

LA PLONGEE SPORTIVE AUX MELANGES

- I. Pour que l'enrichissement de l'air profite à tous les plongeurs
- II. C'est quoi le Nitrox ?
 - a) Ethymologie
 - b) L'air ; un Nitrox particulier !!!
 - c) Les Nitrox couramment utilisés
 - d) Les avantages du Nitrox
 - e) Les inconvénients du Nitrox
- III. Comment on utilise le Nitrox ?
 - a) Une profondeur limite à ne pas dépasser
 - b) Quel Nitrox utiliser ?
 - c) Quelle PPO2 utiliser ?
- IV. Et pour la décompression, comment ça se passe ?
 - a) Calcul de la profondeur air équivalente
 - b) Les tables Nitrox
 - c) Les ordinateurs Nitrox
 - d) Cas des paliers à l'oxygène pur
- V. La toxicité de l'oxygène
 - a) La crise d'hyperoxie
 - b) La toxicité pulmonaire de l'oxygène
- VI. Un autre mélange : Le Trimix
 - a) Le mélange trimix
 - b) L'élément principal : l'hélium
 - c) Avantages et inconvénients
 - d) Les formations trimix
 - e) En conclusion : quel trimix choisir ?
- VII. Une autre façon de plonger : le recycleur
- VIII. Le guide de palanqué et la plongée aux mélanges

I- Pour que l'enrichissement de l'air profite à tous les plongeurs

Depuis le début de la plongée, le mélange utilisé est de l'air, avec un gros inconvénient : l'azote qu'il contient.

Certains, on eu l'idée d'y adjoindre des gaz plus léger, comme l'hélium pour rendre leurs respiration plus fluide dans les grandes profondeurs.

D'autres on simplement rajouter de l'oxygène pour éviter de respirer cet azote si contraignant (fatigue importante dû à la désaturation, narcose, paliers importants...).

Bien que le développement des techniques et la mise au point des pratiques, viennent du monde de la plongée professionnelle et militaire, le Nitrox ne demande aucune prouesse technique pour être utilisé.

La plongée Nitrox, s'adresse à tout un chacun, surtout à ceux qui ont comme désir de profiter plus de leurs plongées, et de garder une distance accrue avec l'accident de décompression.

Que l'on soit dans une forme très moyenne, avancé dans l'âge ou un pratiquant de la plongée « yoyo » ou simplement adepte d'un certain confort, alors le Nitrox est fait pour nous.

II- C'est quoi le Nitrox ?

a) Etymologie

NITROX est la compression des noms Anglais des 2 gaz qui compose le mélange ; NITROgene et OXYgen .

Les pays anglo-saxons utilisent l'abréviation EAN qui signifie Enriched Air Nitrox.

b) L'air ; un Nitrox particulier !!!

Pour simplifier, on retient que l'air que l'on respire contient **21% d'oxygène et 79% d'azote**.

Le Nitrox est juste un mélange avec de l'oxygène et de l'azote en quantité variable.

L'air est un Nitrox 21, c'est ainsi que l'on nomme les Nitrox ; en rajoutant un numéro pour dire le pourcentage d'oxygène qu'il contient.

c) Les Nitrox couramment utilisés :

Nitrox 32 32% O₂ 68% N₂

Nitrox 36 36% O₂ 64% N₂

Nitrox 40 40% O₂ 60% N₂

*NOTA : En plongée loisir, on utilise des Nitrox suroxygéné dont le pourcentage est compris entre 22 et 40 % .
Les pourcentages plus élevés sont utilisé pour la décompression, mais nécessite un équipement spéciale, totalement dégraissé.*

d) Les avantages du Nitrox

- Augmentation de la sécurité par rapport à l'accident de décompression.
- Diminution de la fatigue due à la décompression après la plongée.
- Diminution des effets narcotiques de l'azote (meilleure clarté d'esprit).
- Optimisation de la sécurité pour les personnes présentant des facteurs à risque.
- Amélioration de la décompression pour les plongées à profil à risque (yoyo).
- Réduction des temps de palier.
- Réduction de l'intervalle de surface (successive).
- Obligation de planifier sa plongée.

e) Les inconvénients du Nitrox

- Le plongeur Nitrox doit impérativement respecter une profondeur limite. Cette limite est due à la toxicité de l'oxygène (voir chap.V).
- Une exposition de très longue durée à l'oxygène peut créer une irritation pulmonaire.
- Si l'on utilise un Nitrox supérieur à 40%, le matériel utilisé doit être spécifique.
- La manipulation d'O₂ au gonflage nécessite d'être soigneux et attentif.
- Obligation de planifier sa plongée.

