



# **BASE ET CONFIRME**



# A - Nitrox de base

## SOMMAIRE

- 1- Nitrox ??
- 2- Rappels
  - 2.1 Règlementation
  - 2.2 Les différents gazs
  - 2.3 Loi de Dalton
- 3- P.E.A.
- 4- Physiologie et Oxygène
- 5- Matériel Nitrox
- 6- Quelques spécificités du Nitrox avant de plonger
  - 6.1 Analyser le nitrox
  - 6.2 Marquage
  - 6.3 Attention aux erreurs
- 7- Redonnons au nitrox ces vraies propriétés
  - 7.1 Avantages
  - 7.2 Inconvénients



## 1- Nitrox ??

**Définition** : Nitrox signifie NITrogen OXYgen, (nitrogen = azote).

En zone anglophone, on utilise l'abréviation EAN pour Enriched Air Nitrox.

Le Nitrox est un gaz composé d'air enrichi en oxygène. On dit qu'il est suroxygéné.

On distingue :

- Le Nitrox « fond » : c'est le mélange que nous utilisons pour plonger et est accessible dès le niveau 1
- Le Nitrox « déco » : c'est le mélange qui ne sert que pour la décompression. Il peut être au pendeur permettant une déco au palier mais aussi embarqué pour débuter une déco pendant la remontée.

Par convention, le Nitrox est suivi de 2 chiffres. Le premier correspond au % d'oxygène et le 2<sup>ème</sup> au % d'azote (ex. : Nx 32/68)

Les mélanges Nitrox les plus utilisés sont :

Nx 32/68

Nx 36/64

Nx 40/60

L'oxygène pur est du Nitrox 100.

L'air est un Nitrox 21/79

## 2- Rappel

### 2.1 Règlementation

Plongée mélange (Nitrox, Trimix) est soumise l'arrêté de 06 Avril 2012 du Code du sport

(<http://www.infoplongee.fr/ctn/manmon.php>).

Il existe 2 formations pour le Nitrox :

1. Nitrox de base ou plongeur nitrox : utilisation de Nx 21 à Nx 40 soit 21% à 40% d'O<sub>2</sub>
2. Nitrox confirmé ou plongeur nitrox confirmé : utilisation de Nx 41 à Nx 100 soit 41% à 100% d'O<sub>2</sub>

### 2.2 Les différents gazs

L'air est composé d'oxygène (O<sub>2</sub> = 20.97%), d'azote (N<sub>2</sub> = 79%), de gaz carbonique (CO<sub>2</sub> = 0.03%) et de gaz rares (argon, hélium,...)

Oxygène (O<sub>2</sub>) : Transporté par le sang aux organes pour leur donner de l'énergie

Azote (N<sub>2</sub>) : C'est un gaz « neutre ». Il ne sert qu'à diluer l'oxygène. Il n'est pas consommé mais se dissous très facilement dans l'organisme. Il a des effets narcotiques.

Gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) : C'est le gaz qui rythme notre système respiratoire. Notre cerveau nous demande d'inspirer de l'air non pas suivant le taux d'O<sub>2</sub> présent notre organisme mais plutôt suivant le taux de CO<sub>2</sub>

**Nota** : Pour plus de facilité, nous ne prendrons pas en compte le CO<sub>2</sub> et utiliserons 21% d'O<sub>2</sub> et 79% de N<sub>2</sub>



## 2.3 Loi de Dalton

**Définition :** A température donnée, la pression (absolue) d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions (partielles) qu'aurait chacun des gaz s'il occupait seul le volume total.

$$P_{abs} = P_{p \text{ gaz}1} + P_{p \text{ gaz}2}$$

**La pression partielle** d'un gaz dans un mélange est égale au pourcentage de ce gaz multiplié par la pression absolue.

$$P_p = P_{abs} \times \% \text{ gaz}$$

**Exemple :**

1/ Prenons le cas de l'air, à la pression atmosphérique de 1bar est composé de :

Le pourcentage d'O<sub>2</sub> dans l'air est de 20% donc la  $P_{po2} = P_{abs} \times \% \text{gaz} = 1 \times 20\% = 0.20 \text{ b}$

Le pourcentage d'N<sub>2</sub> dans l'air est de 80% donc la  $P_{pn2} = P_{abs} \times \% \text{gaz} = 1 \times 80\% = 0.80 \text{ b}$

La somme des 2 pressions partielles est bien égale à la pression absolue soit 1 bar

2/ Nous plongeons a 20m :

La pressions absolue = 3 bars

donc la  $P_{po2} = P_{abs} \times \% \text{gaz} = 3 \times 20\% = 0.60 \text{ b}$

donc la  $P_{pn2} = P_{abs} \times \% \text{gaz} = 3 \times 80\% = 2.40 \text{ b}$

Avec une plongée a l'air, plus nous descendons plus la quantité d'azote dissoute dans notre organisme est importante c'est pourquoi le temps de décompression est aussi plus important.

Si nous modifions la composition de l'air que nous respirons, en plongée loisir, en augmentant la quantité d'O<sub>2</sub>, alors la quantité d'N<sub>2</sub> diminuera. On appel cela **une plongée mélange ou Nitrox**.

En France, la réglementation nous limite a une  $P_{po2} = 1.6 \text{ b}$  mais d'autres pays ont une  $P_{po2} = 1.4 \text{ b}$

donc la  $P_{abs} = P_{po2} / \% \text{gaz} = 1.6 / 0.21 = 7.6 \text{ b}$  soit une prof. Max de 66m

### 3- P.E.A. (Profondeur Equivalente Air ou Pression Absolue Equivalente)

#### PEA

En plongée loisir, nous plongeons avec les tables fédérales MN90. Il est tout a fait possible de réaliser une plongée au Nitrox et de calculer sa décompression au moyen de ces tables.

Dans le cas d'une plongée Nitrox, la quantité d'azote dissous dans notre organisme est inférieur à une plongée air pour les mêmes paramètres (profondeur, durée).

$$PEA = ((Pabs \text{ (profondeur réelle plongée)} \times \frac{\% N2 (Nx)}{\% N2 (Air)} - 1) \times 10$$

Comparons 2 plongeurs. 1 à l'Air et l'autre au Nx 40

Profondeur	PpN2 Air	PpN2 Nx 40/60
0	1 x 0.79 = 0.79 b	1 x 0.60 = 0.60 b
10	2 x 0.79 = 1.58 b	2 x 0.60 = 1.20 b
21	3.1 x 0.79 = <b>2.40 b</b>	3.1 x 0.60 = 1.86 b
30	4 x 0.79 = 3.16 b	4 x 0.60 = <b>2.40 b</b>

← PEA →

La PEA est la pression absolue à laquelle est soumis un plongeur nitrox pour avoir la même PpN2 qu'un plongeur air. La PEA est une **profondeur fictive**, elle ne sert qu'à calculer la décompression.

