

# Hyperbarie professionnelle : risques et mesures préventives

Période : novembre 2010 à février 2011

Alain BOUSSUGES

IRBA – UMR MD2, P2COE – Marseille

Mots clés : Décompression, Hyperbarie, Hyperoxie, Hypoxie, Immersion, Plongée, Pression atmosphérique, Saturation, Tubiste, Tunnelier

L'hyperbarie professionnelle concerne les travaux réalisés à une pression supérieure d'au moins 100 hectopascals par rapport à la pression atmosphérique locale. Les travailleurs concernés sont les plongeurs subaquatiques et les tubistes travaillant dans une enceinte métallique pressurisée sur des ouvrages souterrains ou sous marins (Le Péchon, 2006). L'augmentation de pression ambiante s'accompagne d'une augmentation des pressions partielles en oxygène et en azote lorsque le mélange gazeux respiré est de l'air. Le retour à la pression atmosphérique (la décompression) peut générer la formation de bulles dans les tissus ou la circulation sanguine. Ces phénomènes sont d'autant plus importants que les gradients de pression et les vitesses de décompression sont élevés. Les accidents sont attribués aux lésions mécaniques induites par les bulles et aux réactions biologiques secondaires. La plongée à saturation est utilisée afin de diminuer le risque d'accident tout en autorisant des travaux quotidiens à des pressions ambiantes élevées. Elle consiste en un séjour prolongé de plusieurs jours à plusieurs semaines en caisson hyperbare à une pression ambiante élevée par rapport à la pression atmosphérique (niveau vie). Des augmentations de pression (excursions) quotidiennes sont réalisées dans un sas afin d'atteindre le niveau de pression auquel doit s'effectuer le chantier. À l'issue de la journée de travail, la décompression est réalisée et le sujet retourne dans l'enceinte hyperbare principale. Ce procédé permet de réaliser des chantiers à pression ambiante élevée tout en réduisant le risque d'accident grâce à la réduction du gradient de pression entre le niveau vie et le niveau chantier. Au cours de ces travaux hyperbares, les mélanges gazeux sont susceptibles d'intégrer des gaz neutres légers tels que l'hélium pour les expositions à grandes profondeurs (mélanges ternaires oxygène-azote-hélium). À la fin du chantier, le retour à la pression atmosphérique est réalisé lors d'une décompression finale dont la durée est prolongée pour limiter tout risque. En France la durée maximale d'une plongée à saturation est de 30 jours, procédures de compression et de décompression comprises (JO<sup>(1)</sup> du 26 juin 1992). Bien que ce type de procédure réduise le risque d'accident de décompression, il expose à d'autres contraintes. Un risque infectieux peut être secondaire au confinement prolongé en enceinte hyperbare. Le développement des micro-organismes est favorisé par les conditions d'humidité, une température ambiante élevée ainsi que par l'augmentation de la pression ambiante et son retentissement sur la pression partielle de certains gaz tels que l'oxygène et le dioxyde de carbone. Ce risque de contamination microbiologique a été étudié par Van Rees Vellinga *et al.* (2010). En outre, bien que les accidents neurologiques sévères soient rares en plongée professionnelle, les conséquences sur le système nerveux central d'expositions hyperbares répétées restent mal évaluées (Erdem *et al.* 2009). Ces effets à long terme ont été étudiés grâce à l'imagerie par résonance magnétique (Moen *et al.*, 2010).