III- Comment utilise-t-on le Nitrox ?

a) Une profondeur limite à ne pas dépasser

Plonger au Nitrox, c'est avant tout savoir décider de la profondeur que l'on s'autorisera à ne pas dépasser.

L'oxygène est indispensable à la vie, mais doit être respiré dans de justes proportions.

- En surface nous respirons 21 % d'O₂ à une PP de 0.21 bar (au niveau de la mer)

>>> c'est la **normoxie**.

- Notre organisme tolère en limite inférieure une PPO₂ de 0.16 bar >> c'est **l'hypoxie**

- Au-delà de 0.21 bar de PPO₂ c'est **l'hyperoxie** (voir chap.V).

La limite de pression partielle d'O₂, fixée par l'arrêté du 9 juillet 2004 relatif à la plongée loisir aux mélanges, est de **1.6 bar** maximum et de 0.16 bar minimum.

Au delà de la limite maximum, la plongée devient dangereuse ; une pression partielle d'oxygène supérieure à la normale peut troubler le fonctionnement du système nerveux central.

On peut décider de choisir une PPO2 inférieure pour aller dans le sens de la sécurité :

Rappel : Loi de Dalton

A température donnée, la pression partielle d'un gaz dans un mélange est la pression qu'aurait ce gaz s'il occupait seul le volume du mélange.

Ou / et :

Dans un mélange gazeux, la somme des pressions partielles des composants de ce mélange est égale à la pression de ce mélange.

$$PP = P \text{ absolue} \times \% \text{ du gaz}$$

Calcul de la profondeur maximale ou profondeur plancher

$$P \text{ absolue} = \frac{PPO2}{\% O2 \text{ du mélange}}$$

Exemple 1 :

Avec un Nitrox 40, quelle sera la profondeur max avec une PPO2 de 1.6 bar

$$P_{abs} = 1.6 / 0.40$$

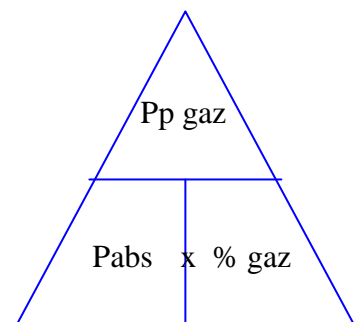
$$P_{abs} = 4 \text{ bar} = 30 \text{ mètres}$$

Exemple 2 :

Avec un Nitrox 32/68, quelle sera la profondeur max avec une PPO2 de 1.5 bar

$$P_{abs} = 1.5 / 0.32$$

$$P_{abs} = 4.69 \text{ bar} = 36.9 \text{ mètres}$$



« Triangle de Dalton »

Pour aller dans le sens de la sécurité on prendra la profondeur arrondie inférieur, soit 36 mètres.

b) Quel Nitrox utiliser ?

On peut se poser la question ; quel Nitrox je vais utiliser pour plonger sur le pain de sucre à Annecy, dont le fond est à 33m si je ne veux pas dépasser une PPO2 de 1.5 bar ?

$$\% \text{ O}_2 \text{ du mélange} = \frac{\text{PPO}_2}{\text{P absolue}}$$

% O2 du mélange = 1.5 / 4.3

% O2 du mélange = 0.35 soit un Nitrox 35

Exemple 2 :

Quel Nitrox utiliser pour descendre sur le France posé à 42m de fond, si on ne veut pas dépasser 1.5 de PPO2 ?

% du mélange = 1.5 / 5.2

% du mélange = 0.288 soit un Nitrox 28

Pour aller dans le sens de la sécurité,
il faut prendre un Nitrox avec
un peu moins d'O2 :
on préférera un Nitrox 28 à un Nitrox 29

% du Nitrox	Prof. Lim. en mètres PPO2 = 1,4	Prof. Lim. en mètres PPO2 = 1,5	Prof. Lim. en mètres PPO2 = 1,6
25	46	50	54
26	43	47	51
27	41	45	49
28	40	43	47
29	38	41	45
30	36	40	43
31	35	38	41
32	33	36	40
33	32	35	38
34	31	34	37
35	30	32	35
36	28	31	34
37	27	30	33
38	26	29	32
39	25	28	31
40	25	27	30
41	24	26	29
42	23	25	28
43	22	24	27
44	21	24	26
45	21	23	25
46	20	22	24
47	19	21	24
48	19	21	23
49	18	20	22
50	18	20	22

IV- Et pour la décompression comment ça se passe ?