#### Exemple :

Reprenons nos 2 plongeurs. Ils descendent à 30m. Combien de temps pourront-ils rester sans avoir un palier de décompression

Plongeur Air : **10 mn**

Plongeur Nx 40 /60 : PEA = Pabs (réel) x [% N2 Nx / % N2 Air]  
 = 4 x (0.6 / 0.79) = 3.04 b => 20.4m sur les tables prendre 22m soit **35 mn**

#### Courbe de sécurité

On a parlé dans les avantages de l'allongement de la courbe sécurité. Le tableau ci-dessous indique

Gaz respiré	AIR	Nx 32	Nx 36	Nx 40
Prof. réelle (m)	le temps maximum, suivant le gaz utilisé, aux profondeurs marquées sans avoir de palier de décompression			
15	75 mn	135 mn	135 mn	Illimité
20	40 mn	50 mn	75 mn	75 mn
25	20 mn	35 mn	40 mn	50 mn
30	10 mn	20 mn	20 mn	35 mn
35	10 mn	10 mn	<b>INTERDIT</b>	<b>INTERDIT</b>
40	5 mn	10 mn	<b>INTERDIT</b>	<b>INTERDIT</b>

Il existe cependant des tables de plongée suivant le Nitrox utilisé



## 4- Physiologie et oxygène

L'oxygène est indispensable à notre survie mais il doit être respiré à une PpO<sub>2</sub> précise sous peine d'entraîner de grave problème neurologique et pulmonaire voir la mort.

C'est Paul BERT qui démontre au 19<sup>e</sup> siècle que l'oxygène respiré sous pression est un poison. On appelle cela l'effet Paul Bert ou hyperoxie.

Une crise d'hyperoxie (PpO<sub>2</sub> > 1.6b) ressemble à une crise d'épilepsie. Il n'y a pas de signes annonciateurs.

Il existe une tolérance sur le dépassement de la PpO<sub>2</sub> mais variables selon :

- Les individus
- La sensibilité du plongeur qui peut varier d'un jour à l'autre mais aussi d'une plongée à l'autre
- Le temps d'exposition
- L'environnement = facteurs favorisants :
  - ✚ Effort
  - ✚ Essoufflement
  - ✚ Anxiété
  - ✚ Fatigue
  - ✚ Eau froide ou trop chaude (29°)
  - ✚ Augmentation du CO<sub>2</sub> (mauvaise ventilation)
  - ✚ Matériel de plongée défectueux
  - ✚ Certains médicaments

SYMPTOMES	CONDUITE A TENIR
<p><b>PHASE TONIQUE</b> Durée 1 min environ</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contractions généralisées des muscles du corps.</li> <li>• Extension en apnée.</li> <li>• Blocage de la glotte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne pas remonter durant cette phase en raison du risque de surpression pulmonaire dû au blocage de la glotte.</li> <li>• Maintien de la victime au même niveau d'immersion avec <b>MAINTIEN DE SON EMBOUT EN BOUCHE</b>.</li> <li>• Ne pas descendre.</li> </ul>
<p><b>PHASE CLONIQUE</b> 2/3 min environ</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Convulsions.</li> <li>• Morsure de la langue.</li> <li>• Émission d'urine.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entamer la remontée à la vitesse contrôlée (assistance).</li> <li>• Visualiser et éventuellement provoquer une bonne expiration de la victime (remontée de la victime, tête en hypertension).</li> </ul>
<p><b>PHASE RÉSOLUTIVE</b> 10 min environ</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relâchement musculaire.</li> <li>• Reprise progressive de la conscience.</li> <li>• État confus et agité.</li> <li>• Récupération pouvant durer plusieurs heures (s'il n'y a pas eu de sur-accident).</li> <li>• Amnésie de la crise.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remonter en continuant de lui maintenir l'embout en bouche.</li> <li>• En surface, effectuer des signes de détresse.</li> <li>• Manœuvres de secourisme sur le bateau.</li> </ul>



La plongée Nitrox est directement confrontée à ce problème du fait de l'augmentation du % d'oxygène respiré. Il est donc IMPERATIF de calculer sa Profondeur Maximal d'Utilisation (P.M.U.) suivant le type de Nitrox utilisé.

$$PMU = PpO2 / \% O2 \text{ (Nitrox)}$$

Suivant son état physique, c'est au plongeur de faire varier sa PpO2 (1.6, 1.5 voir 1.4) mais surtout ne pas plonger s'il ne le veut pas

Exemple :

Nx 38 =>  $PMU = 1.6 / 0.38 = 4.21b$  soit 32m maxi  
Nx 30 =>  $PMU = 1.6 / 0.30 = 5.33b$  soit 43m maxi

**Une plongée au nitrox impose d'avoir une stabilité parfaite. Il est conseillé de ce stabiliser à 1 ou 2m au dessus de la PMU calculé.**

### **Compteur SNC**

L'exposition prolongée et répétée à des PpO2 plus importantes qu'à l'accoutumée, touche notre Système Neurologique Central (SNC). Il existe une table développée par la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) qui permet de comptabiliser son exposition et d'éviter d'atteindre le risque de crise d'hyperoxie. Elle donne aussi les durées maximales d'exposition par 24h pour chaque pression partielle à condition de respecter un intervalle de surface de 2h.

Certains ordinateurs nitrox comptabilisent cette exposition et vous en indique le %.

National Oceanic and Atmospheric Association		
ATA (PpO2)	Durée Maximum Permise (DMP) pour une simple exposition (min)	Durée Maximale d'Exposition sur 24h
1.6	45	150
1.5	120	180
1.4	150	180
1.3	180	210
1.2	210	240
1.1	240	270
1.0	300	300
0.9	360	360
0.8	450	450
0.7	570	570
0.6	720	720

La FFESSM recommande de ne pas dépasser 2h d'exposition ni une PpO2 maxi de 1,6b. Pour de la plongée loisir le %SNC maxi n'est jamais atteint car le fait de respirer à l'air entre 2 plongées, au minimum 90mn, divise par 2 son %. Cette partie sera développée pour des plongées avec déco nitrox et/ou recycler car les % respiré peuvent être plus élevé et plus long.

## 5- Matériel

- Comment identifier un matériel Nitrox d'un matériel air ?

