

PLONGEUR NITROX CONFIRME

« ADVANCED NITROX
DIVER »

TABLE DES MATIERES



1. OBJECTIFS	3
2. INTRODUCTION	5
3. RAPPEL	
4. NARCOSE A L'AZOTE	
5. TOXICITE DE L'OXYGENE	
6. PROFONDEUR EQUIVALENTE	
7. PLONGEE EN ALTITUDE	
8. PROCEDURES POUR PLONGER NITROX	
9. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES	
10. UTILISATION OXYGENE PUR	
11. METHODE DE CALCUL DES MELANGES	
12. SECURITE - MATERIEL	



1. OBJECTIFS

1. OBJECTIFS

- Utiliser des mélanges Nitrox (21% → 99%) et l'oxygène pur en décompression
- Planifier sa plongée en fonction du ou des mélanges présents dans la palanquée
- Calculer ses mélanges en fonction de sa plongée
- Savoir calculer les indices de toxicités de l'O₂
- Savoir utiliser les tables Nitrox , les adaptations aux tables air , et les ordinateurs multi-mélanges

Évaluer les limites du nitrox pour optimiser son utilisation

2. INTRODUCTION

Association
Des Instructeurs
De Plongée

cedip

2. INTRODUCTION HISTORIQUE



Les 1^{ère} traces de Nitrox datent de 1773 , la découverte de l'oxygène étant attribuée à Carl Scheel (1742-1786).

Les 1^{ère} utilisation de l'O₂ en applications médicales par le médecin anglais Reddoes en 1794

En 1878 , Paul Bert (1833-1886) mentionne l'utilisation de l'O₂ pour réduire le temps de décompression et découvre aussi la toxicité de l'oxygène .

S'en suivent une multitude d'expériences , notamment par Haldane et Draeger (1^{er} recycleur date de 1913)

C'est durant WWII que l'appareil à circuit fermé alimenté en O₂ fut développé (GB,FR,IT,GE)

En 1965 , Workman établit les 1^{ère} tables de plongées aux mélanges (N₂/O₂ , He/O₂)

2. INTRODUCTION HISTORIQUE



1978, NOAA (US) publie des tables et des procédures de plongée spécifiques au Nitrox

→ NOAA I (32%) en 1970

→ NOAA II (36%) en 1996

1979 , un manuel de plongée Nitrox a été publié , reconnaissance des avantages de la plongée au Nitrox, plus sécurisante que les tables habituellement utilisées

En 1985 , sous l'impulsion de R.Rutkowski , ancien haut responsable du NOAA , se créait l'**I**nternational **A**ssociation of **N**itrox and **T**echnical **D**ivers (**IANTD**) . D'autres associations voient le jour : ANDI (1988) , TDI (1994) .

En 1993 , la CMAS présentait les 1^{er} standards pour la plongées au mélange .

2. INTRODUCTION HISTORIQUE

- ADIP ?





3. RAPPEL

L'OXYGENE

QUALITE DE L'OXYGENE PUR

Deux qualités -> MEDICAL ou TECHNIQUE.

L'oxygène contenu dans chacune des bouteilles est le même.

Différence -> au niveau production des bouteilles

L'oxygène médical est un médicament

**IL FAUT TOUJOURS UTILISER DE L'OXYGENE
MEDICAL**

3. RAPPEL

Définition du Nitrox

C'est un mélange gazeux dont la concentration en oxygène varie entre 22% et 99%

A 21% O₂ , c'est de l'air (l'air est donc un Nitrox)

A 100% O₂ , c'est de l'oxygène pur

EANx = **E**nriched **A**ir **N**itrox

Safe Air

NITROX = compression de 2 noms anglais **N**itrogen & **O**xxygen

Il existe des mélanges standardisés tels que :

- NOAA I ou NITROX I : 32%O₂ (+- 1% de marge) **MAX 40m**
- NOAA II ou NITROX II : 36%O₂ (id) **MAX 34 m**
- NITROX 40 , NITROX 50 , NITOX 80

3. RAPPEL

Avantages du NITROX

- Temps de plongée sans palier plus long
- Taux de Dissolution N₂ moindre → augmentation de la sécurité par rapport au risque d' ADD
- Temps de décompression diminué
- Symbole de saturation plus petit
- Plus de sécurité pour les moniteurs (ex de remontée) et pour les personnes à risques
- Fatigue moindre
- Diminution des effets narcotiques de l'azote

3. RAPPEL

Inconvénients du NITROX

- Danger dû à la Pp O₂ trop élevée (1,6 bar)
- CNS CLOCK
- Risques lors de la fabrication des mélanges
 - Risques de feu ou d'explosion
- Coût du gonflage
- Obligation d'avoir du matériel spécifique (%O₂>40%)
- Planification de la plongée si différents mélanges dans la palanquée ET s'y tenir ...
- Le plongeur doit impérativement respecter la profondeur limite imposée par son mélange .

3. RAPPEL

La loi de HENRY

« à température constante et à saturation ,la quantité de gaz dissout dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par ce gaz en contact avec le liquide »

- **Saturation** : état d'équilibre du corps
- **Sous-saturation** : augmentation de P à la descente , le corps dissout N₂ pour tendre vers un équilibre , vers la saturation .notion de période des différents compartiments
- **Sur-saturation** : P diminue lors de la remontée et une certaine qté de N₂ est dissoute . Donc pour retourner vers un équilibre , il faudra u certain temps pour éliminer N₂ excédentaire : vitesse de remontée 10m/min est paliers si nécessaire afin de rejoindre la surface avec un état de saturation acceptable pour l'organisme

→ **La sur-saturation critique** : l'organisme rentre dans une phase de dégazage anarchique suite au non respect des procédures de décompression

Facteurs de dissolution :

- Nature du gaz
- Nature du liquide (compartiments)
- Pression
- Température
- Temps
- Surface de contact (vascularisation des compartiments)
- Effort

