

Cours nitrox.



On réfléchit !

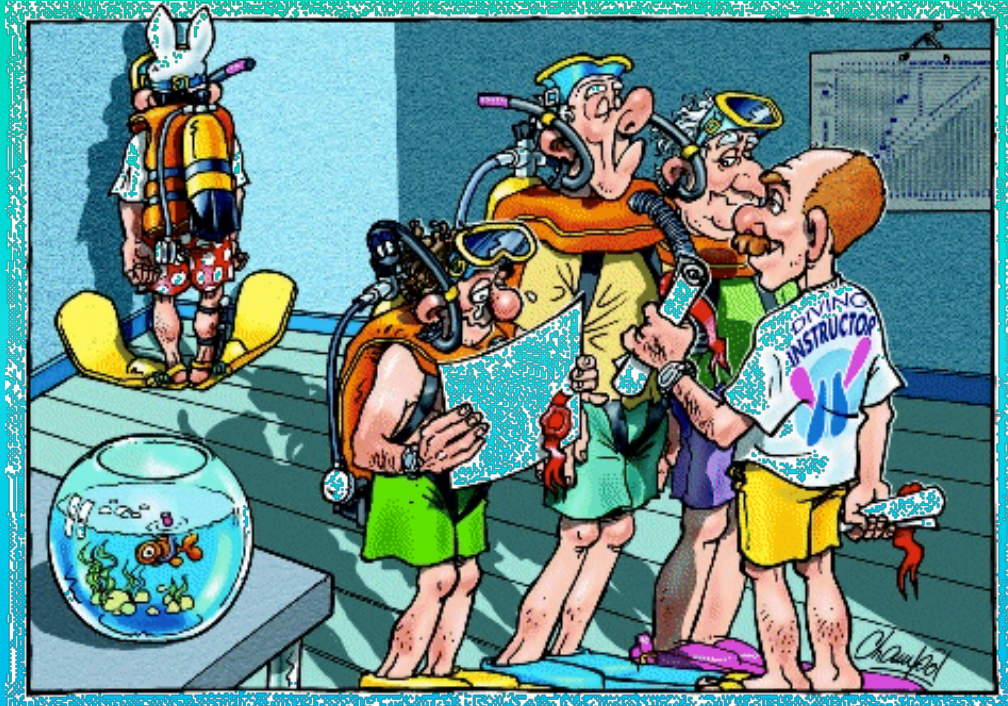
A l'air, au moins, on est sûr de ce qu'on respire. Le Nitrox, il faut contrôler la PpO₂, le pourcentage. Être sûr que le matériel est bien étalonné. Que le diluant est bien de l'azote. Régler son ordinateur. Beaucoup de contraintes, beaucoup de sources d'erreurs...

Dans la conférence qu'il donnait à l'hôpital de la Timone à Marseille, le **docteur Mathieu Coulanges** rappelait ce «paradoxe du Nitrox». En effet, conçu au départ pour plus de sécurité, force est de constater (dans les statistiques) qu'il augmente en fait le nombre d'accidents. Par exemple, certains ADD sont dus aux plongeurs qui oublient de reprogrammer leur ordinateur sur «air» après avoir plongé pendant tout un séjour au Nitrox...

le Nitrox est déconseillé aux plongeurs âgés, aux hypertendus, il aggrave la déshydratation, augmente la difficulté pour l'équilibrage des tympans..

Le programme.

Apporter les connaissances nécessaires pour plonger en toute sécurité avec un nitrox unique dont la proportion d'oxygène est comprise entre 22 et 40%.



Le contenu.

- De la réglementation.
- Préparation du nitrox.
- Avantages et inconvénients.
- L'hyperoxie.
- Calculs de la profondeur plancher.
- Calcul de la profondeur équivalente.
- Les procédures de décompression.
- côté pratiques : le marquage des blocs
- le paramétrage des ordis

La réglementation.

ORGANISATION GENERALE

La qualification de Plongeur Nitrox n'est pas un brevet.

Elle est obtenue à l'issue d'une formation assurée par un moniteur Nitrox confirmé FFESSM dans le cadre d'un stage ponctuel.

La plongée avec contrôle parfait de la stabilisation conditionne la suite de la formation.

Pour être qualifié plongeur Nitrox, il faut avoir effectué au minimum 2 plongées au Nitrox.

Elle est validée par un moniteur Nitrox confirmé FFESSM ayant assuré la formation.

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.
- Etre titulaire du niveau 1 de la FFESSM ou d'un brevet admis en équivalence.
- Présenter le carnet de plongée.
- Avoir effectué un minimum de **10 plongées dans la zone des 20 mètres** attestées sur le carnet de plongée ou par mention sur le passeport ou par fiche justificative dûment remplie.
- Présenter un certificat médical de non-contre indication à la plongée subaquatique de moins d'un an délivré par un médecin généraliste tel que défini dans l'annexe 1 du Règlement Médical.

PREROGATIVES

Les plongeurs titulaires de la qualification Plongeur Nitrox pourront utiliser le mélange Nitrox le plus approprié avec au maximum 40% d'oxygène.

Les plongeurs Nitrox ont les mêmes prérogatives que celles définies dans la partie du Code du Sport, correspondantes à leur niveau de plongée.