## Contamination microbiologique chez le plongeur à saturation : évaluation du risque et efficacité des mesures préventives

Van Rees Vellinga TP, Sterk W, Van Dijk FJH. The effectiveness of a health-surveillance program for caisson saturation divers in a tunnel-boring machine: A microbiological survey. *Undersea Hyperb Med.* 2010; 37: 433-446

### Analyse

Les auteurs ont évalué l'importance du risque de contamination bactérienne et fongique lors de plongées à saturation. Ils ont, dans ce but, mis en place un programme de surveillance clinique et microbiologique chez des tubistes lors de différents chantiers. Des mesures préventives contre la contamination bactérienne avaient été mises en place chez les travailleurs. Elles comportaient

un protocole de nettoyage quotidien du conduit auditif externe par l'association acide acétique-acétate d'aluminium. Des prélèvements réguliers par écouvillonnage du conduit auditif externe étaient réalisés. En présence d'un prélèvement bactériologique positif, une antibiothérapie topique était instaurée. Des mesures d'hygiène strictes étaient également préconisées. Elles comportaient un nettoyage soigneux de l'enceinte hyperbare tous les 3 jours et des changements réguliers des vêtements et des linges de toilette. Des prélèvements multiples permettant de contrôler la contamination des caissons hyperbares par des micro-organismes étaient prévus. Dix-sept plongeurs à saturation ont pu être étudiés au cours de 7 chantiers distincts d'une durée de 11 à 21 jours. Le protocole de surveillance révélait une contamination par des micro-organismes lors de toutes les plongées à saturation. Les prélèvements réalisés

dans le conduit auditif externe des plongeurs, retrouvaient le portage d'une entérobactérie, d'un staphylocoque (*S. aureus*<sup>(2)</sup>) ou d'un champignon (*Candida*) dans 21 cas sur 90. Par contre, aucun plongeur n'avait présenté de tableau clinique d'infection nécessitant l'interruption de son activité professionnelle. La surveillance de la contamination microbiologique des locaux (caisson vie, sas, sanitaires) constatait une augmentation de la concentration bactérienne au cours du séjour. Les micro-organismes retrouvés étaient des entérobactéries ou du staphylocoque. Sur un total de 16 séances de prélèvements, les sites les plus fréquemment positifs étaient le siège des toilettes dans 9 cas, la douche (robinet ou pommeau) dans 7 cas et le lavabo dans 2 cas. En outre, les auteurs soulignaient les difficultés de mise en place d'une surveillance microbiologique au cours de tels chantiers, le rythme de prélèvements initialement prévu (tous les 3 jours) n'ayant pu être respecté pour des raisons opérationnelles.

#### Commentaire

Cette étude permet d'apprécier le développement microbien dans l'environnement hyperbare lors d'une plongée à saturation. Elle met également en évidence l'apparition fréquente d'un portage bactérien dans le conduit auditif externe des travailleurs au cours du chantier. Le développement microbiologique se produit malgré l'adoption des mesures de prévention contre le risque infectieux habituellement utilisées lors de tels chantiers. Une nouvelle stratégie de prévention du risque infectieux pourrait donc être envisagée. Dans le travail de Van Rees Vellinga *et al.* (2010) bien que les travailleurs soient restés la plupart du temps asymptomatiques, la documentation bactérienne a incité le corps médical à prescrire une antibiothérapie topique à titre préventif. Au total, aucun tubiste n'a dû interrompre son activité professionnelle pour un motif infectieux. Les auteurs plaident donc pour un contrôle plus strict de la contamination microbienne lors des plongées à saturation. Des prélèvements systématiques dans l'environnement hyperbare et chez les travailleurs permettraient d'adapter les mesures préventives voire d'instaurer de façon précoce un traitement anti-infectieux. Le surcoût d'une telle mesure pourrait être compensé par la diminution du risque d'interruption brutale d'un chantier en raison d'un problème infectieux chez les travailleurs.

### Lésions cérébrales induites par la plongée professionnelle

Moen G, Specht K, Taxt T, Sundal E, Grønning M, Thorsen E, Troland K, Irgens A, Grüner R. Cerebral diffusion and perfusion deficits in North Sea divers. *Acta Radiol.* 2010; 51: 1050-1058.

