

NITROX

EAN (Enriched Air Nitrox)

Histoire du Nitrox Civil

- ✓ 1770 : LAVOISIER propose le terme O₂
- ✓ 1785 : LAVOISIER distingue les éléments constitutifs de l'air et réalise sa célèbre expérience de décomposition et de synthèse de l'eau : « rien ne se perd tout se transforme »
- ✓ 1794 : REDDOES utilise l'EANX comme gaz médical
- ✓ 1874 : PAUL BERT identifie la toxicité du système nerveux central (SNC)
- ✓ 1879 HENRY FLEUSS réalise la 1ère plongée au nitrox avec un mélange (50/60)
- ✓ 1913 : En Allemagne, DRAGERWERK fabrique un scaphandre produisant automatiquement du nitrox 60

Histoire du Nitrox Militaire

✓ 1940 : Développement du recycleur semi fermé qui utilise le nitrox 60 pour les plongées à 20m

☞ La Pp O2 limite, de 2b, est identifiée comme limite cruciale par la Royal Navy et l'US Navy

☞ A cette époque les plongées aux mélanges sont du domaine «secret militaire»

☞ Des recycleurs à circuit fermé avec 60% O2 sont utilisés dans des opérations «commando» lors de la seconde guerre mondiale

✓ 1950 : Les descendants de ces systèmes sont utilisés par les militaires

✓ 1959 : Parution des premiers livres qui dévoilent la plongée militaire aux mélanges

♀→

Histoire du Nitrox Commercial

- ✓ 1950 : EANX et O2 sont utilisés en mélanges fond et décompression à l'ombilical en circuit ouvert et en chambre de décompression
- ✓ 1970 : Le National Oceanographic Atmospheric Administration (NOAA) aux USA commence à développer les procédures et les tables nitrox
- ✓ 1979 : Première publication dans la 2eme édition du NOAA Diving Manual mais impose un caisson pour chaque plongée avec paliers. Ces normes professionnelles sont trop contraignantes pour les plongées loisirs et donc non applicables
- ✓ 1995 : Plus de 15000 plongées sans incidents réalisées au nitrox en mer du nord

↗

Thérapie et Médecine Hyperbare

- ✓ Le nitrox est utilisé régulièrement comme gaz thérapeutique depuis plus de 40 ans
- ✓ L'O₂ et le nitrox sont utilisés de façon croissante dans des traitements non liés à la plongée
- ✓ Le traitement des maladies de décompression utilise l'O₂ jusqu'à une PpO₂ de 3 bar et des profondeurs de 50m (surpression pulmonaire)

↗

Plongée loisir et technique

- ✓ Les spéléologues et les archéologues sont les premiers plongeurs à utiliser les mélanges suroxygénés en plongée
- ✓ Les plongeurs profonds utilisent depuis longtemps l'O₂ pur pour raccourcir leur décompression
- ✓ 1986 : Dick RUTKOWSKI est reconnu comme le promoteur initial de l'EANX en plongée loisir. Création de International Association Nitrox Diver (IANTD) première fédération de loisirs
- ✓ Des milliers de plongeurs loisirs utilisent actuellement le Nitrox pour augmenter leur sécurité en plongée

↗

La FFESSM et le NITROX

✓ Plongeur Nitrox

- Niveau 1 minimum
- 10 plongées dans la zone des 20 m
- Utilisation d'un mélange nitrox 40/60 au maximum

✓ Plongeur Nitrox Confirmé

- Niveau 2 minimum
- 10 plongées nitrox dans la zone des 20 m
- 10 plongées dans la zone des 30-40 m
- Utilisation de tous les mélanges nitrox et de l'oxygène pur en décompression
(bouteille pony)

✓ Moniteur Nitrox

- Moniteur 1er degré ou équivalent
- Qualification plongeur nitrox confirmé



Conditions de candidature

- ✓ Etre titulaire de la licence FFESSM en cours de validité.
 - ✓ Etre âgé d'au moins 14 ans à la date de délivrance de la qualification de plongeur nitrox
 - ✓ Etre titulaire du brevet de plongeur niveau 1 de la FFESSM ou d'un titre admis en équivalence
 - ✓ Présenter le carnet de plongée
 - ✓ Avoir effectué un minimum de 10 plongées dans la zone des 20m attestées sur le carnet de plongées ou par la mention sur le passeport ou par fiche justificative dûment remplie
 - ✓ Etre en possession d'un certificat médical de non contre indication à la pratique de la plongée subaquatique établi depuis moins d'un an à la date d'exécution des épreuves