Les différents mélanges.



Les mélanges suroxygénés sont composés d'oxygène à une concentration supérieure à 21 % et de gaz purs.

On distingue :

- Le Nitrox : (azote-oxygène).
- L'Héliox : (hélium-oxygène).
- Le Trimix : (azote-hélium-oxygène).
- L'Hydrox : (hydrogène-oxygène).
- L'Hydréliox : (hydrogène-hélium-oxygène).

On parle de Nitrox 36 si la concentration en oxygène est de 36 % dans le mélange.

Préparation du nitrox.

Trois méthodes de préparation du nitrox.



Compresseur à membrane. (tamis moléculaire)

Mélange à basse pression.
(stick)

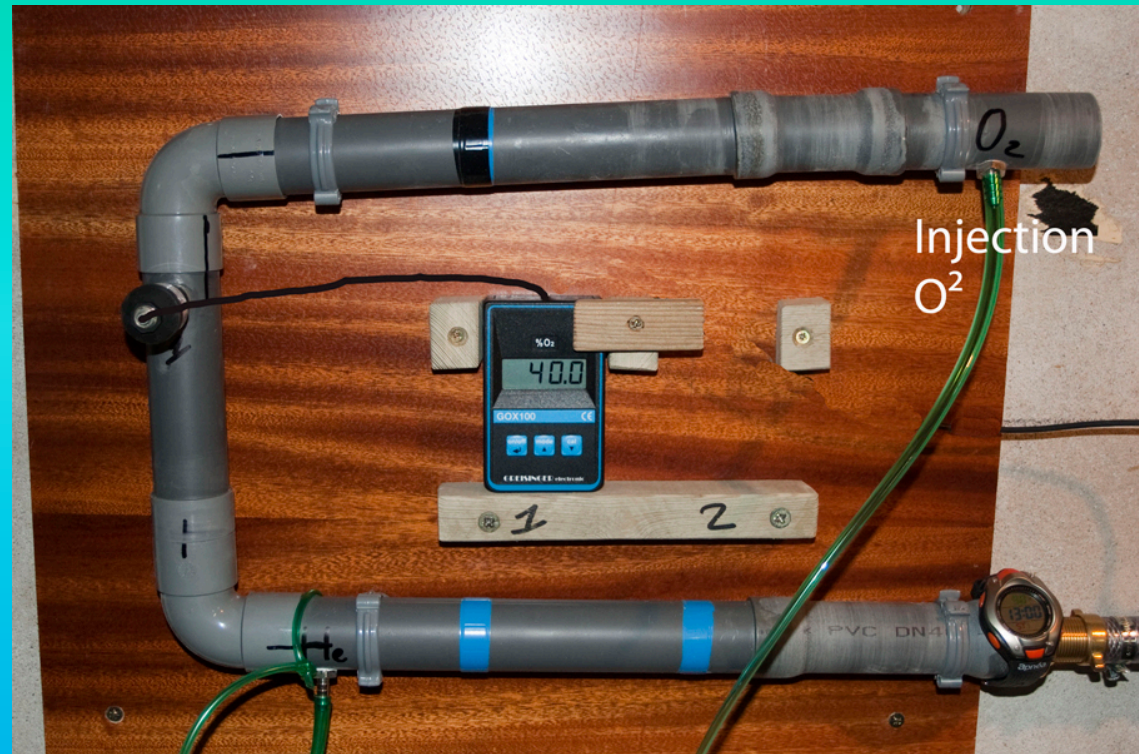
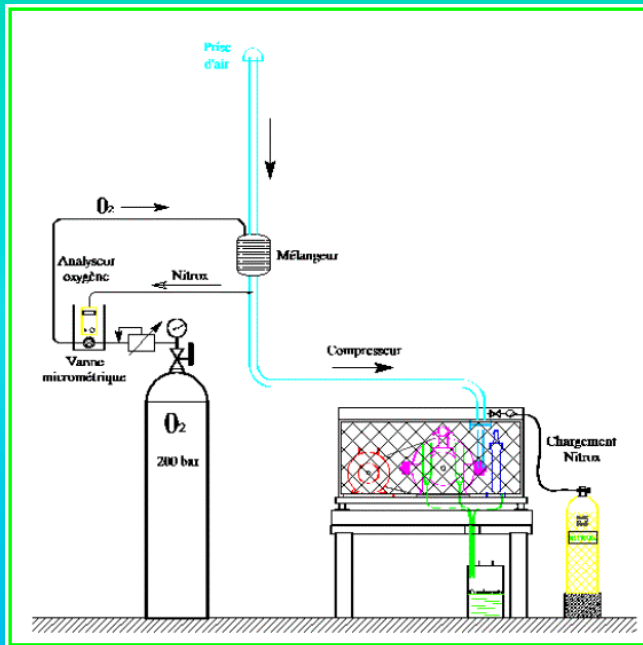
Méthode séquentielle (Transfert d'O² pur à la lyre)

Compresseur à membrane (tamis moléculaire)



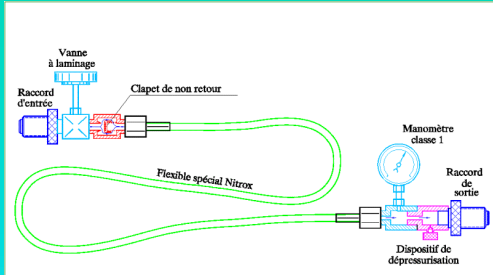
A l'origine, ce système était utilisé pour produire de l'azote pur, l'air suroxygéné n'étant qu'un sous-produit ; Le principe consiste à comprimer de l'air contre une membrane qui a la particularité de favoriser le passage de l'oxygène au dépend de l'azote. Celui-ci est éliminé dans l'atmosphère. Ce système avait été créé à l'origine pour produire de l'azote. Ce gaz neutre empêche l'oxydation des produits avec lesquels il est en contact. Il a des applications variées en particulier pour la protection des aliments, des mécanismes fragiles ou de l'électronique.

