

Accidents et plongées aux mélanges

Dr Anne HENRIKES ~~Dr Anne HENRIKES~~ *Le style des sous-titres du masque*
Unité de médecine hyperbare, CHRU Brest,
CMPR BPL, Trégunc le 18 septembre 2010

13/02/2011

Introduction

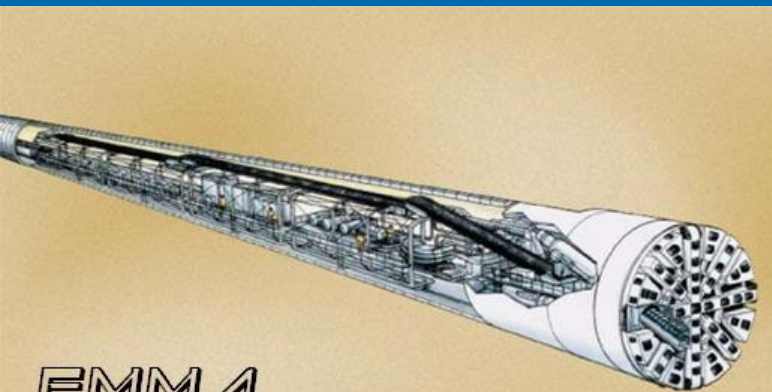
- Principaux intérêts à respirer autre chose qu'un mélange O₂/N₂ :
 - Toxicité neurologique N₂ de l'air dès 40m
 - Masse moléculaire du gaz => efforts ventilatoires importants avec la pression
 - Fabrication de mélanges pour adapter P_pO₂ à la profondeur

Introduction

- L'Hélium = intéressant car
 - Léger
 - Peu narcotique
 - Peu soluble donc élimination facile
- Mais :
 - Rapidement diffusible dans l'organisme
 - Conductivité thermique : refroidissement du plongeur
 - ... son coût !

Introduction

- Intérêt en plongée professionnelle :
 - Tunnel sous l'Escaut Occidental (PB, Western Scheld Tunnel, 2003) :
 - Travaux jusqu'à 48m :
 - À l'air comprimé jusqu'à 44m
 - Ou au trimix 25/25 de 46 à 48m



EMMA

Introduction

- Intérêt en plongée professionnelle :
 - Tunnel sous l'Escaut Occidental (PB, Western Scheld Tunnel, 2003) :
 - Comparaison des 2 types d'exposition :
 - 3 ADD (bends) lors des plongées à l'air, mais au décours de travaux lourds physiquement
 - ↘ efficacité à l'air comprimé, notamment erreurs de travaux (remplacement à l'envers de la tête de forage par ex), ↗ besoins de récupération
 - Déco + courtes en trimix, à profondeurs équivalentes : donc plus de temps de travail relatif

Introduction

- Comment l'organisme s'adapte à un mélange ternaire ?
- Spécificités de la décompression ?
- Pb de toxicité ?
- Autres pb posés par l'équipement ?

Modifications respiratoires

- Une des limites de la plongée à l'air = sa masse volumique ρ :
 - Les résistances \nearrow avec ρ
 - Les débits expirés \searrow avec ρ ($\sqrt{\quad}$)
- Hélium = gaz léger, d'où son intérêt en plongée profonde

Modifications respiratoires

➤ Point particulier !

- Essai de plongées très profondes (≈ 400 m):
apparition d'une dyspnée limitant le travail ...
 - Plus fréquente au cours de travaux à l'Heliox,
moins dense qu'au trimix respiré au repos
 - Non expliquée par la densité des gaz respirés
 - Non expliquée par les mesures de GDS ..

=> d'origine plutôt neurologique, manifestation du SNHP
(↗ travail des muscles, en particulier diaphragme)!

Modifications cardio-circulatoires

Marinovic & coll, 2009 :

- 9 plongeurs, 4 plongées 1/j:
 - 1° : air
 - 2° Nx 25
 - 3° & 4°: Tx 20/30
- ↘ FEVG, ↘ fonction systolique cœur G
- ↗ P Art Pulm
- ↗ pro BNP
- ↗ nb « ULC » à l'écho (témoignant infiltrat pulm)

Modifications cardio-circulatoires

- Les plongées en trimix exposent, comme celles à l'air, à des contraintes CV
- Risque OAP aussi ↗ lors de ces plongées ...

