


		Gaz de plongée Théorie - Accidents
		Pascal KINTZ X-Pertise Consulting Médecine légale, Strasbourg
		Instructeur OWSI PADI Moniteur CMAS ** E3

## La plongée c' est ...



## des dangers...



## ... mais aussi

360 000 plongeurs en France, dont 150 000 licenciés FFESSM

350 accidents / an, dont environ 15 mortels

Séquelles importantes pour les autres, nb en augmentation


Surtout en mer, dans la zone 25 - 40 m

Surtout des plongeurs certifiés (40 % N3-N4, 20 % moniteurs)

90 % sont des accidents de décompression (remontée trop rapide, non-respect des paliers), panne d' air, panne d' électronique, mauvais mélange gazeux


## Le matériel de plongée

Vision : masque  
Propulsion : palmes  
Protection froid : combinaison  
Flottabilité : gilet (stab), lest  
Contrôle : ordinateur



Respiration : gaz (bloc) + détendeur(s)

## Particularités du bloc



Bouteille en aluminium ou acier  
Renferme le mélange de gaz à respirer  
Sous pression (170 - 230 bar)  
Volume : entre 4 et 20 L (++ 12 et 15 L)

Contrôles : visuel (1x/an), re-épreuve hydraulique (1x/5 ans)

Indications : n° série, date fabrication, nature mélange gazeux, volume, poids, pression de service, pression de re-épreuve, date contrôle, poinçon organisme vérificateur

## Particularités du détendeur

Mécanisme qui permet au plongeur de respirer le mélange gazeux contenu dans la bouteille

Composé de 2 parties :

1<sup>er</sup> étage (ramener la haute pression de la bouteille à environ 10 bar) et  
2<sup>ème</sup> étage (abaisser la pression pour permettre la respiration à une pression donnée – à la demande)



Attention au givrage : protection

## L'air ambiant



Mélange gazeux : azote (79 %) + oxygène (21 %) + dioxyde de carbone (0,03 %) + quelques gaz rares (argon, xénon, hélium) + vapeur d'eau

Au niveau de la mer, la pression atmosphérique est de 1 bar

**En plongée, tous les 10 m, la pression augmente d'un bar**

Ex. : à 20 m, la pression totale (ambiante) est de 3 bar, correspondant à la pression atmosphérique (1 bar) + pression hydrostatique (2 bar)

## Lois régissant les gaz - 1

### Loi de Boyle-Mariotte

Pression x Volume = constante

A 20 m (3 bar), le volume pulmonaire est réduit à 1/3

### Loi de Dalton

La pression totale (Pt) est la somme des pressions partielles (pp) de chaque gaz qui compose le mélange

La pp de chaque constituant est proportionnelle à sa concentration dans le mélange

Pression atmosphérique = 0,79 (79 % N<sub>2</sub>) + 0,21 (21 % O<sub>2</sub>) = 1

A 20 m : Pt = 3 bar, soit 2,37 N<sub>2</sub> et 0,63 O<sub>2</sub>

## Lois régissant les gaz - 2

### Loi de Henry

La quantité de gaz dissoute dans un liquide, à température donnée, est directement proportionnelle à la pression partielle qu'exerce ce gaz

*Si on augmente la pression du gaz, des molécules de ce gaz passeront dans le liquide (sang, tissus) jusqu'à saturation. Inversement, si on réduit la pression, le liquide se trouve en "sursaturation" et des molécules de gaz vont s'en échapper pour tendre vers une nouvelle saturation. Ce phénomène génère des bulles dans le liquide lorsque la pression baisse trop rapidement.*

## Problèmes posés par l'azote

Azote = gaz neutre, diluant

Lorsque la pp N<sub>2</sub> augmente : perturbation des liaisons synaptiques, apparition de la **narcose** (ivresse des profondeurs) = altération de la vigilance, sensations de fausse sécurité, mauvaise appréciation des problèmes ... dès 30 m

En plongée, l'azote se dissout dans le sang ( $\Delta$  profondeur et durée). Lors de la remontée, le sang et les organes vont libérer l'azote (loi de Henry, diminution pp N<sub>2</sub>). Si la remontée est trop rapide, les poumons ne peuvent pas éliminer tout l'azote et des bulles vont se créer, provoquant un **accident de décompression** (ADD) – *remontée lente, respect des paliers*