Le calcul de la décompression en plongée Nitrox est différente de celui utilisé avec de l'air. Chaque Nitrox implique une table de décompression spécifique.

Pour calculer sa décompression le plongeur a 3 possibilités :

- Utiliser un modèle de décompression à l'air (ordinateur ou table).

Il plongera au Nitrox avec des paramètres air, améliorant ainsi la sécurité et le confort après la plongée du à une désaturation allégée.

- Utiliser des tables ou un ordinateur Nitrox (méthode recommandée par la FFESSM).

L'inconvénient des tables Nitrox, est qu'il faudrait autant de tables que de différents Nitrox utilisé.

- Utiliser des tables air en calculant une profondeur air équivalente en fonction du Nitrox utilisé.

L'avantage est de n'avoir qu'une seule table pour tout les Nitrox et d'y reporter une profondeur équivalente calculée à partir de la profondeur réelle et du pourcentage d'azote du Nitrox utilisé.

a) **Calcul d'une Profondeur Air Equivalente (ou Pression Air Equivalente) PAE**

Principe :

Pour une même pression partielle d'azote, je vais plus profond au mélange.

Calcul de la PAE avec un exemple :

Nota : pour simplifier les calculs, on prendra pour l'air 20% d'oxygène et 80% d'azote

- Avec de l'air, la PPN2 à 30 mètres = $4 \times 0.80 = 3.2$ bars
- Avec un Nitrox 40/60, la PPN2 à 30 mètres = $4 \times 0.60 = 2.4$ bars

Selon le principe, calculons à **quelle profondeur** on aurait la **même PPN2** en respirant de l'air :

- A quelle Pabs on aura une PPN2 de 2.4 bars avec de l'air
- $Pabs = 2.4 / 0.80 = 3$ bars soit **20 mètres**

Au final : avec un Nitrox 40 à 30 mètres, c'est comme si on plongeait à 20 mètres à l'air.

Une formule toute prête :

$$PAE = \frac{\text{Pabs} \times \% \text{ de N}_2 \text{ dans le mélange}}{0.79}$$

Exemple : Comparer à l'aide d'une table air MN90, une plongée de 35 min à 29 mètres entre un plongeur air et un plongeur utilisant un Nitrox 36.

1- Calcul de la PAE

$$PAE = \frac{3.9 \times 0.64}{0.79} = 3.17 \text{ soit } 21.7 \text{ mètres. On retient } 22 \text{ mètres}$$

2- Lecture sur la table avec la PAE

22 mètres 35 min = pas de palier, 2 min de DTR, GPS : H

3- Lecture sur la table avec de l'air

29 mètres 35 min = 17 min à 3 m, 20 min de DTR, GPS : J

Remarque : Le temps sans palier à 29 m, à l'air est de 10 minutes.

b) Les tables Nitrox

En France, la FFESSM fournit trois tables Nitrox pour les trois mélanges courant : 32, 36 et 40.

Elles sont dérivées des MN90. Elles se présentent et s'utilisent comme les tables air. Les plongées successives et consécutives sont gérées de la même manière. La vitesse de remontée et le temps passé entre les paliers également.

Si le mélange utilisé ne se trouve pas dans les tables, on prendra la table qui correspond à un Nitrox ayant un pourcentage d'oxygène inférieur (donc un pourcentage d'azote plus élevé).

Particularité des tables Nitrox :

- Les profondeurs marquées en gris sont des profondeurs avec des valeurs PPO2 comprises entre 1.5 et 1.6 bar
- Une colonne indique les temps de palier au nitrox et une autre les temps de palier à l'oxygène pur

- L'évolution de l'azote résiduel est exprimé sous forme d'une lettre minuscule (sous forme numérique pour les MN90, (tableau I))

c) Les ordinateurs Nitrox

Comme l'air est un Nitrox comme un autre, tout ordinateur Nitrox est capable de calculer des plongées à l'air.

La grosse différence est que l'on devra paramétrer :

- Le pourcentage en oxygène du mélange que l'on souhaite utiliser.
- La pression partielle en O₂ maximale à ne pas dépasser à l'aide d'une alarme.
- La profondeur maximale à ne pas dépasser à l'aide d'une alarme.

L'autre différence est qu'il affichera :

- Un symbole SNC
- Un symbole OTU

Se sont des compteurs d'oxygène qui servent à comptabiliser la charge toxique de l'oxygène respiré par le plongeur.