Effet cumulatif lors de plongées répétées ?

Décompression

- Spécificités des bulles lorsqu'on respire un mélange gazeux ?
- Accidents spécifiques ?
- Prise en charge spécifique ?

Décompression : les bulles

- Respiration d'un mélange de gaz inertes :
 - Propriétés physiques des gaz différentes => interactions => influence sur la formation / croissance des bulles
 - Etudes à partir de modèles mathématiques :
 - Limites = la variabilité biologique et le côté un peu aléatoire des symptômes ou non d'ADD

Décompression : les bulles

➤ Croissance des bulles :

- Solubilité dans les tissus => qté de gaz dissous
- Transferts de gaz sang – tissu=> perfusion du tissu & solubilité du gaz dans le sang
- Transferts gaz tissu – bulles => solubilité * diffusivité du gaz (coefficient de perméation) :
 - ≠ milieu aqueux ou milieu lipidique
- Variation de P_p du gaz dans le tissu => sol gaz sang / sol gaz tissu (coefficient de

Décompression : particularités des bulles

- Croissance des bulles : principales différences entre He et N₂ :
 - La solubilité du N₂ dans les lipides
 - La diffusivité de He

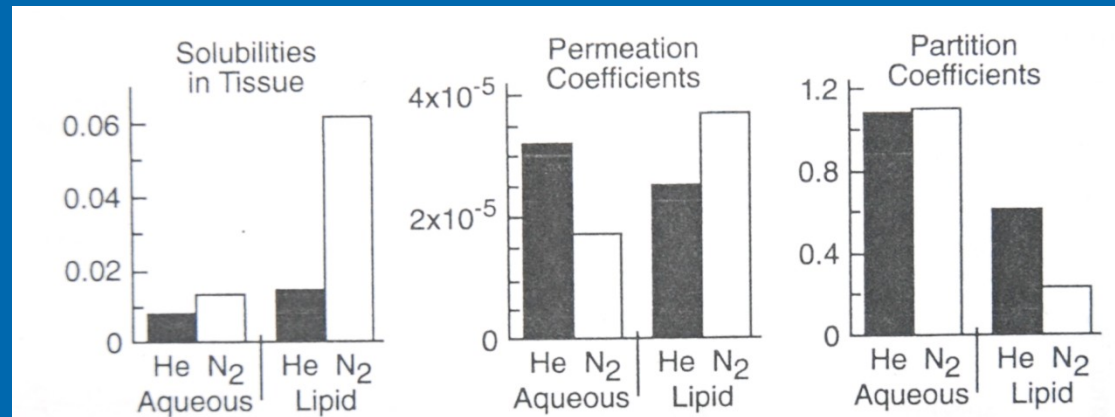


FIG. 1—Comparison of characteristics of N₂ and He. Note that a panel for solubilities in blood is unnecessary because they are essentially the same as solubilities in aqueous tissue. Units: solubilities, $\text{ml} \cdot \text{ml}^{-1} \cdot (100 \text{ kPa})^{-1}$; permeation coefficients, $\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot (100 \text{ kPa})^{-1}$; partition coefficients, unitless.

Décompression : particularités des bulles

➤ Croissance des bulles : **modélisation de Van Liew** :

Interactions différentes si haut ou bas niveau de bulles

Différences entre milieu aqueux et milieu lipidique

- ⇒ Dans tous les cas, elles sont de taille intermédiaire (./ un seul gaz)
- ⇒ milieu aqueux : He > N₂
- ⇒ milieu lipidique : N₂ > He

Décompression : particularités des bulles

➤ Composition des bulles : **Lillo, 1992**

- Études sur le cochon: expositions 80 à 120m,
- Comparaison air, HélioX 21, Trimix et mélange N₂ArO₂
- ADD => étude compo des bulles intravasculaires (chromatographie):
 - ⇒ 5 – 9% de CO₂ et 1 – 4 % O₂
 - ⇒ Gaz inerte:

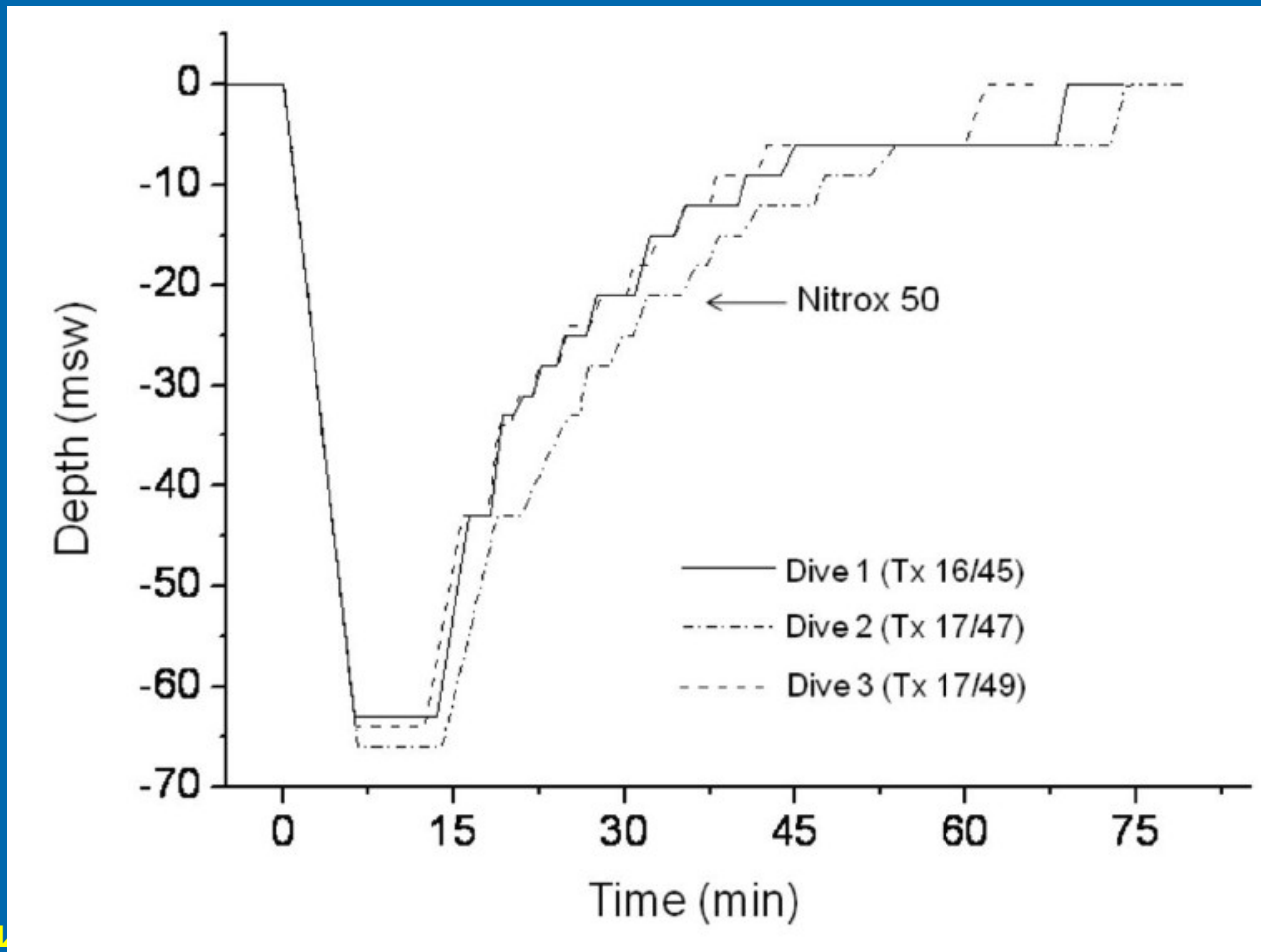
Trimix => N₂ > He (*1.9)

N₂ArO₂ => Ar > N₂ (*1.8)