## Eliminer l'azote ...

**Temps de non-décompression** : temps permettant une durée de plongée à une profondeur donnée sans qu'il soit nécessaire de faire des paliers (système PADI) – remontée directe possible

Exemples : 8 min à 42 m, 45 min à 20 m, 147 min à 12 m

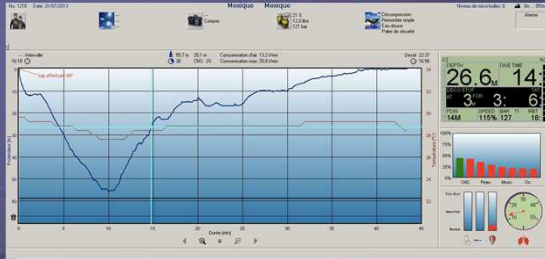
**Palier** : temps nécessaire pour éliminer l'excès d'azote à une profondeur donnée

Exemple : plongée à 52 m, 17 min (épave Roraima), à l'air, paliers : 2 min à 26 m + 2 min 16 m + 4 min à 6 m + 18 min à 3 m

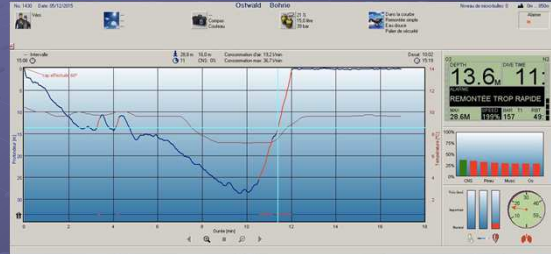
**Vitesse de remontée** : toujours < 18 m/min (10 m/min est mieux)

Toujours un palier de sécurité, 3 min à 5 m

## Une remonté maîtrisée



## Une remonté non maîtrisée



## Accidents de décompression

ADD : lié à la loi de Henry (formation de bulles et  $\mu$ -bulles)

Délai d'apparition : retardé (symptômes tardifs jusqu'à 20H)

Clinique : éruptions cutanées, œdèmes, douleurs articulaires, fatigue, asthénie, paraplégie, atteinte oculaire, convulsions

Localisation : des 2 côtés, haut ou bas ( $\neq$  surpression pulm.)

Evolution : aggravation, malgré  $O_2$

L'azote est + soluble dans les graisses que dans l'eau : absorption + importante chez l'obèse

Prise en charge :  $O_2$  (15 L/min), eau plate (max 2 L), aspirine (entre 250 et 500 mg)

## Oxygène et accident

Les limites de toxicité de l'oxygène sont  $ppO_2 < 0,16$  (hypoxie) et  $ppO_2 > 1,6$  bar (hyperoxie)

**Hypoxie** : respiration avec des mélanges appauvris en  $O_2$  (plongée TEK profonde, mauvaise manipulation du recycleur)  
*syncope brutale*

**Hyperoxie** (effet Paul Bert) : respiration d'air à une profondeur supérieure à 70 m (limite max avec  $ppO_2$  à 1,6) ou d' $O_2$  pur à une profondeur supérieure à 6 m (décompression)  
*contraction musculaire, troubles visuels, crise épileptiforme, hypotonie, sédation massive*

## NITROX - 1

Balance entre azote (narcose, ADD) et oxygène ( $ppO_2$  max 1,6)

NITROX : diminution % azote

NITROX 40 : 40 %  $O_2$  et 60  $N_2$  % (l'air est un NITROX 21)



### Avantages

La diminution de la quantité d'azote : - de narcose, - de paliers de décompression, et - de fatigue (plongées à répétition)

### Inconvénient

Limitation de profondeur pour ne pas avoir  $ppO_2 > 1,6$   
Ex. limite de profondeur pour NITROX 40 = 30 m

## NITROX - 2

Toujours vérifier le % d' $O_2$

Formation spécifique (NITROX, NITROX confirmé)

Matériel dédié (dès 40 %  $O_2$  risque d'explosion) – *en vert*

Planification plongée +++



3 blocs (profonde longue) : 15 L NITROX 21 + 15 L NITROX 40 + 6 L NITROX 100

## Les autres gaz / contaminants

### Dioxyde de carbone

Si  $ppCO_2$  augmente (effort physique, mauvaise maîtrise de la ventilation, matériel défectueux) : essoufflement, panique, remontée trop rapide, suffocation  
– peut provenir de l'environnement

### Monoxyde de carbone

Respiration d'un air pollué lors du gonflage (gaz d'échappement).  
C'est en remontant que la toxicité du CO s'exprime. Au fond, la  $ppO_2$  est suffisamment élevée pour réduire les effets du CO.

