

	
Société de Physiologie et de Médecine Subaquatiques et Hyperbares de langue française	Société Française de Médecine du Travail

Recommandations de bonne pratique

Good practice recommendations

Health care at job of workers intervening in hyperbaric conditions

PRISE EN CHARGE EN SANTÉ AU TRAVAIL

DES TRAVAILLEURS INTERVENANT EN CONDITIONS HYPERBARES

**Deuxième édition
2018**

Le présent document constitue la mise à jour au 31 mars 2018 des recommandations validées par le conseil d'administration de la Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française le 3 juin 2016 et par le conseil d'administration de la Société française de médecine du travail le 7 juillet 2016.

Les modifications ont été adoptées par le conseil d'administration de MEDSUBHYP le 16 mars 2018 et validées par le conseil scientifique de la SFMT le 13 novembre 2018.

© MEDSUBHYP 2016, 2018.
Centre hyperbare, CHU de Sainte-Marguerite,
270 Bd de Sainte Marguerite,
13274 Marseille Cedex 09

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	p. 1
Méthodologie	p. 5
Première partie : État des lieux	p. 8
Chapitre I : Les dangers et les risques de l'exposition au milieu hyperbare	p. 9
I.- Les lois de la physique	p. 9
1) Notion de pression	
1.1.- Définitions et unités	
1.2.- Pressions absolue et relative	
2) La loi des gaz parfaits	
3) Augmentation de la masse volumique des gaz avec la pression	
4) Composition d'un gaz	
4.1.- Pression partielle, loi de Dalton	
4.2.- Notion de ppm	
5) Dissolution des gaz dans les liquides	
5.1.- À l'équilibre	
5.2.- Dissolution des gaz dans un organisme vivant	
II.- Conséquences physiologiques	p. 12
1) Sur les cavités gazeuses de l'organisme	
2) Sur la mécanique ventilatoire	
3) Élévation de la pression partielle des gaz inhalés	
4) Baisse de pression partielle d'oxygène	
5) Dissolution des gaz inertes dans l'organisme	
6) Les échanges thermiques	
7) Conséquences physiologiques de l'immersion	
III.- Les risques en fonction de la phase de l'intervention hyperbare	p. 17
1) Les barotraumatismes	p. 21
1.1.- Les barotraumatismes de l'oreille moyenne	
1.2.- Les barotraumatismes de l'oreille interne	
1.3.- Les barotraumatismes des sinus	
1.4.- Les barotraumatismes pulmonaires	
1.5.- Les barotraumatismes digestifs	
1.6.- Les barotraumatismes dentaires	
2) Les accidents ventilatoires	p. 23
3) Les accidents toxiques	p. 24
3.1.- Toxicité de l'oxygène : l'hyperoxie	
a) Toxicité chronique de l'oxygène	
b) La toxicité aiguë de l'oxygène	
c) Prévention de l'hyperoxie	
3.2.- Les accidents liés au dioxyde de carbone	
3.3.- L'intoxication au monoxyde de carbone	
3.4.- La toxicité de l'azote et des gaz inertes	
3.5.- Le syndrome nerveux des hautes pressions	
3.6.- L'hypoxie	
4) Les accidents de désaturation	p. 28
4.1.- La maladie de la décompression	
4.2.- Formes cliniques des ADD de type II	
a) Les accidents médullaires	
b) Les accidents cérébraux	

c) Les accidents cochléo-vestibulaires	
d) Les accidents cardio-respiratoires	
4.3.- Formes cliniques des ADD de type I	
a) Les accidents cutanés	
b) Les accidents ostéo-articulaires	
c) Les accidents dits « généraux »	
4.4.- L'ostéonécrose dysbarique	
4.5.- Conclusion	
5) Les œdèmes pulmonaires d'immersion	p. 34
6) Les effets au long cours de l'exposition à l'hyperbarie	p. 35
Chapitre II : État des pratiques en santé au travail en France	p. 43
I.- Évolution de l'aptitude médicale des travailleurs intervenant en milieu hyperbare à travers l'historique de la réglementation française.	p. 43
A) La réglementation de 1974	
B) La réglementation de 1990 – 1991	
C) La réglementation depuis 2011	
II.- Les pratiques actuelles pour la détermination de l'aptitude médicale des travailleurs hyperbares.	p. 47
A) Les médecins concernés	
B) Les niveaux de qualification médicale existants	
C) Enquête nationale	
Chapitre III : État des pratiques à l'étranger	
I.- Les recommandations européennes	p. 52
1) Critères généraux pour l'aptitude à la plongée professionnelle	
2) Les différents types d'examens médicaux	
2.1.- Examen approfondi :	
2.2.- Examen annuel :	
2.3.- Examen de reprise après accident de décompression ou incident médical majeur :	
2.4.- Examens sur indications :	
3) Recommandations d'ordre médico-administratif	
4) Compétences des médecins examinateurs	
4.1.- Niveau 1 : Examen médical des plongeurs	
4.2.- Niveau 2D : Praticien en médecine de plongée	
4.3.- Niveau 2H : Praticien de médecine hyperbare	
4.4.- Niveau 3 : Expert en médecine hyperbare ou médecine de la plongée	
5) Évolution des recommandations européennes	
II.- État des pratiques	p. 55
Annexe : Enquête EDTC des pratiques à l'étranger	
Deuxième partie : Recommandations de la Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française et de la société française de médecine du travail	p. 65
I.- Objectifs des examens médicaux d'aptitude	p. 67
1) L'examen médical initial	
2) Périodicité des examens médicaux d'aptitude	
3) L'examen médical de reprise	
4) Contenu des examens médicaux	
II.- Les examens complémentaires recommandés	p. 71
1.- Le bilan paraclinique en pneumologie	p. 72
1.1.- Méthodologie de recherche de données	

1.2.- Objectif de l'examen d'aptitude	
1.3.- Sur quels éléments (cliniques et paracliniques) se fonder pour prendre une décision d'aptitude ou d'inaptitude à l'exposition au risque hyperbare ?	
1.4.- Quelle doit être la périodicité et la nature des examens cliniques et paracliniques ?	
1.5.- Quelles sont les conditions de reprise de l'activité professionnelle après un arrêt de travail pour maladie ou accident ?	
1.6.- Pathologies supposées augmenter les risques des expositions hyperbares	
1.7.- Conclusion : examens respiratoires à réaliser dans le cadre de la détermination de l'aptitude médicale à l'exposition au risque hyperbare	
2.- Le bilan paraclinique en ORL	p. 83
2.1.- Rappels des risques ORL	
2.2.- Pathologies préexistantes qui augmentent le risque ORL	
2.3.- Le dépistage des pathologies ORL en hyperbarie	
2.4.- Les examens complémentaires recommandés	
3.- Le bilan paraclinique en cardiologie	p. 88
3.1.- Les facteurs de risque	
3.2.- L'examen médical	
a) Clinique	
b) Paraclinique	
c) L'examen médical de reprise	
d) Au total :	
4.- Le bilan paraclinique de l'appareil locomoteur	p. 99
4.1.- Rappel des risques en hyperbarie pour l'appareil locomoteur :	
4.2.- Les pathologies préexistantes qui peuvent augmenter les risques	
4.3.- Le dépistage des pathologies créées par l'hyperbarie	
4.4.- Les examens recommandés	
5.- Le bilan d'aptitude en ophtalmologie	p. 104
5.1.- Conséquences du milieu sur la fonction visuelle et risques associés	
5.2.- Aggravation par l'hyperbarie des pathologies préexistantes	
5.3.- Exploration de la fonction visuelle pour l'aptitude à l'hyperbarie professionnelle	
6.- Aptitude au travail hyperbare et affections neurologiques et psychiatriques	p. 110
6.1.- Rappel des risques de l'hyperbarie sur le système nerveux central	
6.2.- Pathologies et conditions préexistantes qui augmentent les risques de l'hyperbarie sur le système nerveux central	
6.3.- Dépistage des pathologies neurologiques et psychiatriques créées par l'hyperbarie	
6.4.- Les examens complémentaires recommandés	
6.5.- Restrictions d'exposition recommandées	
7.- Aptitude au travail hyperbare et affections hématologiques	p. 119
7.1.- Rappel des risques hématologiques en hyperbarie	
7.2.- Recherche de pathologies préexistantes qui augmentent les risques	
7.3.- Le dépistage des pathologies créées par l'hyperbarie	
7.4.- Les examens recommandés	
7.5.- Restrictions d'exposition et conditions d'exposition autorisées en fonction des résultats des explorations	
8.- Aptitude au travail hyperbare, fonction rénale et affections des reins	p. 123
8.1.- Rappel des contraintes néphrologiques en hyperbarie sèche et en immersion	
8.2.- Pathologies préexistantes susceptibles d'augmenter les risques	
8.3.- Les examens recommandés	
8.4.- Restrictions d'exposition en fonction des résultats des explorations	

9.- Les autres examens biologiques complémentaires pour l'aptitude au travail hyperbare	p. 128
9.1.- Rappel des risques	
9.2.- Le diabète	
9.3.- L'usage habituel de produits psychotropes	
10.- Travail en milieu hyperbare et maladies cutanées	p. 134
10.1.- Rappel des risques de l'hyperbarie	
10.2.- Les pathologies préexistantes qui peuvent augmenter les risques	
10.3.- Le dépistage des pathologies créées par l'hyperbarie	
10.4.- Les examens recommandés	
10.5.- Les restrictions d'exposition et les expositions autorisées en fonction des résultats des examens complémentaires	
11.- Recommandations de bonnes pratiques en matière d'aptitude dentaire pour les expositions au milieu hyperbare	p. 137
11.1.- Rappel des risques bucco-dentaires liés aux expositions hyperbares	
11.2.- Données épidémiologiques	
11.3.- Les pathologies et facteurs favorisant la survenue de complications bucco-dentaires	
11.4.- Dépistage des pathologies bucco-dentaires créées par l'exposition au risque hyperbare	
11.5.- Les examens recommandés	
12.- Gastroentérologie et hyperbarie	p. 146
12.1.- Étude des risques de l'hyperbarie pour l'appareil digestif	
11.2.- La démarche décisionnelle	
12.3.- La décision d'aptitude	
13.- Aptitude à l'hyperbarie et gynécologie	p. 150
13.1.- Rappel des risques de l'hyperbarie sur l'appareil gynécologique	
13.2.- Dépistage de la grossesse	
13.3.- Conduite à tenir en cas de grossesse	
13.4.- Lors de l'examen médical de reprise	
14.- Aptitude à l'hyperbarie en fonction de l'âge	p. 155
14.1.- Aptitude des jeunes travailleurs	
14.2.- Aptitude des travailleurs âgés	
15.- Tableaux récapitulatifs des examens cliniques et paracliniques recommandés pour la détermination de l'aptitude à l'exposition au risque hyperbare	p. 161
16.- Impact économique des recommandations	p. 164
III.- Recommandations en fonction des postes et des conditions de travail	p. 167
1.- Classifications des postes de travail	
1.1- Selon le milieu d'intervention	
1.2.- Selon l'activité professionnelle	
1.3.- Selon la pression maximale d'intervention	
2.- Effectifs exposés	
3.- Les risques en fonction des postes	
3.1.- Les risques spécifiques liés à la mention	
3.2.- Les risques liés à la classe	
3.3.- Les risques liés à la technique d'intervention	
3.4.- Les risques infectieux ou parasitaires	
3.5.- Cas particulier des moniteurs de plongée	
3.6.- Cas particulier des travailleurs temporaires	
3.7.- Évaluation de la capacité physique à l'effort	p. 173
Annexe : Évaluation du nombre de salariés mention D	p. 178

Troisième partie :
Propositions de la société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française en matière de formation des médecins chargés de la surveillance médicale des travailleurs exposés au risque hyperbare p. 179

Liste des recommandations p. 183

Annexes p. 192

A. I.- Exemple d'autoquestionnaire pour l'examen médical d'aptitude p. 193

A. IIa.- Questionnaire d'estimation de la $V\cdot O_2$ max de Huet-Leger p. 194

A. IIb.- Questionnaire d'activité physique de Ricci et Gagnon p. 196

A. III.- Suivi et réactualisation des recommandations p. 197

A. IV.- Liste des contributeurs p. 198

A. V.- Groupe de lecture p. 201

A. VI.- Liste des abréviations p. 203

Liste des tableaux

Tableau I : Gradation des recommandations	p. 7
Tableau II : Pressions partielles maximales inhalées admissibles pour les gaz respiratoires	p. 14
Tableau III : Risques spécifiques pour la santé lors des interventions hyperbares	p. 18-19
Tableau IV : Facteurs favorisant des accidents de désaturation observés en plongée subaquatique.	p. 29
Tableau V : Examens complémentaires recommandés pour statuer sur l'aptitude à la reprise de l'activité hyperbare après accident de désaturation en fonction de la forme clinique de l'ADD.	p. 34
Tableau VI : Examens médicaux de la réglementation de 1974	p. 45
Tableau VII : Examens médicaux de la réglementation de 1991	p. 46
Tableau VIII : Différences de pratiques pour la visite initiale entre les centres hospitaliers et les médecins du travail	p. 49
Tableau IX : Différences de pratique pour la visite annuelle entre les centres hospitaliers et les médecins du travail.	p. 50
Tableau X : Examens systématiques pratiqués dans les différents pays interrogés.	p. 57
Tableau XI : Résumé des réponses des spécialistes étrangers	p. 59-61
Tableau XII : Stades de l'insuffisance rénale chronique en fonction du débit de filtration glomérulaire	p. 124
Tableau XIII : Complications ou associations aiguës et chroniques connues dans le diabète et interactions potentielles avec le travail en conditions hyperbares.	p. 130
Tableau XIV : Traitements bucco-dentaires et restrictions temporaires de travail en milieu hyperbare.	p. 143
Tableau XV : Risques de l'hyperbarie en gastro-entérologie et aptitude	p. 147-148
Tableau XVI : Examens recommandés pour la détermination de l'aptitude initiale ou périodique à l'exposition hyperbare.	p. 161-162
Tableau XVII : Examens recommandés pour la recherche des effets au long cours de l'exposition à l'hyperbarie (après 40 ans, sur indication d'un spécialiste expert).	p. 163
Tableau XVIII : Coût de l'examen médical initial au SST et hors SST	p. 165
Tableau XIX : Coût de l'examen périodique annuel	p. 165
Tableau XX : Coût de l'examen quinquennal en fonction de l'âge du salarié	p. 166
Tableau XXI : Tarifs des examens complémentaires optionnels	p. 167
Tableau XXII : Risques d'accidents les plus probables en fonction de la mention et de la classe d'intervention	p. 173

INTRODUCTION

On entend par risque hyperbare l'ensemble des risques pour la santé des travailleurs et de leur entourage de travail dès lors qu'ils sont exposés à des conditions de travail au cours desquelles la pression barométrique dans laquelle ils évoluent est supérieure de 100 hPa à la pression atmosphérique locale.