C'est la solution royale pour la fabrication du nitrox à grande échelle car elle ne nécessite aucune source d'oxygène autre que l'air qui nous entoure.



Mélange basse pression (stick)

Cette méthode consiste à mélanger de l'oxygène pur et de l'air à la pression atmosphérique, avant injection à l'entrée d'un compresseur standard (mais néanmoins le plus « propre » possible).



$O^2 + \text{chaleur} + \text{pression} + \text{gras}$
= *accident*



Méthode séquentielle (Transfert d' O^2 pur à la lyre)

Il s'agit de remplir les blocs de plongée directement à partir de bouteilles d'oxygène jusqu'à une pression pré-calculée, puis de compléter le gonflage avec l'air fourni par un compresseur. Malgré sa simplicité (merci Dalton) et son coût assez faible, cette méthode présente des inconvénients majeurs :

- Injection d'oxygène pur à haute pression dans le bloc de plongée, qui doit obligatoirement être compatible oxygène.
- Complément de gonflage avec un compresseur à priori « gras », ce qui impose l'insertion d'un filtre supplémentaire entre le compresseur et le bloc pour conserver la compatibilité oxygène de ce dernier.

Avantages et inconvénients de la plongée nitrox.

Avantages

- Une courbe de sécurité plus longue pour une même profondeur.
- Des paliers moins longs pour une même durée de plongée.
- Des intervalles de surfaces moins longs.
- Des plongées successives plus longues et sans palier.
- **Une fatigue moins importante que lors des plongées identiques à l'air.**

Inconvénients

- **Contraintes liées à la toxicité de l'oxygène.**
- Contraintes matérielles quant à la compatibilité de l'oxygène et des équipements utilisés.
- Nécessité d'une station de gonflage sans reproche et de techniciens compétents.
- Planification des plongées plus poussées liées à l'analyse du mélange respiré et du profil de plongée à réaliser.

Des rappels sur l'air.

L'air ambiant contient :

- 20,94 % d'oxygène.
- 78,09 % d'azote.
- 0,97 % de gaz rares.

Soit schématiquement 79 % d'azote et 21 % d'oxygène.

Et de l'humidité en quantité variable. (L'air est donc un nitrox 21)

L'oxygène est dangereux aux dessus de PpO^2 de 1,6 bar ,
donc avec de l'air à une profondeur de:

L'azote provoque des narcoses au dessous de 40 m (même avant cette
profondeur), donc avec de l'air à une PpN^2 supérieure de :



L'hyperoxie. (effet Paul Bert)

Signes avant-coureurs (*parfois*)

accélération du rythme cardiaque (tachycardie), secousses musculaires, nausées, anxiété ou confusion, troubles de la vue.

Trois phases (troubles neurologiques)

phase tonique : de 30 secondes à 2 min, pendant laquelle surviennent des contractions musculaires généralisées, un arrêt ventilatoire éventuel et/ou une perte de connaissance. Dans ce dernier cas, la glotte de la victime se bloque par raidissement. Il ne faut dès lors surtout pas remonter la victime avant qu'elle ait repris conscience, sous peine de l'exposer à une surpression pulmonaire.

phase clonique : de 2 à 3 minutes, pendant laquelle ont lieu des convulsions ainsi qu'une ventilation irrégulière. On peut alors remonter la victime en restant particulièrement vigilant sur son expiration.

phase post-convulsive :

de 5 à 30 minutes avec un relâchement musculaire, une reprise progressive de la conscience, des signes de confusion, voire d'agitation.

Facteurs favorisant l'hyperoxie.

Facteurs favorisants

- L'effort
- L'essoufflement
- L'anxiété
- La fatigue
- L'eau très froide ($< 9^{\circ}\text{C}$) ou très chaude ($> 29^{\circ}\text{C}$)
- Certains médicaments (notamment ceux contenant de la pseudo éphédrine)
- Un matériel de plongée défectueux (détendeurs)

Le facteur de risque majeur semble être l'hypercapnie qui le débit et la vitesse du sang la circulation cérébrale induisant un flux supplémentaire d'oxygène.

Prévention

- Ne jamais dépasser la profondeur limite ou "plancher"
- Ne jamais dépasser une PpO_2 de 1,6 bar et préférer une PpO_2 de 1,4 bar
- Limiter la durée de plongée à cette PpO_2 (45 min max avec une PpO_2 de 1,6 bar)
- Savoir reconnaître les signes précurseurs et remonter
- Si facteurs de risque (effort, eau froide ou chaude) choisir une PpO_2 limite plus faible

Remontée d'un plongeur qui fait une crise hyperoxique.