Depuis Novembre 2008, différents cas de figure méritent d'être distingués en fonction de l'environnement réglementaire et normatif :

- Pour une utilisation avec un NITROX jusqu'à 40 % d'oxygène : le matériel "AIR" peut être utilisé conformément au code du sport (disposition réglementaire).
  - Art. A. 322-95.** - *Les bouteilles contenant des mélanges respiratoires différents ne doivent pas pouvoir être mises en communication de façon accidentelle.*  
*Chaque bouteille de mélange respirable ou ensemble de bouteilles reliées entre elles devra être muni d'un manomètre permettant d'en mesurer la pression au cours de la plongée.*
  - Art. A. 322-96.** - *Les embouts de détendeurs montés sur les bouteilles contenant des mélanges différents doivent pouvoir être identifiés facilement en immersion et munis de systèmes détrompeurs destinés à prévenir le risque de confusion de mélange.*
- 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 est marquée "NITROX" ou "OXYGENE" ou "AIR OXYGENE" mais dispose d'une robinetterie ancien modèle (DIN ou étrier) : même si après novembre 2008 elle ne sera plus conforme aux nouvelles normes mais elle demeure conforme à la réglementation. Elle pourra donc continuer d'être utilisée par un particulier ou mise à disposition par une structure.
  - ✚ la bouteille est marquée "NITROX" ou "OXYGENE" ou "AIR OXYGENE" et 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.

Ce n'est pas parce que l'oxygène est vert et que l'azote jaune que ces couleurs sont communément utilisées pour identifier les bouteilles de nitrox.

En fait, ces dernières peuvent être de toutes les couleurs (même roses avec des étoiles vertes). Le vert et jaune sont une habitude qui nous vient des manies anglo-saxonnes, comme le ketchup et les hamburgers.

Qu'à cela ne tienne, c'est joli et ça se voit de loin ! En France, la bouteille sera souvent blanche (couleur pour l'oxygène) avec un chouette tatouage " NITROX " en vert et jaune.

Mis à part l'esthétisme pictural, nous avons quand même des normes en Europe. La bouteille doit afficher sur l'ogive une alternance de secteurs noirs et blancs et posséder en gros, très visible le label " NITROX " ou " EAN ". Aussi, doit être gravé : " Oxygène/Air " sur l'ogive.



Le reste du matériel utilisé pour le nitrox (détendeur, mano, robinetterie) seront aussi de couleurs vertes ou Jaune.



L'entretien d'un bloc nitrox est identique à celui d'un bloc air : Rinçage à l'eau douce après la plongée, TIV tout les ans ([Réglementation spécifique à un TIV pour bloc O2](#)), et ré-épreuve avant qu'il ne commence à se fissurer

- *Puis-je utiliser mon ordinateur Air pour plongée au Nitrox ?*

Depuis plusieurs années les ordinateurs se sont développés et adaptés aux évolutions de la plongée dont les plongées aux mélanges. Cependant tous ne font pas tous les gazs.

A chacun de connaître son matériel. On n' a pas besoin d 'avoir le plus sophistiqué. Pour un plongeur nitrox base, il faut pouvoir :

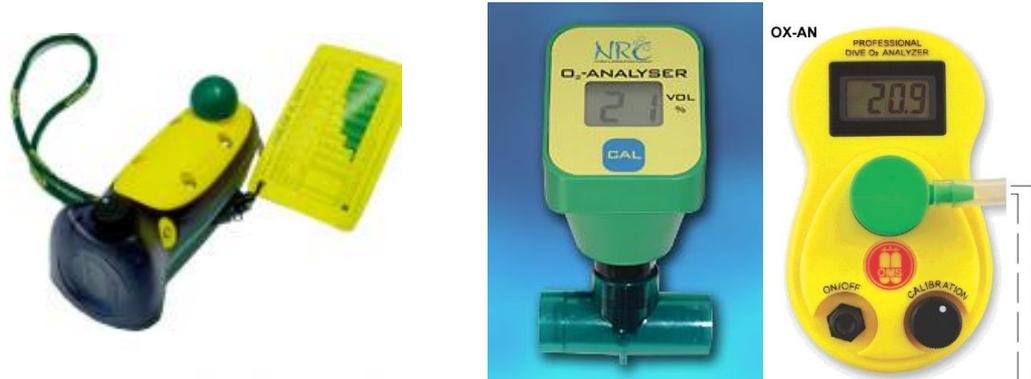
- ✓ faire varier son % d'O2 jusqu'à 40%
- ✓ Faire varier sa PpO2 avec un maximum de 1.6b suivant les conditions et l'état du plongeur (adaptation de la décompression)
- ✓ Pour certain la PMU à ne pas dépasser

**Cependant un ordinateur ne fait pas tout et surtout peu tomber en panne. Il est donc nécessaire et impératif d'organiser sa plongée**

## **6- Quelques spécificités de la plongée au Nitrox**

### 6.1 Analyser le nitrox

En plus de la préparation de son matériel, comme pour une plongée à l'air, il est **OBLIGATOIRE** d'analyser **PERSONNELLEMENT** le nitrox de sa bouteille. Pour cela, il existe un appareil que l'on appel : **Analyseur**



### Comment l'utiliser ?

- On purge la robinetterie de la bouteille afin de l'assécher (l'analyseur est comme beaucoup de plongeurs : il n'aime pas l'eau).
- On étalonne l'appareil à l'air du pays. Le pourcentage d'O<sub>2</sub> est positionné à 21%. (+ ou - 0.1%)
- On ouvre doucement le robinet de la bouteille et on positionne l'embout de l'analyseur à la sortie. Il faut attendre de 10 à 30 secondes que la mesure se stabilise. On note le %O<sub>2</sub> mesuré.
- On ferme la bouteille et on attend que l'analyseur redescende à la mesure de l'air du pays. Il doit indiquer le même pourcentage que celui ayant servi pour l'étalonnage. S'il ne le fait pas ou qu'il se montre lointain et imprécis, réitérer l'analyse. Si le problème persiste, refaite la procédure avec un autre analyseur moins défectueux
- Le plongeur calcul sa PMU et par la même occasion sa PEA afin de se donner un repère par rapport à son profil de décompression (indispensable de calculer cette dernière si le plongeur suit une décompression nitrox à l'aide d'une table air.
- Noter la valeur trouvée sur le registre et sur le bloc (Voir détail ci-dessous)

## 6.2 Marquage

Lorsque le bloc est fourni gonflé, le technicien de gonflage doit apposer dessus une bande adhésive sur laquelle est écrit :

- La date
- les initiales du technicien
- Le type de mélange
- Le pourcentage d'O<sub>2</sub>

Après analyse refaite par le plongeur, ce dernier doit indiquer sur la bande adhésive les indications suivantes

- La date
- Les initiales du plongeur = initiales de celui qui analyse
- Le pourcentage d'O<sub>2</sub>
- La profondeur maximale d'utilisation du mélange (Suivant une PpO<sub>2</sub> définie par le plongeur)
- La pression du mélange gazeux de la bouteille

Le technicien de gonflage et le plongeur doivent remplir et signer le registre d'analyse conservé à la station de gonflage.