Le décret 2011-45 du 11 janvier 2011 relatif à la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare introduit le risque hyperbare dans le code du travail (art. R. 4461-1) et répartit les activités professionnelles concernées entre différentes mentions, après formation sanctionnée par l'obtention d'un certificat d'aptitude à l'hyperbarie (CAH) :

- mention A : travaux subaquatiques effectués par des entreprises certifiées ;
- mention B : interventions subaquatiques dans les activités physiques ou sportives, l'archéologie sous-marine et subaquatique, les arts, spectacles et médias, les cultures marines et l'aquaculture, la défense, la pêche et les récoltes subaquatiques, les secours et la sécurité, les techniques, sciences et autres interventions ;
- mention C : interventions sans immersion dans les domaines de la défense, le domaine médical, les secours et la sécurité, les techniques, sciences et autres interventions ;
- mention D : travaux sans immersion effectués par des entreprises certifiées.

Dans chaque mention, les travailleurs sont affectés dans une classe (0, I, II ou III) selon la pression maximale à laquelle ils peuvent être exposés (respectivement 1200, 3000, 5000 et plus de 5000 hPa)

Les employeurs et les travailleurs (au sens de l'article L.4111-5 du code du travail¹) des entreprises œuvrant dans ces domaines sont donc soumis aux dispositions du code du travail. Il en est de même des agents des fonctions publiques et de la défense, qui, dans le cadre de leur statut, sont soumis aux dispositions de la quatrième partie du même code.

Le code du travail (art. L.4161-1, R.4624-23 et D.4161-1) place les travaux hyperbares parmi les risques professionnels particuliers dont les effets de l'exposition doivent être pris en compte :

- par la comptabilisation des expositions au compte professionnel de prévention (à la charge de l'employeur), avec un seuil de 60 interventions ou travaux annuels à au moins 1200 hPa,
- par le médecin du travail, par un suivi individuel renforcé comprenant un examen médical d'aptitude préalablement à l'affectation au poste de travail, dont la périodicité, qu'il détermine, ne peut être supérieure à quatre ans avec une visite intermédiaire à deux ans effectuée par un paramédical.

Il précise en outre (art. R.4626-28) que le médecin du travail détermine les modalités de la surveillance médicale renforcée en tenant compte des recommandations de bonne pratique.

En effet, les recommandations de bonne pratique « ont pour objet de guider les professionnels de santé dans la définition et la mise en œuvre des stratégies de soins à visée préventive, diagnostique ou thérapeutique les plus appropriées, sur la base des connaissances médicales avérées à la date de leur rédaction » (Conseil d'État, 27 avril 2011).

¹ Les travailleurs sont les salariés y compris temporaires et les stagiaires, ainsi que toute personne placée à quelque titre que ce soit sous l'autorité de l'employeur.

Par ailleurs, le code de Déontologie médicale (art. R.4127-32 du code de la santé publique) prescrit au médecin d'assurer des soins « fondés sur les données acquises de la science ».

Les recommandations qui existaient auparavant étaient celles de l'arrêté du 28 mars 1991 définissant les recommandations aux médecins du travail chargés de la surveillance médicale des travailleurs intervenant en milieu hyperbare (J.O. du 26 avril 1991). Elles ont été reprises sans modifications dans l'ouvrage *Physiologie et Médecine de la Plongée* (Broussolle et coll. 2006), puis abrogées par l'arrêté du 28 décembre 2015 (J.O. du 23 janvier 2016). Reflétant l'état des connaissances de leur époque, elles sont obsolètes.

Par exemple, le rôle du *foramen ovale* perméable dans la survenue des accidents de désaturation faisait alors l'objet de controverses (Moon et al 1989, Wilmschurst 1992). L'œdème pulmonaire d'immersion était à peine identifié et son étiologie était discutée (Wilmschurst et al 1989). Des pathologies chroniques comme l'asthme (Regnard et Méliet 2001), le diabète ou l'hypertension artérielle ont fait l'objet de débats et permettent, sous certaines conditions, la pratique de certaines activités hyperbares.

Pour toutes ces raisons, la Société de Physiologie et de Médecine subaquatiques et hyperbares de langue française (MEDSUBHYP) s'est associée avec la Société française de Médecine du Travail (SFMT) pour élaborer des recommandations de bonne pratique à l'usage des médecins du travail (ou des médecins de prévention dans la fonction publique et assimilée) appelés à se prononcer sur l'aptitude des travailleurs exposés au risque hyperbare.

Au-delà des médecins du travail et des médecins de prévention, elles s'adressent également aux autres membres des équipes pluridisciplinaires de santé au travail, aux médecins des centres d'expertise spécialisée, aux médecins et paramédicaux des secteurs public et privé intervenant dans la décision d'aptitude des travailleurs non salariés (plongée de loisir, archéologie sous-marine, etc.) ainsi qu'à tous les spécialistes d'organes pouvant être sollicités comme sapiteurs par les médecins du travail.

Pour l'application de ces recommandations, nous appellerons **exposition hyperbare** toute situation de travail au cours de laquelle la pression barométrique ambiante est supérieure d'au moins 100 hPa à la pression barométrique locale. De telles situations se rencontrent dans nombre de métiers : toutes les activités professionnelles subaquatiques à une profondeur supérieure ou égale à un mètre d'eau, et toutes les activités qui se déroulent dans des enceintes où la pression atmosphérique a été artificiellement augmentée : sas d'intervention dans les chambres de coupe des tunneliers, caissons hyperbares thérapeutiques, enceintes de confinement des réacteurs nucléaires, carlingues d'aéronefs soumis aux essais de résistance en pression. La population des travailleurs ainsi concernée est actuellement évaluée entre 10 000 et 11 000 personnes (voir partie 2, chapitre III, p. 170), tous statuts confondus (salariés du régime général et des régimes particuliers — MSA, marine marchande, intermittents du spectacle, RSI, etc. — militaires et agents de la fonction publique).

Ces situations, où la physiologie est soumise à des contraintes inhabituelles, présentent des dangers, exposés dans le chapitre 1, qui peuvent être à l'origine d'accidents ou d'altérations de la santé des travailleurs qui y sont exposés. Bien que *stricto sensu* le risque s'entende comme la probabilité de survenue d'un dommage, le langage commun confond le danger et le risque : on parle de risque professionnel en général, de risque hyperbare en particulier, comme l'indique l'article R.4624-18 du code du travail.

L'aptitude médicale au poste de travail n'a pas de définition légale. Pour les éléments d'une discussion exhaustive de cette notion fondamentale en droit français, nous renvoyons au rapport parlementaire n° 2014-142R².

Pour notre part, nous considérerons l'aptitude médicale comme l'absence d'éléments de santé, constitutifs ou acquis, qui seraient susceptibles :

- de majorer les risques pour la santé auxquels le travailleur est exposé (accidents du travail, maladies professionnelles, maladies d'origine professionnelle),
- d'être aggravés du fait du travail,
- plus généralement, de retentir sur la sécurité du travailleur ou de ceux qui travaillent avec lui.

La détermination de l'aptitude médicale aux activités professionnelles hyperbares consiste donc en première analyse en la recherche des éléments médicaux susceptibles d'aggraver le risque naturel, puis à évaluer la compatibilité des éléments médicaux observés avec les risques spécifiques du poste de travail.

Au total, l'objectif de ces recommandations, reflet d'un consensus d'experts (le groupe de travail) basé sur les données acquises de la science au moment de leur rédaction, élaborées selon une méthodologie approuvée par la SFMT et d'après la méthodologie de référence de la Haute Autorité de Santé, est de donner aux médecins du travail les éléments de décision d'aptitude propres à réduire le risque d'altération de la santé des salariés appelés à travailler dans ces conditions physiques particulières.

La valeur juridique de ces recommandations est de refléter, au moment de leur publication, les données acquises de la science. Elles constituent un socle minimum d'éléments à connaître et d'examen à pratiquer mais ne s'opposent pas à ce qu'il en soit fait davantage, en vertu de l'art. R.4624-35 du code du travail. De plus, le médecin garde sa liberté de prescription : il lui appartient donc de justifier s'il estime nécessaire de s'exonérer des recommandations.

La Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française et la Société française de médecine du travail sont les gardiennes de ces recommandations. Elles suivent en permanence l'évolution des connaissances chacune dans leur domaine et peuvent, de ce fait, initier une révision des recommandations. En outre, des difficultés peuvent surgir dans l'application de telle ou telle disposition. Un retour d'information auprès des rédacteurs est donc nécessaire pour les prendre en compte et y remédier. La procédure du suivi de l'application des recommandations et de leur actualisation fait l'objet de l'annexe I du présent document.

Références

Broussolle B, Méliet JL, Coulange M (eds). Physiologie et Médecine de la Plongée. Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006, 880 p.

Haute Autorité de santé. Élaboration de recommandations de bonne pratique méthode : « Recommandations pour la pratique clinique ». Guide méthodologique. HAS, Saint Denis la Plaine. 2010, 24 p.

² Issindou M, Ploton C, Fantoni-Quinton S, Bensadon AC, Gosselin H. Rapport du groupe de travail « Aptitude et médecine du travail ». Rapport n° 2014-142R. Ministère du travail, de l'emploi, de la formation professionnelle et du dialogue social, Paris, mai 2015. 112 p. Disponible sur : http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_du_groupe_de_travail_aptitude_medecine_du_travail_2014-142R_.pdf

Moon RE, Camporesi EM, Kisslo JA. Patent foramen ovale and decompression sickness in divers. Lancet. 1989 Mar 11 ; 1 (8637) : 513-4.

Regnard J, Méliet JL. Asthme : plonger ou ne pas plonger ? Rev Mal Respir. 2001 Sep; 18 (4 Pt 1): 375-7.

Wilmshurst PT, Nuri M, Crowther A, Webb-Peploe MM. Cold-induced pulmonary oedema in scuba divers and swimmers and subsequent development of hypertension. Lancet. 1989 Jan 14; 1 (8629): 62-5.

Wilmshurst P. Patent foramen ovale and subaqua diving. BMJ 1992, 16 ; 304 (6837) : 1312.

MÉTHODOLOGIE

Il a été décidé que l'élaboration des nouvelles recommandations serait menée selon une procédure conforme à celle retenue par la HAS. Le Dr Corinne Letheux, médecin-conseil du CISME (Centre interservices de santé au travail en entreprise), a pris les contacts nécessaires auprès de la HAS, qui a délégué la Société française de médecine du travail (SFMT) pour ce projet et lui a demandé de le superviser. La SFMT a désigné comme correspondant le Dr Brice Loddé, praticien hospitalier et médecin du travail.

Un groupe de travail a été constitué, comprenant, outre les membres du conseil scientifique de MEDSUBHYP et le représentant de la SFMT, des spécialistes de différentes origines, tous compétents en hyperbarie.