3. RAPPEL

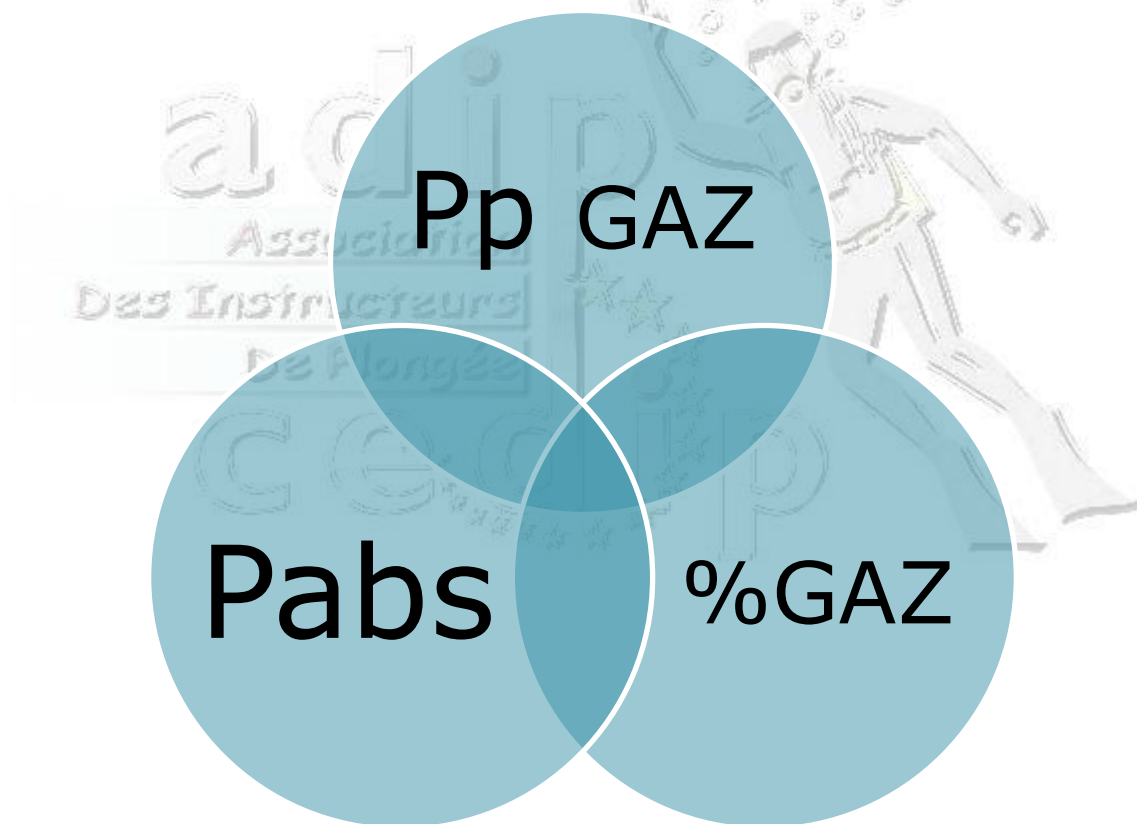


La loi de DALTON

- « à température donnée ,la pression totale d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions partielles des gaz qui composent le mélange »
- « lorsqu'un mélange gazeux est en contact avec un liquide , chaque gaz se comporte comme s'il était seul »
- « la pression partielle d'un gaz constituant d'un mélange est égal au produit de la pression totale du mélange par le pourcentage du gaz considéré »

3. RAPPEL

→ $P_{pgaz} = P_{abs} \cdot \%gaz_{mel}$



3. RAPPEL

Exemple :

Quel Nitrox utiliser pour descendre à 35m si l'on se fixe une PpO_2 max de 1,6b ?

$$P_{abs} = 4,5b$$

$$\%O_2 = \frac{PpO_2}{P_{abs}} \rightarrow \frac{1,6}{4,5} = 0,35555\dots$$



Pour aller dans le sens de la sécurité , il faut prendre un Nitrox avec un peu moins d'O₂ donc nous choisirons N35

4. NARCOSE A L'AZOTE

4. NARCOSE A L'AZOTE

La toxicité de l'azote (N₂) se traduit par des troubles psychophysiologiques appelés communément narcose .

Les 1^{er} signes apparaissent à partir de PpN₂ de 4b . Lorsque la PpN₂ atteint 6,4b plus personne n'échappe à sa toxicité

Ces troubles varient en fonction de la profondeur . La narcose peut être réversible si , lors des 1^{ère} manifestations , il y a une réaction dans le sens de la remontée . Dans le cas contraire , les troubles vont s'aggraver parfois brutalement et , sans l'aide d'un compagnon , le plongeur finira par se noyer

Facteurs favorisants :

- Excès de CO₂
- La fatigue , le manque d'entraînement
- Le stress , l'anxiété
- Le froid , l'effort

4. NARCOSE A L'AZOTE

Les symptômes :

Comportement mental

- Désintérêt pour compagnon et monde extérieur
- Oubli de consulter les paramètres ou d'en tenir compte
- Vouloir continuer la descente
- Dialogue intérieur , affaiblissement de l'attention
- Altération du raisonnement , fuite des idées
- Euphorie , anxiété

Comportement et sensation motrice

- Diminution coordination motrice , des perceptions visuelles
- Sensation de lourdeur
- Altération du comportement , perte de connaissance

4. NARCOSE A L'AZOTE

Intérêt du Nitrox dans les problèmes liés à l'azote :

Le 1^{er} objectif de l'utilisation du Nitrox est la diminution du risque d'ADD par la diminution de PpN₂

L'intérêt se situe également dans la réduction du risque de narcose à l'azote :

- les mélanges Nitrox ne nous permettent pas dans la majorité des cas de descendre à des profondeurs >40m
- pour une même profondeur, la pression d'azote sera inférieure dans les mélanges Nitrox par rapport à l'air, d'où une saturation moindre



5. TOXICITE DE L'OXYGENE



5. TOXICITE DE L'OXYGENE

L'oxygène est un gaz indispensable à la vie, cependant il peut se transformer en redoutable adversaire. En effet, il n'est bien toléré par l'organisme que dans une plage de pression partielle étroite

- 3,0 utilisation thérapeutique Nx50 à 6ATA
- 2,8 utilisation thérapeutique O₂ 100% à 2,8 ATA
- 2,0 exposition MAX des plongeurs US (effet PB)
- 1,6 exposition MAX pour la plongée loisir (PB)
- 0,5 exposition MAX tolérée à saturation (effet LS)
- 0,35 exposition normale à saturation
- 0,21 normoxie
- 0,16 début signes mineur d'hypoxie
- 0,1 anoxie , inconscience
- <0,1 coma et mort



5. TOXICITE DE L'OXYGENE

A. EFFET PAUL BERT

Il s'agit d'une intoxication due à la respiration d'O₂ à des Pp élevées (>1,6bar) pouvant conduire à des crises de convulsions de type épileptique. Cette intoxication se manifeste au niveau du SNC.

→ **PpO₂ MAX = 1,6 bar**

Les incursions au-delà de 66m sont généralement courtes et insuffisantes dans la majorité des cas pour déclencher une crise hyperoxique. Il est faux de dire que lors d'une plongée à l'air à cette profondeur on est en danger. Par contre plus le mélange est riche en O₂ et plus le risque est proche lorsqu'on arrive à une PpO₂ de 1,6bar et plus il est impératif de respecter les limites de profondeur.

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

Les plongeurs Nitrox sont limités à 40%O₂ et il faut être plongeur Nitrox confirmé pour utiliser des mélanges plus oxygénés .

$$PpO_2 = P_{abs} \times \%gaz \text{ considéré}$$

L'élément essentiel est le temps de latence avant une crise hyperoxique mais il n'est pas possible de définir une relation temps-pression qui fonctionne de façon sûre .

Il est démontré qu'il n'y a pas d'accoutumance à l'oxygène , les crises peuvent apparaître sans avertissement chez un même sujet , dans les mêmes conditions pour des durées allant de quelques minutes à plusieurs heures , à des valeurs réputées toxiques .