- Pour la toxicité neurologique on parlera de SNC
- Pour la toxicité pulmonaire on parlera d'OTU

Ces deux compteurs ne doivent pas dépasser certains seuils pour ne pas faire courir un risque d'accident au plongeur.

Les ordinateurs Nitrox sont basés sur les mêmes méthodes de calcul et offrent les mêmes types d'affichages que les ordinateurs Air. Comme ces derniers, avec le Nitrox il faut respecter les règles courantes :

- Ne pas changer d'ordinateur entre 2 plongées.
- Pas de profils anormaux.
- Respecter les vitesses de remontées.
- Pas plus de 2 plongées par jours

En plus des ordinateurs airs

- Faire attention à la configuration avant la plongée.
- Toujours contrôler la profondeur limite à l'aide de table ou par le calcul.

d) Cas des paliers à l'oxygène pur

Afin d'améliorer la désaturation, il est possible d'effectuer des paliers à l'oxygène pur.

Si cette technique présente des avantages non négligeables tant au niveau des temps de désaturation qu'au niveau de la fatigue ; elle présente quelques risques :

- Un petit calcul

D'après Dalton, la PPO₂ à 6 m est de :

$$\text{PPO}_2 = 1.6 \times 100\% = 1.6 \text{ bar}$$

1.6 bar étant la limite hyperoxique admissible, le palier de 6 mètres ne peut être dépassé sous peine de risquer une crise d'hyperoxie (voir chap.V).

A 7 mètres, le plongeur atteint une PPO₂ de 1.7 bar.

De plus l'oxygène s'accumule dans le métabolisme et peut devenir toxique à moyen termes (voir chap. V).

Respirer de l'oxygène pur renforce cette accumulation à un moment où cette accumulation est maximum (fin de plongée).

Il faut être vigilant et connaître les mécanismes afin de ne pas commettre d'imprudence.

- Le matériel

Le bloc d'oxygène doit être équipé d'un matériel parfaitement dégraissé et compatible oxygène pur.

Il doit être très clairement identifié et identifiable par tout les plongeurs.

La manipulation de l'oxygène pur n'est pas sans danger ; il est hautement inflammable en présence de graisse, de poussières, de résidus de chiffon etc...

- Nota :

Les paliers se font à 3 ou 6m. La durée est égale au 2/3 de la durée à l'air, seulement si cette dernière est supérieure ou égale à 5 min. Faire ces paliers à l'oxygène ne change pas le GPS.

V- La toxicité de l'oxygène

Depuis le début de ce cours on parle des dangers de l'oxygène. Maintenant on sait qu'au-delà de 1.6 bar de pression partielle, l'oxygène devient toxique. Mais quelles en sont ces effets ?

a) La crise d'hyperoxie

Une exposition à une pression d'oxygène supérieur à la normale peut troubler le fonctionnement du SNC. Cette neurotoxicité est aussi appelée « effet Paul Bert » du nom du premier chercheur à avoir étudié le phénomène (1878).

Ces risques sont absents lors de plongée à l'air, plafonnée à 60 mètres du fait de la narcose (Rappel : la limite admissible de PPN₂ est de 5.6 bar soit 60m). Les risques d'hyperoxie apparaissent vers 70 m ($8 \times 20\% = 1.6$).

- Conditions d'apparition de la crise d'hyperoxie pour le Nitrox :

- Utilisation de mélange non adapté à la profondeur
- Lors de dépassement accidentel et important de la profondeur limite
- Facteurs favorisant : l'effort, la fatigue, l'anxiété, la chaleur ou le froid
- Mauvais paramétrage de l'ordinateur
- Sensibilité à l'oxygène de chaque individu (variable d'un jour à l'autre)

- **Mécanisme et conduite à tenir**

Elle se traduit par une crise convulsive généralisée semblable à une crise de grand mal épileptique, parfois précédée de signes annonciateurs (dans 10% des cas seulement).

On peut distinguer quatre phases :

1) PHASE D'ALARME

Avec un ou plusieurs des symptômes suivant

- Crampes
- Diminution du champ visuel provoquant un « effet tunnel »
- Gène ventilatoire
- Accélération du pouls
- Modification de l'humeur : euphorie, dépression
- Secousses musculaires involontaires
- Nausées

Facilement réversible, en remontant pour faire diminuer la PPO₂ ou en changeant de mélange respiratoire.

Attention : signes souvent absents ou non perçus ; une crise se déroule inexorablement.