Composition du groupe de travail* :

Au titre du conseil scientifique de MEDSUBHYP :

Nom Prénom	Qualité
Barthélémy Alain abarthelemy13@orange.fr	Praticien hospitalier (er) Ancien président de la Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française
Blatteau Jean-Éric je.blatteau@infonie.fr	Professeur agrégé du Val de Grâce Président de la Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française
Constantin Pascal pascalconstantin@free.fr	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) – Hôpital du Val de Grâce – Paris
Coulange Mathieu Mathieu.COULANGE@ap-hm.fr	Chef du service de Médecine Hyperbare et Subaquatique Hôpital Sainte Marguerite – Marseille
Letellier Pierre piletellier@wanadoo.fr	Professeur Émérite – Université Pierre et Marie Curie – Paris
Méliet Jean-Louis jean-louis.meliet@orange.fr	Médecin du travail (er) Ancien spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) Président honoraire et coordinateur du conseil scientifique de la Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française
Pontier Jean-Michel jm.pontier@free.fr	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) – Hôpital Sainte-Anne – Toulon
Rostain Jean-Claude jean-claude.rostain@univ-amu.fr	Directeur de Recherche UMR – MD2, P2COE Faculté de médecine Nord – Marseille
Wendling Jürg mail@wendling.ch	Médecin d'entreprise (Société suisse de médecine du travail) Spécialiste santé et sécurité en hyperbarie (Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail) Vice-président de l'EDTC

* Les coordonnées complètes des personnes citées figurent en fin d'ouvrage (Liste des contributeurs, p. 195)

Au titre des experts adjoints au conseil scientifique :

Nom Prénom	Qualité
Borgnetta Marc marc.borgnetta@wanaddo.fr	Chef du service médical de l'Institut National de Plongée Professionnelle – Marseille
Galland François Michel fm.galland@aist83.fr	Médecin du travail – Ollioules Ancien spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée)
Hugon Michel hugonmichel@gmail.com	Chef du service de Médecine Hyperbare et Expertise Plongée – Hôpital Sainte Anne – Toulon Consultant national pour la médecine de la plongée dans les armées
Lafay Vincent vincent.lafay@medecins-saint-antoine.fr	Cardiologue Hôpital Sainte Marguerite – Marseille
Lodde Brice brice.lodde@chu-brest.fr	Médecin du travail MCU-PH Hôpital Morvan – Brest Représentant de la SFMT
Thomas Emilie emilie.thomas23@gmail.com	Interne Service de médecine hyperbare – Hôpital Sainte Marguerite – Marseille

Le Dr J.L. Méliet, coordinateur du conseil scientifique, a assuré le pilotage du projet.

Les différents chapitres de la première version du document ont été rédigés soit par les membres du GT, soit demandés à des experts de différentes spécialités.

La participation de représentants des catégories socioprofessionnelles concernées n'a pas été incluse à ce stade.

Première partie : État des lieux

I : Les dangers et les risques

- | | |
|---|-------------------------|
| 1.- Les lois de la physique | P. Letellier |
| 2.- Conséquences physiologiques | JL Méliet – JE Blatteau |
| 3.- Les risques en fonction de la phase de l'intervention hyperbare | JL Méliet – JE Blatteau |

II : État des pratiques en santé au travail en France

- | | |
|---|--------------|
| 1.- Historique de la réglementation française | M. Borgnetta |
| 2.- Pratiques actuelles | JL Méliet |

III : État des pratiques à l'étranger

J. Wendling

Deuxième partie : propositions

- | | |
|---|----------------------------------|
| I : Objectifs des examens médicaux d'aptitude | JL Méliet |
| II : Les examens recommandés | |
| 1.- En pneumologie | B. Lodde |
| 2.- ORL | R. Meller |
| 3.- Cardiologie | V. Lafay |
| 4.- Appareil locomoteur | J. Wendling |
| 5.- Ophtalmologie | F. Orsini – V. Poncin |
| 6.- Neurologie et psychiatrie | JA Micoulaud Franchi – V. Michel |
| 7.- Hématologie | JF Schved |
| 8.- Fonction rénale | J. Regnard |

9.- Autres examens complémentaires	JL Méliet
10.- Dermatologie	A. Henckes – M. Eusen
11.- Affections dentaires	M. Gunepin
12.- Gastro-entérologie	B. Pillet
13.- Gynécologie	E. Thomas
III : Recommandations en fonction des postes de travail	JL Méliet

Troisième partie : Recommandations pour la formation des médecins chargés de la surveillance médicale des travailleurs hyperbares

Ensemble du GT

Chaque rédacteur a été invité à dresser la bibliographie de son chapitre, en prenant en compte l'interrogation des bases de données, les références aux ouvrages, les thèses accessibles, la littérature grise.

Les textes soumis par les différents auteurs ont été revus par les membres du GT. Des compléments, éclaircissements, précisions, ou des modifications ont pu être demandés selon les cas aux auteurs. Les recommandations ont été mises en cohérence puis ont fait l'objet d'une cotation selon la norme retenue par la HAS pour les études thérapeutiques (tableau I).

Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature		Grade des recommandations
Niveau 1	Essais comparatifs randomisés de forte puissance Méta-analyse d'essais comparatifs randomisés Analyse de décision fondée sur des études bien menées	A Preuve scientifique établie
Niveau 2	Essais comparatifs randomisés de faible puissance Études comparatives non randomisées bien menées	B Présomption scientifique
Niveau 3	Études cas-témoins Études de cohortes	C Faible niveau de preuve
Niveau 4	Études comparatives comportant des biais importants Études rétrospectives Séries de cas	

Tableau I : Gradation des recommandations (d'après le document « Élaboration de recommandations de bonne pratique », HAS, décembre 2010).

Tous les membres du groupe de travail ont établi une déclaration publique d'intérêts conformément aux procédures de la HAS. Les éléments recueillis (à l'exception des informations concernant les membres de la famille) peuvent être obtenues sur demande au coordinateur du groupe de travail.

Le document provisoire établi à ce stade a été revu dans son ensemble par le GT. Les propositions de recommandations retenues à l'issue de ces débats constituaient la version 1 du document et reflétaient donc le consensus des experts du groupe de travail.

Ce texte a été adressé à un panel de 64 personnes constituant un groupe de lecture avec des représentants des différentes catégories professionnelles concernées (employeurs, salariés, responsables de services de santé au travail, médecins du travail), les membres du conseil d'administration de MEDSUBHYP et du conseil scientifique de la SFMT ainsi que le médecin-conseil du CISME. La liste des relecteurs (n = 35) ayant répondu est donnée en annexe IV.

Une version 2 a été établie à l'aide de leurs observations. Une synthèse a été effectuée entre des propositions parfois contradictoires ou éloignées du sujet traité, de manière à conserver une cohérence d'ensemble au document. Cette version a été révisée par le Conseil d'administration de MEDSUBHYP pour aboutir à la présente version.

Première partie

ÉTAT DES LIEUX

CHAPITRE I

LES DANGERS ET LES RISQUES DE L'EXPOSITION AU MILIEU HYPERBARE

I – LES LOIS DE LA PHYSIQUE

1) Notion de pression

1.1.- Pressions absolue et relative

La pression est une grandeur qui résulte de l'action d'une force s'exerçant sur une surface.

La pression absolue P_{abs} est la pression qui s'exerce, au point considéré, dans un milieu.

La pression relative P_{rel} est la pression absolue diminuée de la pression atmosphérique P_{atm} qui s'applique au milieu : $P_{rel} = P_{abs} - P_{atm}$.

1.2.- Définitions et unités

La valeur de la pression s'exprime dans le système international en $N\ m^{-2}$ (newton par m^2). Par convention, cette unité est le *pascal* (symbole : Pa).

Pour ne pas avoir à employer des nombres trop grands pour exprimer les valeurs des pressions dans les conditions de la vie courante, on utilise comme unités pratiques des multiples décimaux du pascal, tels que l'*hectopascal* (100 Pa ; symbole hPa) ou le *kilopascal* (1000 Pa ; symbole kPa), mais aussi le *bar* (symbole bar), qui est égal à 10^5 pascals (100 000 Pa).

Il en résulte que 1 millibar (symbole mbar) = 1 hPa.

D'autres unités de pression sont parfois utilisées dans le cadre de l'hyperbarie médicale. Bien qu'impropres sur le plan de la physique, elles peuvent être retrouvées dans de nombreuses publications, tant françaises qu'étrangères. Il s'agit de :

- l'*atmosphère technique absolue*, ATA, utilisée fréquemment en thérapeutique hyperbare. Un ATA est par convention égal à une pression de 0,981 bar ;

- l'*atmosphère* (atm), tombée en désuétude, qui est égale à 1,013 bar.

Comme on peut le remarquer, l'ATA et l'atmosphère sont des grandeurs dont les valeurs exprimées en bar sont voisines de l'unité.

Pour les calculs approchés, on admettra donc que

$$1\ \text{bar} \approx 1\ \text{ATA} \approx 1\ \text{atmosphère.}$$

- Le *torr* (symbole Torr), utilisé en physiologie respiratoire, tel que 1 atmosphère est égale à 760 Torr. Le torr correspond à l'ancienne unité de pression le millimètre de mercure (mmHg).

- Le *kilogramme par centimètre carré* ($kg\ cm^{-2}$). Cette unité est inappropriée dans le sens où le kilogramme n'est pas une unité de force mais de masse. Sa valeur correspond sensiblement à 1 bar.

L'élévation de la pression ambiante à laquelle est soumis le travailleur hyperbare a des **conséquences physiques** :

2) Sur les gaz ; la loi des gaz parfaits

Pour les « gaz parfaits », c'est-à-dire pour des gaz dont la valeur de la pression est proche de zéro, il existe une relation entre la pression P , appliquée à une certaine masse de gaz exprimée en nombre de moles n , son volume V , et la température T (T en Kelvin = température en degré Celsius + 273,15).

$$P V = n R T$$

R est la constante des gaz parfaits qui vaut, dans le système d'unités international $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

À température constante, pour une masse fixée de gaz, cette relation se réduit à celle proposée par Boyle et Mariotte :

$$P V = \text{constante}$$

Ainsi, pour une masse de gaz parfait, toute augmentation de pression se traduira par une diminution inversement proportionnelle du volume.

La loi des gaz parfaits (de même que celle de Boyle-Mariotte) ne s'applique pas strictement aux gaz utilisés dans les interventions hyperbares, dont la pression est très différente de zéro. Dans ces conditions, on a affaire à des gaz dits « réels ». Toutefois, la loi des gaz parfaits peut raisonnablement être employée pour décrire de façon approchée le comportement des gaz réels. Elle donne une idée des grandeurs impliquées. En revanche, elle ne peut être utilisée pour des calculs précis, par exemple de consommation en gaz des travailleurs, ou encore pour prévoir les quantités de gaz contenu dans les récipients à haute pression.

3) Augmentation de la masse volumique des gaz avec la pression

L'augmentation de pression appliquée à une masse de gaz, contenu dans un volume donné, se traduit par une élévation de sa masse volumique (masse par unité de volume). Ceci a pour effet de modifier les propriétés physiques du gaz, par exemple son écoulement dans un tube (loi de Poiseuille). Les pertes de charge (différence de pression entre deux points du tube) en écoulement turbulent sont proportionnelles à la masse volumique du gaz.

4) Composition d'un gaz

4.1.- Pression partielle, la loi de Dalton

Lorsque l'on mélange dans une enceinte plusieurs gaz parfaits à la même température, on obtient un gaz qui présente également les propriétés d'un gaz parfait.

Pour une température donnée, la pression du mélange est la somme des pressions qu'auraient les différents gaz s'ils occupaient seuls le volume du récipient.

Ces pressions sont appelées « pressions partielles ».

Pour le gaz i , on écrira P_i .

Dans ces conditions, la valeur de la pression partielle d'un gaz est égale au produit de sa fraction molaire par la pression totale du mélange. La fraction molaire d'un gaz (X_i) est égale à son pourcentage en volume divisé par 100. Par exemple pour un mélange d'azote et d'oxygène :

$$X_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{O_2} + n_{N_2}} = \frac{\%O_2}{100}$$

$$X_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n_{O_2} + n_{N_2}} = \frac{\%N_2}{100}$$

$$X_{O_2} + X_{N_2} = 1$$

n_{O_2} et n_{N_2} sont les nombres de moles d'oxygène et d'azote dans le mélange. Pour de l'air, constitué de 21 % d'oxygène et de 79 % d'azote en volume, les fractions molaires des deux gaz sont pour O_2 0,21 et pour N_2 0,79.

La valeur de la pression partielle de l'oxygène dans l'air, à la pression P est :

$$P_{O_2} = X_{O_2} P = \frac{\% O_2}{100} P = 0,21 P$$

La pression totale P est la somme des pressions partielles de chaque gaz constituant le mélange :

$$P = \sum P_i = P_{O_2} + P_{N_2}$$

4.2. – Notion de ppm

Lorsque l'on cherche à caractériser la composition d'un mélange gazeux dont un des constituants est à très faible concentration (un polluant par exemple), les grandeurs de composition, comme le pourcentage ou la fraction molaire ne sont pas adaptées car elles conduisent à des valeurs très petites.

On préfère utiliser la ppm (*partie par million*) dont la définition pour les gaz est conventionnelle : une ppm correspond au mélange d'un volume d'un gaz donné à un million (10^6) de fois ce même volume d'un gaz diluant (l'air le plus souvent).

