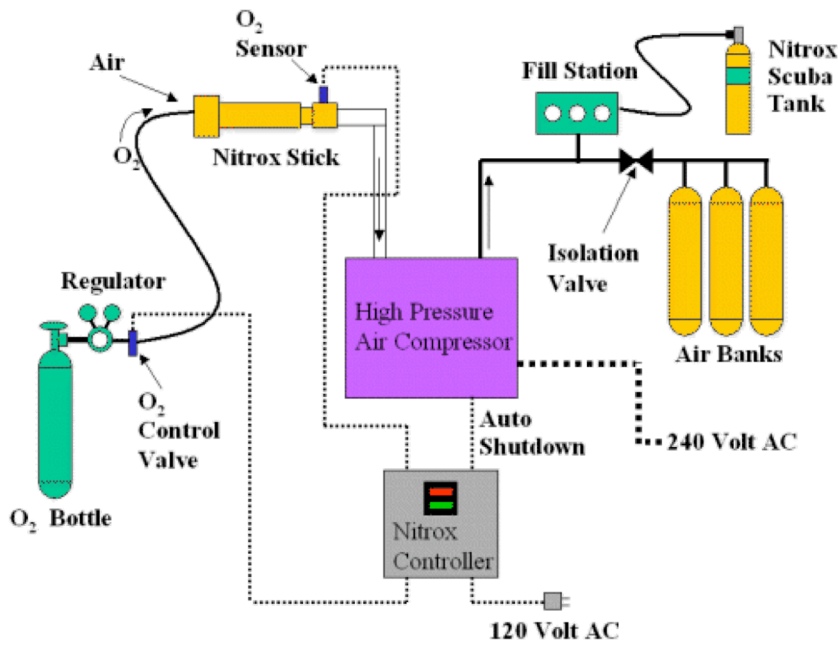
Concerne les raccords de sortie pour le gaz de plongée Nitrox et oxygène et les bouteilles.

Cette norme introduit un filetage particulier (raccordement bouteille et détendeur) pour les bouteilles gonflées au **Nitrox** ou à l'**O₂**-> **filetage 26 x 200**

Principales techniques de fabrication des mélanges



Par mélangeur



La fabrication par la méthode dite des pressions partielles nécessite l'utilisation d'O₂ pur et d'air. Comme l'air contient 21%O₂, il faut en tenir compte lors de la fabrication du mélange désiré .

Différents cas de figure :

BOUTEILLE VIDE

Méthode 1 :

Calculer la pression partielle finale P_{pf} N₂ du Nitrox considéré.

79%N₂ dans l'air. Donc pour trouver la pression d'air à ajouter.

Il faut multiplier P_{pf} N₂ par le rapport 1/0,79 (=1,266)

Le résultat à obtenir moins la pression d'air à ajouter donne la pression O₂ à ajouter

Exemple :

On veut du N32 à 200 bar

P_{pf} N₂ : 200 x 0,68 = 136 bar

Pression air à ajouter : 136 x (1/0,79) =172,16 bar

PO₂ à ajouter : 200-172,16 = 27,8 bar

BOUTEILLE VIDE

Méthode 2 :

Dans le cas où l'on ajoute de l'air, on calcule la P_i d'oxygène à introduire dans le bloc pour obtenir le mélange désiré.

$$P_i = (\%O_2 - 21) / 79 * P_f$$

P_i = P O₂ à ajouter

P_f = P finale en fin de chargement

Exemples:

On veut du Nitrox 40 à 200 bar

P_i = (40 - 21) / 79 * 200 = 48 bar

On veut du Nitrox 36 à 200bar

(36-21)/0,79 * 200 = 28 bar

BOUTEILLE PARTIELLEMENT VIDE

Méthode 1

Exemple : via N₂

Une bouteille contient encore 93 bar de Nx32 et on désire faire du Nx36 à 200bar

P_{fin}N₂ : 200 x (1-0,36) = 128 bar

P_{initiale}N₂ : 93 x (1-0,32) = 63 bar

Delta PN₂ : 128 - 63 = 65bar

P_{air} à ajouter : 65 x (1/0,79) = 82 bar

PO₂ à ajouter 200-82-93=25 bar

On ajoute 25bar O₂ et on complète à l'air jusqu'à

obtenir 200bar

BOUTEILLE PARTIELLEMENT VIDE

Méthode 2

Exemple : via O₂

Une bouteille contient encore 93 bar Nx32 et on désire faire du Nx36 à 200bar

P_{fin}O₂ : 200 x 0,36 = 72 bar

P_{initiale} O₂ : 93 x 0,32 = 29,7 bar

Delta PO₂ : 72-29,7 = 42,3 bar

%O₂ à ajouter : 42,3/(200-93) =39,5%

Pression O₂ à ajouter : (39,5-21)/79 x (200-93) = 25 bar

On ajoute 25 bar O₂ et on complète à l'air jusqu'à

obtenir 200 bar

La fabrication du Nitrox nécessite l'utilisation d'oxygène pur. Sa manipulation peut présenter des risques d'explosion ou d'incendie et ne peut se faire que par des personnes formées.

- Utiliser toujours du matériel parfaitement dégraissé
- Matériel compatible O₂, joint compris
- Pas de poussières
- Ouvrir les vannes et robinets progressivement
- Pas de flammes
- Pas plus de 40% O₂ dans le compresseur (bien vérifier l'homogénéité du mélange)

Quand	Pourquoi	Par Qui
Vérification après la fabrication	Pour noter sur la bouteille et le registre de gonflage	Par le technicien fabriquant
Contrôle avant utilisation	Pour noter sur la bouteille et le registre de gonflage	Par le plongeur

EN 12021 ⇔ pour l'air

EN 250 ⇔ pour le matériel

EN 13949 et EN 144-3 ⇔ pour le Nitrox

Scubapro :

Le titane n'est pas compatible avec le Nitrox (air enrichi en oxygène) parce qu'il peut s'enflammer lorsqu'il est exposé à de hautes concentrations en oxygène.

N'utilisez pas un détendeur en titane avec de l'air enrichi en oxygène, si le pourcentage en oxygène est supérieur à 40 %.

Il n'est pas possible de convertir un détendeur en titane pour pouvoir l'utiliser avec de l'air enrichi en oxygène si le pourcentage d'oxygène est supérieur à 40 %.

Utilisation de l'oxymètre :

Pour faire les contrôles on utilise un oxymètre

Mode opératoire :

- Calibrer l'oxymètre il doit indiquer 21%, prendre en compte le facteur de correction dû à l'humidité.

- Purger la robinetterie

- Ouvrir le robinet pour avoir un débit raisonnable

- Relever la valeur quand elle est stable (15 à 25 secondes)

Avant la plongée:

Prise en charge de la bouteille:

- Vérification de la pression de la bouteille

- Vérification du % O₂ avec l'oxymètre (ne pas oublier de vérifier et de la calibrer)

- Choix de PpO₂ (froid, courant, fatigue...)

- Compléter et signer le registre de gonflage

- Renseigner l'étiquette sur la bouteille : Pression, Pmax, %, Nom, date.

- Détermination de la profondeur maximum