Organisation Générale / Prérrogatives

- ✓ La qualification est obtenue après 2 plongées minimum
- ✓ Les plongeurs titulaires de la qualification pourront utiliser le mélange nitrox le plus approprié avec un maximum de 40% d'oxygène

↪



Equivalences FFESSM / CMAS

FFESSM	CMAS
Plongeur Nitrox	Nitrox diver
Plongeur Nitrox confirmé	Advanced Nitrox diver
	Nitrox instructeur
Moniteur Nitrox confirmé	Advanced Nitrox Instructor

Qu'est ce que le NITROX

Le terme de **NITROX** vient de l'association : Azote (**NITR**ogen en anglais) et **OX**ygène,
il désigne en fait tout mélange de ces deux gaz :

- ✓ Un Nitrox particulier de l'air atmosphérique
- ✓ Une convention pour la désignation des mélanges
- ✓ xx / yy
- ✓ xx pour le % d'oxygène
- ✓ yy pour le % d'azote
- ✓ Ainsi, un nitrox 40/60 contient 40% d'oxygène et 60% d'azote
- ✓ S'il contient moins de 21 % d'O₂ on dira qu'il est sous oxygéné
- ✓ S'il contient plus de 21 % d'O₂ on dira qu'il est sur oxygéné

↗

Avantages liés à l'utilisation du NITROX

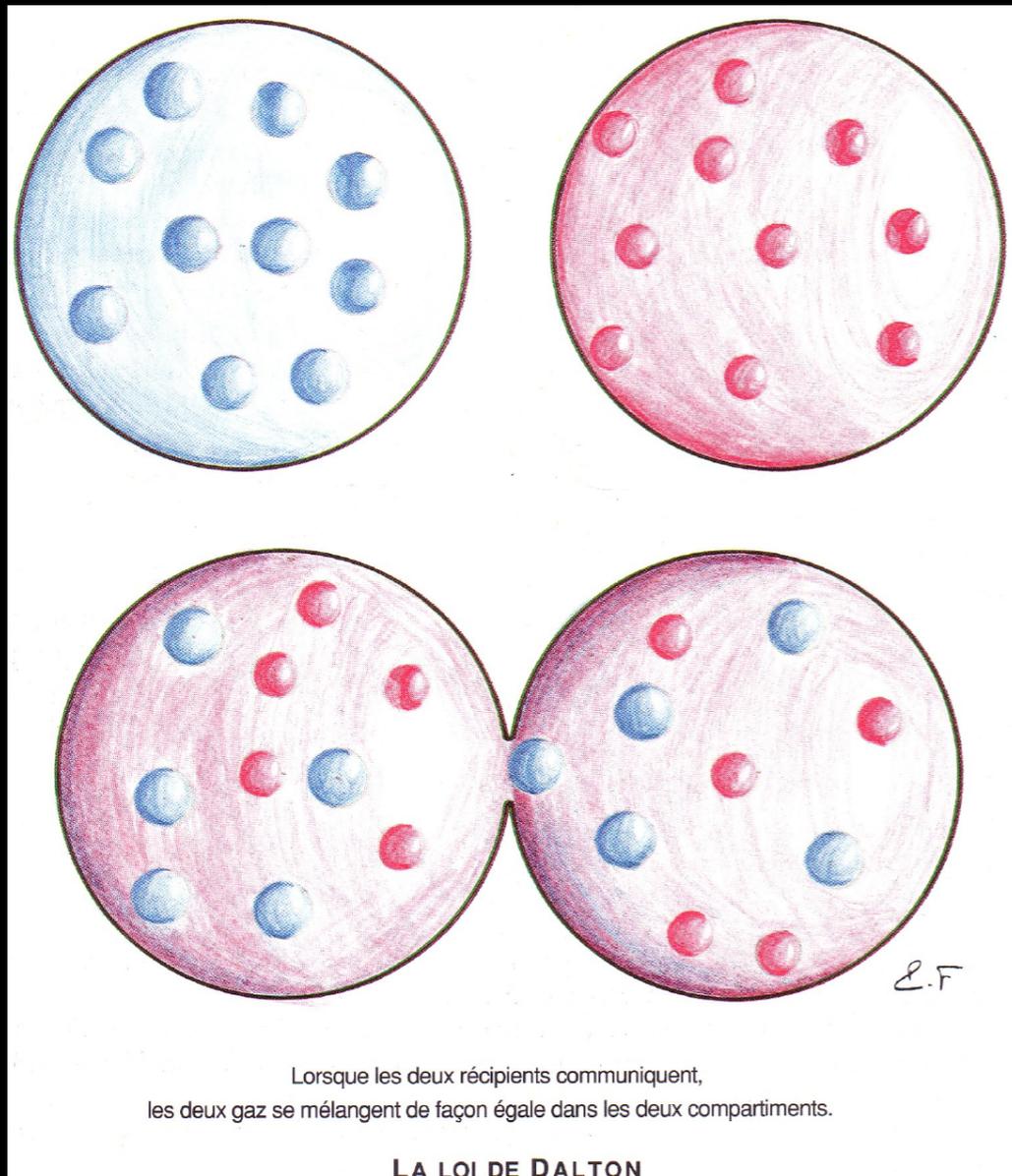
- ✓ Augmenter le temps d'immersion sans palier
 - ✓ Diminuer le temps de palier
 - ✓ Diminuer le volume de gaz consommé (10 à 15%)
 - ✓ Diminuer le risque d'essoufflement pour un effort donné
 - ✓ Procurer un meilleur confort à l'issue de la plongée
 - ✓ Diminuer le risque d'ADD pour un même profil de plongée
 - ✓ Pour les plongées à l'air dans la zone des 40m, diminuer le risque de narcose
- ♀→