Exemple : l'article R.4461-17 du code du travail précise que la pression partielle du monoxyde de carbone dans le mélange gazeux effectivement respiré doit être inférieure à 5 pascals, ce qui correspond à une concentration de 5 ppm à la pression atmosphérique, et à 1 ppm pour un mélange (air ou autre) destiné à être respiré à 5 ATA (40 m).

5) Dissolution des gaz dans les liquides

5.1.- À l'équilibre

A température constante, les gaz sont solubles dans les liquides jusqu'à une concentration limite correspondant à une situation d'équilibre. On dit alors que la solution est saturée en gaz.

La position de l'équilibre est totalement définie par les valeurs de la pression partielle du gaz en contact avec le liquide et de sa concentration en solution (concentration = quantité du gaz dissous par unité de volume).

Si on considère un mélange gazeux présentant les propriétés des gaz parfaits, mis en présence d'un liquide, on démontre qu'à température et pression totale constantes, il existe une proportionnalité entre la pression partielle du gaz et sa concentration à l'équilibre en solution (loi de Henry).

Prenons pour exemple un mélange d'azote et d'oxygène mis en présence d'eau à la température T et à la pression absolue P. On écrira :

$$P_{O_2} = X_{O_2} P = K_{hO_2} C_{O_2}$$

$$P_{N_2} = X_{N_2} P = K_{hN_2} C_{N_2}$$

K_{hO_2} et K_{hN_2} sont les constantes de Henry caractéristiques des deux gaz et du solvant considéré.

Strictement, les valeurs des constantes de Henry dépendent de la pression absolue à température constante. Cependant pour des calculs approchés, on peut admettre que ces valeurs restent inchangées avec la pression, auquel cas on étend la validité des relations précédentes aux systèmes dont les pressions absolues varient.

Pour faciliter les calculs de solubilité, on définit la « tension d'un gaz » T_i en solution comme la pression partielle qu'aurait ce gaz s'il était en équilibre de Henry avec sa concentration en solution.

Par exemple, pour une solution où la concentration d'oxygène est C_{O_2} on écrira que la tension de O_2 est telle que :

$$T_{O_2} = K_{hO_2} C_{O_2}$$

Cette définition implique que, lorsque le système est en équilibre de solubilité, la valeur de la tension est égale à celle de la pression partielle du gaz.

Afin d'éviter de multiplier les termes, on convient parfois d'appeler la tension d'un gaz, « pression (partielle) du gaz dissous », que l'on conviendra de noter pour le gaz i P_i .

Pour l'oxygène, on a ainsi :

$$T_{O_2} = P_{iO_2}$$

5.2.- Dissolution des gaz dans un organisme vivant

Les gaz inhalés se dissolvent dans les liquides de l'organisme au travers de l'échangeur pulmonaire, dont la surface d'échange et la température peuvent être considérées en première approximation comme constantes. La durée pendant laquelle le gaz pénètre dans le liquide correspond à la « phase de dissolution ».

Lorsque l'équilibre est atteint, la tension du gaz dissous dans le liquide est égale à sa pression partielle au-dessus du liquide (loi de Henry), c'est-à-dire à la pression partielle du gaz inhalé P_i . On parle d'état de saturation. Le système est à l'équilibre.

Lorsque la pression totale diminue, la tension du gaz dissous devient supérieure à sa pression partielle dans la phase gazeuse : la solution est dite « sursaturée » en gaz. Le passage du gaz du liquide vers la phase gazeuse est appelé « désaturation ».

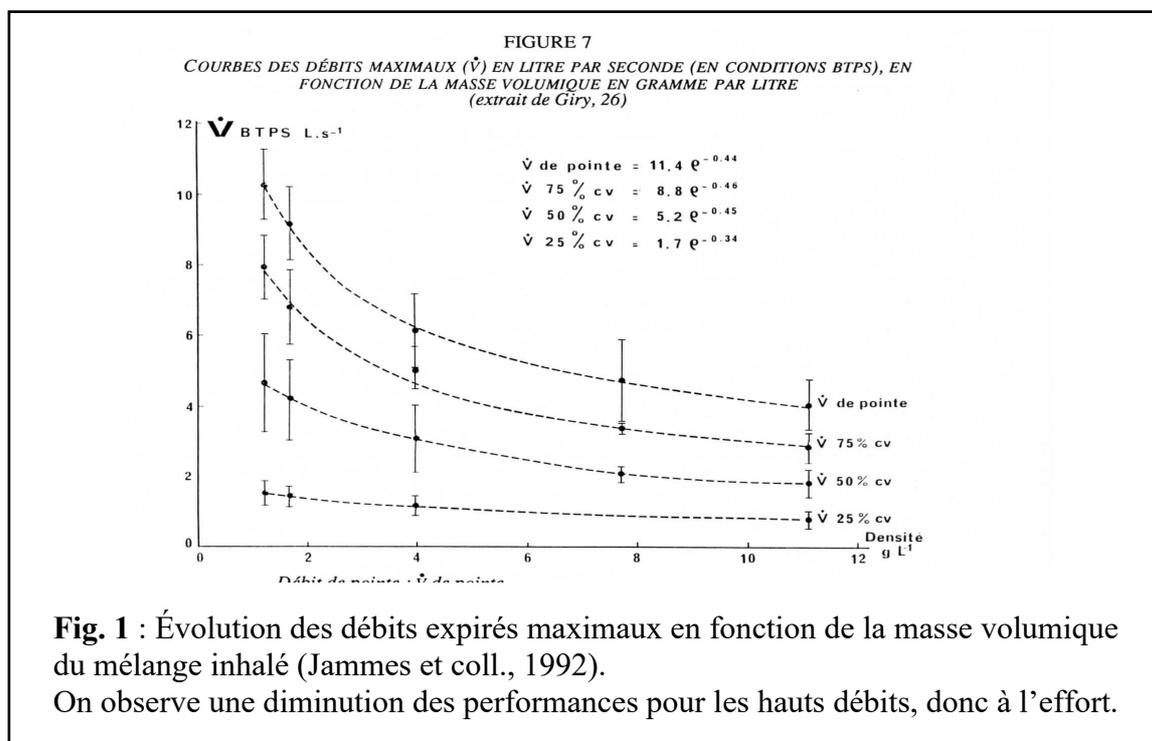
A la différence des gaz physiologiques (oxygène, dioxyde de carbone) qui bénéficient de sites de fixation et de transport, et de mécanismes actifs de fixation et de libération (affinité variable de l'hémoglobine pour l'oxygène, anhydrase carbonique) les gaz dits *inertes* (c'est-à-dire ne jouant aucun rôle physiologique ou métabolique) ne sont présents dans l'organisme que sous forme dissoute, ou de bulles. Toute molécule de gaz inerte qui sera dissoute dans l'organisme à l'occasion de l'élévation de la pression ambiante devra donc être restituée au milieu extérieur au moment du retour à la pression de départ.

II – CONSÉQUENCES PHYSIOLOGIQUES

L'application de ces lois physiques à un organisme humain placé en conditions hyperbares a des **conséquences physiologiques** :

1) Lors de la modification de la pression, les cavités gazeuses de l'organisme sont soumises à des variations de volume. Celles qui ne sont pas directement en contact avec le milieu extérieur (anses intestinales par exemple) retrouveront au retour à la pression atmosphérique leur volume d'origine. Celles qui sont en relation avec le milieu extérieur (poumons, caisse du tympan, sinus de la face) devront restituer à l'atmosphère la quantité de gaz qu'elles auront accumulé.

2) La mécanique ventilatoire est affectée par l'augmentation de masse volumique des gaz inhalés. Les débits expiratoires les plus élevés sont réduits de manière significative (fig. 1), provoquant une rétention alvéolaire de dioxyde de carbone et limitant l'adaptation à l'effort. La réglementation (art. R. 4461-17 du code du travail) limite à 9 g L^{-1} la masse volumique des gaz inhalés.



Par ailleurs, l'augmentation de masse volumique des gaz modifie le spectre de la voix. Cet effet est accentué par l'hélium (effet Donald Duck) qui déplace le spectre de la voix vers les fréquences aigües et modifie la résonance des cavités phonatoires, rendant le discours quasiment incompréhensible dès 4 ou 5 bars (Hollien et coll. 1977, Rothmann et coll. 1980). Ce phénomène est aggravé par le port d'équipements de protection respiratoire.

3) L'élévation des pressions partielles des gaz inhalés, au-delà d'une certaine valeur propre à chaque gaz, déclenche des phénomènes de toxicité aigüe ou chronique, selon le temps d'exposition (ANSES 2014).

Paul Bert (1878) a montré que l'oxygène respiré sous haute pression provoque des crises convulsives généralisées de type grand mal, précédées d'une perte de connaissance. Le temps de latence de la crise convulsive dépend de la valeur de la P_{iO_2} .

Pour des expositions de longue durée (supérieures à 12 heures) à $PiO_2 > 500$ hPa, une atteinte pulmonaire apparaît, avec toux, dyspnée, douleur thoracique respiratoire, diminution de la capacité vitale (Clark et Lambertsen, 1971).

L'inhalation de dioxyde de carbone à $PiCO_2$ élevée entraîne une élévation de la pression artérielle de CO_2 ($PaCO_2$) avec hyperventilation, élévation des débits ventilatoires, dyspnée, hypoventilation alvéolaire. Les effets débutent pour $PiCO_2 = 20$ hPa ; une $PiCO_2 = 100$ hPa conduit au décès.

Le monoxyde de carbone n'est normalement pas présent dans les gaz inhalés. Cependant, à la suite d'une pollution accidentelle, il peut être présent dans le mélange respiré, conduisant à une intoxication identique à celle décrite à la pression atmosphérique et proportionnelle à sa pression partielle.

L'azote contenu dans l'air ou les mélanges respiratoires à base d'air se comporte dès 4000 hPa comme un gaz anesthésique. Les effets sont proportionnels à la PiN_2 et décrits sous le terme général de narcose (Behnke et coll. 1935).

Pour atteindre des pressions de travail supérieures à 6 ATA, l'azote est remplacé par l'hélium comme gaz diluant. Non narcotique, il est utilisé couramment pour des chantiers entre 10 et 30 ATA, au prix d'effets neurologiques transitoires survenant au moment et immédiatement après la compression et décrits sous le terme de syndrome nerveux des hautes pressions (SNHP) (Rostain 2006).

4) Pendant la phase de retour à la pression atmosphérique, si la concentration de chaque gaz dans le mélange respiré ne varie pas, leur pression partielle diminue. Lorsque le mélange gazeux inhalé présente une fraction d'oxygène inférieure à 10 %, la PiO_2 peut devenir inférieure au seuil de 100 hPa, induisant un risque de perte de connaissance hypoxique.

La réglementation fixe les pressions partielles inhalées maximales admissibles pour chaque gaz (tab. II) :

Gaz respiré	Pression partielle maximale de gaz inhalé	Conditions d'exposition
CO_2	10 hPa	
CO	5 Pa	
N_2	5 600 hPa	
O_2 (hors administration d'urgence ou thérapeutique)	1 600 hPa	En immersion ou durée d'exposition < 3 h
	1 400 hPa	Durée d'exposition < 4 h
	1 200 hPa	Durée d'exposition < 5 h
	1 000 hPa	Durée d'exposition < 6 h
	900 hPa	Durée d'exposition < 8 h
	800 hPa	En décompression > 24 h
	> 300 et < 450 hPa	Repos en saturation > 24 h

Tableau II : Pressions partielles maximales inhalées admissibles pour les gaz respiratoires (Code du travail, art R.4461-17 à 20).

Les VLEP des différents polluants atmosphériques (art. R.4222-10, R.4412-149 et 150 CT), données à la pression atmosphérique, doivent être divisées par la pression absolue (en bars) du lieu de travail.

5) La dissolution des gaz inertes dans les liquides de l'organisme nécessite leur rejet dans l'atmosphère lors du retour à la pression de départ. Ces échanges gazeux ne sont pas instantanés. Ils obéissent en première approximation à une loi exponentielle où interviennent la pression partielle du gaz inerte inhalé entre les gaz inhalés et les tensions du gaz dans les différents compartiments de l'organisme.

Pour le gaz i , la pression partielle du gaz respiré P_i et les tensions du gaz dissous au temps t , $T_i(t)$, et au temps $t = 0$, $T_i(0)$, sont liées par la relation suivante :

$$T_i(t) = T_i(0) + (P_i - T_i(0))(1 - e^{-kt})$$

avec :

$T_i(t) = P_i(t)$: pression de gaz inerte i dissous au temps t

$T_i(0) = P_i(0)$: pression de gaz inerte dissous au temps $t = 0$

P_i : pression partielle du gaz inerte inhalé

k : constante de temps dont la valeur est propre à chaque compartiment. Ces compartiments sont parfois assimilés à des « tissus » : on parle de « tissus courts » pour des compartiments ayant des constantes de temps courtes et de « tissus longs » pour des compartiments ayant des constantes de temps longues.