**Attention :** le ruban adhésif ne doit jamais être retiré de la bouteille tant que cette dernière n'est pas vide ou regonflée



Exemple :

13/05/10	PR	Nx 31		
13/05/10	EL	Nx 32	PMU 40m	210b

### 6.3 Attention aux erreurs

- ✓ Ne pas laisser l'analyseur au soleil ou près d'une source de chaleur car vous risquez de fausser la mesure
- ✓ Ne pas trop ouvrir votre bloc car en plus de perdre du temps de plongée, le débit trop puissant peu endommager l'analyseur et fausser la mesure
- ✓ Ne pas réaliser la mesure de suite après le gonflage. Le gaz étant chaud, le % d'O2 serait faussé

## 7- Redonnons au Nitrox ces vraies propriétés

### 7.1 Avantages

Favorise la décompression car la teneur en N2  et la teneur en O2  :

- Un allongement de la courbe de sécurité par rapport à une plongée avec de l'air.
- Diminution des temps de palier
- Diminution de la sensation de fatigue lors de plongée successives.
- Une réduction d'environ 10% de la consommation du plongeur => allongement de la durée de plongée.
- L'effet de narcose est diminué.
- Diminution des risques d'ADD par rapport à un même profil de plongée à l'air)
- Optimisation de la sécurité pour les personnes ayant des facteurs favorisant aux ADD.
- Oblige la planification de la plongée

### 7.2 Inconvénients

- Elle augmente la pression partielle de l'oxygène et il faut savoir qu'à 1,6 bar, cette pression devient toxique, c'est ce que l'on appelle **l'hyperoxie**. La conséquence est donc une diminution de la profondeur.
- Le coût est un peu plus élevé pour remplir sa bouteille
- Gonflage réalisé par des personnes expérimenté car le maniement de l'O2 pur demande de la prudence
- Le matériel (Voir chapitre 6)

**Le Nitrox impose une préparation, une planification de sa plongée.**

**Cette rigueur ne doit pas être un élément nouveau pour les plongeurs car ils devraient être fait par chacun quelque soit le mélange utilisé car nous vous rappelons qu'une plongée air est une plongée Nitrox 21.**

# B - Nitrox Confirmé



## SOMMAIRE

- 1- L'oxygène
- 2- Toxicité pulmonaire à l'O<sub>2</sub>
- 3- Toxicité neurologique à l'O<sub>2</sub>
- 4- Déco Nitrox pur
- 5- Le matériel
- 6- Les ordinateurs
- 7- Planifier une plongée
- 8- Les logiciels



## 1- L'oxygène

L'oxygène est indispensable à notre survie. On ne peut pas s'en passer.  
Ce n'est pas un combustible mais il favorise le processus de combustion (ex : un feu s'éteint en l'absence d'Oxygène).

Il est très utilisé dans le milieu médical mais aussi industriel.

Suivant le cadre dans lequel il est l'utilisé, l'oxygène est toléré par le corps humain dans une plage de pression partielle réduite :

PpO <sub>2</sub> = 0,12b	Seuil anoxique (manque d'O <sub>2</sub> = Coma, Mort)
PpO <sub>2</sub> = 0,16b	Seuil hypoxique
PpO <sub>2</sub> = 0,21b	Pp de l'air donc normal pour l'humain (Normoxie)
PpO <sub>2</sub> = 1,40b	Pp recommandée en plongée sportive, Conditions difficiles, Éléments favorisant reconnus,.....
PpO <sub>2</sub> = 1,60b	Limite maximale de la plongée loisir
PpO <sub>2</sub> = 2,00b	Limite pour les plongeurs militaires et professionnels
PpO <sub>2</sub> = 2,80b	Utilisation thérapeutique (Caissons de décompression)

En plongée, nous en avons besoin pour notre organisme cependant mais, en plus de respecter la profondeur plancher (PMU), nous devons aussi respecter une durée d'exposition afin de limiter :

- Le risque d'hyperoxie (effet Paul-Bert – Toxicité de l'O<sub>2</sub> sur le Système Nerveux Central-SNC)
- Le risque de lésion pulmonaire (effet Loren-Smith)

Différentes méthodes existent pour calculer le taux d'oxygène ingéré par notre organisme et ainsi éviter ces effets néfastes :

- Le compteur Unit Pulmonary Toxic Dose (UPTD)
- Table Oxygen Toxicity Unit (OTU)
- Table NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration)
- Compteur à oxygène (% SNC ou CNS Clock)



## 2- Toxicité pulmonaire à l'O<sub>2</sub>

### Causes

Temps d'exposition trop importants à des pressions d'O<sub>2</sub> élevées.

### Symptômes

- irritation au niveau du sternum
  - toux sèche
  - douleur en inspiration forcée ou de grande amplitude
- Si l'exposition se prolonge, des dommages pulmonaires irréversibles peuvent se produire.

### Conduite à tenir

Faire baisser la PpO<sub>2</sub>.

### Prévention

Respecter les temps maximum d'exposition aux PpO<sub>2</sub> supérieurs à 0,5b.

La Royal Navy puis l'US Navy ont montré que la durée d'exposition devait être limitée.

**Une faible exposition à une PpO<sub>2</sub> pendant une longue durée peuvent faire apparaitre les mêmes symptômes qu'une durée d'exposition plus faible à une PpO<sub>2</sub> plus importante**

La FFESSM recommande de ne pas dépasser 2heures quelque soit la Pp.