### Hydrocarbures volatiles, huiles, poussières

A partir du compresseur (lubrifiants)

Provoquent : fatigue, mal de tête, nausée, confusion, altération de la respiration

## Contrôle des gaz



FFESM  
Garde Départementale de l'Isère

### ANALYSE d'AIR

Date de l'analyse: 12/01/2012  
Lieu de l'analyse: CEF  
Moyen: valve Aeroceel Simultan HP Dräger

TEST	Valeur admissible	Valeur trouvée	observations
dioxyde de carbone $CO_2$	500 ppm	100	0,2 min, 0,2m
monoxyde de carbone $CO$	10 ppm	0	0,2 min, 0,2m
humidité de l'eau $H_2O$	300 mg/m <sup>3</sup>	150	
huile	0,5 mg/m <sup>3</sup>	0	

Equipements et le compresseur, liste  
Cet air est destiné à l'usage de plongée

Remarque: les résultats d'analyse

Noté: Qualité et pureté de l'air respiré par le plongeur  
Noté: la sécurité de la performance de l'appareil

## Accidents sous TRIMIX

Inconvénients : matériel complexe, plusieurs bouteilles, contrôle des profondeurs et des mélanges (+ hélium)

Monsieur M., plongeur N4, décide de tester son nouvel appareil photo. Equipé d'un recycleur XX en circuit fermé, il s'immerge dans une fosse à 3 m et effectue plusieurs allers et retours entre le fond et la surface, tout en se plaignant d'avoir du mal à respirer. En surface, Monsieur A. constate des bulles (!), plonge et remonte le plongeur, inconscient et cyanosé.

Monsieur M décède, le légiste envisage un décès par asphyxie anoxique

L'enquête montre que le recycleur de Monsieur M. avait fait l'objet de modifications récentes par ajout de dispositifs, installés par la victime elle-même.

(SubAqua 2013, 247, 92)

## Stratégie - expertise



Identification de la victime, antécédents, consommation alcool ou médicament(s) / stupéfiants

Description complète des symptômes, délai d'apparition (s'il y a lieu : procédures de premiers secours)

Analyses du / des mélange(s) gazeux : %  $O_2$ , CO ...

Exploitation du / des ordinateur(s) : profil de la plongée, durée, profondeur, composition des gaz, multi-gaz

Expertise du matériel : fuite, contamination, blocage vannes

ML : autopsie avec imagerie, toxicologie, anatomo-pathologie

## Stratégie de l'expertise judiciaire

### A partir des échantillons biologiques

Expertise toxicologique de référence (note de la Chancellerie de 2006)

- ILM, 2002 : EtOH dans le sang (0,74 g/l)
- Pélissier, 2005 : EtOH dans le sang (0,63 g/l)
- Kintz, 2011 : alprazolam, diphenhydramine, amiodarone
- Brunet, 2012 : cannabis

### A partir de la bouteille

-ILM, 2003 : HS-GC/MS, Moisieva 5A, CO à 14 %

### A partir de l'ordinateur

Etablir le profil de plongée  
Evaluer la vitesse de remontée  
Déterminer les temps de palier

### A partir du matériel

... réservé aux spécialistes



## Accident de décompression



### Expertise 2012-24

Plongée en eau froide (lac)  
Température externe : 28 °C  
Profil de profondeur inversé  
Remontée rapide ++  
à 45 min, trouble de la marche  
à 240 min, chute  
Tétraparésie, bradypnée  
Déshydratation ?

## Conclusion



Une plongée avec respect des prérogatives (durée, profondeur, décompression ...) ne met pas à l'abri d'un accident

Toute erreur de procédure, même sans signe, doit être traitée comme un accident

Les ADD présentent une symptomatologie variée, d'évolution capricieuse, voire imprévisible

Il n'y a pas de corrélation entre le tableau clinique et la gravité potentielle