La crise hyperoxique s'interrompt d'elle même quand on cesse l'inhalation d'oxygène.

Ces 3 phases perdureront tant que la Ppo₂ ne sera pas ramenée à une pression correcte.

Pendant la phase tonique, la glotte de la victime se bloque par raidissement. Il ne faut dès lors surtout pas remonter la victime pendant cette période, sous peine de l'exposer à une surpression pulmonaire.

L'assistant va être à quelle Ppo² ?

Effet Lorrain-Smith. (Trouble pulmonaire)

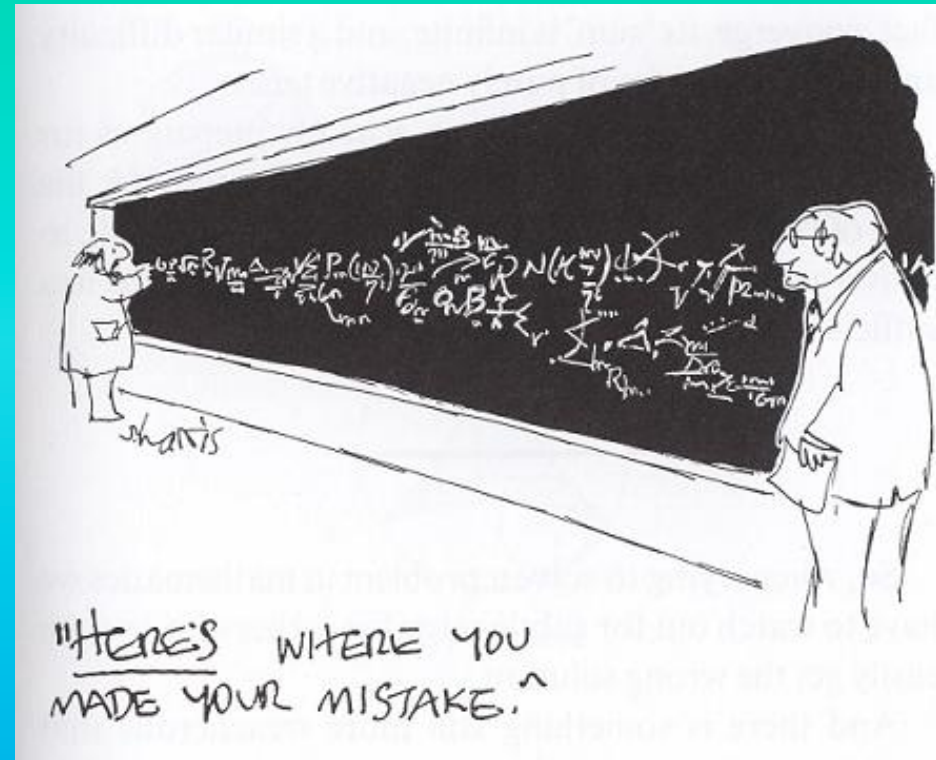
L'effet **LORRAIN-SMITH** est la toxicité pulmonaire de l'oxygène suite à de longues expositions à une pression partielle d'oxygène comprise entre 0,5 et 1 bar.

C'est une pneumonie toxique par brûlure alvéolaire entraînant des dégâts irréversibles et conduisant à la mort.

La dose maximum d'une journée de plongée est de 7 heures à 1,6 bar.

Lors des plongées sportives ce risque pulmonaire n'existe pas.

Les calculs.



Des rappels

Calcul de la pression partielle d'oxygène

Calcul de la profondeur maximum

Calcul de La profondeur équivalente

Rappels sur les lois physiques des gaz.

Définition de la pression

Pression = force par unité de surface

$$P \text{ (Pascal)} = \frac{F \text{ (newton)}}{S \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$1 \text{ bar} = 1013 \text{ Hpa} = 760 \text{ mm Hg} = 1 \text{ kg/cm}^2$$

Rappels sur les lois physiques des gaz.

La pression relative

$$\text{Pression relative (bar)} = \frac{\text{Profondeur (mètres)}}{10}$$

Un exemple: La pression relative à 20 m de profondeur est égale à:

2 bar

Rappels sur les lois physiques des gaz.

La pression absolue

C'est la pression réelle subie dans l'eau à une profondeur donnée :

Pression absolue = Pression atmosphérique + Pression relative

Exemple: Pression absolue à 20 m =

$$1 + (20 / 10) = 3 \text{ bar}$$

Rappels sur les lois physiques des gaz.

Loi de Dalton = loi des mélanges gazeux

Dans un mélange de gaz, les molécules ne se combinent pas entre elles et chaque gaz exerce la pression qu'il aurait s'il occupait à lui seul la totalité du volume du mélange.