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

Différents symptômes:

- **C** convulsion
- **E** euphorie
- **N** nausée
- **T** tremblement (principalement des lèvres)
- **A** anxiété
- **V** vision (effet tunnel - réduction champ vision)
- **I** irritabilité
- **V** vertiges
- **O** oreilles (bourdonnement)

Temps de latence: la méthode du « CNS CLOCK » n'est qu'indicative et pas prédictive mais , évidemment , plus on approche ou dépasse 100% , plus on a de risque de présenter des symptômes d'intoxication

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

La crise hyperoxygène se déroule en 3 phases et les symptômes observés s'apparentent à ceux d'une crise d'épilepsie :

- **Phase tonique 30 " à 2'**
contractures généralisées avec blocage respiratoire , perte de connaissance , ne pas remonter de suite l'accidenté pour éviter surpression pulmonaire, le maintenir détendeur en bouche
- **Phase clonique 2' à 3'**
phase clonique de convulsion , ventilation irrégulière , remonter victime détendeur en bouche , tête en extension
- **Phase post-convulsive 5' à 30'**
le retour à la conscience est souvent confus et agité
grande fatigue , relâchement musculaire , le sauvetage se poursuit avec maintien du détendeur .
alerter secours , maintenir la victime au chaud et 1^{er} secours

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

Le pourcentage d'atteinte du SNC est , pour une PpO₂ donnée le rapport entre le temps maximum autorisé et le temps d'exposition

ANNEXE 1

Utilisation du tableau :

- En plongée unitaire, 45' sous une PpO₂ de 1,6b donneront une valeur CNS clock de 100%
- Une plongée sous une même PpO₂ donnera : $30/45=0,66$ soit 66%
- Si en plongée unitaire on atteint 100% dans une période de 24h , on doit attendre min 2h avant de replonger
- Si lors d'une plongée successive on atteint la valeur de 100% dans une période de 24h , on doit attendre 12h avant de replonger
- Dans le cas d'une successive avec un intervalle de moins de 2h , il est recommandé de cumuler les temps des 2 plongées e de vérifier que le temps max n'est pas dépassé.
- **Il est recommandé d'interrompre sa plongée si %CNS atteint 75% et de ne pas entreprendre une successive tant qu'il n'est pas redescendu en dessous de 40% . Cela reste un conseil !**

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

Exemple :

1^{ère} plongée : 60min sous une PpO₂ de 1,5b

Intervalle : 1h

2^{ème} plongée : 65min sous une PpO₂ de 1,4b

Cette 2^{ème} plongée ne pourra se faire car les temps cumulés donnent 125min à PpO₂ 1,5b . Si on regarde le tableau , pour une PpO₂ 1,5b , le temps max (plongée unitaire) est de 120min

ANNEXE 2: tableau %CNS en fonction de la PO₂

→ Si au cours d'une même plongée on est exposé à des PpO₂ différentes , on additionne les valeurs cumulées pour chacune de ces PpO₂

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

Exemple :

Vous plongez à 35m avec Nitrox 34 pendant 35min et vous effectuez un palier de 10min à 6m avec O₂pur .

Calculez la valeur de votre CNS Clock

À 35m avec N34 on a : $PpO_2 = 4,5 \times 0,34 = 1,53b$

On entre dans le tableau à la valeur de 1,54b et on trouve : 1,04%/min

Après 30min à 35m , on a : $30 \times 1,04 = 31,2\%$

À 6m avec O₂ pur , on a une PpO₂ de 1,6b

Dans le tableau , à la valeur de 1,6b on trouve 2,22%/min

Après 10min de palier on a : $10 \times 2,22 = 22,2\%$

Le total pour la plongée sera : $31,2\% + 22,2\% = 53,4\%$

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

Décroissance du %CNS

Cette valeur de « CNS CLOCK » décroît de façon exponentielle avec une période de 90min, c'est-à-dire que toutes les 90in, le %CNS CLOCK diminue de moitié

Exemple :

Prenons le résultat de l'exemple précédent (53,4%) et voyons quelle sera la valeur du %CNS après 4h30 :

Après 90min : $53,4 : 2 = 26,7\%$

Après 3h : $26,7 : 2 = 13,35\%$

Après 4h30 : $13,35 : 2 = 6,675\%$

On peut utiliser le tableau suivant : **ANNEXE**

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

Complément sur l'effet Paul Bert

Les 1^{ère} cause de l'intoxication est l'augmentation du taux de formation de superoxydes , de peroxydes ainsi que d'autres radicaux libres oxydants s'attaquant au SNC , ce qui provoque l'inactivation d'enzymes essentielles , altération de la fonction de la membrane cellulaire et donc un dysfonctionnement du métabolisme cellulaire .

L'augmentation PpCO₂ et par son action vasodilatatrice sur les capillaires cérébraux est un élément important dans l'ampleur de l'intoxication.

Radicaux libres : possèdent un e- en trop → ont tendance à arracher ou à céder un e- à leur environnement chimique = neurone . Il existe des moyens de défense mais lorsque la PpO₂ augmente le nombre de radicaux libres déborde les mécanisme de régulation

→ crise hyperoxygène

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

L'organisme réagit par un ensemble de réactions biochimiques :

- Action d'enzymes comme *cytochrome oxydase* : réduit l'O₂ moléculaire en eau sans réaction intermédiaire
- *superoxyde dismutase* : action de métalloenzymes qui par catalyse forment des peroxydes d'hydrogène.
- Catalase et peroxydase du glutathione (GSH), ces 2 mécanismes ont pour but de réduire la quantité de peroxydes d'hydrogène en le transformant en eau.
- Action d'antioxydants comme la vitamine E
- La régénération des enzymes oxydés et la réparation des effets oxydants sur les composants musculaires .

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

B. Effet Lorrain-Smith

Intoxication au niveau pulmonaire dès que la PpO₂ dépasse 0,5b pour des temps généralement longs

Dans la phase précoce de toxicité pulmonaire , on constate une légère gêne au niveau de la cage thoracique . Ensuite on constate une sensation douloureuse rétro sternale similaire à une infection de voies aériennes : douleur et toux sèches incontrôlable aggravées lors d'inspiration profonde ou par l'augmentation de la ventilation due à l'effort
on constate également une diminution de la capacité vitale (CV)
De façon à pouvoir mesurer cette toxicité pulmonaire , il a été développé le concept UPTD (Unit of Pulmonary Toxic Dose) ou OTU (Oxygen Tolerance Unit)

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

$$UPTD = Kp \cdot T \text{ (min)}$$

On considère (selon les auteurs) qu'une accumulation de 615 à 625 UPTD en plongée est acceptable et provoque une réduction de la CV de 2%

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

5. TOXICITE DE L'OXYGENE

P O2	Kp	P O2	Kp	P O2	Kp
0,55	0,15	1,10	1,16	1,70	2,07
0,60	0,26	1,15	1,24	1,80	2,22
0,65	0,37	1,20	1,32	1,90	2,36
0,70	0,47	1,25	1,40	2,00	2,50
0,75	0,56	1,30	1,48	2,10	2,64
0,80	0,65	1,35	1,55	2,20	2,77
0,85	0,74	1,40	1,63	2,30	2,91
0,90	0,83	1,45	1,70	2,40	3,04
0,95	0,92	1,50	1,78	2,50	3,17
1,00	1,00	1,55	1,85	2,60	3,31
1,05	1,08	1,60	1,93	2,70	3,44

Exemple :

100 min d'exposition à une PO2 de 1,6b donnent :
 $1,93 \cdot 100 = 193 \text{ UPTD}$

6. PROFONDEUR EQUIVALENTE

6. PROFONDEUR EQUIVALENTE

À chaque mélange devrait correspondre une table de plongée spécifique. Il est cependant possible d'utiliser les tables air en introduisant la notion de profondeur équivalente

La Profondeur Equivalente Air est la profondeur à laquelle la pression partielle d'azote inspirée d'un mélange est égale à celle de la plongée à l'air.