Cette fonction exponentielle est telle que pour l'organisme entier, le temps nécessaire pour obtenir l'égalité $T_i = P_i$, c'est-à-dire l'état de saturation de tous les compartiments, est de l'ordre de un à plusieurs jours selon le gaz inerte.

Si, à l'issue d'un séjour d'une durée t à une pression P , un organisme rejoint la pression atmosphérique sans respecter cette loi d'échange, le gaz inerte contenu dans les solutions sursaturées risque de former des bulles dans les tissus. Au retour à la pression atmosphérique, 12 heures (pour l'azote) à 24 heures (pour l'hélium) sont nécessaires pour effacer cette sursaturation.

Paul Bert a montré en 1878 que les accidents qui survenaient lors de retour trop rapide à la pression atmosphérique après exposition hyperbare à l'air comprimé étaient dus à la présence de bulles de gaz, composées d'azote et de dioxyde de carbone, dans le torrent circulatoire.

En 1908, à partir de données expérimentales, Boycott et coll. ont développé une méthode de calcul, dite « méthode de Haldane », permettant de prévoir des profils de retour à la pression atmosphérique après des expositions hyperbares à l'air comprimé allant de 13 minutes à 7 200 hPa à plus de 3 h à 2 200 hPa. Cette méthode, malgré ses approximations, est toujours utilisée, à côté de modèles plus complexes basés sur la physique des échanges de gaz entre les bulles et leur environnement ou sur la thermodynamique (Imbert et Méliet, 2006).

Les profils de retour à la pression atmosphérique de départ ainsi calculés (vitesse de remontée, temps d'arrêts à des profondeurs déterminées – appelés paliers de décompression – éventuellement nature des gaz inhalés) sont répertoriés dans des « tables de décompression », établies pour une pression atmosphérique de départ au niveau de la mer. Des pressions atmosphériques de départ et de retour différentes nécessitent une correction du profil de décompression, qui fait l'objet d'une procédure particulière. Le calcul des décompressions en temps réel par des ordinateurs portables, adaptés à l'immersion et au séjour en pression, prend en compte ces modifications.

En outre, lorsque deux interventions hyperbares sont effectuées avec un intervalle rapproché (en pratique inférieur à 8 ou 12 heures selon les procédures), il y a lieu de tenir compte du gaz inerte résiduel dans l'organisme. Il en est de même en cas de réduction de la pression atmosphérique à l'issue d'une décompression, que ce soit en raison d'une montée en altitude ou d'un vol en avion. Les procédures réglementaires prévoient des délais à respecter dans ces cas-là³.

Lors du retour à la pression atmosphérique, des bulles de gaz inerte peuvent prendre naissance dans différents compartiments de l'organisme, en particulier dans la circulation sanguine. Elles embolisent alors différents territoires (poumon, encéphale, plexus veineux périmédullaires, moelle osseuse,...), créant les tableaux pathologiques décrits sous le terme d'accidents de désaturation.

6) Les échanges thermiques

Le travail hyperbare peut se dérouler en atmosphère gazeuse comprimée comme en immersion. Dans les deux cas, les échanges thermiques entre le milieu et l'organisme sont largement amplifiés par les caractéristiques physiques du milieu.

Les échanges par conduction sont peu modifiés.

Les échanges convectifs (entre un corps et un fluide) sont au premier plan des échanges thermiques tant en immersion (pertes) qu'en atmosphère sèche (stockage). Deux échangeurs sont concernés : l'enveloppe cutanée et l'appareil respiratoire. Le flux de chaleur échangée dépend de la surface d'échange, de la différence de température entre le fluide et la surface du corps, de la vitesse du fluide, et des caractères physiques du milieu : masse volumique, chaleur massique. C'est pourquoi les échanges cutanés par convection dans l'eau sont 25 fois plus importants que dans l'air à la pression atmosphérique, et les échanges convectifs respiratoires, considérés comme négligeables à la pression atmosphérique, prennent une importance considérable en pression, en particulier pour les sujets qui respirent de l'hélium dont la chaleur massique est 6 fois celle de l'air. Le réchauffage des gaz inspirés devient alors nécessaire.

Les échanges par radiation et convection se rencontrent en atmosphère sèche : travaux de soudage (radiation), activité physique en ambiance chaude (évaporation). La température > 30° C qui règne dans certaines atmosphères d'air comprimé (tunneliers) s'accompagne d'une hygrométrie élevée limitant l'évaporation et favorisant la déshydratation.

³ Deux arrêtés du 30 octobre 2012 l'un pour la mention A (JORF du 13/12/2012), l'autre pour la mention B, option techniques, sciences et autres interventions (J.O.R.F. du 15/12/2012) fixent ces procédures. L'arrêté du 31 juillet 2014 (JORF du 12/8/2014) concerne la sécurité civile (mention B), celui du 21 avril 2016 (JORF du 7 mai 2016) concerne l'archéologie sous-marine (mention B), et celui du 21 décembre 2016 (JORF du 25 février 2017), la police nationale (mention B). Les arrêtés pour les autres mentions et activités n'étaient pas parus au 31/8/2017.

7) Conséquences physiologiques de l'immersion

La masse volumique de l'eau étant 800 fois celle de l'air, il existe une différence de pression hydrostatique entre les membres inférieurs et l'extrémité céphalique d'un organisme immergé en toute position, sauf horizontale. La pression est transmise par les tissus de l'organisme et s'applique aux parois vasculaires, réalisant une compression des réseaux veineux des membres inférieurs, comme le feraient des bas de contention. Ce phénomène a pour effet de déplacer le sang de ces réseaux vers les réseaux compliants abdominaux et thoraciques et d'élever les pressions veineuses et capillaires. On observe alors (Boussuges et Regnard 2006, Cochard et coll. 2013, Bove 2016) :

- une élévation de la pression artérielle et capillaire pulmonaire, favorisant l'extravasation plasmatique,
- un déséquilibre du travail cardiaque avec augmentation concomitante de la précharge et de la postcharge,
- une augmentation du travail ventilatoire, qui impacte la fonction cardiaque, en particulier lors de l'activité physique et en fonction du régime de pression ventilatoire (Castagna et coll. 2018).
- pour les longues durées d'immersion, une déshydratation interstitielle avec diminution du volume plasmatique.

Lorsque les mécanismes physiologiques de régulation sont dépassés, un œdème pulmonaire d'immersion peut apparaître (Wilmshurst 1984).

III – LES RISQUES EN FONCTION DE LA PHASE DE L'INTERVENTION HYPERBARE

Une intervention en milieu hyperbare se déroule toujours selon 3 phases :

- élévation de la pression ambiante, appelée « compression » dans les interventions en ambiance gazeuse et « descente » pour les interventions subaquatiques ;
- séjour à la pression de travail. Selon les nécessités, la pression de travail peut varier en plus ou en moins dans certaines limites. La durée du séjour peut aller de quelques minutes à plusieurs jours ou semaines pour les séjours à saturation ;
- retour à la pression atmosphérique normale. C'est la phase de décompression ou de remontée vers la surface, qui peut durer de quelques minutes à plusieurs jours à la suite d'un séjour à saturation. Elle se caractérise par :
 - la vitesse de décompression,
 - l'existence (ou non) de paliers de décompression (arrêts à une ou des pressions déterminées),
 - la durée des paliers éventuels,
 - la composition des gaz respirés.

Les risques sont différents selon que l'intervention se déroule en immersion ou en atmosphère gazeuse. Le tableau II récapitule les risques spécifiques auxquels sont exposés les travailleurs hyperbares. Les risques non spécifiques (liés aux bruits industriels ou à la manutention par exemple) ne sont pas repris.

Au total, le travail en conditions hyperbares se caractérise par une activité physique modérée à intense, sous contrainte ventilatoire et cardiaque élevée, avec des échanges thermiques (au chaud ou au froid) augmentés, perte plasmatique, réduction de l'intelligibilité de la parole, altération des fonctions cognitives et impossibilité de retour immédiat aux conditions environnementales normales.

Phases	Domaine		Facteurs de risque	Conséquences physiopathologiques	Risques pour la santé
	Sub-aquatique	Atmosphérique			
Immersion	✓		Milieu non respirable	Inhalation d'eau	Noyade
	✓		Redistribution de la masse sanguine vers les vaisseaux du tronc (splanchniques et pulmonaires)	↗ du volume sanguin intrathoracique ↗ du travail cardiaque ↗ du travail ventilatoire ↗ débit urinaire (diurèse)	Œdème pulmonaire d'immersion Arrêt cardiaque
	✓		Température de l'eau	Hypothermie par convection cutanée ou respiratoire Hyperthermie le cas échéant	Troubles du rythme cardiaque Perte de connaissance
Augmentation de la pression ambiante	✓	✓	Augmentation de la pression totale des gaz inhalés : augmentation de la masse volumique	↘ des débits ventilatoires maximaux ↗ du travail ventilatoire	Dyspnée Hypoventilation alvéolaire Hypercapnie, asphyxie
	✓	✓	Augmentation de la pression partielle des gaz inhalés	Pour l'oxygène : hyperoxie aigüe	Crise convulsive avec perte de connaissance
				Azote et gaz inertes : narcose Hélium : SNHP	Perte de connaissance Tremblements, troubles du sommeil
				CO, CO ₂ et polluants atmosphériques	Toxicité proportionnelle à la pression partielle des polluants
✓	✓	Réduction de volume des cavités gazeuses de l'organisme	Réduction du volume gazeux dans l'oreille moyenne	Barotraumatismes de l'oreille moyenne et / ou interne	
Séjour en pression		✓	Augmentation de la température ambiante Hygrométrie élevée	Hyperthermie à l'effort	Déshydratation Hyperthermie maligne (exceptionnel) Réduction de la capacité d'effort
	✓		Température basse	Hypothermie par convection cutanée ou respiratoire	Troubles du rythme cardiaque Perte de connaissance
	✓	✓	Augmentation de la pression totale des gaz inhalés : augmentation de la masse volumique	↘ des débits ventilatoires	Réduction des capacités d'effort physique

Phases	Domaine		Facteurs de risque	Conséquences physiopathologiques	Risques pour la santé
	Sub-aquatique	Atmosphérique			
Séjour en pression (suite)		✓	Élévation de la pression partielle d'oxygène dans l'atmosphère	Hyperoxie aigüe ou chronique	Crise convulsive ou hyperoxie pulmonaire
		✓	Élévation de la concentration d'oxygène		Incendie
	✓	✓	Pollution de des gaz inhalés / de l'atmosphère	Toxicité aigüe ou chronique des polluants	Intoxication
	✓	✓	Modifications du spectre sonore de la voix	Mauvaise compréhension des messages vocaux	Erreurs engageant la sécurité
Retour à la pression atmosphérique (phase de décompression)	✓	✓	Dissolution des gaz inertes dans les tissus de l'organisme	Restitution des gaz au milieu extérieur	Sursaturation de l'organisme : embolisation de bulles (accident de désaturation)
	✓	✓	Décompression explosive accidentelle	Augmentation brutale des masses gazeuses de l'organisme	Rupture d'organes creux Embolie gazeuse cérébrale massive
	✓	✓	Obstacle mécanique sur les voies respiratoires	Expiration impossible	Surpression pulmonaire (embolie gazeuse cérébrale)
	✓		Réduction de pression partielle d'oxygène	Hypoxie	Perte de connaissance brutale Noyade
Émersion	✓		Déshydratation Perte de la compression hydrostatique veineuse dans les membres Modifications de la vasomotricité périphérique	Déplacement brutal de la masse sanguine Réduction de perfusion tissulaire	Hypotension aigüe Défaillance circulatoire Mauvaise désaturation
Période de 12 à 24 h après le retour à la pression atmosphérique	✓	✓	Présence d'une charge résiduelle de gaz inertes dans l'organisme. Persistance du dégazage des tissus	Présence possible de bulles circulantes ou extravasculaires	Embolisation et accident de désaturation si nouvelle intervention ou réduction de pression (vol en avion ou séjour en altitude)
	✓	✓	Nécessité d'un nouveau séjour en pression Redissolution de gaz inertes dans l'organisme	Quantité de gaz inerte dissous plus importante que pour un premier séjour	Embolisation de bulles et accident de désaturation

Tableau III : Risques spécifiques pour la santé lors des interventions hyperbares.
Les risques non spécifiques (ex. : manutention, bruit) ne figurent pas dans ce tableau.

La phase d'augmentation de la pression ambiante s'accompagne :

- de modifications de volumes des masses gazeuses, à l'origine de barotraumatismes,
- d'une augmentation de la masse volumique des gaz inhalés, à l'origine de troubles ventilatoires,
- d'une augmentation de la pression partielle des gaz inhalés, à l'origine de phénomènes toxiques,
- de modifications des transferts thermiques entre l'ambiance et l'organisme.

La phase de séjour en pression expose le travailleur hyperbare :

- à des contraintes ventilatoires,
- aux effets toxiques des gaz,
- à l'augmentation des échanges thermiques,
- à la dégradation de l'intelligibilité de la parole.