Inconvénients liés à l'utilisation du NITROX

- ✓ Limitation de profondeur d'utilisation par rapport à l'air
 - ✓ Toxicité de l'oxygène, en Pp ou en temps d'exposition
 - ✓ Manipulation des gaz plus contraignante
 - ✓ Demande une plus grande rigueur générale !!!

♀→

Rappel : La Loi de DALTON



✓ La pression exercée par un mélange gazeux est égale à la somme des pressions partielles de chacun des gaz constituant le mélange.

✓ La pression partielle d'un gaz constituant un mélange est la pression que ce gaz exercerait s'il occupait seul le volume occupé par le mélange .

✓ La pression partielle d'un gaz constituant un mélange est égale au produit de la pression totale du mélange par la concentration (%) du gaz dans le mélange.

$$\text{Donc } P_p = P_{\text{abs}} \times X/100$$

$$\text{Donc } P_{\text{abs}} = P_p \times 100/X$$

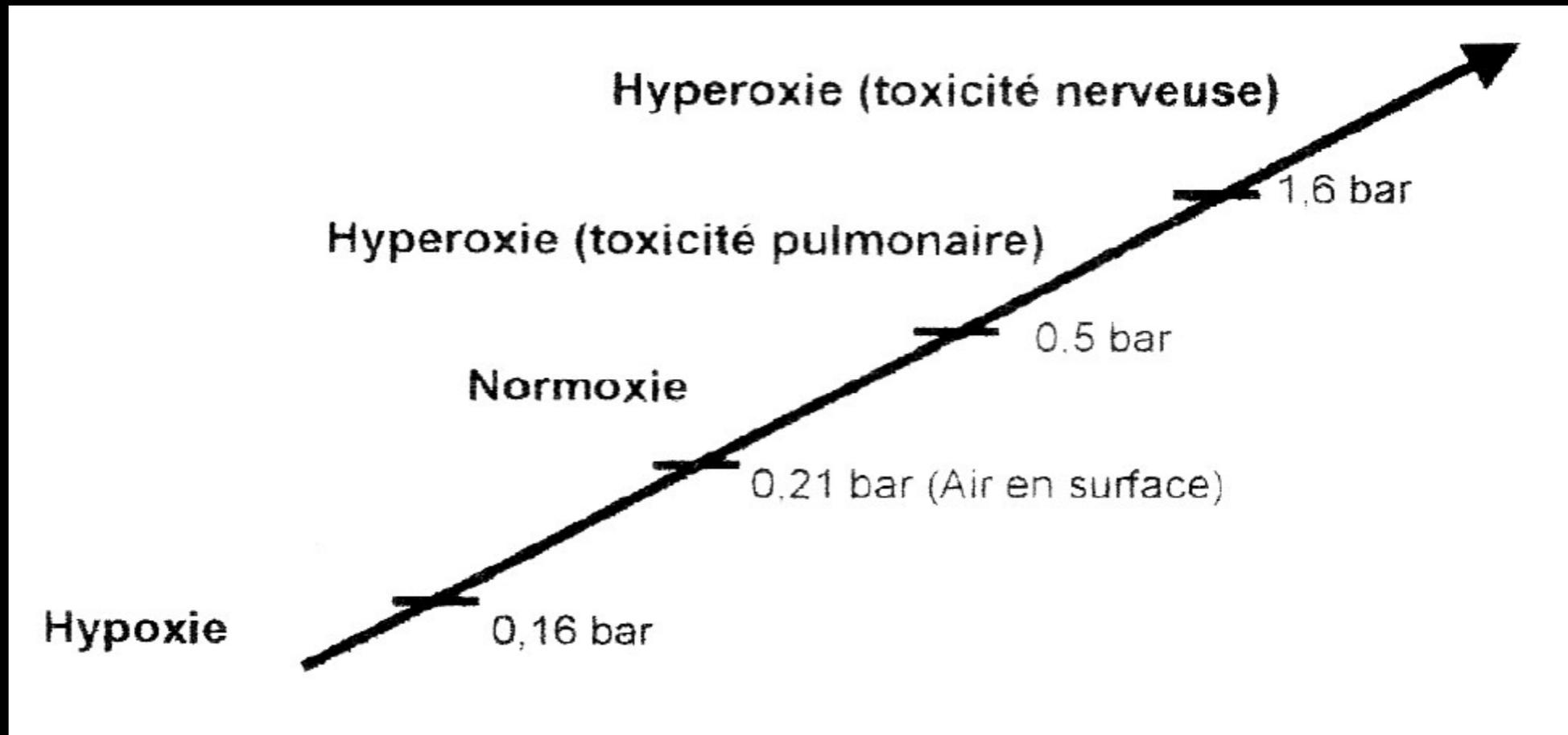
On peut donc en déduire :