La toxicité est cumulative. Elle dépend de la durée et de la PpO<sub>2</sub>

Divers méthodes ont été élaborées pour mesurer la toxicité pulmonaire :

- UPTD
- OTU



a) UPTD

La valeur maximale admissible par jour a été fixée initialement à 1440 UPTD.  
En France, cette valeur a été ramenée à 625 UPTD/jour (Souvent recommandé 400)

Cette valeur correspond à la dose toxique produite par une respiration d'O<sub>2</sub> pur à 1b pendant 1mn.

$$\text{Dose (UPTD)} = t \times kp$$

$$t = \text{temps d'exposition}$$
$$kp = ((PpO_2 - 0,5) / 0,5)^{0,833}$$

PpO <sub>2</sub>	kp	PpO <sub>2</sub>	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	1,56
0,85	0,74	1,40	1,63
0,90	0,83	1,45	1,71
0,95	0,92	1,50	1,78
1,00	1,00	1,55	1,86
1,05	1,08	1,60	1,93

Exemple :

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

$$PpO_2 = 40\% O_2 \times 4b = 1.6b$$

$$\text{Dose UPTD} = 120 \times ((1.6 - 0,5) / 0,5)^{0,833} = 231.6$$

**Pour des plongées complexes, on découpe le profil de la plongée en sections de PpO<sub>2</sub> constante et on additionne les valeurs d'UPTD de chaque section**



## b) OTU

Identique à l'UPTD, il va permettre un suivi de la toxicité à l'oxygène sur une période plus longue. Intéressant en cas de plongées successives sur plusieurs jours (Croisière,...)

**La dose maximale d'OTU admissible en 24h est de 850.**

Lors de plongées répétitives sur plusieurs jours, il y a accumulation de doses toxiques résiduelles dans les tissus. Il est nécessaire d'en tenir compte pour les plongées suivantes.

La méthode REPEX/OTU d'Hamilton va permettre de quantifier ces doses au moyen d'un tableau donnant les limites journalières d'exposition à ne pas dépasser.

PpO2	kp ou OTU/mn
0,55	0,15
0,60	0,26
0,65	0,37
0,70	0,47
0,75	0,56
0,80	0,65
0,85	0,74
0,90	0,83
0,95	0,92
1,00	1,00
1,05	1,08

PpO2	kp ou OTU/mn
1,10	1,16
1,15	1,24
1,20	1,32
1,25	1,40
1,30	1,48
1,35	1,56
1,40	1,63
1,45	1,71
1,50	1,78
1,55	1,86
1,60	1,93

Numéro des jours consécutifs en plongée	Dose maximale d'OTU/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
11	300	3300
12	300	3600
13	300	3900
14	300	4200

### Exemple :

#### Exercice 1

Combien de temps peut-on rester à une PpO2 de 1.6b sans dépasser 850 OTU ?

#### Exercice 2

Jour 1 : Plongée le matin à 30m pendant 1h avec un Nx 40/60  
 Plongée l'après-midi à 20m pendant 1h30 avec un Nx 40/60  
 Jour 2 : On souhaite plonger à 35m pendant 1h avec un Nx 32/68.  
 Est-ce possible ?



### Correction ex 1

$$\begin{aligned}1.6b &= 1.93 \text{ OTU/mn} \\1.93 \times \text{Temps} &= 850 \\ \text{Temps} &= 850/1.93 = 440\text{mn} = 7\text{h}\end{aligned}$$

### Correction ex 2

$$\begin{aligned}\text{OTU J1 matin} &= PpO_2 = 1.6b \Rightarrow k_p = 1.93 \\ \text{Dose (OTU)} &= 60\text{mn} \times 1.93 = 115.8 \\ \text{OTU J1 après-midi} &= PpO_2 = 1.2b \Rightarrow k_p = 1.32 \\ \text{Dose (OTU)} &= 90\text{mn} \times 1.32 = 118.8\end{aligned}$$

$$\text{Total dose OTU du jour 1} = 115.8 + 118.8 = 234.6 \Rightarrow \text{pas de pb car} < 850$$

$$\begin{aligned}\text{OTU J2} &= PpO_2 = 1.44B \Rightarrow k_p = 1.7 \\ \text{Dose (OTU)} &= 60\text{mn} \times 1.7 = 102 \Rightarrow \text{pas de pb car} < 700\end{aligned}$$

$$\text{Cumul des 2 jours} = 234.6 + 102 = 336.6 \Rightarrow \text{pas de pb car} < 1400$$

### 3- Toxicité neurologique à l'O<sub>2</sub>

#### Causes

PpO<sub>2</sub> trop élevée par rapport aux facteurs favorisant, ou temps d'exposition trop important à des pressions d'O<sub>2</sub> supérieures à 0,5b.

#### Symptômes

Certains signes peuvent annoncer la crise hyperoxique, mais c'est assez rare (env. 10% des cas), et ils sont trop discrets pour pouvoir être perçus par d'autres que le principal intéressé.

- Convulsions et secousses musculaires. Des spasmes musculaires des lèvres autour de l'embout du détendeur seraient le signe le plus fiable. Ensuite on peut avoir des contractures musculaires des bras, de la face.
- Troubles auditifs, notamment des sifflements.
- Troubles de l'équilibre, nausées, vertiges...

Si la PpO<sub>2</sub> ne baisse pas rapidement, la crise apparaît. Elle se déroule en trois phases, de manière analogue à une crise d'épilepsie :

SYMPTOMES	CONDUITE A TENIR
<p><b>PHASE TONIQUE</b> Durée 1 min environ</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contractions généralisées des muscles du corps.</li> <li>• Extension en apnée.</li> <li>• Blocage de la glotte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne pas remonter durant cette phase en raison du risque de surpression pulmonaire dû au blocage de la glotte.</li> <li>• Maintien de la victime au même niveau d'immersion avec <b>MAINTIEN DE SON EMBOUT EN BOUCHE</b>.</li> <li>• Ne pas descendre.</li> </ul>
<p><b>PHASE CLONIQUE</b> 2/3 min environ</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Convulsions.</li> <li>• Morsure de la langue.</li> <li>• Émission d'urine.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entamer la remontée à la vitesse contrôlée (assistance).</li> <li>• Visualiser et éventuellement provoquer une bonne expiration de la victime (remontée de la victime, tête en hypertension).</li> </ul>
<p><b>PHASE RÉVOLUTIVE</b> 10 min environ</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relâchement musculaire.</li> <li>• Reprise progressive de la conscience.</li> <li>• État confus et agité.</li> <li>• Récupération pouvant durer plusieurs heures (s'il n'y a pas eu de sur-accident).</li> <li>• Amnésie de la crise.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remonter en continuant de lui maintenir l'embout en bouche.</li> <li>• En surface, effectuer des signes de détresse.</li> <li>• Manœuvres de secourisme sur le bateau.</li> </ul>



## Prévention

- Ne pas dépasser les profondeurs limites.
- Ne pas dépasser les durées d'exposition.
- Savoir reconnaître les signes.
- Ne pas rester toute la plongée en limite de la profondeur maximale permise.
- Prendre 1,5b ou 1,4b en cas d'existence de facteurs favorisants.
- Ne pas s'exposer trop longtemps à des PpO<sub>2</sub> supérieures à 0,5b.