Les formules suivantes sont utilisées pour trouver la profondeur équivalente

OU

Utiliser les tableaux en annexe

6. PROFONDEUR EQUIVALENTE

Formules :

Profondeur Equivalente Air

$$PAE = \%N2mél \times ((P+10)/0,79) - 10$$

OU

Pression Equivalente Air:

$$PEA = Pabs \times (\%N2mél / 0,79)$$

7. PLONGER EN ALTITUDE

7. PLONGER EN ALTITUDE

La plongée en altitude est une technique particulière qui nécessite une adaptation des protocoles de décompression . La plongée nitrox peut trouver un bon terrain d'application , nous ne ferons qu'aborder les applications possibles du nitrox à cette technique .

La plongée en altitude requiert une formation spécifique .

Profondeur fictive

la majorité des tables de décompression sont conçues pour un retour en surface à une Patm proche de celle du niveau de la mer (généralement entre 0 et 700m) . Si la Patm est inférieure à cette valeur , il faudra adapter sa décompression pour émerger en toute sécurité .

Conséquences :

- Déco plus importante pour permettre aux différents compartiments d'atteindre des niveaux de tension compatible avec le retour en surface
- La profondeur des paliers devra être modifiée dans le sens d'une conservation du même rapport de pression qu'en mer , c'est-à-dire plus proche de la surface .
- Adaptation de la vitesse de remontée dans le sens d'un ralentissement

7. PLONGER EN ALTITUDE

Profondeur fictive = profondeur réelle \times (Patm mer / Patm lac)

Cette profondeur fictive sera utilisée comme profondeur d'entrée dans les tables; la Patm mer étant toujours supérieure à celle du lac considéré , la profondeur fictive sera toujours supérieure à la profondeur atteinte.

Vitesse de remontée = 10m/min \times (Patm lac / Patm mer)

L'adaptation de la vitesse de remontée résulte du fait que l'on doit remonter de la profondeur réelle dans le même temps que si on remontait de la profondeur fictive

Profondeur paliers = Profondeur palier mer \times (Patm lac / Patm mer)

Adaptation de la profondeur des paliers nécessaire pour conserver le même gradient de pression qu'en mer , les paliers seront donc plus proches de la surface

7. PLONGER EN ALTITUDE

Utilisation du NITROX en altitude

La plongée en altitude implique une décompression plus longue .
L'utilisation d'un Nitrox réduira cette décompression et/ou la rendra plus sûre .

Pour utiliser un Nitrox en altitude , il suffira d'appliquer les notions de profondeur fictive et les adaptations de la vitesse de remontée et des paliers à la table Nitrox concernée.

Avec la **table US93** , on peut appliquer successivement les notions de profondeur équivalente et de profondeur fictive . Il n'y a pas d'ordre préférentiel pour calculer , **on peut commencer soit par la profondeur fictive , soit par la profondeur équivalente** .

7. PLONGER EN ALTITUDE

Exemple :

On désire effectuer 2 plongées dans un lac de montagne, $P_{atm} = 780mb$. Ces 2 plongées se feront à une Profondeur de 30m, pour une durée de 30min à un intervalle de 3h, 1^{ère} plongée avec N32, la 2^{ème} avec N36.

Calculez la décompression.

$$P_{fict} = 30 \times 1013/780 = 38,9m$$

$$\text{Prof palier } 3m = 3 \times 780/1013 = 2,3m$$

$$\text{Prof palier } 6m = 6 \times 780/1013 = 4,6m$$

$$\text{Vremontée} = 10 \times 780/1013 = 7,7m/min$$

$$\text{PEA N32} = (0,68 \times (39 + 10) / 0,79) - 10 = 32,17m$$

$$\text{PEA N36} = (0,64 \times (39 + 10) / 0,79) - 10 = 29,69m$$

1^{ère} pl : entrée dans table à 33m 30min → 7min palier à 2,3m J

Pénalité : J → 3h lire E

2^{ème} pl: entrée dans table à 30m TEMPS FICTIF 30'+18'=48' (50') on a 2min de palier à 4,6m et 24min de palier à 2,3m

CNS CLOCK & UPTD ?

8. PROCEDURES POUR PLONGER NITROX

8. PROCEDURES POUR PLONGER NITROX

N de la bouteille :

Pression (bar):

Date réépreuve :

Marquage Nitrox:

Oxymètre:

%du mélange:

Profondeur MAX :

Date gonflage:

Date enlèvement :

Nom utilisateur :

Signature de l'utilisateur :

8. PROCEDURES POUR PLONGER NITROX

Choix du mode de décompression

Utiliser un mode de décompression à l'air (tables ou ordinateur) .

Dans ce cas-ci , les avantages de le plongée Nitrox ne sont pas l'optimalisation du temps de plongée mais la sécurité et le confort après la plongée (fatigue moindre) dû à une désaturation allégée ; le calcul de décompression se fait identiquement à l'air .

Vous plongez « tables air » , il faudra calculer la profondeur maximale à ne pas dépasser (en fonction de PpO_2max) , la profondeur équivalente air (PEA) . L'avantage est de n'avoir qu'une seule table et d'y reporter la PEA (calculée à partir de la profondeur réelle et du %N₂ du Nitrox utilisé)

8. PROCEDURES POUR PLONGER NITROX

Choix du mode de décompression

Vous utilisez des tables Nitrox : il faut une table spécifique à chaque mélange Nitrox ; l'avantage réside dans le fait qu'il n'y a pas de calcul de PEA à faire .

Si vous disposez d'un ordinateur compatible NITROX et que vous plongez dans le cadre d'une plongée loisir , il vous suffit de régler le % O₂ et de planifier votre plongée via votre ordinateur .

Il reste important de pouvoir calculer sa décompression à l'aide des tables afin de palier une panne du moyen primaire de décompression (l'ordinateur) .

8. PROCEDURES POUR PLONGER NITROX

Planification de la plongée

La planification a d'autant plus d'importance si présence de mélange différents au sein de la palanquée

- Etablir le mode de décompression
- La profondeur réelle maximum et PEA correspondante
- Le temps fond
- Les paliers éventuels (PDIS , Sécurité ou obligatoire) déterminé lors de la planification des moyens primaires et secondaires de décompression
- Prévoir une marche suffisante au niveau de la réserve pour garder au minimum 10 bars dans la bouteille
- Respecter sa planification !

8. PROCEDURES POUR PLONGER NITROX

Le plongeur Nitrox veut donc augmenter sa sécurité en plongée :

- Il utilisera un mode de décompression à l'air (ordinateur et/ou table) et plongera au Nitrox

Association
Des Instructeurs
De Plongée

cedip

9. UTILISATION DE L'OXYGENE PUR

9. Utilisation O2 pur

Décompression à O2 pur

Ce type de déco doit être utilisée avec la plus grande rigueur. De plus, on ne l'utilise que pour les paliers de 6m et 3m afin d'éviter les risques d'hyperoxie

Le respect strict de la profondeur de palier doit être rigoureux

Le temps de décompression est divisé en 2, arrondi à l'unité supérieure

Cette règle simple peut être appliquée même en l'absence de tables spécifiques

Exemple :

Palier de 11' à 3m → 6' à 3m O2 pur

9. Utilisation O2 pur

Les moyens :

- **bouteille indépendante (pony)**: avantage majeur : le gaz nécessaire est emporté avec soi
 risque : utilisation à une trop grande profondeur, nécessité d'un matériel adapté , marquage détenteur (« détrompeur »).
 Le matériel doit être identifiable par le porteur ainsi que par les autres plongeurs .