#### Analyse

Cette étude était destinée à évaluer si la plongée professionnelle était susceptible de générer des lésions neurologiques. Les auteurs ont étudié 91 anciens plongeurs d'âge moyen 51 ans à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique de diffusion et de perfusion. Ces sujets avaient exercé leur activité professionnelle en mer du nord et pratiqué la plongée profonde au mélange

ou la plongée à saturation durant en moyenne une quinzaine d'années. Au cours de leur carrière, seuls 9 sujets n'avaient jamais rencontré d'incidents durant les phases de décompression. Un groupe contrôle de 45 individus non plongeurs d'âge apparié était également étudié. Les résultats des investigations de chaque groupe étaient comparés. Le coefficient de diffusion apparent, qui témoigne de la diffusion des molécules d'eau au sein du parenchyme cérébral, était plus élevé chez les plongeurs par rapport aux sujets contrôles. Cette différence était retrouvée dans la substance blanche de plusieurs régions cérébrales telles que les lobes frontaux, pariétaux et temporaux. Les paramètres étudiant la perfusion cérébrale retrouvaient également des différences entre les groupes. Le putamen et la substance blanche frontale étaient les régions qui combinaient déficit de perfusion et augmentation du coefficient de diffusion chez les plongeurs.

#### Commentaire

Les contraintes subies lors du travail en hyperbarie pourraient expliquer les anomalies observées à l'IRM<sup>(3)</sup> chez les anciens plongeurs professionnels par rapport au groupe contrôle. L'hyperoxie et les micro-embolies gazeuses induites par la décompression pourraient être impliquées. Au cours des plongées, l'augmentation de la pression partielle en oxygène est à l'origine d'une baisse du débit sanguin cérébral en raison d'une vasoconstriction artérielle. En outre, les périodes de décompression s'accompagnent de la formation de bulles (tissulaires et circulantes) susceptibles de générer des troubles circulatoires et des lésions tissulaires. Néanmoins, dans l'étude de Moen *et al.* (2010) il n'est pas possible d'attribuer avec certitude, les anomalies observées à l'IRM chez les plongeurs aux effets à long terme de la plongée professionnelle. En effet, on remarque dans ce travail un pourcentage plus important de sujets porteurs d'une affection cardio-vasculaire ou ayant été victimes d'un traumatisme crânien chez les anciens plongeurs par rapport aux témoins. En outre, dans le groupe de plongeurs étudiés seulement 9 sujets sur 91 n'avaient jamais rencontré d'incident de décompression au cours de leur carrière professionnelle. Les lésions retrouvées pourraient donc être secondaires à un terrain vasculaire plus fréquent chez les plongeurs ou à des séquelles d'accidents.

#### CONCLUSION GÉNÉRALE

Les risques induits par l'hyperbarie professionnelle (Géraud *et al.*, 2008) ont motivé le développement de techniques telles que l'utilisation de mélanges gazeux enrichis en oxygène ou de mélanges ternaires intégrant des gaz neutres légers tels que l'hélium. Afin d'assurer des chantiers à grande profondeur la plongée à saturation est utilisée. Les conditions de vie prolongée en caisson hyperbare exposent à un risque de contamination microbiologique de l'habitat et d'infection des travailleurs (Van Rees Vellinga *et al.*, 2010).

Les mesures d'hygiène et les procédures de nettoyage et de décontamination de l'enceinte hyperbare devraient être systématiquement précisées dans un protocole rédigé avant le début du chantier. Le nettoyage des sanitaires mérite une attention particulière. Enfin, l'intérêt de la surveillance de la contamination microbiologique de l'enceinte hyperbare et du portage bactérien des plongeurs à l'aide de prélèvements réguliers mériterait d'être évalué dans de nouvelles études.