Au cours de la phase de décompression, le travailleur hyperbare est exposé :

- aux variations de volume des masses gazeuses dans le sens de l'expansion volumique,
- au dégazage intempestif des tissus en cas de non respect des protocoles de décompression (vitesse de décompression, durée des éventuels paliers),
- à la toxicité de l'oxygène lorsque ce gaz est respiré pur ou en mélange suroxygéné pour faciliter l'élimination des gaz inertes.

Les risques spécifiques de l'immersion s'ajoutent le cas échéant aux risques ci-dessus :

- risque de noyade en cas de perte de connaissance ou de défaut d'étanchéité du dispositif de protection respiratoire,
- risques liés au déplacement de la masse sanguine, à la vasoconstriction périphérique et à l'augmentation du travail cardiaque (hypertension artérielle pulmonaire, œdème d'immersion, défaillance fonctionnelle cardiaque ou cardiopathie de stress).

Au total, les accidents de l'hyperbarie se répartissent en plusieurs catégories, en fonction des conséquences physiopathologiques exercées par le milieu sur l'organisme et des lois physiques qui régissent ce milieu. On distingue :

- les barotraumatismes consécutifs aux variations des volumes gazeux dans les cavités aériques de l'organisme,
- les accidents biochimiques (également appelés accidents « toxiques »), liés aux variations de pression partielle des gaz ventilés,
- les accidents de désaturation, liés à un relargage de gaz sous forme de bulles au moment ou après la décompression,
- enfin, dans les activités subaquatiques, les œdèmes pulmonaires d'immersion et des défaillances cardiaques, à la suite de modifications hémodynamiques et ventilatoires liées aux contraintes environnementales.

Il n'existe pas de statistique épidémiologique publiée des accidents en hyperbarie. Les données disponibles (Hugon et coll. 2006) pour la plongée subaquatique en 2005 faisaient état d'un taux d'incidence dans la marine nationale de 1/30 000 plongées (classe I, plongée à l'air seulement) à 1/3 000 plongées (classe II et III, plongée à l'air et aux mélanges). En plongée de

loisir, le taux d'incidence est estimé à 1/10 000 plongées, toutes catégories de pratiquants confondues.

Les accidents sont répertoriés par les centres thérapeutiques hyperbares qui reçoivent pratiquement uniquement des accidents de plongée. Les plus fréquents (Louge et coll. 2015) sont les accidents de désaturation (60 à 70 %), suivis des œdèmes pulmonaires d'immersion (autour de 10 %) et des barotraumatismes (autour de 10 %). Les barotraumatismes pulmonaires graves sont exceptionnels et représentent 1 à 2 % des accidents. Les barotraumatismes de la sphère ORL (oreille et sinus) représentent la majorité des accidents (80 %) mais ils sont rarement vus en milieu hospitalier.

1) Les barotraumatismes

Lors de l'augmentation de pression, les volumes gazeux sont soumis à la loi de Boyle-Mariotte. Les cavités closes à paroi souple du tractus digestif voient leur volume varier. Les cavités à paroi rigide doivent impérativement communiquer avec l'ambiance gazeuse pour recevoir une masse de gaz compensant la variation de volume. C'est ainsi que la caisse du tympan doit recevoir du gaz par la trompe d'Eustache et que les sinus de la face doivent communiquer avec les voies aériennes supérieures par leur ostium. Le défaut de communication de ces cavités avec l'extérieur est à l'origine d'accidents barotraumatiques de l'oreille moyenne, de l'oreille interne ou des sinus.

Le poumon constitue un cas intermédiaire : il se comporte comme une cavité à parois souples jusqu'à la limite d'élasticité de la cage thoracique. Au-delà, il se comporte comme une cavité à parois rigides.

1.1.- *Les barotraumatismes de l'oreille moyenne*

Une dysperméabilité tubaire est à l'origine de la différence de pression qui s'installe de part et d'autre de la membrane tympanique à l'occasion de l'élévation de la pression ambiante, avec deux conséquences mécaniques : une déformation extrême du tympan, pouvant dépasser sa limite élastique, et un effet de succion au niveau de la muqueuse de la caisse. Se trouve ainsi constitué un barotraumatisme de l'oreille moyenne, associant :

- des signes subjectifs (douleur, bourdonnements, vertiges, surdité)
- des signes otoscopiques dont on décrit cinq stades, selon la classification de Haines et Harris (1946) modifiée par Riu et Flottes (1966) :

- stade I : injection du manche du marteau et de la membrane de Shrapnell,
- stade II : tympan rétracté non mobile, uniformément injecté,
- stade III : tympan congestif, liquide séro-hématique baignant la caisse du tympan,
- stade IV : tympan rouge bombé par le sang qui remplit la caisse (hématotympan),
- stade V : perforation tympanique avec hémorragie dans le conduit auditif externe.

La prévention passe par une bonne perméabilité tubaire et l'exécution correcte des manœuvres d'équipression (manœuvre de Valsalva par exemple).

1.2.- *Les barotraumatismes de l'oreille interne*

L'enfoncement de la membrane tympanique sous l'effet de la pression se transmet par la chaîne des osselets jusqu'à la fenêtre ovale. Sous l'effet d'une variation rapide et de forte intensité, une entorse stapédo-vestibulaire peut se produire, se traduisant par un syndrome

cochléovestibulaire avec surdité, acouphènes, vertiges intenses, vomissements. En immersion, le risque est la noyade.

1.3.- Les barotraumatismes des sinus

L'occlusion d'un ostium sinusien par de l'œdème ou un polype met la cavité sinusienne en dépression relative au moment de l'augmentation de pression, ou au contraire en surpression lors de la réduction de pression ambiante.

Le signe en est la douleur, parfois violente, au niveau du sinus concerné, obligeant souvent à interrompre la variation de pression. Une hémorragie peut survenir. La radiographie effectuée secondairement peut objectiver l'atteinte sinusienne.

La prévention réside dans le maintien d'une perméabilité satisfaisante des ostiums sinusiens.

1.4.- Les barotraumatismes pulmonaires

La masse de gaz contenue dans les poumons est proportionnelle à la pression. Lors du retour à la pression atmosphérique normale, l'excédent de masse gazeuse devra être restitué à l'ambiance.

Si un obstacle mécanique ou physiologique empêche l'écoulement des gaz expirés, le volume pulmonaire augmente jusqu'à la limite d'élasticité de la cage thoracique. Au-delà, la pression intrathoracique augmente, conduisant à la surpression pulmonaire.

Cet accident gravissime se produit essentiellement lors de remontées rapides ou incontrôlées en plongée subaquatique (environ 1 cas / 20 000 à 35 000 plongées), le plus souvent chez des débutants qui maîtrisent mal leur respiration ou dans un contexte de panique. Des cas mortels ont été rapportés dans quelques mètres d'eau. Il peut également survenir lors de décompression explosive d'enceintes pressurisées.

A l'occasion de l'élévation brutale de la pression intra-alvéolaire liée à l'obstacle expiratoire, les parois des alvéoles se rompent. Il se produit une hémorragie alvéolaire et l'injection de gaz sous pression dans les espaces voisins : plèvre, médiastin, circulation pulmonaire. De là, l'embolie gazeuse massive chemine jusque dans la circulation cérébrale.

Le tableau clinique complet, quasiment immédiat, associe :

- des signes généraux : cyanose, état de choc, perte progressive de la conscience ;
- des signes pulmonaires : toux, douleur thoracique, dyspnée, crachats hémoptoïques, arrêt respiratoire. Il peut exister un pneumothorax. La tomодensitométrie thoracique objective des masses de gaz pleurales, médiastinales (la présence d'un pneumomédiastin est caractéristique) ou parenchymateuses, et des infiltrats alvéolaires irrégulièrement distribués ;
- des signes neurologiques centraux : crise convulsive, aphasie, amaurose, hémi ou tétraplégie, coma ;
- un emphysème sous-cutané dans les cas typiques, siégeant au niveau du cou et pouvant intéresser la face, signant l'extériorisation des masses de gaz médiastinales.

En l'absence du traitement spécifique (recompression d'urgence en caisson hyperbare sous oxygénothérapie), l'évolution est péjorative.

La prévention consiste à maintenir en permanence la liberté des voies aériennes pour permettre une expiration sans obstacle (la formation joue ici un rôle primordial) et à dépister les pathologies à risque (sujets avec antécédents d'attaque de panique, pathologies pulmonaires obstructives notamment).

1.5.- Les barotraumatismes digestifs

Survenant le plus souvent chez des débutants ou des sujets anxieux, à la suite d'une déglutition importante pendant le séjour en pression, ils peuvent prendre deux formes :

- une forme bénigne, la « colique du scaphandrier ». Il s'agit de douleurs abdominales, accompagnées de tympanisme, apparaissant au retour à la pression atmosphérique normale. Le traitement est la recompression thérapeutique.
- une forme grave, par syndrome de Mallory-Weiss, pouvant conduire à la péritonite. Le traitement est chirurgical.

Il n'y a pas de mesure de prévention à proprement parler, si ce n'est d'éviter d'absorber des boissons gazeuses ou effervescentes avant ou pendant l'intervention hyperbare.

1.6.- Les barotraumatismes dentaires

Lorsqu'il existe une bulle d'air sous une obturation dentaire, cette cavité se trouve en dépression relative lors de l'élévation de la pression ambiante. À l'inverse, du gaz peut pénétrer dans la cavité lors de l'élévation de la pression ambiante et y rester piégé lors de la décompression.

Ces variations de la pression se traduisent par de vives douleurs dentaires. L'odontalgie barotraumatique se termine lorsque la limite de résistance de la dent est atteinte et que la dent se brise. L'ingestion ou l'inhalation de débris dentaires est alors possible, avec un risque de panique et de remontée en catastrophe, d'obturation bronchique à l'origine d'une surpression pulmonaire.

La prévention réside dans la réalisation d'obturations dentaires de bonne qualité, exemptes de bulles d'air.

2) Les accidents ventilatoires

Souvent décrits sous le terme générique d'essoufflement, il s'agit d'une hyperpnée (en réponse à une hypoventilation alvéolaire facilitée par l'inhalation d'une PiO_2 hyperoxique) survenant à l'effort. Les sensations liées au travail ventilatoire excessif et à l'hypercapnie peuvent devenir anxiogènes, jusqu'à la panique, et à la polypnée (l'hyperpnée étant devenue insoutenable par fatigue des muscles ventilateurs), et l'hypercapnie parfois conduire à la perte de connaissance brutale. Dans la plupart des cas, les symptômes sont progressivement résolutifs avec l'arrêt de l'effort et le retour à la pression atmosphérique, en dehors de céphalées, liées à l'hypercapnie, qui peuvent persister.

La prévention passe par :

- la limitation des efforts physiques en pression,
- le remplacement en tout ou partie du gaz inerte respiratoire naturel (l'azote) par un gaz plus léger, l'hélium.

3) Les accidents toxiques

3.1.- Toxicité de l'oxygène : l'hyperoxie

On n'observe aucun effet toxique quel que soit le temps d'exposition si l'oxygène est respiré sous une pression partielle inférieure à 0,6 ATA.

Entre 0,6 et 1,6 ATA, le temps nécessaire pour l'apparition des phénomènes toxiques est long (plusieurs heures) : on parle de toxicité chronique.

Au-delà de 1,7 ATA, le temps de latence diminue très rapidement : on parle de toxicité aiguë.

a) Toxicité chronique de l'oxygène

Encore appelée effet Lorrain-Smith, du nom du physiologiste qui la mit le premier en évidence, elle se traduit par une alvéolite inflammatoire puis exsudative, pouvant aboutir à des atélectasies et à un tableau d'insuffisance respiratoire.

En fonction du temps d'exposition et en oxygène pur, le temps de tolérance varie avec la pression absolue. Il est de :

- 24 heures à 1 ATA (en surface),
- 15 heures à 1,5 ATA ou 5 mètres de profondeur,
- 10 heures à 2 ATA ou 10 mètres de profondeur,
- 6 heures à 3 ATA ou 20 mètres de profondeur.

On observe :

- au début, une douleur rétrosternale à l'inspiration profonde,
- puis une trachéite inflammatoire avec toux persistante et incontrôlable malgré la douleur,
- une dyspnée s'installe enfin.

L'exploration fonctionnelle montre une diminution très précoce de la capacité vitale et de la capacité de diffusion alvéolocapillaire (TLCO par exemple).

La radiographie montre des images d'alvéolite diffuse.

Ces signes sont régressifs en deux ou trois jours après retour à la normoxie. Cependant, des signes de fibrose pulmonaire, pouvant aller jusqu'au syndrome de défaillance respiratoire aiguë, ont été observés après exposition prolongée.

b) La toxicité aiguë de l'oxygène

La respiration de pressions élevées d'oxygène ($PiO_2 > 1,7$ ATA) expose après un temps de latence, aux effets neurotoxiques de l'oxygène (effet Paul Bert) se manifestant par une crise convulsive.