Attention aux facteurs favorisants qui diminuent la tolérance du système nerveux central à l'oxygène :

- La fatigue et la forme physique
- Le froid
- Les efforts physiques
- Le stress, la visibilité
- L'hypercapnie
- Certains médicaments (corticoïdes)
- Des durées d'exposition trop importantes, rester proche des limites maximales trop longtemps

### Il est important de pouvoir calculer l'exposition maximale à l'O<sub>2</sub>.

Celle-ci est donnée par la table de la NOAA

National Oceanic and Atmospheric Association		
ATA (PpO <sub>2</sub> )	Durée Maximum Permise (DMP) pour une simple exposition (min)	Durée Maximale d'Exposition sur 24h
1.6	45	150
1.5	120	180
1.4	150	180
1.3	180	210
1.2	210	240
1.1	240	270
1.0	300	300
0.9	360	360
0.8	450	450
0.7	570	570
0.6	720	720

**La FFESSM préconise de ne pas dépasser 2h d'immersion lors de plongée Nitrox, quelque soit le %**

- Si en plongée simple, on atteint la limite indiquée sur la table, alors la successive nécessite un intervalle de surface de 2h minimum avec respiration d'air en surface
- Si en successive on atteint la limite du tableau en 24h, il faut attendre 12h minimum
- Si l'IS est inférieur à 2h, il faut ajouter la toxicité des 2 plongées en additionnant la durée totale des 2 plongées et en considérant la PpO<sub>2</sub> la plus élevée des 2

Exemple :



## Exercice 1

Plongée matin = 60mn à 30m avec du Nx 32

Intervalle de surface = 1h30

Plongée l'après-midi = 70mn à 20m avec du Nx 40

### Correction :

Matin  $PpO_2 \text{ max} = 4b \times 0.32 = 1.28b \Rightarrow$  pas de pb car limite à 180mn

Après-midi  $PpO_2 \text{ max} = 3b \times 0.40 = 1.2b$

Ayant un IS < 2h, on prend la durée totale des 2 plongées (130mn) avec la  $PpO_2 = 1.28b \Rightarrow$  pas de pb car limite par 24h à 210mn

La durée maximale de plongée est une méthode mal adaptée aux plongées multi niveaux ou avec déco avec mélange  $\geq 50\%$

IANTD (International Association Nitrox and Technical Divers) a proposé un nouveau concept le « CNS Clock » ou « %SNC ». Son principe :

- Pour une  $PpO_2$  donnée, la table NOAA donne la valeur maximale
- Le % SNC est calculé en divisant le temps passé à une  $PpO_2$  donnée par la durée maximale permise à cette  $Pp$

**%SNC = Temps d'immersion / DMP simple exposition**

- La quantité admissible cumulée doit être inférieure à 100%
- Les doses peuvent être calculées par tranche de profondeur

PpO2 max	% SNC / mn d'immersion
0.60	0.14
0.62	0.14
0.64	0.15
0.66	0.16
0.68	0.17
0.70	0.18
0.72	0.18
0.74	0.19
0.76	0.20
0.78	0.21
0.80	0.22
0.82	0.23
0.84	0.24
0.86	0.25
0.88	0.26
0.90	0.28
0.92	0.29
0.94	0.30
0.96	0.31
0.98	0.32
1.00	0.33
1.02	0.35
1.04	0.36
1.06	0.38
1.08	0.40
1.10	0.42

PpO2 max	% SNC / mn d'immersion
1.12	0.43
1.14	0.43
1.16	0.44
1.18	0.46
1.20	0.47
1.22	0.48
1.24	0.51
1.26	0.52
1.28	0.54
1.30	0.56
1.32	0.57
1.34	0.60
1.36	0.62
1.38	0.63
1.40	0.65
1.42	0.68
1.44	0.71
1.46	0.74
1.48	0.78
1.50	0.83
1.52	0.93
1.54	1.04
1.56	1.19
1.58	1.47
1.60	2.22

National Oceanic and Atmospheric Association		
ATA (PpO2)	Durée Maximum Permise (DMP) pour une simple exposition (min)	Durée Maximale d'Exposition sur 24h
1.6	45	150
1.5	120	180
1.4	150	180
1.3	180	210
1.2	210	240
1.1	240	270
1.0	300	300
0.9	360	360
0.8	450	450
0.7	570	570
0.6	720	720



Suivant le % SNC atteint, il faut respecter les intervalles de surface suivant :

% SNC	Intervalle de surface mini
0 à 49%	0 mn
50 à 79%	45mn
80 à 99%	2h
100%	12h

**Les intervalles de surface doivent être effectués à l'air.  
Toutes les 90 minutes, on considère que la toxicité baisse de 50 %**

## Exemples

### Exercice 1

Un plongeur en immersion de 30mn à 30m avec un Nx 32  
A la fin de la plongée, un palier de 5mn à 5m au Nx 50

### Exercice 2

On souhaite faire une plongée d'une heure sur un fond de 20m avec la PpO<sub>2</sub> la plus élevée possible.

- Quelle est cette PpO<sub>2</sub> ?
- Quel est le mélange à réaliser ?
- Quelle précaution particulière devrais-je prendre avec ce mélange ?

### Exercice 3

On souhaite faire un matin une plongée de 40 minutes à 30 mètres au N40, suivies d'une décompression de 6 minutes à 3m à l'oxygène pur.

- Quelle est la valeur de l'horloge oxygène ? Pour la remontée, prenez la profondeur médiane.
- Combien de temps faudra t-il attendre avant de replonger ?

### Exercice 4

3 heures après la sortie de l'eau on veut replonger 50 min à 25m au N40, sans faire de palier.

- Quelle est la valeur de l'horloge oxygène à l'immersion ?
- Quelle est la valeur de l'horloge oxygène à la sortie de l'eau ?
- Du point de vue de l'horloge oxygène, peut-on faire cette plongée ?