Décompression et trimix

- Utilisation de modèles de décompression, peu de données sur les accidents avec
- Expérimentation croate (**Ljubkovic et al, 2010**)
 - 7 plongeurs expérimentés, 1 pl/j 3 jours de suite:
 - Entre 62 et 66m Tx 16/45, 17/47, 17/49
 - Déco Nx 50 à partir de 21 m
 - Modèle : V-Planner VPM-B, profil conservateur
 - Etude bulles et PAP après chaque plongée

Décompression et trimix



Libl

Décompression et trimix

- Résultats :
 - Aucun ADD
 - Haut niveau de bulles (grades 3 à 4)
 - Nette augmentation de la PAP
 - Bulles artérielles : 9 plongées /21 intéressant 5 plongeurs /7 ; 1 FOP dépisté
- Profil conservateur : haut niveau de bulles, silencieuses
- Valeur pronostique / bulles N2 ?

Décompression et trimix

- Plongées « successives » (1/j 6j de suite):
 - Altération fonction endothéliale artérielle (brachiale) après chaque plongée
 - Augmentation du stress oxydatif
 - Pas de retour aux niveaux de base avant les plongées
- ⇒ Effets cumulatifs de ces plongées
- ⇒ *Conséquences à long terme ???*

Les statistiques

- En général, peu d'accidents rapportés
- Données DAN 2007 :
 - $40/1605 = 2.5\%$ des appels pour pb en plongée concernaient des plongeurs Tek :
 - Certains appelaient après échec réimmersion (3, 7.5%) ou prise O2 (8, 20%)
 - ⇒ Sous déclaration probable si Spt résolus
 - DC en 2006 : 75 DC Canada/USA :
 - 7(10%) en recycleur
 - 3 (4%) en trimix : 1 circuit ouvert, 2 recycleurs

ADD: spécificités des mélanges

➤ Contre Diffusion Isobare :

- Décrite dans les années 70 : équipe de Graves et Lambertsen
 - **1973** : observation de l'apparition d'un prurit intense associé à une éruption maculopapuleuse et un Sd vestibulaire lorsque les plongeurs respiraient un mélange N₂ ou Ne dans une ambiance He
 - Concerne l'exposition à 2 gaz inertes différents
- => formation de bulles à partir de noyaux

ADD: spécificités des mélanges

➤ Contre Diffusion Isobare superficielle (espace):

- L'environnement = gaz léger (hélium) :
 - Le gaz respiré = lourd
- ⇒ accumulation du gaz léger dans la peau et formation de bulles liées à cette sursaturation, sans chgt de pression
- ⇒ atteinte cutanée +++

ADD: spécificités des mélanges

- Contre Diffusion Isobare ds les tissus profonds (temps):
 - Respiration d'un gaz lourd
 - Puis chgt pour un gaz léger
 - Le gaz lourd, soluble, met plus de temps à s'évacuer que le gaz léger pour diffuser dans l'organisme
- => ↗ formation de bulles dans l'organisme (circulation veineuse)

Des accidents spécifiques ?

➤ Atteinte vestibulaire

- Lambertsen, 1975 : passage à travers la mb tympanique puis fenêtre ronde
- Doolette, 2002 : sursaturation dans l'OI/circulation

Des accidents spécifiques ?

- Atteinte cutanée : prurit +++
 - Uniquement zones découvertes
 - Peut être une atteinte profonde => veineuse

- Autres atteintes ?
 - Tests sur l'œil du lapin : respiration au masque d'un nitrox, environnement hélium => aucune atteinte ophtalmique

Cowley, J Appl Physiol, 1979

L'expérience brestoïse

- Maigre !
- Années 70 : plongées industrielles à saturation
 - 2 accidents à l'héliox, même chantier (1976) !
 - Plongeur pro de 23 ans, plonge en saturation (tourelle) depuis le 09/12 pour travail sur épave à 84 – 86 m: respire un mélange héliox
 - Au retour après 2h30 de travail se blesse la face interne de la cuisse => décompression selon protocole COMEX en 52 h
 - Apparition 48h après d'une douleur genou dt