- **Le narghilé et/ou bouteille au pendeur :**
avantage pas d'encombrement de matériel
inconvénient : obligation de remonter à l'endroit
du narguilé , risque de givrage
(plusieurs 2^{ème} étages)



Le masque facial : réduit le risque de noyade
en cas d'hyperoxie

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES



1) L'acheter tout fait

Avantage :

C'est une solution simple et sûre.

Inconvénients :

Elle est onéreuse par son prix d'achat.

Elle oblige à effectuer à priori le choix du pourcentage sans pouvoir le changer facilement par la suite. Ceci n'exclut pas d'en contrôler le pourcentage, une erreur étant toujours possible.

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES



2) Utiliser un filtre à membrane perméable

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.

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES

On distingue :

A droite, le compresseur Basse Pression à vis.

Au milieu, le dispositif à membrane perméable avec en haut le cylindre jaune par lequel s'échappe le surplus d'azote.

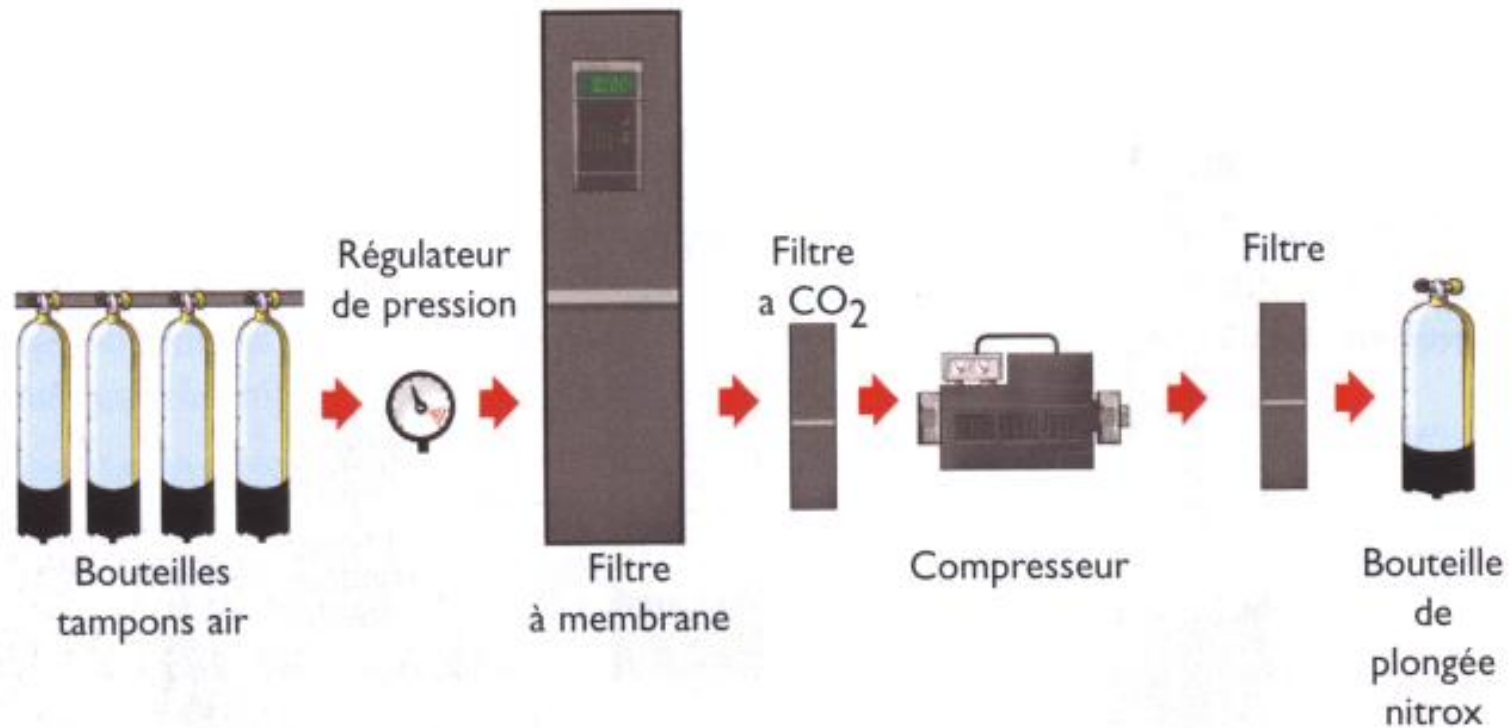
Le cylindre jaune de gauche dans lequel vient pomper le compresseur à piston constitue un volume tampon de façon à éviter les à coups sur la membrane perméable.

A gauche, le compresseur haute Pression à pistons.

Derrière, les tampons blancs dans lesquels est stocké le Nitrox.

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES

Système à membrane semi-perméable



10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES



Avantages :

Ce système ne nécessite pas de manipuler d'oxygène pur. Il est donc sans danger.

Il permet de réaliser, avec précision, des mélanges de 32 à 40%.

Inconvénients :

Il ne permet pas de réaliser du Nitrox au de là de 40%, pour les décompressions par exemple.

Il nécessite 2 compresseurs : le premier, en général à vis, fournit une moyenne pression d'une quinzaine de bars, pour pousser l'air à travers la membranes sélective ; le deuxième, à pistons, pour élever le mélange à la pression de stockage.

En raison des frais d'investissement et de fonctionnement, ce procédé n'est intéressant qu'à partir du gonflage d'une centaine de bouteilles par jour. Il exclut donc les petites installations.

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES



Il faut par ailleurs porter la plus grande attention à la pollution exogène. En effet, la concentration d'oxygène obtenue au dépend de l'azote a aussi pour effet de concentrer les autres gaz polluants qu'il va donc falloir filtrer sérieusement. (CO₂ - Vapeur d'eau et autres gaz plus rares contenus dans l'air et dont les effets ne sont pas bien connus)

De plus, il faut éliminer les polluants solides aspirés ou produits par la mécanique ainsi que l'huile utile à son fonctionnement. Il est donc nécessaire, d'ajouter un filtre à tamis moléculaire supplémentaire à la sortie et en conséquence de limiter la vitesse du mélange à la sortie.

Le bon fonctionnement de ce type de membrane est aussi lié à la température et à la stabilité de la pression utilisée ce qui nécessite une bonne régulation de ces paramètres

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES



3) L'injection basse pression

Elle consiste à produire le mélange, à pression ambiante, avant de l'injecter à l'entrée d'un compresseur classique conçu pour compresser de l'air. Pour cela, on injecte de l'O₂ pur dans la prise d'air du compresseur. En fait, au préalable, on fait tournoyer l'air et l'oxygène dans un mélangeur ou "Stick" pour éviter des concentrations d'O₂ qui pourraient provoquer des explosions en raison de la présence importante d'huile qui se trouve toujours à l'entrée de ce type de compresseur. (Voir la figure 2)

Ce dispositif est aussi appelé à "Flux continu" ou à "Stick". Ce dernier nom vient probablement du bâtonnet agiteur utilisé pour mélanger les cocktails... Il est indispensable que le mélange soit fait parfaitement. En effet le compresseur aspire par à coup et entre 2 aspirations l'oxygène pur arrive et peut être aspiré à l'aspiration suivante avec, en présence d'huile, les risques que l'on connaît .