Pression partielle = Pression absolue x % du gaz dans le mélange

Exemple : pressions partielles d'oxygène et d'azote dans l'air ambiant à 1 bar

La pression partielle d'oxygène est égale à:

$$P_{pO^2} = 1 \times (21 / 100) = 0,21 \text{ bar}$$

La pression partielle d'azote est égale à:

$$P_{pN^2} = 1 \times (79 / 100) = 0,79 \text{ bar}$$

Le diamant de Dalton

Exemple avec de l'air à 20m

Pour l'oxygène

$$P_p = P_a \times \%$$

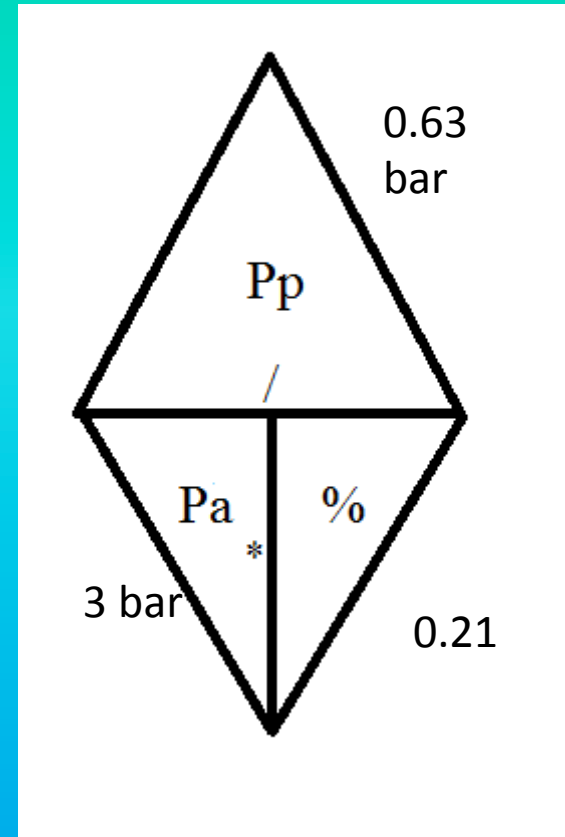
$$P_p O_2 = 3 \times 0.21 = 0.63 \text{ bar}$$

$$P_a = P_p / \%$$

$$P_a = 0.63 / 0.21 = 3 \text{ bar}$$

$$\% = P_p / P_a$$

$$\% = 0.63 / 3 = 0.21\%$$



Rappels sur les lois physiques des gaz.

Loi de Dalton = loi des mélanges gazeux

La somme des pressions partielles des gaz d'un mélange est la pression totale du mélange.

La pression totale du mélange oxygène + azote (air) à la surface est égale à:

$$P_{pO_2} + P_{pN_2} = 0,21 + 0,79 = 1 \text{ bar}$$

Une application à 20 m.

Loi de Dalton = loi des mélanges gazeux

Un exemple avec de l'air à une profondeur de 20 mètres:

Pression absolue à 20 mètres: 3 bar

P_{pO^2} d'oxygène à 20 mètres:

$$P_{pO^2} = 3 \times 0.21 = 0.63 \text{ bar}$$

Pression absolue d'azote à 20 mètres:

$$P_{pN^2} = 3 \times 0.79 = 2.37 \text{ bar}$$

$$P_{pO^2} + P_{pN^2} = 0.63 + 2.37 = 3 \text{ bar}$$

Applications des lois des gaz aux mélanges Nitrox.

Le seuil de toxicité de l'oxygène est fixée à **1,6 ou 1,4 bar**.

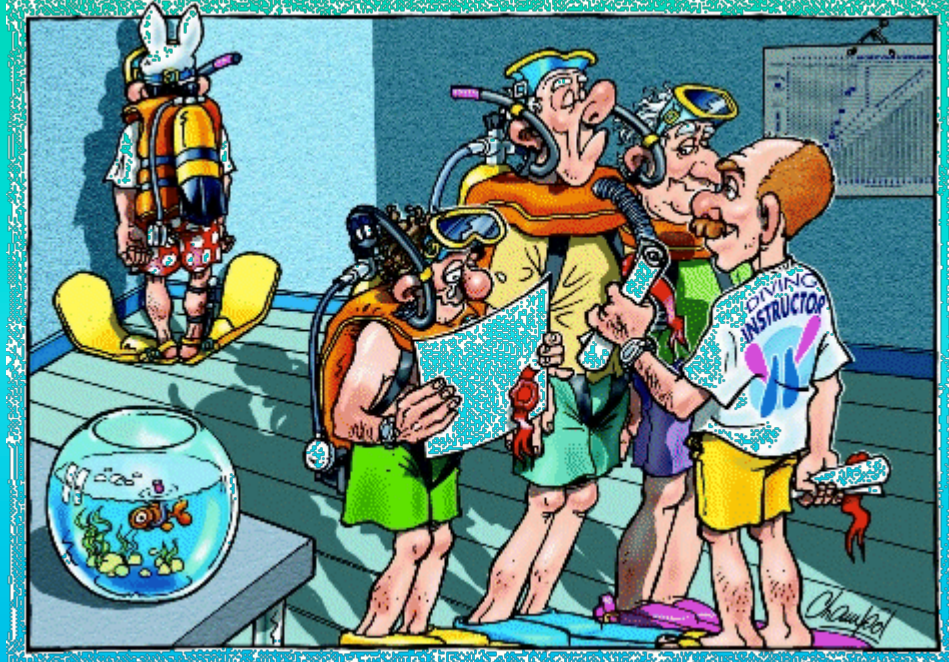
Calcul de la pression partielle d'oxygène lors d'une plongée à l'air à 66 m de profondeur .