L'expérience brestoïse

- Années 70 : plongées industrielles à saturation
 - 2 accidents à l'héliox, même chantier (1976)!
 - Médecin plongeur de 55 ans, plonge à 76 m pour examiner le plongeur blessé, durée 30 min, à l'Héliox
 - Décompression selon protocole Comex
 - Qq heures après la sortie, ressent une hypoesthésie de la fosse du sous épineux dt, allant ↗ pour devenir douloureuse
 - J5: consulte au centre hyperbare => 3 séances O2

L'expérience brestoïse

➤ Années 70 : plongées industrielles à saturation

- Commentaire Dr Michaud :

« Les plongées à l'Héliox nécessitent une décompression plus longue, et de maniement plus délicat que celles qui utilisent le nitrox: ceci joint à l'âge du plongeur a pu être le facteur déterminant. Il eût fallu une table plus longue.

J'ai noté déjà après plongées à l'Héliox des « bends » plus musculaires qu'ostéo-articulaires »

L'expérience brestoïse

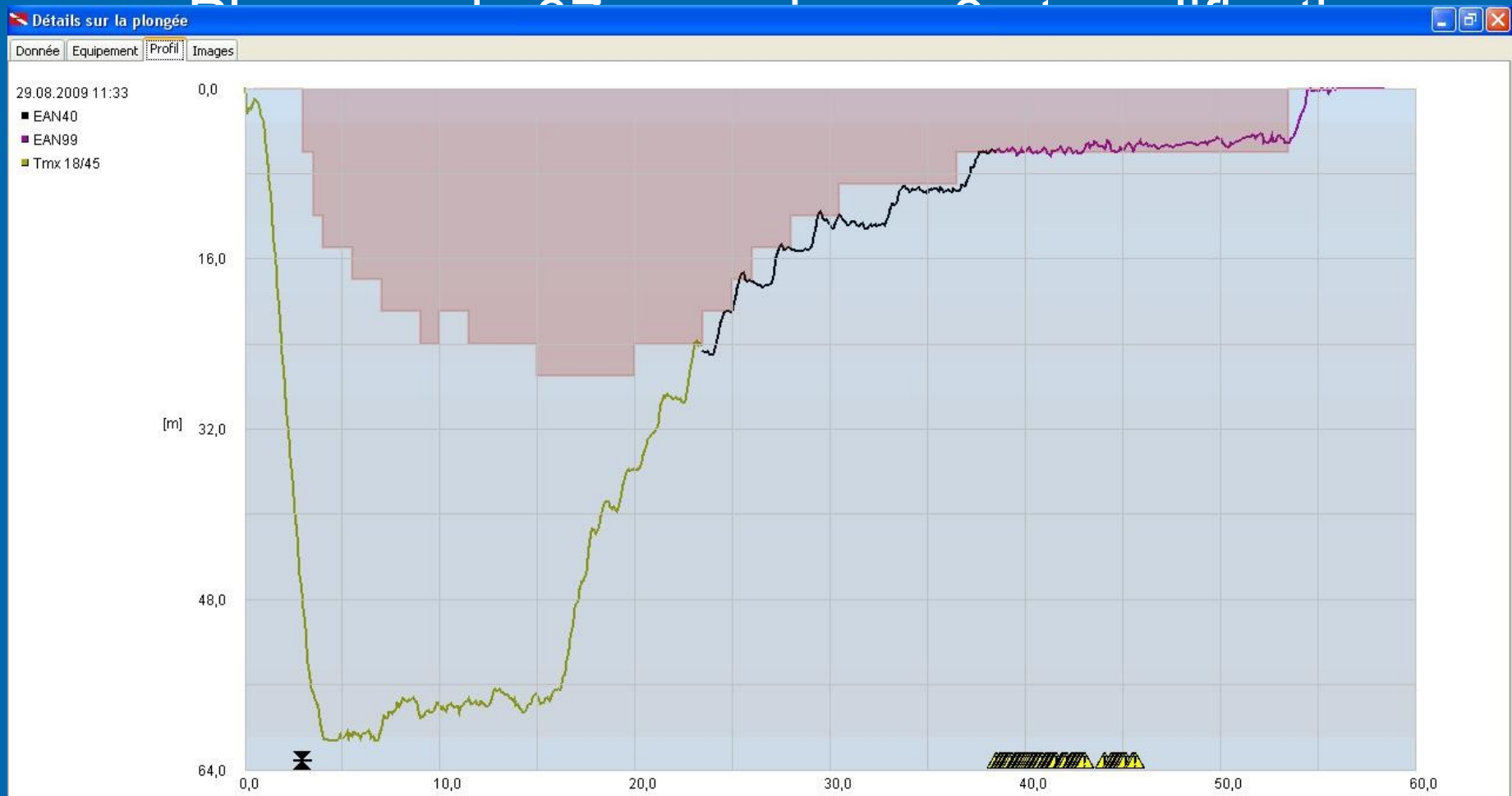
- Puis années 2000 : plongées loisir:
 - Plongeur de 33 ans,
 - Plongée 70m, 18 min fond avec Tx 18/38, déco Nx 40 puis O2 pur
 - 15 min après la sortie de l'eau, douleur aiguë du coude gauche avec rapidement impotence fctelle
 - Résolution progressive de la douleur sous O2
 - ⇒ Recompression 3h30 après : O2 2.5 ATA
 - ⇒ persistance résolution des Spt