Ce temps de latence, asymptomatique, varie selon les individus et les circonstances (travail physique, froid, immersion, hypercapnie, produits excitants le diminuent). On considère habituellement comme ordre de grandeur (Louge et Méliet 2006) :

- 7 heures pour $PiO_2 = 1,7$ ATA
- 3 heures pour 1,8 ATA
- 50 mn pour 2 ATA
- 30 mn pour 3 ATA
- 10 mn pour 3,5 ATA.

Les prodromes sont inconstants ; ils se résument, lorsqu'ils sont observés à :

- un malaise anxieux général,
- des fasciculations ou un trismus de l'orbiculaire des lèvres ou des muscles du visage,
- une tachycardie transitoire qui passe inaperçue ;
- un rétrécissement périphérique du champ visuel (vision tunnelaire).

La perte de connaissance inaugure la crise qui se déroule ensuite comme une crise de grand mal, en trois phases :

- phase tonique de contracture généralisée (moins d'une minute),
- phase clonique de convulsions avec morsure de la langue et émission d'urines (2 à 3 minutes),
- phase de coma postcritique (10 minutes environ) évoluant vers un état de conscience confus et désorienté.

Le sujet ne conserve aucun souvenir de sa crise.

Les conséquences pathologiques d'une telle crise sont celles de sa survenue dans l'eau : noyade, remontée rapide avec surpression pulmonaire ou accident de décompression.

Le traitement se résume à la suppression de la cause (revenir à une PiO_2 proche de la normoxie) et à la prise en charge des conséquences éventuelles.

c) Prévention de l'hyperoxie

La réglementation (art. R4461-19 CT) fixe les limites des pressions partielles inhalées d'oxygène qui doivent être respectées en fonction du temps d'exposition et en fonction de la phase de l'intervention (tableau II, p. 16).

3.2.- Les accidents liés au dioxyde de carbone

L'hypercapnie peut être d'origine ventilatoire (essoufflement, incapacité à réaliser ou maintenir les débits expiratoires nécessaires pour éliminer le CO_2), secondaire à une mauvaise épuration des gaz respirés en circuit fermé dans certains appareils isolants respiratoires ou à une pollution accidentelle des gaz respirés.

L'augmentation de l'amplitude et de la fréquence ventilatoire est le premier signe, dès 20 hPa de $PiCO_2$. Des céphalées apparaissent entre 20 et 30 hPa. L'essoufflement est incontrôlable pour 60 hPa (6 % de CO_2 à la pression atmosphérique). Au-delà, l'insuffisance respiratoire aiguë s'aggrave, conduisant à la perte de connaissance hypoxique brutale par hypoventilation alvéolaire.

En immersion, cette perte de connaissance peut être fatale.

De plus, tous les sujets ne perçoivent pas l'apparition de l'hypercapnie et peuvent sans signe prémonitoire se trouver en état de moindre acuité cognitive et décisionnelle (Shykoff et coll. 2012, Warkander et coll. 2014).

La prévention s'exerce à plusieurs niveaux :

- le contrôle de la qualité des gaz respiratoires (art. R.4461-17 à 19 du code du travail),
- la réduction de la masse volumique des gaz respirés, qui doit rester inférieure à 9 gL^{-1} à la pression d'utilisation,
- l'usage d'équipements de protection respiratoires conformes aux normes CE/AFNOR.
- la maîtrise par l'intervenant de ses efforts physiques et de sa ventilation.

3.3.- L'intoxication au monoxyde de carbone

Le CO n'est normalement pas présent dans les gaz respiratoires. Une pollution accidentelle peut cependant se produire :

- dans une enceinte hyperbare, lors d'une combustion accidentelle ou par libération de fumées et gaz de soudage,
- dans les gaz respirés, par aspiration de gaz d'échappement de moteur thermique.

Les signes sont identiques à ceux observés à la pression atmosphérique et dépendent de la pression partielle de CO inhalé et du temps d'exposition.

Le code du travail fixe à 0,05 hPa (5 Pa, soit 50 µbar) la pression partielle maximale admissible du CO inhalé.

À la pression atmosphérique, le CO est toxique à partir de 70 ppm et une concentration supérieure ou égale à 1000 ppm peut entraîner un décès immédiat (Mathieu et coll. 2002, Testud 2005). Pour un gaz respiré sous une pression de 5 bar, les concentrations équivalentes respectives seraient de 14 et 200 ppm.

3.4.- La toxicité de l'azote et des gaz inertes

L'azote est le principal gaz inerte utilisé en hyperbarie. L'argon peut être retrouvé dans des enceintes après travaux de soudage, le néon a été utilisé à des fins expérimentales.

L'hélium constitue une exception : son pouvoir narcotique n'a été observé que dans des circonstances exceptionnelles, lors d'exposition expérimentales à très haute pression, au-delà de 40 ATA (Bennett et Rostain, 2003).

L'hydrogène montre des propriétés narcotiques à partir de 20 ATA (Gardette et Comet 2006). Il n'a été utilisé qu'à titre expérimental.

L'azote induit des modifications psycho-comportementales décrites sous le terme de narcose, dès 5 ATA (exposition à l'air comprimé) chez les sujets les plus sensibles. Au-delà de 8 ATA personne n'y échappe.

Le tableau associe :

- des troubles subjectifs avec tendance euphorique, sensation de déséquilibre, détachement du monde extérieur, augmentation du dialogue intérieur ;
- des troubles de l'idéation : baisse de l'attention, fuite des idées, altération du raisonnement, dispersion et viscosité mentales ;
- des troubles du comportement et de la coordination, avec déséquilibre thymique (euphorie, irritabilité ou anxiété) ;
- une altération profonde de la mémoire immédiate.

Sur le plan neurologique, il n'y a pas de troubles moteurs et les réflexes ne sont pas modifiés. Il existe une hypoesthésie superficielle, profonde et algique. L'EEG montre une disparition de la réaction d'arrêt du rythme alpha occipital.

En phase terminale, les troubles psychiques et moteurs sont graves : excitation, état maniaque avec agitation et cris, agressivité. Des hallucinations sensorielles (sonores, visuelles) ou somesthésiques, des troubles moteurs (incoordination, raideur) apparaissent. Le tableau s'achève par une perte de connaissance.

Le traitement consiste à retirer le sujet de l'ambiance toxique par réduction de la pression ambiante ou remplacement du gaz inerte par un gaz moins narcotique.

La prévention passe par le respect de la limite réglementaire de la pression partielle maximale d'azote inhalé (5 600 hPa), puis par le remplacement en tout ou partie de ce gaz par un gaz non narcotique : l'hélium. Les interventions peuvent ainsi se dérouler sous respiration d'un mélange binaire He-O₂, ou ternaire He-N₂-O₂, encore appelé « trimix ». La concentration en oxygène est calculée pour rester dans les limites réglementaires à la profondeur d'intervention.

3.5.- Le syndrome nerveux des hautes pressions (SNHP)

Le SNHP se manifeste pour les expositions à l'hélium au-delà de 15 bars de pression totale. Il s'agit le plus souvent d'expositions en caissons permettant à des plongeurs d'atteindre des profondeurs jusqu'à 300 mètres, mais des techniques actuellement employées dans certaines activités (spéléologie en particulier) permettent d'atteindre 200 mètres en plongée autonome.

Le tableau associe des tremblements fins des extrémités, altérant la dextérité manuelle, des troubles de la vigilance (apparition d'ondes lentes à l'EEG), des nausées et sensations vertigineuses, une désorganisation des phases du sommeil (disparition du sommeil paradoxal), l'ensemble entraînant une réduction notable des performances psychomotrices et de l'efficacité opérationnelle de l'individu.

L'intensité des troubles dépend de la susceptibilité individuelle, de la pression maximale atteinte et de la vitesse de variation de la pression.

La prévention réside dans l'adoption de vitesses de compression lentes, et, dans certains protocoles, dans l'ajout d'un gaz narcotique (azote, hydrogène) à l'hélium.

3.6.- L'hypoxie

En plongée subaquatique, l'utilisation de certains appareils respiratoires isolants fonctionnant en circuit fermé ou semi-fermé expose à respirer un mélange hypoxique lorsque l'apport d'oxygène dans le circuit, pour compenser la consommation physiologique ou l'éventuelle baisse rapide de la pression ambiante, est insuffisant ou impossible, le plus souvent à la suite d'une avarie du matériel.

L'accident se situe en général à la remontée, près de la surface, lorsque la fraction d'oxygène du mélange étant insuffisante, la PiO_2 devient inférieure à 100 hPa. La perte de connaissance est instantanée, sans prodromes, avec hypotonie générale et apnée expiratoire le plongeur coule aussitôt. Des mouvements convulsifs peuvent être observés.

Avec les appareils isolants respiratoires à circuit ouvert, une erreur sur la composition du gaz respiratoire lors du chargement de la bouteille, ou la mauvaise utilisation d'un gaz sous-oxygéné peut avoir les mêmes effets.

Le risque existe également en plongée en apnée : la consommation d'oxygène alvéolaire pendant le séjour en immersion peut être telle que lors du retour vers la surface, la PAO_2 (pression alvéolaire d'oxygène) tombe sous le seuil de 100 hPa.

4) Les accidents de désaturation

Les accidents de désaturation (ADD) sont liés à une formation excessive de bulles tissulaires et vasculaires dans certains tissus de l'organisme. Ils sont surtout observés en plongée subaquatique, essentiellement dans les activités de loisir.

La fréquence de survenue d'un ADD, rapportée au nombre de plongées est de l'ordre de 0,01 à 0,05 %. En France, environ 300 accidents de désaturation sont pris en charge chaque année dans les centres hyperbares. La grande majorité d'entre eux survient malgré le respect de la procédure indiquée par un ordinateur de plongée. Les formes sévères apparaissent précocement après l'émersion, avec parfois des premiers signes au cours des paliers. Les formes retardées après six heures sont plus rares. Les sujets de plus de 40 ans et plongeant à plus de 40 mètres de profondeur constituent une population cible. Les symptômes les plus fréquents sont neurologiques et vestibulaires avec une fluctuation clinique sur une période de 24 heures, parfois à l'origine de difficultés diagnostiques. Les ADD neurologiques médullaires sont à redouter car on observe 20 à 30 % de séquelles à l'issue de la prise en charge en centre hyperbare (Blatteau et coll. 2011).

La prise en charge repose sur l'inhalation immédiate d'oxygène normobare et l'évacuation la plus rapide possible vers un centre hyperbare : un délai supérieur à six heures est associé à un taux de séquelles significativement plus important (Blatteau et coll. 2011, Xu et coll. 2012). C'est la raison pour laquelle l'arrêté du 30 octobre 2012 relatif aux travaux subaquatiques effectués en milieu hyperbare (mention A) impose un délai d'accès à un caisson de recompression inférieur à deux heures, ramené à une heure lorsque la durée des paliers de décompression est supérieure à 15 minutes.

Longtemps systématiques dans les travaux au sec, la mise en œuvre de procédures de désaturation correcte ont réduit leur incidence. Il a quand même été relevé 31 accidents de type ostéoarticulaire entre 2010 et 2011 sur les chantiers de creusement du métro de Lyon (Aublin 2014).

La prévention repose sur la modification des pratiques de plongée et la prise en compte de facteurs de risque individuels.

On distingue schématiquement *l'accident bullaire initial*, à l'origine d'effets mécaniques ou occlusifs immédiats, responsable des premiers symptômes après la plongée (Blatteau et coll. 2006), et *la maladie de décompression*, qui correspond à l'activation secondaire de processus rhéologiques, humoraux, et immuno-inflammatoires, responsables de l'évolution des symptômes au cours des 24 premières heures.

Lors du retour à la pression atmosphérique, des bulles de gaz inerte peuvent se former dans l'organisme, principalement dans la circulation veineuse, parfois dans la circulation artérielle, parfois encore dans des tissus mal vascularisés comme les structures périarticulaires (ligaments et tendons).

Il existe en effet chez l'Homme des organisations vasculaires se comportant comme des pièges à bulles :

- le poumon, qui permet leur élimination dans les gaz expirés,
- les réseaux artériolaires terminaux non anastomosés, comme dans le système nerveux central ou l'oreille interne,
- les plexus veineux lombaires, drainant la moelle épinière lombaire,
- les extrémités osseuses des os longs.

Les shunts circulatoires droite-gauche, comme la persistance d'un *foramen ovale* perméable (Germonpré et coll. 1998, Wilmshurst et Bryson 2000) ou l'ouverture de shunts pulmonaires à l'exercice intense (Elridge et coll. 2004, Lovering et coll. 2010), favorisent l'embolisation artérielle des bulles.

Ces particularités anatomiques ou physiologiques expliquent les différentes formes d'accidents de désaturation dont l'incidence dépend des conditions de l'intervention hyperbare :

- en hyperbarie « sèche », il s'agira essentiellement d'accidents ostéoarticulaires,
- en intervention subaquatique, il s'agira le plus souvent d'accidents neurologiques.

De plus, les bulles présentes dans le torrent vasculaire se comportent comme des corps étrangers vis-à-vis du contenu (plasma) et du contenant (la paroi capillaire). Elles induisent une réaction biologique décrite sous le nom de maladie de la décompression.