### Correction 1 :

- A 30m = PpO<sub>2</sub> = 4x0.32 = 1.28b pendant 30mn  
K = 0.54 => % SNC = 0,54 x 30 = 16.2%
- A 5m = PpO<sub>2</sub> = 1.5 x 0.5 = 0.75 prendre 0.76 pendant 5mn  
K = 0.20 => % SNC = 0,20 x 5 = 1%

$$\% \text{ SNC Total} = 16.2 + 1 = 17.2\%$$

### Correction 2 :

- Pour 1h d'exposition, on ne peut pas dépasser 1.5b de PpO<sub>2</sub>
- PpO<sub>2</sub> / Pabs = 1.5 / 3 = 0.5 => Nx 50
- Matériel spécifique car %O<sub>2</sub> > 40%

### Correction 3 :

#### 1<sup>ère</sup> solution :

- PpO<sub>2</sub> à 30m : 40% x 4b = 1,6b => DMP = 45mn.  
%SNC = T / DMP => 40/45 = 89%
- PpO<sub>2</sub> à 14m (mi-profondeur) pendant 2 min (Durée de remontée) : 40% x 2,4b = 0.96b => DMP = 360  
%SNC = 2/360=0.5%
- PpO<sub>2</sub> à 3m pendant 6 min : 100% x 1,3b = 1,3b => DMP = 180  
%SNC = 6,5/180=4%

a) %SNC totale = 93.5% soit 94%

b) Il faut attendre 2 heures avant de pouvoir replonger.

#### 2<sup>ème</sup> solution :

- PpO<sub>2</sub> à 30m : 40% x 4b = 1,6b => %SNC/mn = 2.22  
%SNC = 2.22 x 40mn = 88.8%
- PpO<sub>2</sub> à 14m (mi-profondeur) pendant 2 min (Durée de remontée) : 40% x 2,4b = 0.96b => %SNC/mn = 0.31  
%SNC = 0.31 x 2mn=0.62%
- PpO<sub>2</sub> à 3m pendant 6 min : 100% x 1,3b = 1,3b => %SNC = 0.56  
%SNC = 0.56 x 6 = 3.36%

a) %SNC totale = 92.78% soit 93%

b) Il faut attendre 2 heures avant de pouvoir replonger.



Correction 4 :

- a) En 3h soit 180mn d'intervalle de surface en respirant de l'air.  
L'horloge oxygène devient :  $94 / 4 = 24\%$
- b)  
PpO<sub>2</sub> à 25m :  $40\% \times 3,5b = 1,4b \Rightarrow \text{DMP}=180$   
 $\% \text{SNC} = 50/180 = 28\%$   
PpO<sub>2</sub> à 12,5m pendant 2 min =  $40\% \times 2,25b = 0,9 b \Rightarrow \text{DMP} = 360.$   
 $\% \text{SNC} = 2/360 = 1\%$   
 $\% \text{SNC Totale} = 24 + 28 + 1 = 53\%$
- c) On peut donc faire cette deuxième plongée.

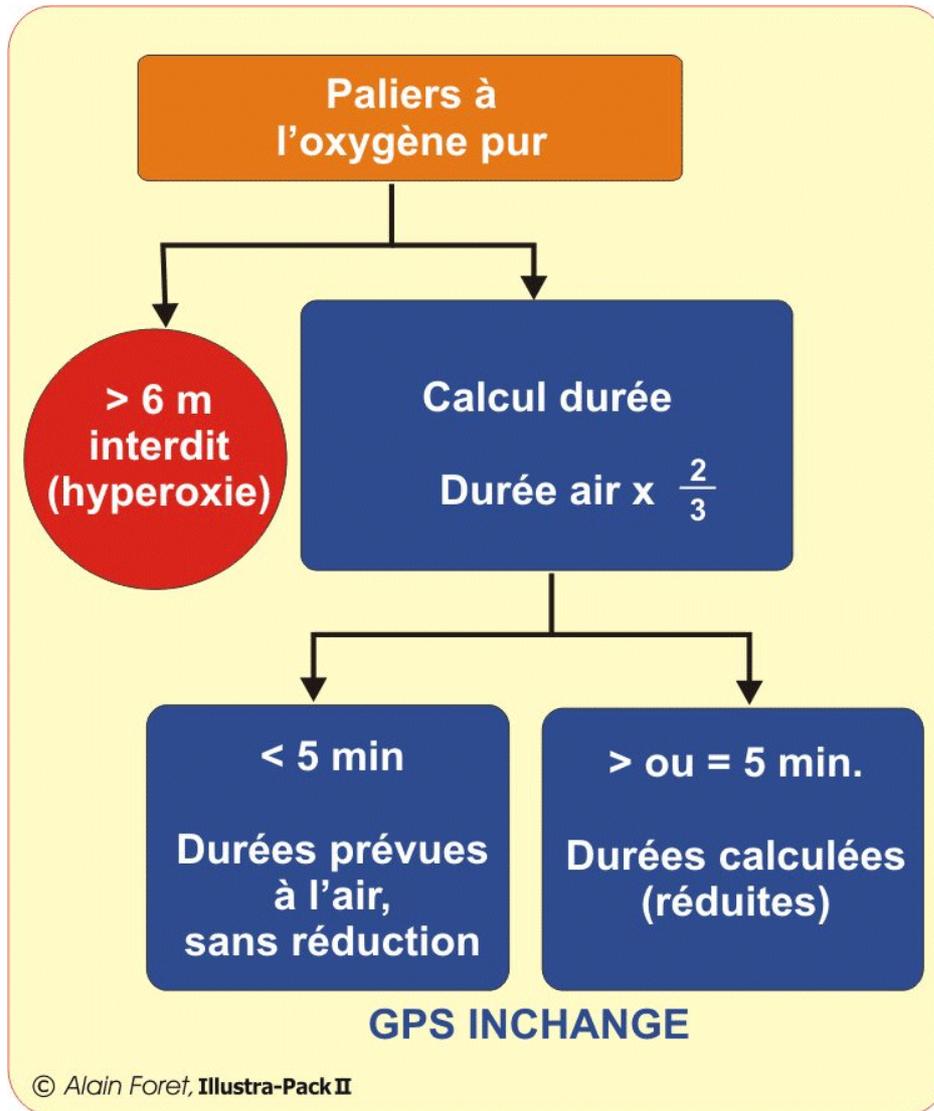
**CONCLUSION**

UPTD – OTU = Pour la plongée loisir, les doses sont loin des doses maximales

% SNC = Pour des plongées spécifiques proche des profondeurs plancher avec Nx base et Nx déco, il est nécessaire de se poser la question et d'en tenir compte dans la planification de sa plongée

#### 4- Déco à l'O<sub>2</sub> pur

Procédure fédérale



### Exemples

#### Exercice 1

Durée du palier = 8mn à 3m  
 Palier à l'O<sub>2</sub> pur =  $8 \times \frac{2}{3} = 5.3\text{mn}$  soit 6mn

#### Exercice 2

Durée du palier = 6mn à 3m  
 Palier à l'O<sub>2</sub> pur =  $6 \times \frac{2}{3} = 4\text{mn}$  < à 5mn. Temps du palier 5mn

## 5- Le matériel

- Comme pour le Nx fond, la procédure et le matériel d'analyse du mélange sont identiques (voir cours Nx base)



- Contrairement au Nitrox fond ( $O_2 < 40\%$ ), du matériel spécifique doit être utilisé. On ne peut gonfler son matériel air avec un  $\% d'O_2 > 40\%$  ni utiliser son détendeur air.
- Un équipement non-dégraissé ne peut être utilisé.
- Pour éviter toutes erreurs, le diamètre des opercules sont plus grands que pour ceux à l'air.