$$P_p = P_{\text{Abs}} \times \% \text{ du mélange}$$

$$P_{\text{Abs}} = P_p / \% \text{ du mélange}$$

$$\% \text{ du mélange} = P_p / P_{\text{Abs}}$$

Incidences physiologiques de l'Oxygène



Incidences physiologiques de l'Oxygène

✓ La Normoxie

On appelle normoxie l'état du corps pour lequel le dioxygène en concentration normale dans le sang permet une activité normale. Dans la pression atmosphérique, la teneur en oxygène de l'air inhalé doit se situer dans la normal entre 19% et 21%

✓ L'Hypoxie

Terme issu du grec hupo : sous et oxus : oxygène

Diminution de la quantité d'oxygène distribuée aux tissus par le sang par unité de temps. $P_p < 0,16b$

On retrouve ce problème en cas de mélange mal fait (Trimix ou Recycleur)

✓ L'Hyperoxie

Notre organisme tolère une P_p comprise entre 0,17 et 0,5 bar, au delà, on parle d'hyperoxie.

$\geq 0,5$ bar hyperoxie pulmonaire

= 1,6 bar toxicité nerveuse

Limites et effets de l'Oxygène

CONCENTRATION	EFFETS
0 b	Coma ou mort
0,10 b	Perte de connaissance
0,12 b	Sérieux signes hypoxique
0,16 b	1er signes de l'hypoxie
0,17 b	Limite minimum de concentration O2 pour la réglementation Française
0,21 b	Pp O2 normal de l'air
0,35 b	Exposition normale à saturation et signes de l'effet Lorrain-Smith
0,50 b	Exposition maximale à saturation
1,40 b	Pp recommandée en plongée loisir
1,50 b	Limite max d'utilisation en travail off shore
1,60 b	Limite max d'utilisation en plongée loisir et sans effort pour l'US Navy et la réglementation Française
2,40 b	60/40 nitrox thérapeutique à 6 bar
3,00 b	50/50 nitrox thérapeutique à 6 b

Incidences physiologiques de l'O2

Pression partiel d'O2 en fonction de la profondeur (bar)

Profondeur (m)	Profondeur (Pieds)	Pression (ATA)	PpO ₂ Air	PpO ₂ Nitrox 32/68	PpO ₂ Nitrox 36/64	PpO ₂ Nitrox 40/60
0	0	1,00	0,21	0,32	0,36	0,40
5	15	1,50	0,32	0,48	0,54	0,60
10	30	2,00	0,42	0,64	0,72	0,80
15	45	2,50	0,53	0,80	0,90	1,00
20	61	3,00	0,63	0,96	1,08	1,20
25	76	3,50	0,74	1,12	1,26	1,40
30	91	4,00	0,84	1,28	1,44	1,60
35	106	4,50	0,95	1,44	1,62	1,80
40	121	5,00	1,05	1,60	1,80	2,00
45	136	5,50	1,16	1,76	1,98	2,20
50	152	6,00	1,26	1,92	2,16	2,40
55	167	6,50	1,37	2,08	2,34	2,60
60	182	7,00	1,47	2,24	2,52	2,80
65	197	7,50	1,58	2,40	2,70	3,00

Incidences physiologiques de l'Oxygène

Le double effet K Cool !!!