Le mélange est ajusté grâce à une vis micrométrique précédée par un détendeur et suivie par un analyseur

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES



3) L'injection basse pression

Avantages :

L'investissement est d'un prix bas.

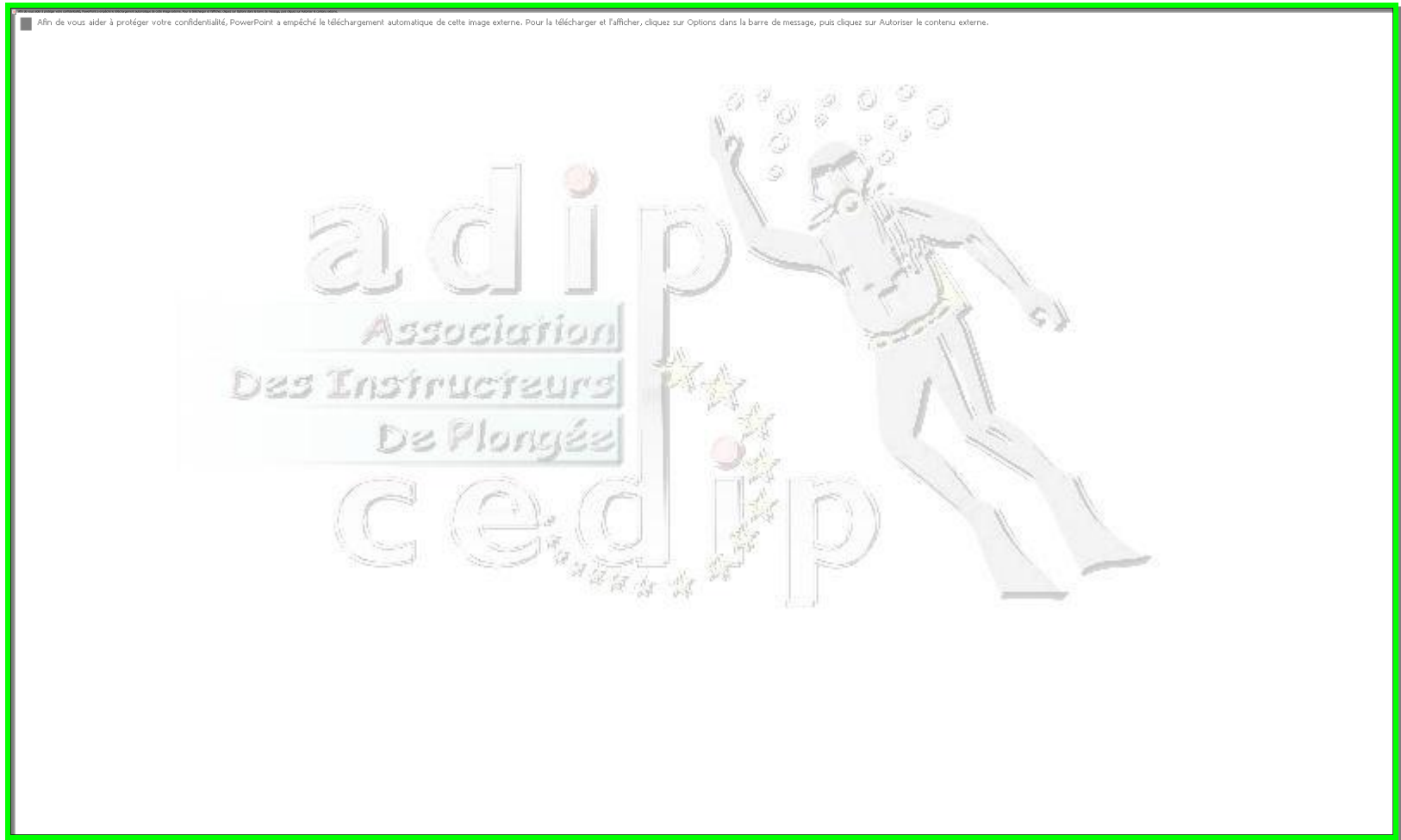
Il donne lieu à beaucoup de bricolages. On voit même des dispositifs portatifs.

Il permet d'utiliser la réserve d'O₂ jusqu'à la fin.

Inconvénients :

- Ce système nécessite une réserve d'oxygène pur dont le transport et la manipulation ne sont pas sans danger.
- Les frais de fonctionnement ne sont pas négligeables en raison du coût de l'oxygène auquel il faut ajouter le transport qui de plus est soumis à une réglementation particulière.
- En raison des risques encourus, la production se limite à des mélanges inférieurs à 40% d'O₂.

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES



10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES



4) Procéder à des transvasements

C'est un moyen couramment utilisé. Ce procédé utilise une lyre de transfert. (Voir la figure 3) Il consiste à remplir le volume à charger avec de l'oxygène pur venant d'une bouteille tampon puis, à faire l'appoint avec de l'air ordinaire venant d'un compresseur classique ou de tampons. (on l'appelle aussi "Fabrication par pressions partielles" ce que nous verrons dans les calculs)

Attention à n'utiliser que du matériel parfaitement dégraissé et prévu pour cet usage. En effet les traces de graisse qui s'accumulent avec le temps peuvent s'enflammer spontanément en présence d' O_2 .

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES



Avantages :

Ce système se prête très bien à la production sur le terrain. C'est pourquoi il est utilisé par les plongeurs souterrains et teck.

Il permet de réaliser des mélanges dans tous les rapports souhaités, voire des mélanges complexes comme le trimix .

L'investissement est d'un prix raisonnable.

Inconvénients :

Il nécessite une réserve d'oxygène pur avec tous ses inconvénients. (On peut aussi utiliser un nitrox à taux élevé)