Pression absolue à 66 m = pression atmosphérique + pression relative =
 $1 + 6,6 = 7,6 \text{ bar}$

Pression partielle d'oxygène à 66 m = $7,6 \times (21 / 100) = 1,6 \text{ bar}$

On est donc aux limites de la plongée à l'air.

PpO^2 à 20 m avec un Nitrox 34



Pression absolue à 20 m

$$1 + 2 = 3 \text{ bar}$$

Pression partielle d'oxygène

$$3 \times 34 / 100 = 1,02 \text{ bar}$$

Calcul de profondeur maximal.

Calcul de la profondeur maximum que l'on peut atteindre sans risque avec un Nitrox 36 , en fixant le seuil maximum de la pression partielle d'oxygène (PpO²) à 1,4 bars :

Calcul de la pression absolue:

$$1,4/0.36 = 3.89 \text{ bar}$$

La pression absolue = P atmosphérique + P relative

La pression relative

$$3.89 - 1 = 2.89 \text{ bar}$$

La profondeur maximale

$$2.89 \times 10 = 28.9 \text{ m}$$

Pourquoi prendre 1,4 de PpO²?

La sensibilité à l'oxygène varie selon les plongeurs

C'est une sécurité sur la tenue de la profondeur

On ne connaît pas la précision de l'oxymètre et du profondimètre.....

On prend donc une marge !!!!

La profondeur équivalente.

Une plongée à 30 mètres en mer
avec un mélange Nitrox 30.

*C'est pour pouvoir utiliser une table: C'est
donc la PpN^2 qui nous intéresse!*

PpN^2 à 30m avec le nitrox 30

C'est la Pression absolue x % azote $4 \times 0,7 = 2,8$ bar

2,8 bar de pression partielle d'azote lors d'une plongée à l'air
sera rencontrée à une pression absolue de:

$$2,8 / 0,79 = 3,5 \text{ bar}$$

C'est une profondeur de 25 m

Une plongée avec un Nitrox 30 à 30 mètres est donc équivalente à une
plongée à l'air à 25 mètres.

les procédures de décompression en plongée nitrox.

Nous venons de voir qu'une plongée avec un Nitrox 30 à 30 mètres est donc équivalente à une plongée à l'air à 25 mètres.

On constate que pour une même profondeur, avec un mélange enrichi en oxygène, et donc appauvri en azote, la PpN^2 diminue : on va donc moins saturer en azote, qui explique les temps plus longs pour les plongées au Nitrox.

En pratique, avec un ordi:

- L'ordi est paramétrable : on entre le pourcentage d'oxygène et la PpO^2 max souhaitée (1.4)
- On plonge avec un ordi air et on augmente les marges (mais il n'y a pas d'alarme d'hyperoxie)

The image shows three decompression tables for Nitrox mixtures. Each table is a grid with depth (Profondeur) on the vertical axis and time on the horizontal axis. The tables are for Nitrox 32/68, Nitrox 36/64, and Nitrox 40/60. The tables show that for a given depth, the time allowed is longer for Nitrox compared to air, and the maximum depth for a given time is shallower for Nitrox.

Profondeur	0h 00	0h 15	0h 30	0h 45	1h 00	1h 15	1h 30	1h 45	2h 00
19m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
21m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
23m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
25m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
27m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
29m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
31m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
33m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
35m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
37m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
39m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
41m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
43m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40
45m	0h 20	0h 30	0h 40	0h 50	1h 00	1h 10	1h 20	1h 30	1h 40

Les mélanges utilisés.



Théoriquement, on peut fabriquer n'importe quel Nitrox mais dans la pratique on descend rarement le pourcentage d'oxygène en dessous de 30 % car l'on se retrouve trop proche de l'air comprimé, de même s'y l'on effectue des mélanges avec plus de 50 % d'oxygène l'on réduit tellement la profondeur des plongées que les avantages du Nitrox disparaissent.

En pratique, on utilise des nitrox entre 28% et 40% d'oxygène.

Les analyseurs d'oxygène.



Il existe différents modèles portables ou fixes, leur précision est de 0.1 %.
Il faut analyser le mélange environ 12 heures après sa fabrication dans le cas où on transvase dans la bouteille les gaz de manière séparée car les molécules ont besoin de temps pour se mélanger parfaitement (LOI DE BERTHOLET).

**En pratique, on va contrôler le nitrox avant la plongée :
Sur un scotch, on marque le type de nitrox , la
profondeur max et son nom que l'on colle sur la bouteille.
On paramètre alors son ordi.**



Coté matériel.

- Il faut du matériel nitrox (spécifique que l'on utilise que pour le nitrox)
- Il doit donc être marqué nitrox
- Il ne doit être monté que sur des blocs nitrox. (**pas de mélange avec du matériel air**)
- Les contrôles et vérifications sont mutuelles dans une palanquée

On ne parle pas des sujets qui fâchent.

Préparation avant la plongée.



Analyser sa bouteille

Marquer sa bouteille (obligatoire)

- Les initiales de l'utilisateur
- La date de la mesure
- Le type de mélange
- Le % d'O₂ mesuré
- La profondeur plancher d'utilisation du mélange

Configuration de l'ordinateur

En conclusion. Règles à appliquer en tant qu'utilisateur Nitrox pour rester vivant.