✓ Effet Paul Bert (1878)

Exposition de courte durée à des pressions supérieures à 1,6 bars
Atteinte neurologique
Crise hyperoxique

✓ Effet Lorrain Smith (1897)

Exposition de longue durée à des pressions supérieures à 0,5 bars
Atteinte pulmonaire

Tout est une question de dose
!!!



Toxicité de L'O₂ sur le système nerveux central

Effet Paul Bert

- L'effet Paul Bert

La toxicité neurologique (atteinte du système nerveux central SNC) de l'oxygène survient à partir d'une PpO₂ > 1,6 bar.

Cette toxicité se manifeste par une crise convulsive avec perte de connaissance appelée "Effet Paul Bert".

Il s'agit d'une crise convulsive généralisée semblable à une crise de grand mal épileptique, parfois précédée de signes annonciateurs 10% des cas.

Toxicité de L'O2 sur le système nerveux central

Effet Paul Bert

- Les signes avant-coureurs

La crise convulsive hyperoxique apparaît le plus souvent sans signes avant-coureurs.

Elle peut cependant être précédée de signes annonciateurs :

- accélération paradoxale de la fréquence cardiaque (tachycardie)
- secousses musculaires, spasmes
- nausées (40% des cas)
- crampes, contractures de la face (20% des cas)
- anxiété ou confusion
- troubles de la vue, nystagmus
- vertiges (17% des cas)

Toxicité de L'O2 sur le système nerveux central

Effet Paul Bert

- La crise hyperoxique

- ✓ Phase tonique : de 30 secondes à 2 min pendant laquelle surviennent des contractions musculaires généralisées, des crampes, un arrêt ventilatoire éventuel et/ou une perte de connaissance. Il ne faut pas remonter la victime à ce moment sous peine de l'exposer à une surpression pulmonaire due au blocage de la glotte. On maintiendra la victime à la profondeur, le détendeur en bouche
- ✓ Phase clonique : de 2 à 3 minutes pendant laquelle ont lieu des convulsions ainsi qu'une ventilation irrégulière. Ressemblant à une crise d'épilepsie elle est caractérisée par des secousses musculaires. On peut alors remonter la victime en ayant une attention particulière sur son expiration, la tête en extension pour aider à l'expiration avec maintien du détendeur en bouche
- ✓ Phase résolutive : de 5 à 30 minutes avec un relâchement musculaire, une reprise progressive de la conscience, des signes de confusion, voire d'agitation. Le sauvetage se poursuit avec maintien du détendeur

Toxicité de L'O2 sur le système nerveux central

Effet Paul Bert

- Conduite à tenir

- ✓ risque de surpression pulmonaire pendant la phase tonique,
 - il est recommandé de ne rien faire sinon maintenir la profondeur
- ✓ L'agitation de l'accidenté présente un risque pour le sauveteur pendant la phase tonique

risque de surpression pulmonaire pendant la phase tonique,
il est recommandé de ne rien faire sinon de maintenir la profondeur.

- ✓ Attention à la perte d'embout, évacuation

↗

Toxicité de L'O2 sur le système nerveux central

Effet Paul Bert

- Prévention:

- ✓ Vérification PERSONNELLE et SYSTÉMATIQUE du % d'O2 embarqué
- ✓ Respect strict de la profondeur maxi d'utilisation
- ✓ Respect de la limite de Pp O2 de 1,6 bar maxi, soit 30 m maxi avec un Nitrox 40/60.
- ✓ Diminuer ces limites en cas de plongée au froid ou de travail au fond
- ✓ Vérification systématique des temps d'exposition en cas de plongées successives au nitrox : notion de compteur SNC (formation nitrox confirmé)



Toxicité de L'O2 sur le système pulmonaire

Effet Lorrain Smith

En résumé ➔ «Irritation» des poumons liée à la capacité « oxydante » de l'oxygène

Conditions d'apparitions :

- Apparition lente et progressive
- Longue exposition (plusieurs heures) Disparait si $P_p O_2 < 0,5$ bNe
concerne pas la plongée à l'air
- Prise en compte pour
 - l'oxygénothérapie hyperbare - les plongées / paliers prolongées en hyperoxie- les plongées à saturation
- Association avec certains médicaments (décongestionnant nasal)