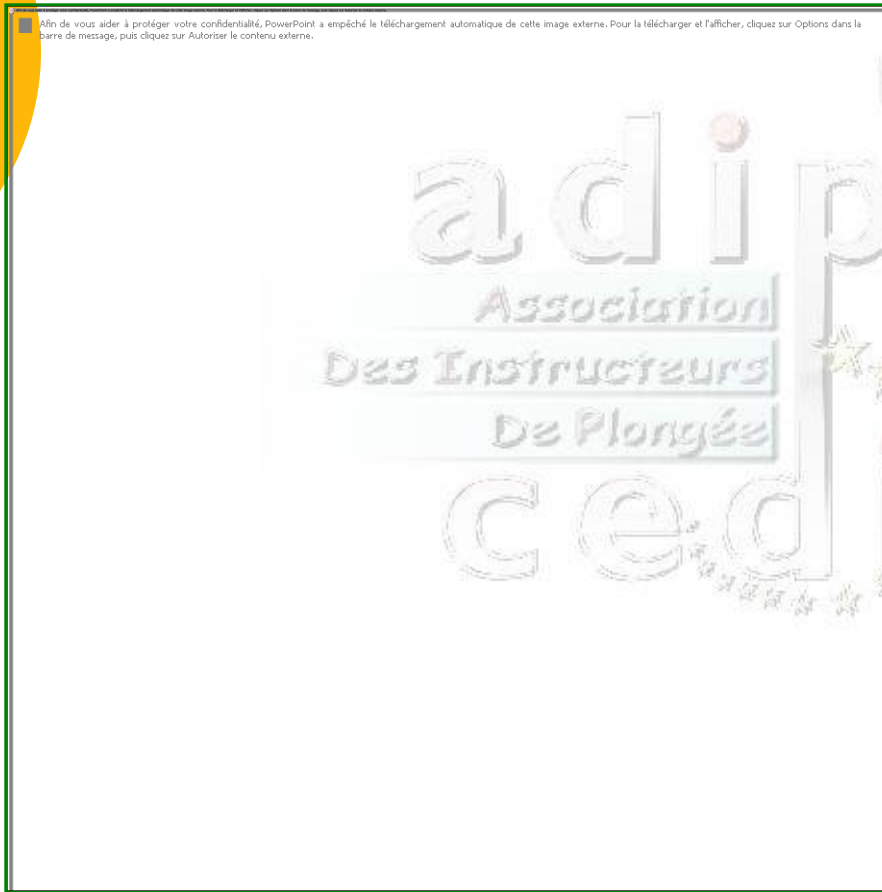
Un temps d'homogénéisation du mélange pouvant aller jusqu'à 24 heures est nécessaire avant utilisation.

Un sur-filtre avant l'appoint d'air est indispensable pour éliminer toute trace d'huile au contact de l'O2 pur.

Le prix de l'O2 et son transport pose les mêmes problèmes que ceux de l'injection basse pression.

La réserve d'oxygène pur ne peut pas toujours être utilisée jusqu'à la fin. Il faut alors faire appel à un surpresseur.

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES



Lyre de transfert

C'est un appareil simple destiné à réaliser le transfert entre une bouteille tampon et la bouteille à charger. La lyre est utilisable sur des installations mobiles.

Elle est constituée : d'un raccord d'entrée, d'une vanne compensée à laminage, d'un clapet anti-retour pour éviter que le mélange ne puisse remonter dans la réserve d'O₂, d'un flexible spécial oxygène, d'un manomètre de précision 1%, (Classe 1) d'un dispositif de dépressurisation et d'adaptateurs éventuels

10. METHODES DE FABRICATION DES MELANGES



5) Injection Haute Pression

Ce procédé consiste à injecter de l'O₂ pur Haute Pression à la sortie d'un compresseur air ou de tampons air.

Avantages :

Il permet de réaliser tous les rapports de mélanges. Les frais d'entretien sont minimes.

Inconvénients :

Un surpresseur est nécessaire pour utiliser la réserve d'oxygène jusqu'à la fin.

Le surpresseur fonctionne à l'aide d'une réserve d'air mais il fonctionne lentement.

Il y a manipulation d'oxygène pur avec les inconvénients que cela comporte en frais de fonctionnement

11. METHODES DE CALCUL DES MELANGES

11. METHODES DE CALCUL DES MELANGES

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

Différents cas de figure :

- 1) Bouteille vide
 - méthode 1
 - méthode 2
- 2) Bouteille partiellement vide
 - méthode 1
 - méthode 2
- 3) Utilisation des tableaux de fabrication

11. METHODES DE CALCUL DES MELANGES

1) BOUTEILLE VIDE

Méthode 1 :

Calculer la pression partielle finale Ppfin N2 du Nitrox considéré .

79%N2 dans l'air . Donc pour trouver la pression d'air à ajouter , il faut multiplier Ppfin N2 par le rapport $1/0,79$ (= 1,266).

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

Exemple :

On veut du N32 à 200b

Ppfin N2 : $200 \times 0,68 = 136b$

Pression air à ajouter : $136 \times (1/0,79) = 172,16b$

PO2 à ajouter : $200 - 172,16 = 27,8b$

11. METHODES DE CALCUL DES MELANGES

1) BOUTEILLE VIDE

Méthode 2

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

$$P_i = \frac{\%O_2 - 21}{79} \times P_f$$

P_i = P O₂ à ajouter

P_f = P finale en fin de chargement

Exemple:

a) $P_i = \frac{40 - 21}{79} \times 200 = 48 \text{ b}$

b) On veut du Nitrox 36 à 200b

$$\frac{36 - 21}{79} \times 200 = 28 \text{ b}$$

11. METHODES DE CALCUL DES MELANGES

2) BOUTEILLE PARTIELLEMENT VIDE

Méthode 1

Exemple : via N2

Une bouteille contient encore 93b N32 et on désire faire du N36 à 200b.

$$P_{finN2} : 200 \times (1-0,36) = 128b$$

$$P_{initialeN2} : 93 \times (1-0,32) = 63b$$

$$\Delta PN2 : 128 - 63 = 65b$$

$$\text{Pair à ajouter} : 65 \times (1/0,79) = 82b$$

$$PO2 \text{ à ajouter } 200-82-93=25b$$

→ On ajoute 25b O2 et on complète à l'air jusqu'à obtenir 200b

11. METHODES DE CALCUL DES MELANGES

2) BOUTEILLE PARTIELLEMENT VIDE

Méthode 2

Exemple : via O₂

Une bouteille contient encore 93b N₃₂ et on désire faire du N₃₆ à 200b

$$P_{\text{fin O}_2} : 200 \times 0,36 = 72\text{b}$$

$$P_{\text{initiale O}_2} : 93 \times 0,32 = 29,7\text{b}$$

$$\Delta P_{\text{O}_2} : 72 - 29,7 = 42,3\text{b}$$

$$\% \text{O}_2 \text{ à ajouter} : 42,3 / (200 - 93) = 39,5\%$$

$$\text{Pression O}_2 \text{ à ajouter} : \frac{(39,5 - 21) \times (200 - 93)}{79} = 25\text{b}$$

→ On ajoute 25b O₂ et on complète à l'air jusqu'à obtenir 200b

11. METHODES DE CALCUL DES MELANGES

3) UTILISATION DES TABLEAUX DE FABRICATION :

ANNEXE 5

Il existe des tableaux qui donnent en fonction de la pression finale P_f , les PO_2 et P_{air} nécessaires pour faire le mélange. Un tableau par type de mélange (N32, N36, N40, ...)