2) PHASE D'APNEE

Ou phase tonique. Elle dure de 30" à 2'

- Contractions musculaires généralisées et incontrôlable
- Contractions des muscles respiratoires (spasmes)
- Fermeture de la glotte provoquant une apnée

Afin d'éviter la surpression pulmonaire de l'accidenté, **il ne faut pas le remonter**. Se maintenir à la profondeur en maintenant l'embout en bouche de la victime.

3) PHASE CONVULSIVE

Elle dure de 2' à 3'.

- Alternance de contractions et de décontractions musculaires
- Importantes convulsions

On remonte la victime, détendeur en bouche et maintenant la tête en extension.

4) PHASE POST-CONVULSIVE

Elle dure de 10 à 15 minutes.

- Retour à la normale progressif
- Etat confus et agité
- Pas de souvenir de la crise
- Endormissement

En surface : déséquiper, sécher et préparer un couchage pour que la victime puisse récupérer.

Si nécessaire, entreprendre une réanimation. Dans tout les cas, la confier à une équipe de secours spécialisée.

- Prévention :

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

- Toujours savoir ce que l'on respire (contrôle de son mélange)
- Identifier précisément ses bouteilles

- Respecter la législation : les paliers à l'O₂ pur sont interdits en dessous de 6m
- Respecter la pression partielle de 1.6 bar max. et préférer des PPO₂ plus faibles en fonctions des différentes conditions de plongées
- Respecter de façon stricte la profondeur plancher

b) La toxicité pulmonaire de l'oxygène

En plus de l'effet neurologique, l'hyperoxie agit sur les poumons et fini par les irriter : c'est l'effet Lorrain-Smith.

Cette irritation est lente à se manifester et nécessite une exposition à une PPO₂ supérieure à 0.5 bars. Pour information, il est considéré que suite à une exposition à une PPO₂ de 1 bar, les premiers symptômes se manifestent au bout d'une douzaine d'heures.

Il se produit une inflammation des tissus pulmonaires et un déficit en surfactant qui vont induire un œdème interstitiel (apparition d'un gonflement entre les deux feuillets de la plèvre) puis alvéolaire.

La conséquence de cet œdème est l'apparition d'un trouble de la diffusion alvéolo-capillaire de l'oxygène. **Cela va entraîner une hypoxie.**

Les symptômes sont progressifs, ce qui permet au sujet atteint, de prendre conscience de l'affection et de prendre les mesures nécessaires.

Les risques liés à cet effet toxique sont quasiment inexistantes chez le plongeur sportif.

Par mesure de sécurité, la FFESSM préconise de ne pas dépasser deux heures de plongée d'affilées en respirant un Nitrox.

VI- Un autre mélange : le Trimix

Rappel : au-delà de 60 mètres de profondeur, la respiration de l'air devient dangereuse. En effet, les pressions partielles qu'exercent chacun des gaz, les rendent toxiques pour l'organisme, avec des risques de narcose, dû à l'azote et des risques d'hyperoxie dû à l'oxygène. **La plongée à l'air, pour des raisons de sécurité, est limitée à une profondeur de 60 mètres.**

Avec le Nitrox, on a vu que l'on pouvait réduire les risques d'accident de décompression, et que l'on diminuait la fatigue post-plongée. On a vu, également que si l'on présentait des « facteurs favorisants » comme l'âge, l'obésité, la sédentarité, l'effort, etc... alors le Nitrox est fait pour nous.

Et le trimix, alors il sert à quoi ?

a) Le mélange Trimix

Le trimix est un mélange respiratoire composé de 3 gaz : de l'oxygène et de deux diluants : l'azote et l'hélium. On parle de mélange ternaire.

Un mélange devant faire 100%, il y a toujours ces trois gaz, mais en proportion différentes.

On nomme un trimix en fonction du pourcentage d'oxygène et d'hélium qu'il contient.

Par exemple : un trimix contenant **20% d'oxygène, 25% d'hélium** et 55% d'azote est noté **TX 20/25**

b) L'élément principal l'hélium.

On sait que la narcose débute vers 30 mètres pour certains et devient systématique à partir de 60 mètres. Le responsable de ces troubles physiologiques est l'azote. La solution est évidente : pour atténuer cette ivresse des profondeurs, il faut diminuer l'azote et le remplacer par un gaz moins narcotique.

L'argon étant très narcotique, l'hydrogène trop dangereux associé à l'oxygène (seul la Comex sait le manipuler), il reste l'hélium. C'est sa rareté qui justifie son prix. Par contre, c'est un gaz extrêmement léger, très volatil, incolore, inodore, ininflammable et complètement inerte. Contrairement à l'oxygène il est très facile à manipuler.