Toxicité de L'O2 sur le système pulmonaire

Effet Lorrain Smith

- Les signes et symptômes

- face rose
- douleur rétrosternale qui augmente progressivement en intensité et tend à se propager
- dyspnée avec toux paroxystique d'intensité croissante avec la durée d'exposition, oedème intra alvéolaire
- diminution progressive de la capacité vitale
- irritation de la trachée et des bronches, crachats
- congestion, sensation d'étouffement, insuffisance respiratoire
- le surfactant perd ses propriétés stabilisatrice des parois alvéolaire
- les fibroblastes et le collagène envahissent l'insertitium alvéolaire et la mort survient par anoxie

➔ La FFESSM, limite à 2h00 la plongée au Nitrox

Toxicité de L'O₂ sur le système pulmonaire

Effet Lorrain Smith

Prévention :

- ✓ Limiter les plongées à 2 heures maximum
- ✓ Au programme Nitrox confirmé
- calcul des OTU (Oxygen Toxic Unit) et des UPTD (Unit of Pulmonary Dose)



La décompression lors de la plongée Nitrox

Un des objectifs majeurs de la plongée au Nitrox est de diminuer la charge de gaz inerte reçue. donc 2 pôles d'intérêts se dégagent

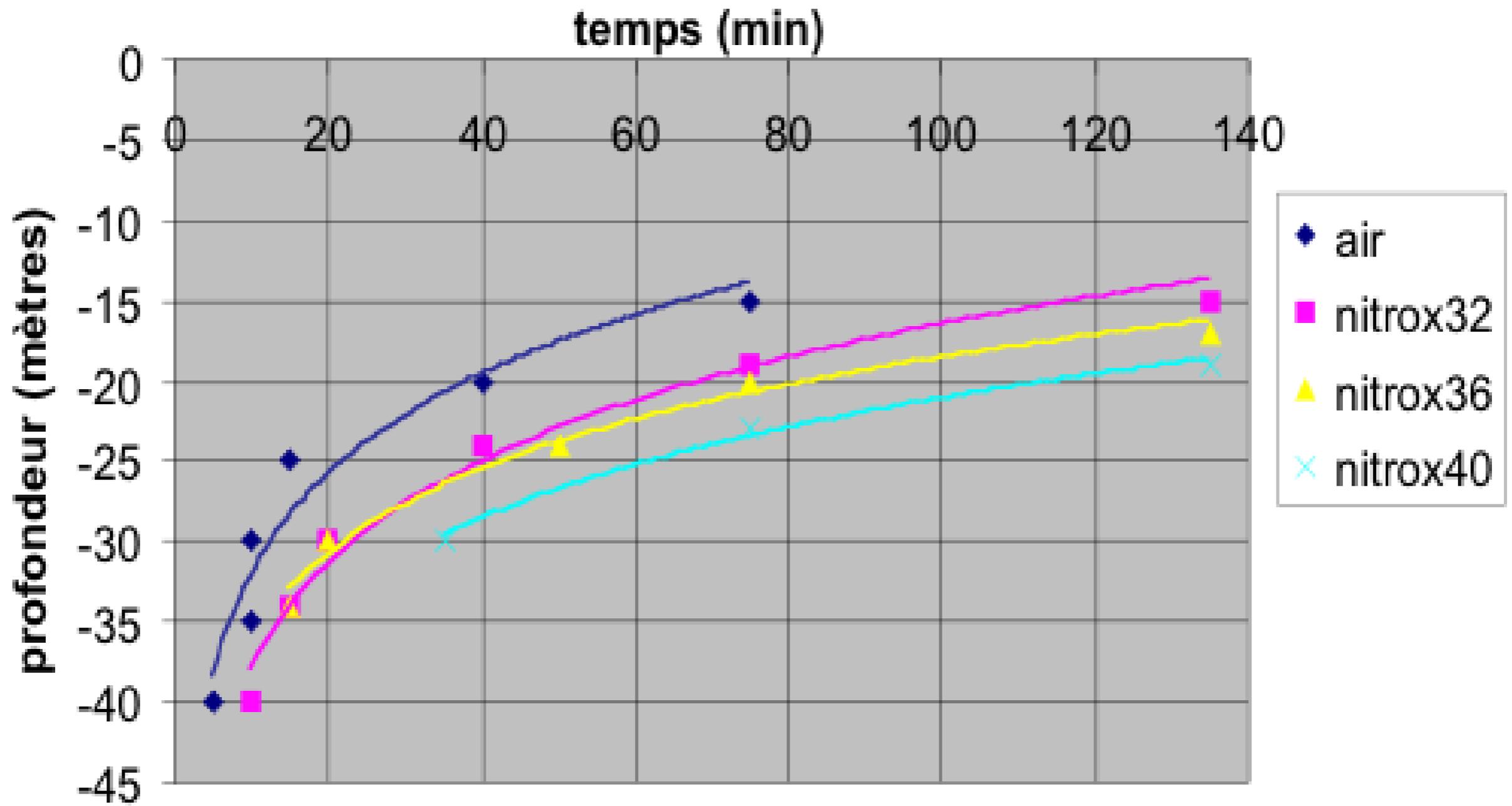
- Soit, pour une profondeur et une durée données, on cherche à réduire la charge en azote (ce qui permettra de minimiser les durées de paliers voire de ne pas en faire dans un profil ou les plongées à l'air les aurait imposés)
- Soit, pour une profondeur donnée, on souhaite pouvoir rester plus longtemps sans générer plus de paliers que ceux qu'aurait nécessairement impliqué une plongée à l'air