Exemple 1 :

- Nous voulons un N32 à 200b, dans le tableau de fabrication N32, la colonne P_f à la ligne 200 on trouve la valeur de 28b O_2 et 172b N_2

10. METHODES DE CALCUL DES MELANGES

3) UTILISATION DES TABLEAUX DE FABRICATION

Exemple 2:

Si nous avons une bouteille partiellement vide , nous procéderons de la manière suivante :

Une bouteille contient encore 93b N32 et on désire faire du N36 à 200b
 Dans le tableau N32 , nous ne voyons pas une Pf de 93b , par contre il y a une Pf 2b et Pf 95b : nous ferons la différence pour obtenir Pf 93b

Pour Pf 93b : 13b O₂ et 82b air

Pour Pf 2b : 0b O₂ et 2b air

$13 - 0 = 13\text{b O}_2$

$82 - 2 = 80\text{b air}$

Dans le tableau N36 à la ligne 200 on lit : 38b O₂ et 162b air

- Les pressions à ajouter seront :
- pour O₂ : $38 - 13 = 25\text{b}$
 - pour l'air : $162 - 80 = 82\text{b}$

12. SECURITE MATERIEL

12. SECURITE MATERIEL

Avertissements :

Le plongeur Nitrox confirmé doit être capable d'utiliser un matériel permettant de plonger avec un Nitrox $>40\%O_2$

→ **LE MATERIEL DOIT ÊTRE NETTOYE ET COMPATIBLE A L'OXYGENE.**

En plongée sportive, les Nitrox $>40\%O_2$ ne seront utilisés que pour les paliers lors de plongées profondes à l'air

Faire attention :

- Aux longues expositions à hautes PpO_2
- Au matériel : bouteille, détendeur, manomètre ainsi que les tuyaux seront nettoyés et compatibles pour l'oxygène

12. SECURITE MATERIEL

LA BOUTEILLE



- Certaines méthodes de remplissage utilisent au départ de l'O₂ pur
- État impeccable car on ne connaît pas toujours les méthodes de gonflage du centre où vous faites remplir votre bouteille
 - **Le plongeur est le seul responsable de sa bouteille, de la bouteille qu'il a reçue en location (pour son état et sa réépreuve) !**
 - Marquage NITROX jaune et vert
 - Pour la déco : bouteille de plus petite capacité (pony tanks), robinetterie DIN , détendeur et manomètre oxygène

12. SECURITE MATERIEL

LA ROBINETTERIE

Le robinet fait partie intégrante de la bouteille, doit aussi être nettoyé et compatible oxygène

Il est conseillé de placer un volant vert pour différencier une bouteille Nitrox d'une bouteille d'air

Robinetterie **DIN M26**

norme EN 144-3:2003



**Les robinets quart de tour sont proscrits
car ouverture trop rapide**

12. SECURITE MATERIEL

LE DETENDEUR

Si %O₂>40%: détendeur spécifique dont l'emploi sera exclusif (et généralement à de faibles profondeurs)

Marquage vert O₂ ou NITROX

Montage DIN et joints VITON

Utilisation d'un « détrompeur » qui évitera l'emploi à une profondeur inappropriée



12. SECURITE MATERIEL

Détendeurs de déco (angl. Stages)

De nombreux accidents sont à déplorer du fait que des plongeurs se sont trompés de mélanges, en particulier en respirant des mélanges suroxygénés à des profondeurs incompatibles (hyperoxie).

Ce fait n'est pas comme on pourrait le croire l'œuvre de plongeurs débutants.

Pour éviter cela mieux vaut choisir un détendeur de forme (facile à trouver au toucher dans l'obscurité) et de couleur différente (identification visuelle). Ces détendeurs sont préparés pour être compatibles avec de l'oxygène pur.

La disposition des blocs sur le harnais est également critique (bloc le plus riche le plus à droite possible par ex , mais toujours la même configuration !). Certains plongeurs ajoutent en outre une petite housse (sur le 2eme étage du détendeur branché sur le bloc d'oxygène pur) afin de prévenir toute confusion.

12. SECURITE MATERIEL



LE MANOMETRE

Lorsqu' on emploie un pony tank monté sur le devant du gilet , il est possible de monter sur le détendeur un tuyau HP de 10cm afin de garder le manomètre proche de la bouteille et d'éviter de nombreux longs tuyaux .



12. SECURITE MATERIEL

L'ORDINATEUR



Les ordinateurs actuels permettent de plonger au nitrox 50 , les hauts de gammes permettent des planifications multi gaz : air , nitrox 22-100% , déco O2 pur .

pendant ils ne dispensent toujours pas de la planification au tables !
 (toujours planifier moyens primaire et secondaire de décompression)

12. SECURITE MATERIEL



Les matériels spécifiques tels que le gilet de stabilisation & la combinaison étanche ne peuvent être en contact avec un Nitrox $> 40\%O_2$.

Nous veillerons donc à emporter avec soi une bouteille gonflée à l'air et utilisée uniquement pour équilibrer ces derniers !

(toutefois peut servir comme réserve d'air ...)

12. SECURITE MATERIEL



De Plongée
cedip



PICCOLO Charles
Moniteur 2**ADIP 98347

12. SECURITE MATERIEL

L'oxymètre

Utilisation des propriétés paramagnétiques de l'oxygène.

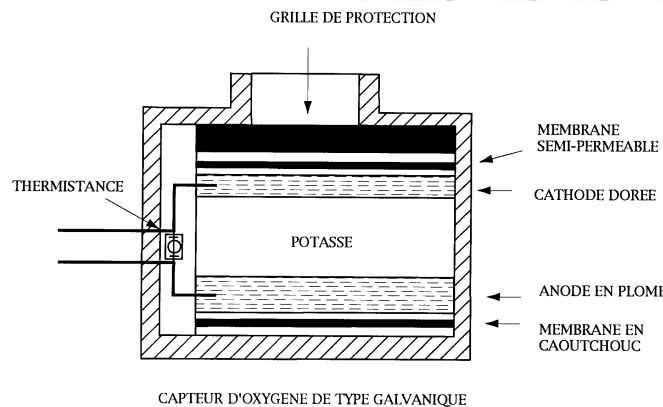
Le paramagnétisme est la propriété qu'ont certains corps de s'aimanter faiblement quand ils sont placés dans un champ magnétique - l'oxygène étant le plus paramagnétique des gaz .

L'appareil basé sur ce principe utilise un système qui permet de mesurer la perturbation engendrée par les molécules d'O₂ dans le champ magnétique

12. SECURITE MATERIEL

Les appareils à cellule électrochimique sont les plus répandus et les moins chers

Le capteur O₂ se comporte comme une pile. La différence de potentiel entre la cathode et l'anode sera proportionnelle à la quantité d'O₂ qui va traverser la membrane semi-perméable de Téflon et va s'ioniser au contact de la cathode et oxyder l'anode ce qui provoque un courant électrique. Entre l'anode et la cathode, un thermistor compense les variations de température



12. SECURITE MATERIEL

OXYMETRE : Les erreurs d'analyse

- Les cellules sont sensibles à la température (ne pas faire de mesure avec une cellule qui est restée au soleil)
- Si le débit du gaz est trop important → Température
→ la mesure risque d'être mauvaise
- Si le débit est trop important : la cellule se déforme et la mesure risque d'être mauvaise
- Attendre 10 secondes avant de prendre la mesure : temps de réponse de l'analyseur.

12. SECURITE MATERIEL

La précision d'un mélange doit être de +/- 2.5 %

Exemple :

Pour un mélange 36/64, la mesure doit être comprise entre 35.1% et 36.9%

Si la valeur mesurée n'est pas dans la fourchette →
Corriger le mélange

OU

Recalculer les paramètres de la plongée : profondeur équivalente air,
profondeur plancher, ...

12. SECURITE MATERIEL

Ne pas oublier d'étalonner l'analyseur avant chaque mesure !

Il est recommandé de calibrer l'appareil avec O₂ pur pour mesurer avec précision des nitrox supérieurs à 50%



READY TO DIVE ?

PICCOLO Charles
Moniteur 2**ADIP 98347