POUVOIR NARCOTIQUE DE GAZ INERTES				
GAZ	ARGON	AZOTE	HYDROGENE	HELIUM
POUVOIR NARCOTIQUE	2,32	1	0,54	Pas narcotique
NARCOSE	+++++	++	+	0

c) Avantages et inconvénients

Outre son aspect non-narcotique, l'hélium est également très léger (l'azote est 7 fois plus lourd), ce qui réduit énormément le risque d'essoufflement profond. Avec la profondeur l'air est plus « pesant » d'où une résistance à l'écoulement gazeux dans les voies aériennes gênant la mécanique ventilatoire. Les muscles respiratoires et le diaphragme, en particulier, doivent fournir plus de travail.

MASSE VOLUMIQUE DES GAZ						
GAZ	ARGON	OXYGENE	AIR	AZOTE	HELIUM	HYDROGENE
MASSE VOLUMIQUE MV (g/litre) à 1 bar	1,78	1,42	1,28	1,2	0,17	0,09
MV à 6 bar (prof. 50m)	10,68	8,52	7,68	7,2	1,02	0,54

Néanmoins, quelques inconvénients sont à signaler. Bon conducteur thermique, l'hélium augmente la déperdition caloriques par conduction entre la paroi des voies respiratoires et le mélange gazeux respiré, ainsi qu'au niveau cutané.

Il modifie le son de la voix : c'est l'effet « Donald Duck », une voie nasillarde due au déplacement des sons dans une atmosphère moins dense que l'air.

Contrairement à une idée reçue, l'hélium ne diminue pas les paliers de décompression. Ce n'est pas son rôle, c'est le rôle de l'oxygène.

Il est très « diffusible » et peu soluble (il diffuse 2.65 fois plus vite que l'azote). Un gaz diffusible entre et sort des tissus rapidement. A la remontée, l'hélium sort d'abord et l'azote ensuite.

d) Les formations trimix

Les conditions d'accès à la formation sont : le niveau 3 + la qualification de plongeur nitrox confirmé.

- Le trimix normoxique ou élémentaire :

Il utilise des mélanges respirables en surface (oxygène 18% mini et hélium 10% mini).

En France la **limite de profondeur** au trimix normoxique est fixé par arrêtés du 23 juillet 2009 à **70 mètres**.

- Le trimix ou hypoxique :

Il utilise des mélanges non respirables en surface.

En France, la **limite de profondeur** au trimix est fixé par arrêtés de 23 juillet 2009 à **120 mètres**.

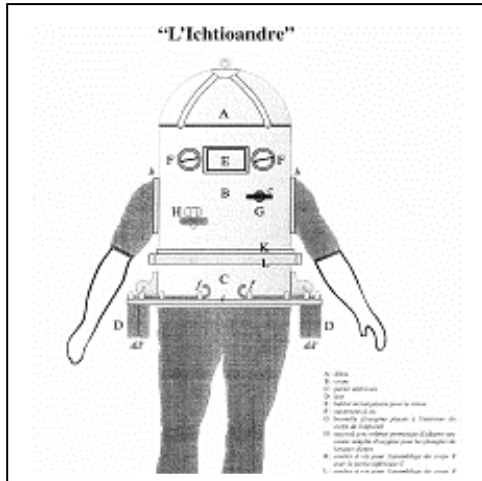
e) En conclusion : quel trimix choisir

Pour plonger profond dans de bonnes conditions de sécurité et d'esprit clair, il faut :

- Réduire le % O₂ pour diminuer le risque hyperoxique.
- Réduire le % N₂ pour diminuer le risque narcotique.
- Réduire le % N₂ pour diminuer la densité du mélange respiré et donc le risque d'essoufflement.
- Conserver un % d'O₂ minimum pour le métabolisme tout au long de la plongée et pour une décompression optimisée.
- Ajouter suffisamment d'hélium pour rendre la narcose acceptable.

L'utilisation du trimix associé à une déco Nitrox, est l'idéale au-delà de 40 mètres pour plus de sécurité et avoir de véritables souvenirs de sa plongée

VII- Une autre façon de plonger : le recycleur



<http://www.ctrbpl.org/ctrinfo.php?c=recycleur>

L'utilisation des recycleurs n'est pas nouvelle. Historiquement il a été inventé en 1808 par un Français ; le sieur Touboulic. Les premiers à prouver son efficacité, sont les militaires qui l'utilisent au cours de la deuxième guerre mondiale. Il faut attendre les années 1990 pour voir apparaître les premières machines destinées à la plongée loisir.