L'interprétation des résultats de l'étude de Moen *et al.* (2010) étant discutable, le risque de lésions neurologiques secondaires à la pratique de la plongée sans incident reste mal évalué. Les recommandations concernant la surveillance médicale des travailleurs intervenant en milieu hyperbare étaient jusqu'ici définies par l'arrêté du 28 mars 1991 (JO du 26 avril 1991). Un nouveau décret destiné à l'amélioration de la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare a récemment été publié (JO du 13 janvier 2011). Le bilan nécessaire à la délivrance de l'aptitude initiale et les examens annuels de contrôle sont précisés dans ces textes. Sur le plan neurologique, le bilan initial comprend un électroencéphalogramme avec stimulation lumineuse intermittente et hyperpnée afin d'éliminer une comitialité (Cavenel, 2006). Une simple évaluation clinique est recommandée lors des examens de contrôle. Il apparaît important de mettre en place une étude prospective permettant de déterminer si la plongée sans incident peut être responsable de lésions cérébrales. Dans cette perspective, un suivi des hyperbaristes professionnels grâce à des IRM cérébrales répétées serait instructif. En outre, chez un travailleur hyperbare victime d'un accident, notamment lors de la décompression, l'IRM cérébrale devrait être largement prescrite afin de dépister des lésions paucisymptomatiques ou infra-cliniques.

## Lexique

- (1) JO: Journal officiel.
- (2) *S. aureus*: *Staphylococcus aureus*.
- (3) IRM: Imagerie par Résonance Magnétique.

## Publications de référence

**Arrêté du 15 mai 1992** définissant les procédures d'accès, de séjour, de sortie et d'organisation du travail en milieu hyperbare, Journal officiel du 26 juin 1992.

**Arrêté du 28 mars 1991** définissant les recommandations aux médecins du travail chargés de la surveillance médicale des travailleurs intervenant en milieu hyperbare, Journal officiel du 26 avril 1991.

**Cavenel P.** Aptitude médicale à la plongée professionnelle. Dans Physiologie et Médecine de la plongée Broussolle B, Meliet JL, Coulange M (Eds). Ellipses 2006; V (2): 577-583.

**Décret n° 2011-45 du 11 janvier 2011** relatif à la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare, Journal officiel du 13 janvier 2011.

**Erdem I, Yildiz S, Uzun G et al.** Cerebral white-matter lesions in asymptomatic military divers. Aviat Space Environ Med. 2009; 80: 2-4.

**Géraut C, Tripodi D, Géraut L.** Risques de la plongée sous-marine et du travail en milieu hyperbare. EMC, Encyclopédie Médico-Chirurgicale. - Elsevier Masson SAS. - Toxicologie-Pathologie Professionnelle. - 2008. - 16-560-A-10. - 13 pages.

**Le Péchon JC.** Les travaux en atmosphère comprimée. Dans Physiologie et Médecine de la plongée Broussolle B, Meliet JL, Coulange M (Eds). Ellipses 2006; VII (4): 780-790.

## Revue de la littérature

**Myers ML.** Review of occupational hazards associated with aquaculture. J Agromedicine. 2010; 15: 412-426.

**Oldenburg M, Baur X, Schlaich C.** Occupational risks and challenges of seafaring. J Occup Health 2010; 52: 249-256

## Autres publications identifiées

**Chng J, Wan MC, Lim CL et al.** A comparison of thermal stress in the submarine escape using immersion half – and full suit in tropical weather operations. Undersea Hyperb Med. 2010; 37: 447-454

*Étude comparative de l'efficacité d'une combinaison complète par rapport à une demi-combinaison pour la protection des naufragés après une évacuation de sous-marin. Bien que l'étude ait été réalisée en eau tropicale la combinaison complète assure une meilleure protection contre le risque d'hypothermie tout en n'augmentant pas le risque d'hyperthermie.*

**Goplen FK, Aassen T, Gronning M et al.** Hearing loss in divers: a 6-year prospective study. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2011; 268: 979-85

*Étude des causes de la perte d'audition chez le plongeur professionnel. Les raisons principales identifiées sont l'exposition au bruit et les accidents barotraumatique. La plongée sans incident n'apparaît pas être responsable de la baisse d'audition.*

**Kucera KL, Loomis D, Lipscomb H et al.** Prospective study of incident injuries among southeastern United States commercial fishermen. Occup Environ Med. 2010; 67: 829-836.

## Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique

Decompression, Diving, Environment, Hyperbaric, Hyperoxia, Hypoxia, Occupational, Oxygen, Pressure.