La décompression lors de la plongée Nitrox

- Généralités

- Choix de la MN 90 mélange 40/60 ; 36/68 ; 32/68
 - Extrapolation des tables à l'air
 - Pas de modification du modèle (nombre de compartiment sauf déco oxy pur compartiment 240 minutes et du Sc)
 - Pas de modification de la vitesse de remontée
 - Pas de modification de la profondeur des paliers air 3;6;9m
- Cette table ne dispose pas d'une base de données de référence.
 - Ne pas dépasser 2 heures d'immersion
- Gestion des consécutives, successives et des procédures d'urgence identique à l'air
- Il est conseillé de ne pas dépasser 1,4b de Pp O2 (1,6b maximum)

Courbe de sécurité Air et Nitrox



Calcul de la profondeur air équivalente

La Profondeur Air Equivalente (P.A.E) à une profondeur P :
est la profondeur où la PPN2 de l'air est la même que la PPN2 du nitrox à la profondeur

Hypothèse : « les effets d'une plongée au Nitrox sont équivalents
à ceux d'une plongée à l'air de même durée et à la profondeur équivalente »

on obtient donc l'égalité dans un mélange 40/60

$$PAE \times 0,79 = Pabs \times 0,6$$

Calcul de la profondeur air équivalente

Mode d'utilisation des MN90:

Ces tables sont calculées, à l'origine, pour des plongées à l'air, inutilisables tel quel.

Il faut trouver une profondeur nous donnant une équivalence des pressions partielles

avec le mélange suroxygéné.

$$P.A.E = \frac{P_{abs \text{ réel}} \times \% N_2 \text{ mélange}}{\% N_2 \text{ air}}$$

P.A.E = pression absolue équivalente

P_{abs} = pression absolue

% N₂ mélange = au pourcentage d'azote dans le mélange

% N₂ air = au pourcentage d'azote dans l'air (80%)

Remarque:

- la durée de la remontée est à calculer à partir de la profondeur réelle
- la profondeur équivalente est toujours inférieure à la profondeur réelle

Calcul de la profondeur air équivalente

Exemple de calcul

Quelle est la PEA pour un nitrox 40% respiré à 30m ?

$$P.E.A = \frac{P \text{ abs réelle} \times \% N_2 \text{ mélange}}{\% N_2 \text{ air}_0} \quad O_2 = 40 ; N_2 = 60$$

$$P.E.A = \frac{4 \times 0,60}{0,79} = 3,038 \text{ b} \quad \text{donc}$$

20,38m

Calcul de la profondeur air équivalente

Exercice

A l'aide des table air, calculer les paliers éventuels
d'une
plongée avec un nitrox 40 à 29 m durant 47 minutes

- profondeur plancher ➔ 30 m

Profondeur équivalente ➔ $PAE = \frac{3,9 \times 0,6}{0,79} = 2,96 \text{ bar} = 19,62 \text{ m}$

Comparaison entre Nitrox et Air:

Palier nitrox ➔ table air (50min à 20m) ➔ 4 min à 3 m

Palier air ➔ table air (50min à 20m) ➔ 3 min à 6m + 36 min à 3m

Calcul de la profondeur air équivalente

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

Calcul de la profondeur maximum

Connaissant la limite de toxicité de l'oxygène (Pp O2 max) quelle profondeur puis je atteindre avec un mélange contenant x% d'oxygène ?