Avoir un équipement compatible. (bloc et le reste)

Savoir mesurer le pourcentage d'oxygène.

Savoir déterminer la profondeur maximale avec une PpO_2 de 1.4 bar .

Savoir paramétrer son ordinateur pour la décompression au nitrox.(pourcentage d'oxygène)

Savoir paramétrer les alarmes (hyperoxie et profondeur maximal).

Dans l'eau, savoir lire et savoir écouter son ordi.

Dans l'eau , savoir tenir une profondeur.



% O ²	Profondeur max à PpO ² 1,4 bar	Profondeur équivalente À l'air
21%		
22%	54 m	
23%	51 m	
24%	48 m	
25%	46 m	
26%	44 m	
27%		
28%		
29%		
30%		
31%		
32%		
33%	32 m	
34%	31 m	
35%	30 m	
36%	29 m	
37%	28 m	
38%	27 m	
39%		
40%		
100%		

Les limites du nitrox.

Au boulot !!!

Coté pratique.

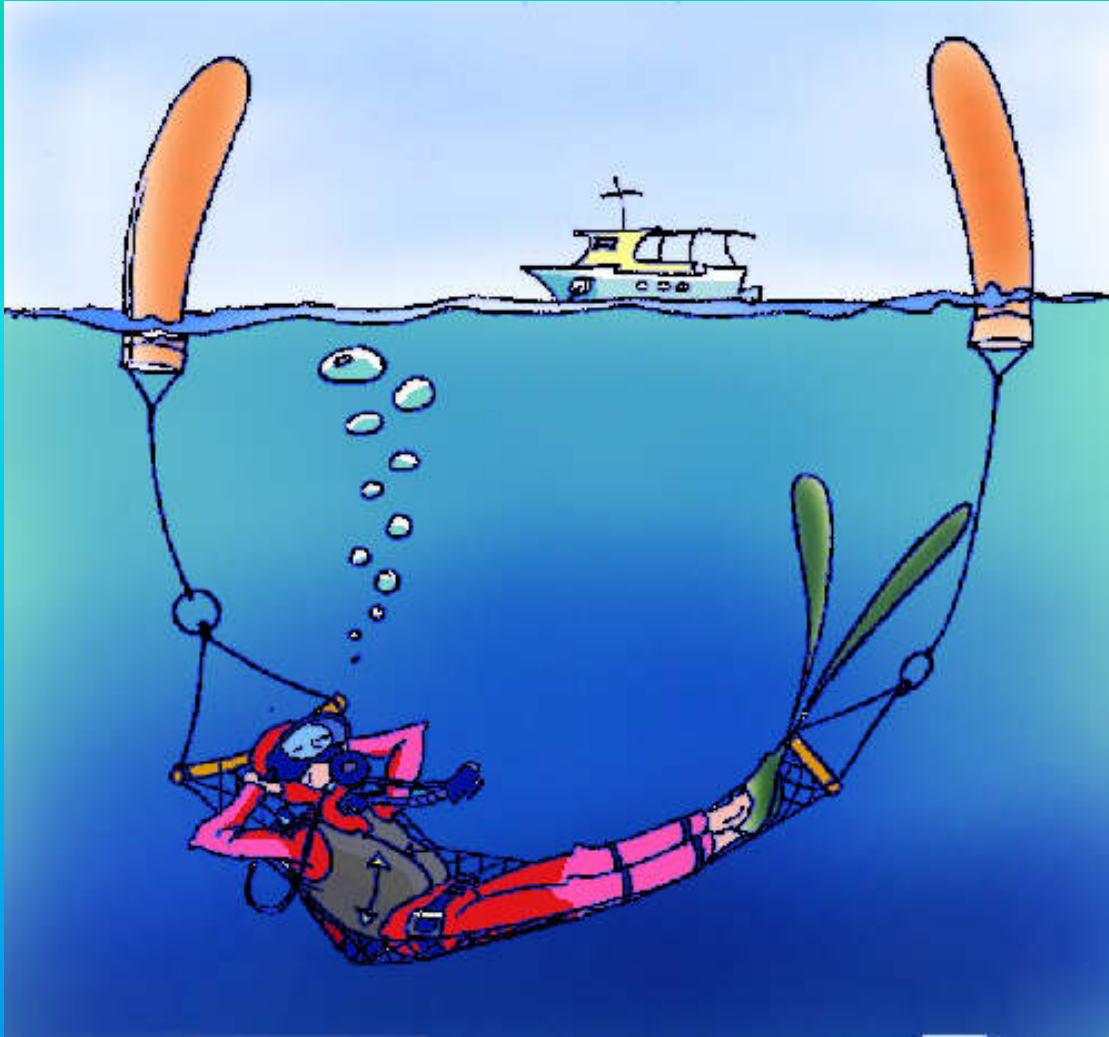
Examen théorique écrit

- Questions obligatoire sur les calculs de profondeurs max et prof équivalentes
- Questions sur l'hyperoxie
- autres

Coté plongée

Le moniteur **Gros fifi** va vous apprendre et va contrôler sur deux plongées:

- La gestion du matériel nitrox
- La manière de mesurer le pourcentage d'oxygène
- Le marquage de la bouteille
- Le calcul de la profondeur max
- Le paramétrage de l'ordi (nitrox et alarmes)
- Dans l'eau , la tenue d'une profondeur déterminée et la gestion du profil de la plongée



C'est fini. (P1)

Exemple 1: nitrox 33

Calcul de la profondeur maximale avec une PpO₂ de 1.4 bar

Méthode 1

33% correspond à **1.4 bar**.