➤ Le principe :

Est de récupérer les gaz expirés dans un sac (faux poumons) et de le faire passer dans une cartouche de chaux sodée pour fixer le CO₂ produit par le métabolisme de l'organisme.

Puis on injecte le l'oxygène pur dans le sac pour compenser la consommation d'oxygène par les cellules vivantes.

On inspire à nouveau le gaz épuré et ré-oxygéné, et ainsi de suite.

Il existe 2 grandes familles de recycleurs :

- SCR (Semi Close Rebreather) : Recycleur à circuit semi-fermé.

Pour compenser la consommation d'O₂, un flux continu de Nitrox est injecté dans le circuit. Le surplus sera évacué par la purge d'où une fuite de gaz continu.

- CCR (Close Circuit Rebreather): Recycleur à circuit fermé.

Pour compenser la consommation d'O₂, une injection d'O₂ pur est faite dans le circuit provenant d'une bouteille indépendante.

On distingue 2 types de CCR

- mCCR : CCR mécanique. L'injection se fait manuellement en fonction de la PPO2 choisi. Pas assez d'O2 ; on injecte manuellement de l'O2. Trop d'O2 ; on ajoute du diluant manuellement pour faire baisser la PPO2.

- eCCR : CCR électronique. L'injection est commandée par un ordinateur qui mesure la PPO2 dans le circuit. La PPO2 est maintenue constante pendant la plongée, généralement à 1.3 bar. Si bien que le mélange sera optimisé en fonction de la profondeur. Le diluant sera injecté à la descente par le by-pass (ADV) ou manuellement par le plongeur.

➤ Les avantages :

- Une grande autonomie

La consommation métabolique d'O2 est indépendante de la profondeur. La consommation d'oxygène varie uniquement avec le niveau d'activité :

- au repos _____ 1.5 litre / min
- exercice modéré _____ 1.0 à 2.0 litres / min
- activité soutenue _____ 3.0 litres / min
- activité intense _____ 4.0 litres / min

Exemple :

Avec une bouteille de 3 litres en CCR : $3 \times 200 \text{ bar} = 600 \text{ litres d'O}_2$ soit 430 min avec une consommation de 1.4 l/min.

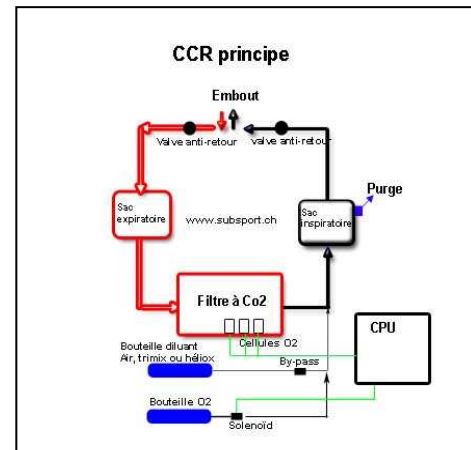
En réalité, c'est la durée d'utilisation de la chaux qui va limiter la durée de la plongée.

- L'absence de bulles

En circuit fermé, aucune bulle n'est expirée. En semi-fermé, le dégagement de bulles par la soupape de l'appareil est assez réduit par rapport à un circuit ouvert.

Le silence total en CCR est très appréciable pour l'approche de la faune. Par expérience, elle se rapproche des plongeurs, alors que les bulles des circuits ouverts les font fuir. De nombreux photographes et cinéaste animalier ont choisi le CCR pour ces raisons. Une grande partie du film « Océan » a été filmé avec ce recycleur, Laurent Ballesta (Ushuaia) l'utilise également.

<http://www.herault.fr/2011/03/08/laurent-ballesta-coelacanthe-histoire-d-une-rencontre-9219> .



- Une économie de gaz

La plongée aux mélanges (trimix, héliox...) revient très chère. La quantité de mélange consommée en recycleur (CCR) est dérisoire. Elle permet la confection de mélange très riche en hélium, rendant ainsi « la plongée teck » accessible.

- Le gaz respiré est chaud et humide

Dans un recycleur, le gaz circule dans une « boucle respiratoire » constituée par : les poumons du plongeur, les tuyaux annelés et l'embout, la cartouche de chaux (filtre), les faux poumons (sacs respiratoires).

Le gaz est réchauffé par sa circulation dans notre corps, mais également par la réaction chimique de la chaux, qui provoque une augmentation de la température et une production d'eau.