$$\begin{aligned} Pp \text{ O2 max} &= P \text{ abs max} \times \% \text{ O2} \text{ donc:} \\ P \text{ abs max} &< Pp \text{ O2 max} / \% \text{ O2} \end{aligned}$$

Exemple :

Profondeur max pour un nitrox 32/68 avec un seuil de toxicité de l'oxygène à 1,4 bar ?

$$\begin{aligned} P \text{ abs max} &< Pp \text{ O2 max} / \% \text{ O2} \\ P \text{ abs max} &< 1,4 / 0,32 \\ P \text{ abs max} &< 4,375 \\ \text{La profondeur maxi. est de } &33,8\text{m} \end{aligned}$$

Calcul du taux d'oxygène maximum

Connaissant la limite de toxicité d'oxygène ($P_p O_2 \text{ max}$) quel taux d'oxygène (% O_2) maximum puis je utiliser dans mon mélange pour atteindre une profondeur donnée

$$P_p O_2 \text{ max} = P \text{ abs} \times \% O_2$$

donc:

$$\% O_2 < P_p O_2 / P \text{ abs max}$$

-Exemple

Mélange pour une plongée à 30m avec un seuil de toxicité de l'oxygène à 1,4 b ?

$$\% O_2 < P_p O_2 / P \text{ abs}$$

$$\% O_2 < 1,4 / 4$$

$$\% O_2 < 0,35$$

Le taux d'oxygène maxi. est de 35 % on choisira donc un mélange avec un taux d' O_2 inférieur, par exemple un nitrox 32/68

L'ordinateur et le Nitrox

Il calcul les pressions partielles d'azote auxquelles le plongeur est soumis durant la plongée pour afficher la décompression adaptée.

Il doit être configuré avant chaque plongée, avec:

- Le type de Nitrox utilisé : % O₂
- La pression partielle d'O₂ maximal à ne pas dépasser
- la profondeur maximal à ne pas dépasser

Des alarmes se manifestent en cas de dépassement de la profondeur maxi ou de la PP O₂ maxi, ou si votre organisme atteint les 100% de toxicité en oxygène.

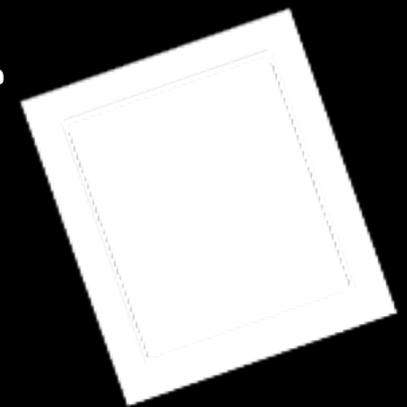
↪

Matériel pour le Nitrox

Les risques de l'O2

L'oxygène « explose » en présence de graisse

- ✓ Taux d'oxygène inférieur à 40% ($\pm 2,5\%$)
 - Utilisation du matériel standard (détendeur, stab,....) et d'une bouteille standard (attention à la réglementation pour les robinetterie) si on la remplit directement avec un mélange Nitrox 40/60 maxi
 - La bouteille doit être compatible Oxygène si :
 - . L'oxygène pur est d'abord chargé
 - . La bouteille est ensuite remplie avec de l'air
- ✓ Taux d'oxygène supérieur à 40% ($\pm 2,5\%$)
 - Utilisation d'équipement compatibles oxygène (détendeurs, manomètre, bouteille etc...)



Choisir son mélange

✓ Vérifier personnellement la pression et faire personnellement l'analyse de son mélange



✓ Noter le taux mesuré et la profondeur maxi autorisée avec ce taux

- sur le bloc
- sur le registre



Mentions obligatoires

✓ Sur le bloc:

- Profondeur max. pour le mélange utilisé

- Première analyse

- Date
- Nom ou initiales
- Pourcentage d'oxygène mesuré

- Deuxième analyse

- Date
- Nom ou initiales
- Pourcentage d'oxygène mesuré

Avant la plongée

Planifier

✓ Définir

- La profondeur réelle prévue pour la plongée
- La profondeur maxi autorisé avec le mélange
- La profondeur équivalente
- Le temps prévu au fond
- La durée des paliers éventuels
- La courbe de sécurité du Nitrox utilisé
- Ne pas dépasser la profondeur maximal permise en fonction du nitrox choisi (30 m pour le 40/60)