L'expérience brestoïse

- Puis années 2000 : plongées loisir:
 - Plongeur de 37 ans, niveau 3 et qualification trimix élémentaire; ATCD de tendinite (infiltrée) épaule dte
 - 3° plongée (1/jour) sur une nouvelle épave :
 - 61 m, 15 min au fond
 - Mélange fond : trimix 18/45
 - Mélange déco 1 : nitrox 40 à partir de 24 m
 - Déco 2 : oxygène pur à partir de 6 m
 - 54 minutes de plongée en tout (39 de remontée)
 - HS: 11h33

L'expérience brestoïse

➤ Puis années 2000 : plongées loisir:



L'expérience brestoïse

- Puis années 2000 : plongées loisir:
 - Vers 16h : gêne épaule droite -> Doliprane dans la soirée
 - 20h30 bref malaise avec vertiges, pâleur, sueurs, rapidement résolutif
 - Persistance et aggravation douleur épaule : appel centre 15 le lendemain matin et évacuation vers le centre hyperbare
 - Traitement : Table 18-20 A, Aspegetic® 500, Solupred®
 - Evolution : pas de véritable amélioration en cours de traitement

=> Atteinte cavité moelle osseuse ???

L'expérience brestoïse

- Puis années 2000 : plongées loisir:
 - Plongeur de 44 ans, séjour plongée (1/j) débuté la veille
 - 52 m 15 min fond mélange 20/30, déco Nx 32 puis 70
 - À 30m, perte de son lestage => remontée en 3 min au lieu de 17
 - Se met sous O2, hydratation et aspirine; évacuation
 - Asthénie, pas d'autre signe d'ADD

La prise en charge

- A priori, toujours un phénomène bullaire chez le plongeur :
 - Premiers secours : même protocole
 - O₂
 - Aspirine sauf CI
 - Hydratation orale / IV

La prise en charge: recompression

➤ 2 types de tables :

O2 pur	Mélanges, avec gaz inerte
15 ou 18m	> 20m Tables longues
O2 + soluble sg et lipides que He et N2 => ↗ initiale des bulles avant disparition ?	Heliox ou Nitrox Apport d'un gaz inerte => ↗ taille des bulles ? Bulles de N2 => Heliox potentiellement intéressant

La prise en charge: recompression

➤ Plongées à l'hélium : bulles He

- **Hyldegaard & Jensen, UHM 2007 :**
 - Études des bulles sur le rat, après plongée à l'Heliox, selon gaz respiré après décompression
 - Respiration Heliox : croissance puis disparition des bulles
 - Respiration 100% O₂: idem + rapidement
 - Respiration air : croissance des bulles jusqu'au décès des animaux

La prise en charge: recompression

➤ Trimix et ADD

- Aucun pb pour table en O2 pur
- A priori, si table profonde requise, Heliox plutôt que Nitrox
- O2 ou HélioX ?
 - Études chez le rat peu concluantes
 - Pas d'études chez l'homme ...
 - En pratique ... selon possibilités locales
- Dans tous les cas, la réponse semble meilleure si recompression précoce

Ariel: J Appl Physiol 2007

Toxicité des gaz

- Autre principal risque de ce type de plongée :
- O₂ : risque hyperoxique
 - Erreur dans la prise des déco
 - Pb dans la confection + le contrôle des gaz
 - Pb au fond nécessitant prise déco suroxygénée ... ?