En recycleur, on respire un air chaud et humide qui améliore le confort respiratoire et réduit les pertes caloriques.

- Une PPO2 constante pour les eCCR

Avec une pression partielle constante, le mélange est optimisé en fonction de la profondeur, permettant une meilleure décompression.

- Pas de risque de givrage

La ventilation en recycleur ne produit pas de détente de l'air comme en circuit ouvert.

DILUANT AIR (21% O2)	
PROFONDEUR EN METRES	% O2 DANS LE MELANGE AVEC 1,3 DE PPO2
40	26%
30	32%
20	43%
10	65%
6	81%
3	100%

➤ **Les inconvénients :**

- L'utilisation d'un recycleur demande une formation spécifique adaptée à chaque constructeur et à chaque type de machine.

- Le risque d'hyperoxie ou d'hypoxie est plus important qu'en circuit ouvert en cas de dysfonctionnement de la machine.

- Plus de phénomène de poumon-ballast.

Le volume d'air reste constant (le gaz respiré est soit dans les poumons soit dans les sacs respiratoires); il est donc plus difficile de descendre, le principe du poumon-ballast n'existant pas avec les recycleurs.

- Un prix élevé

En plus du cout d'achat de la machine, il faut compter sur le cout de son entretien et des consommables (chaux, piles).

- Une utilisation assez « pointue »

Elle nécessite de la rigueur dans la préparation du recycleur et dans l'organisation de la plongée (calcul du bail out, entraînement aux procédures d'urgence, etc.)

- La chaux

Elle ne doit pas être en contact avec l'eau (surtout l'eau de mer), il faut donc garder constamment l'embout en bouche au risque de noyer la machine et de respirer « un cocktail caustique ».

➤ **Les qualifications :**

- **Qualification « recycleur » (a circuit semi fermé)**

Avoir 18 ans

Etre titulaire du niveau 1 de plongeur + la qualification Nitrox

- **Qualification « recycleur fermés »**

- Plongeur Recycleur Inspiration Vision air

Avoir 18 ans

Etre titulaire du niveau 3 de plongeur + la qualification Nitrox confirmé

- Plongeur Recycleur Inspiration Vision Trimix élémentaire

Etre titulaire de la qualification recycleur inspiration vision air + la qualification Trimix élémentaire

- Plongeur Recycleur Inspiration Vision Trimix

Etre titulaire de la qualification recycleur inspiration vision trimix élémentaire + la qualification trimix

➤ **Les avantages de la plongée aux mélanges**

LES PROBLEMES LIES A L' AIR	LES SOLUTIONS DES MELANGES
Risque d'accident de décompression (ADD)	Réduire le pourcentage d'azote: le Nitrox (oxygène + azote)
Migraine et fatigue post-plongée Facteurs favorisant les ADD (âge, obésité, travail, sédentarité, effort, etc...)	Plonger au Nitrox et / ou faire les paliers à l' oxygène pur ou Nitrox
Narcole (azote = limite 60 m)	Réduire l'azote et le remplacer par un gaz non narcotique: Nitrox pour décompression Trimix pour profondeur
Hyperoxie (au delà de 70m)	Réduire le pourcentage d'oxygène: le trimix normoxique et hypoxique
Essoufflement profond	Mettre un gaz moins dense que l'azote: l' hélium
Autonomie en gaz	Nitrox et / ou recycleur

➤ Conclusion

Les recycleurs sont de merveilleuses machines, mais nécessitent un apprentissage particulier. Le plongeur doit se remettre complètement en question.

Avec les CCR tout les excès au niveau profondeur et durée de plongée sont possibles. Seul, le plongeur consciencieux et raisonnable plongera en sécurité avec ce type de machine.

http://www.plongeesout.com/articles%20publication/recycleur/recycleur_bahuet/avec%20ou%20sans%20bulle.htm

VIII- Le guide de palanqué et la plongée aux mélanges

En tant que guide de palanquée, vous serez amené à guider des plongeurs « Nitrox » sous réserve que vous ayez la qualification Nitrox confirmé.

En plus de votre rôle de diriger la palanquée et d'en assurer le bon déroulement, vous devez être capable de faire des calculs élémentaires concernant ce type de plongée.

- Vérifier la profondeur plancher à ne pas dépasser en fonction du pourcentage d'oxygène dans le mélange.
- Déterminer le mélange Nitrox à utiliser en fonction de la profondeur prévue.
- Calculer une profondeur équivalente air.

BONNE PLONGEES A TOUS