## 6- Les ordinateurs

- Pour les ordinateurs, il est important de vérifier qu'ils font du multi-gaz car un ordi Air/Nx ne peut être utilisé pour du Nx déco. Durant la plongée, il sera nécessaire de changer le  $\% O_2$  respiré.

- La première chose à faire est de paramétrer son ordinateur nitrox :

1/ Mix1 =  $\%O_2$  fond = 21% car plongée à l'air

Mix2 =  $\%O_2$  déco = de 21% à 100% suivant le mélange du bloc déco analysé

Etc..... (suivant le type d'ordinateur)

2/ PpO<sub>2</sub> max à ne pas dépasser

3/ PMU (alarme)

- Comme pour la plongée à l'air, il est impératif de lire le manuel d'utilisation pour savoir toutes les données qui sont prises en compte et quelles affichages (SNC, CNS, OTU, UPTD)



Fig. 3.21. Affichage nitrox. La profondeur maximale basée sur des réglages O2% (21%) et PO2 (1.4 bar) est de 54.1 m.

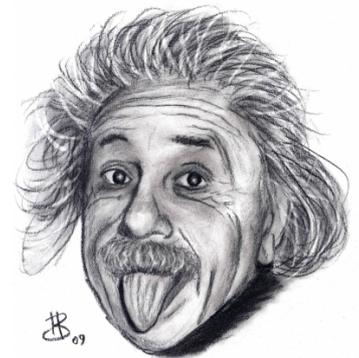


Fig. 3.22. Plongée nitrox. L'O2% est réglé à 32%.

## 7- Planifier une plongée

On pourrait se dire que planifier une plongée avec un bloc air s'est compliqué car il faut prendre plein de paramètres alors avec des blocs déco en plus, il faut être un génie.....

Pas du tout, les blocs déco sont déjà là pour favoriser une décompression suite à une plongée un peu engagée ou pour palier à des éléments favorisants (fatigue, âge,...).



**Donc la pression de remontée est calculée sur la base du bloc air avec lequel on plonge.**

Il n'y a pas de règle spécifique. Chaque plongeur est libre de planifier et d'organiser sa décompression comme bon lui semble. Réfléchissez à votre sécurité et à celle de votre palanquée.

- Réduction de la réserve d'air (de 50b à 20b)
- Avoir plusieurs gaz de déco (%varié).
- Etc.....

Afin d'être au plus juste, il existe aussi des logiciels permettant de calculer et planifier précisément votre plongée. Le tout est de connaître et de rentrer les bons paramètres...



## 8- Les logiciels

Des logiciels sont développés afin de planifier des plongées multi-gaz et prenant en compte tous les paramètres (Temps, profondeur, PpO2 max, OTU, %SNC, %gazs respirés,...)

V-PLANER

PASTODECO

Etc.....

**PASTODECO © vers. 1.6.0 Win**

File Settings shareware version Infos Printer: Laser couleur Metrics Only personal private use authorised!

Depth / Time  
Max. depth: 75 - Time: 15

MULTILEVEL  CCR mode  **OC mode**

OC / Balout Gases CCR, Rebreather Settings UNITS: Meters / Liters / Bars

	O2	He	N2	Bars	Tank vol.	O2MOD	N2MOD	DECO @ PROF
OC Gas #1:	16	35	49	220	18.000 Liters	77	82	82
OC Gas #2:	15	55	30	200	24.000 Liters	83	140	97
OC Gas #3:	35	25	40	200	6.000 Liters	30	102	35
OC Gas #4:	18	45	37	200	7.000 Liters	68	111	79
OC Gas #5:	50	0	50	200	7.000 Liters	18	80	22
OC Gas #6:	100	0	0	200	7.000 Liters	4	999	6

Advanced settings:  
GRADIENT FACTORS:  
GF Low: 32 %  
GF High: 85 %  
RESIDUAL CRIS FROM LAST DIVE:  
CRS%: 0 %  
Surface Time: 0 Min  
 Last stop at 6 m.  
Altitude: 0

**GAS CONSUMPTION**

Gas #	Liters	Bars	Resid Bars
Gas # 1	3129	174	46
Gas # 2	0	0	0
Gas # 3	443	74	126
Gas # 4	0	0	0
Gas # 5	751	107	93
Gas # 6	499	66	134
CCR O2	0	0	0

Bühlmann GF RunTime VPM-B RunTime VPM-B

Description	Depth	Time	Start	End	Gas	PPO2	PPN2	Avail Gas	CRS%	OTUs
Start	75	4	0	4	Tx 16/35	0.34	0.59	100% / 100%	0%	2
Stay at bottom	75	15	4	15	Tx 16/35	1.36	4.17	30% / 75%	0%	19
Deco	45	1	18	19	Tx 16/35	0.88	2.79	100% / 10%	0%	24
Deco	42	1	19	20	Tx 16/35	0.83	2.55	34% / 52%	10%	24
Deco	39	1	20	21	Tx 16/35	0.79	2.44	83% / 46%	10%	25
Deco/air swap	36	1	21	22	Tx 35/25	1.41	1.45	100% / 100%	12%	27
Deco	33	1	22	23	Tx 35/25	1.51	1.73	100% / 100%	24%	29
Deco	30	1	23	24	Tx 35/25	1.40	1.41	100% / 100%	24%	31
Deco	27	1	24	25	Tx 35/25	1.30	1.49	100% / 100%	15%	33
Deco	24	1	25	26	Tx 35/25	1.19	1.37	100% / 75%	15%	34

Max Depth: 75 RunTime: 58 Deco Time: 38 TTS: 43 012:30 **DESAT** 018:00

CALCULATE RUNTIME BALOUT RUNTIME GRAPH GAS BLENDING