1% correspond à 1.4/33

100% (la pression absolue)
correspond alors à $1.4/33 \times 100 =$
4.24 bar

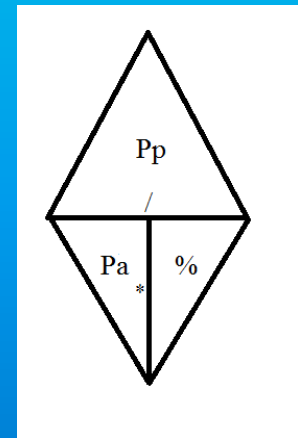
Méthode 2

(Diamant de Dalton)

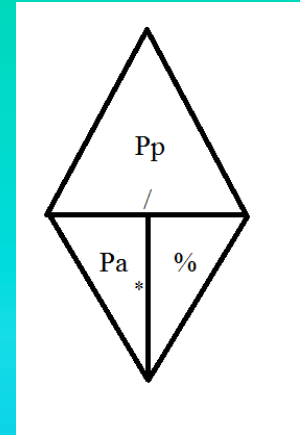
Je cache celui que je cherche (Pa)

$$Pa = Pp / \% \quad \text{donc} \quad 1.4 / 0.33 = 4.24 \text{ bar}$$

La profondeur correspondante à une pression absolue de 4.24 bar est égale à 32,4 mètres.



Exemple 1: nitrox 33



Calcul de la profondeur équivalente.

C'est l'azote qui nous intéresse !!!!!!!

La pression absolue correspondante à la profondeur maximale est de 4.24 bar.

On a un pourcentage d'azote de $100 - 33 = 67\%$ d'azote

La PpN^2 à cette profondeur, avec 67% d'azote est de: $4.24 \times 0.67 = 2.84$ bar

Si je respire **de l'air**, le % d'azote est de 79% avec PpN^2 de 2.84 bar.

La Pa est alors de : $2.84 / 0.79 = 3,59$ bar

La profondeur équivalente est donc de 25.9 m

La profondeur max au nitrox est de 32.4 m

Nitrox ;;;;

Calcul de la profondeur maximale avec une PpO² de 1.4 bar

Méthode 1

;;; correspond à 1.4 bar. 1% correspond à 1.4/ ;;;;

100% (la pression absolue) correspond
alors à 1.4/;;; x 100 = ;;;;

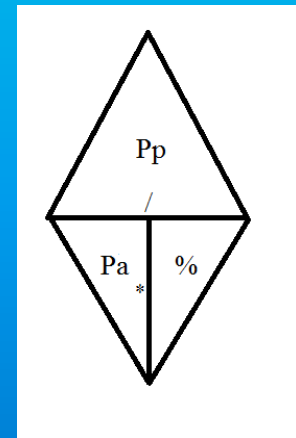
Méthode 2

(Diamant de Dalton)

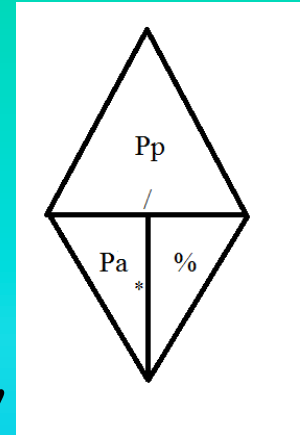
Je cache celui que je cherche (Pa)

$$Pa = Pp / \% \quad \text{donc} \quad 1.4 / 0.;;; = ;;;;$$

La profondeur correspondante à une pression absolue de ;;; bar est égale à ;;; mètres.



Nitrox ;;;;



Calcul de la profondeur équivalente.

C'est l'azote qui nous intéresse !!!!!!!

La pression absolue correspondante à la profondeur maximale est de ;;; bar.

On a un pourcentage d'azote de $100 - ;;; = ;;;$ % d'azote

La P_{pN^2} à cette profondeur, avec le nitrox, est de: ;;; x 0.;;; = ;;; bar

Si je respire de l'air, le % d'azote est de 79% avec P_{nN^2} de ;;; bar.

La P_a avec de l'air est alors de ;;; / 0.79 = ;;; bar

La profondeur équivalente est donc de ;;; m

La profondeur max au nitrox est de ;;; m

% O ²	Profondeur max à PpO ² 1,4 bar	Profondeur max à PpO ² 1,6 bar
21%	57 m	66 m
22%	54 m	63 m
23%	51 m	60 m
24%	48 m	57 m
25%	46 m	54 m
26%	44 m	52 m
27%	42 m	49 m
28%	40 m	47 m
29%	38 m	45 m
30%	37 m	
31%	35 m	
32%	34	
33%	32 m	
34%	31 m	
35%	30 m	
36%	29 m	
37%	28 m	
38%	27 m	
39%	26 m	
40%	25 m	
100%		6 m

**% de O² et
profondeur
max .**