=> *Toxicité neurologique = crise convulsive généralisée => risque majeur de noyade (DC)*

Toxicité des gaz

➤ O₂ : risque hyperoxique

- Effets à l'exposition prolongée?

Pb surtout posé lors de plongées longues, permise par les **recycleurs** :

- Toxicité pulmonaire
- Toxicité ophtalmique :

OHB : modifications de la vue après longs traitements : essentiellement myopie (↗ pouvoir de réfraction), réversible en qq semaines à qq mois

Possible aussi dans le cadre de la plongée

Toxicité des gaz

➤ O₂ : risque hyperoxique

- Toxicité ophtalmique :

Butler, UHM 2006 :

- plongeur recycleur Nitrox PpO₂ 1.3 bar
- après 18 jours de plongée, 4h/j en moyenne, 21m moy,
- développement d'une modification de la vue (myopie), associée à une \searrow de la pression intra oculaire
- résolutive en un mois,
- 2 mois + tard, séjour plongée 18j , 3.6h/j, PpO₂ 1.2 bars => modif vue au bout de 9j
- 3^o séjour : mesure AV chez les 3 plongeurs : \searrow de 0.5 à 1.5 dioptries

Toxicité des gaz

➤ O₂ : risque hypoxique

- Erreur de prise de gaz : respi d'un gaz fond hypoxique en surface
- Pb de confection + contrôle des gaz
- ...

➤ CO₂ et essoufflement :

- En théorie, risque moindre car He + léger
- En pratique, équipement lourd +++

Toxicité des gaz

➤ Les accidents toxiques en recycleur :

- Depuis 5 ans à Brest :
 - 1 essoufflement (plongée dans le courant +++)
 - 2 pertes de connaissance :
 - 1er cas : plongeur pro, 3 incursions dans la journée dans des conditions difficiles de courant
 - 2ème cas : essai du recycleur du collègue (Megalodon) : surface puis 3m, PC rapidement => mauvaise utilisation : *mode manuel, ouverture de l'insufflateur d'O2 non actionnée + alarmes de PpO2 basse négligée*
 - 1 ACR récupéré :
 - PpO2 1.3bars (Buddy Inspiration), 25m, 30 min, retrouvé inconscient et remonté par la palanquée sur nonv => 48h

Le matériel utilisé

- L'accidentologie compte aussi les pb du vêtement étanche !
 - Plongeur 59 ans
 - Recycleur Inspiration : trimix O2 10,5%; combinaison étanche, ordi VR3
 - Conditions courant fort, 53m, 11 min fond (dont 5 à descendre), déco:
 - 1 min / 3m à partir de 28 m puis 2 min à 6m, 2 min à 4,5m, palier écourté car courant +++ et **essoufflement**
 - Se réimmerge j'à 7m, sans succès, se met sous

Le matériel utilisé

- Durée totale O2 = 20 min
- Efforts ++ après : rangement matériel (lourd !)
- Sous la douche, note des « marbrures » sur les épaules => appel méd astreinte et va à Brest
- Ex: rash cutané en stries au niveau des articulations => squeeze combi non équilibrée (matériel encombrant !)

Et pour finir

- Le plus fréquent ... certainement la lombalgie !!!



13/02/2011

Visite préalable

- Des modifications CV comme à l'air
- Pas de CI spécifique pour la plongée aux mélanges, mais
 - Tenir compte du fait que c'est toujours pour des plongées profondes donc avec une décompression longue
 - Attention aux pb rhumato : matériel encombrant, bcp de manutention, malgré le diable !
 - Psychologie du plongeur ?

Conclusion

- Trimix = intéressant pour la plongée > 40m, mais encore des questions en suspens :
 - Effets à long terme des plongées répétées
 - Modélisation de la décompression / confrontation aux données in vivo
 - Méthodes de recompression de ces accidents

Bonnes plongées !!!



13/02/2011