Il est habituel de décrire les ADD en accidents bénins de type I et les accidents plus graves de type II (Grandjean et coll. 2006). Les ADD type I regroupent les formes ostéo-myocardiales ou *bends*, cutanées, et des symptômes non spécifiques appelés « manifestations générales ». Les ADD type II regroupent les formes neurologiques (médullaires et cérébrales), cochléovestibulaires, et cardio-pulmonaires, appelées « *chokes* ».

Le tableau IV précise les principaux facteurs favorisant d'accidents de désaturation décrits en plongée subaquatique. Ils peuvent être extrapolés aux activités hyperbares sans immersion.

Facteurs liés à la plongée	Facteurs liés au plongeur
Plongées longues et profondes avec réalisation de paliers	Age > 45 ans
Plongées successives ou ludions (allers et retours multiples vers la surface)	Surcharge pondérale
Froid au palier ou à la sortie de l'eau	Mauvaise condition physique, fatigue
Erreur de procédure de décompression	Manque d'entraînement ou de progressivité
Effort en plongée ou après la plongée	Mauvaise endurance aérobie
Voyage en altitude après plongée	Antécédent d'ADD
	Déshydratation
	Tabac
	<i>Foramen ovale</i> perméable

Tableau IV : Facteurs favorisant des accidents de désaturation observés en plongée subaquatique (d'après Gempp et coll. 2015).

Certains états thrombophiliques (déficit congénital en protéine S, résistance à la protéine C activée, hyperhomocystéinémie, déficits congénitaux en antithrombine ou en protéine C, etc.) pourraient être en cause dans la susceptibilité à l'accident de désaturation (Candito et coll. 2006).

La prévention des accidents de décompression passe par :

- la formation professionnelle pour ce qui concerne la connaissance et le respect des procédures de décompression (vitesse de décompression, pression et durée des paliers, composition des gaz inhalés), y compris en cas d'expositions successives ou montée en altitude,
- la recherche de situations anatomiques, physiologiques ou pathologiques pouvant les favoriser.

4.1.- La maladie de la décompression

Les manifestations biologiques accompagnant les accidents de désaturation ont été identifiées dès 1961 (Laborit et coll. 1961) : amas plaquettaires, thromboses, vasoconstriction, stase circulatoire, extravasation plasmatique, œdèmes interstitiels.

Ces phénomènes sont le résultat des interactions :

- bulles – plasma (activation du système de contact),
- bulles – cellules endothéliales (vasoconstriction, fuite plasmatique, activation plaquettaire, adhésion leucocytaire),
- bulles – plaquettes (activation et agrégation plaquettaire)

et conduisent à un arrêt circulatoire dans la microcirculation et une ischémie.

4.2- Formes cliniques des ADD de type II

Ce sont les accidents les plus fréquents observés en plongée subaquatique (environ 70 % des cas). Le délai d'apparition de la symptomatologie après le retour à la pression atmosphérique peut varier dans de très larges limites (Francis et coll. 1988) :

- 60 % des accidents débutent avant quinze minutes,
- 80 % des accidents débutent avant une heure,
- 85 % des accidents débutent avant trois heures,
- 2 % des accidents débutent après six heures. Il a même été observé des accidents se révélant après un délai de 20 heures.

Ils peuvent revêtir différentes formes :

a) Les accidents médullaires

Observés surtout après plongée, ils débutent souvent par des fourmillements et des paresthésies dans les membres inférieurs, quelquefois par une douleur en coup de poignard inter-scapulovertébrale ou lombaire, laissant une douleur suspendue en ceinture. Le début peut également être insidieux, les déficits neurologiques s'installant progressivement en quelques heures.

Le temps de latence est en général court (quelques minutes) et d'autant plus que la plongée est profonde (plus ou moins de 40 mètres).

Le tableau clinique peut évoluer dans les 24 heures vers l'apparition d'une symptomatologie sévère avec para- ou tétra-parésies associées aux troubles sphinctériens, et ce, malgré la prise en charge hyperbare. L'examen retrouve :

- un déficit de la motricité,
- une parésie vésicale,
- un déficit des sensibilités superficielles et profondes. La dissociation des sensibilités est fréquemment observée ;

- une abolition des réflexes ostéo-tendineux avec clonus du pied ou de la rotule, des cutanés plantaires indifférents ou montrant un signe de Babinski.

Le tableau varie en fonction :

- du niveau de la lésion,
- de la répartition dans l'espace des différents éléments du syndrome et de leur importance respective : syndrome de Brown-Sequard ou dissociation de type syringomyélique,
- de l'absence de certains éléments : formes motrices ou sensibles pures.

L'IRM médullaire, réalisée dans les 48 h après l'ADD, permet de mettre en évidence, dans les formes graves, une atteinte ischémique et parfois l'existence de facteurs compressifs anatomiques en regard de la lésion médullaire (Gempp et coll. 2008). Les élévations de l'hématocrite (Boussuges et coll. 1996) et des D-Dimères (Gempp et coll. 2012) sont également associées à la sévérité.

b) Les accidents cérébraux :

Ils sont le plus souvent liés à une embolisation de bulles dans les artères cérébrales par l'intermédiaire d'un shunt droite-gauche.

La symptomatologie est celle d'un accident vasculaire cérébral avec de nombreuses formes cliniques possibles. Les formes sévères peuvent entraîner des troubles de conscience, des convulsions, des hémiplésies flasques, globales ou à prédominance brachio-faciale ou crurale, mais on observe plus souvent des atteintes focalisées des fonctions supérieures et des paires crâniennes, avec par exemple des troubles visuels (amaurose, altération du champ visuel), des troubles de la parole (aphasie, difficultés d'élocution), des troubles psychiques (prostration, agitation).

La symptomatologie cérébrale pose le problème du diagnostic différentiel avec un barotraumatisme pulmonaire qui peut également entraîner un aéroembolisme cérébral en cas de brèche alvéolo-capillaire.

L'IRM cérébrale, réalisée dans les 48 h après l'ADD, peut mettre en évidence une atteinte ischémique focalisée, et parfois des atteintes punctiformes multiples disséminées de la substance blanche cérébrale. La recherche d'un shunt droite-gauche doit être systématique.

c) Les accidents cochléo-vestibulaires :

L'incidence des accidents vestibulaires est très fortement corrélée avec la présence d'un *foramen ovale* perméable (80 % des cas) qui permet l'embolisation du réseau vasculaire terminal de l'oreille interne.

L'atteinte purement vestibulaire est la plus fréquente (3/4 des cas) (Gempp et Louge 2013) : peu de temps après l'émersion, survient un vertige rotatoire intense, accompagné de nausées et vomissements.

L'examen retrouve le signe de Romberg et un nystagmus de type périphérique. Un certain degré d'hypoacousie peut être observé.

L'apparition du vertige en immersion entraîne un risque certain de noyade.

Le diagnostic différentiel d'avec un barotraumatisme de l'oreille interne n'est pas évident, d'autant que leur association n'est pas exclue.

La recherche d'un shunt droite-gauche doit être systématique.

d) Les accidents cardio-respiratoires

Plus rarement, on peut observer d'autres manifestations :

Respiratoires : les accidents pulmonaires, décrits par les auteurs anglo-saxons sous le nom de « chokes » se manifestent par une dyspnée importante avec polypnée superficielle, une angoisse, une cyanose et fréquemment un syndrome douloureux thoracique. Cette insuffisance respiratoire aiguë, due à l'obstruction massive de la circulation pulmonaire par les bulles peut constituer une urgence. Le plus souvent, elle se complique d'un accident neurologique.

Cardiaques : exceptionnelles. L'ischémie myocardique aiguë par obstruction de la circulation coronaire par des bulles est rapportée dans la littérature (Schneeweis et coll. 2012).

4.3.- Formes cliniques des ADD de type I

a) Les accidents cutanés :

Considérés comme des accidents bénins, ils sont dus à la présence de bulles dans la couche cellulo-adipeuse du derme et de l'hypoderme.

Les « puces » : survenant essentiellement en atmosphère sèche, il s'agit de sensations de piquûres superficielles, très vives et prurigineuses, siégeant aux territoires cutanés découverts. Elles cèdent spontanément.

Les « moutons » : œdèmes cutanés et sous cutanés, accompagnés de marbrures érythémateuses et douloureuses. Ils sont parfois favorisés par des strictions locales entraînant des ralentissements circulatoires superficiels. Ils sont fréquemment associés à un accident plus grave.

Plus rarement, la présence de bulles dans les vaisseaux lymphatiques peut se manifester par un œdème douloureux au niveau des seins ou des extrémités, avec parfois un aspect de « peau d'orange ».

b) Les accidents ostéo-articulaires :

Également appelés « bends », ils siègent le plus souvent au niveau d'une grosse articulation d'un membre soumis au travail, et notamment les épaules chez le plongeur.

Il s'agit d'une douleur articulaire ou juxta-articulaire, rémittente, à type de broiement, dont l'intensité augmente avec le temps, non calmée par les antalgiques courants, pouvant irradier dans les segments de membre sus et sous-jacents, et provoquer des contractures musculaires réflexes. L'impotence fonctionnelle est la règle, en rapport avec l'intensité de la douleur.

Il existe deux formes distinctes selon la localisation des bulles : l'atteinte péri-articulaire, la plus fréquente (2/3 des cas), touchant les insertions musculaires et tendineuses, d'évolution immédiatement favorable à la recompression et l'atteinte osseuse (1/3 des cas), non calmée voire aggravée par la recompression et susceptible d'évoluer vers une ostéonécrose

dysbarique (Gempp et coll. 2009). Les formes osseuses doivent donc être identifiées en réalisant une IRM articulaire en surveillant l'évolution.

c) Les accidents dits « généraux »

Il s'agit de manifestations diffuses, témoins d'un dégazage pathologique de l'organisme. Insidieux, ils éveillent peu l'attention du sujet ou de son entourage. Leur gravité réside dans leur potentiel évolutif : ils peuvent inaugurer une forme neurologique grave.

Le signe essentiel est l'asthénie, intense, brutale, survenant peu de temps après la fin de la décompression, qui oblige le sujet à se coucher et à dormir. Elle est sans commune mesure avec la dépense énergétique (froid + activité musculaire) consentie au cours de l'intervention. Elle peut s'accompagner d'une angoisse intense, de céphalées, de paresthésies ou de dysesthésies.

4.4.- L'ostéonécrose dysbarique

L'ostéonécrose dysbarique est actuellement considérée comme une manifestation retardée ou secondaire à un accident de décompression, même si un antécédent d'ADD ostéo-articulaire de type *bend* n'est pas toujours retrouvé.

Après un temps de latence très variable de plusieurs mois à plusieurs années, peut apparaître une ostéonécrose aseptique dont la forme la plus invalidante est l'ostéonécrose dysbarique de la hanche.

Sa symptomatologie clinique et radiologique et son traitement sont superposables à ceux des autres ostéonécroses aseptiques. Elle demeure cliniquement silencieuse jusqu'à l'atteinte des surfaces articulaires. Le diagnostic relève actuellement de l'IRM. Elle est prise en charge au titre de la maladie professionnelle (tableau n° 29 RG ; délai de prise en charge : 20 ans), lorsqu'il existe des lésions radiologiques.

D'autres localisations ont été décrites : tête de l'humérus, condyles fémoraux, fût diaphysaire des os longs. Le retentissement fonctionnel dépend du caractère juxta ou extra-articulaire des lésions et de l'articulation atteinte.

La prévalence de l'affection est extrêmement variable : de 3 % chez les plongeurs militaires jusqu'à plus de 70 % chez des pêcheurs d'éponge turcs (Uguen et coll. 2014). Elle est plus élevée chez les travailleurs en air comprimé (17 %) que chez les plongeurs (4,3 %) et dans les populations qui ne respectent pas de procédures de décompression sûres.

Des facteurs de risque sont associés à sa survenue : l'obésité, une hyperlipidémie, la consommation habituelle d'alcool ou de stéroïdes.

4.5.- Conclusion

Après la prise en charge initiale d'un accident de désaturation en centre hyperbare (qui doit être la plus précoce possible, en tout cas avant six heures), la reprise de l'activité doit être discutée avec les médecins experts et ne peut s'envisager en général qu'après plusieurs mois d'interruption sous réserve d'un bilan clinique et paraclinique normalisé. Le tableau V précise le bilan initial et les contrôles à réaliser.

Afin d'éviter la récurrence, il est essentiel de prendre en compte les facteurs de risques environnementaux et professionnels, en analysant, d'une part, les possibilités de

modifications de la pratique de plongée ou d'exposition hyperbare (par exemple limitation de la profondeur ou de la pression d'exposition), et d'autre part, en analysant les facteurs de risques individuels qui peuvent être corrigés (Gempp et coll. 2012). Les conditions de la fermeture d'un *foramen ovale* ont été précisées par la HAS en 2005.

Type d'accident de désaturation	Examens complémentaires recommandés (milieu hospitalier)
Neurologique	- IRM médullaire et cérébrale (recherche de zones d'ischémie et de facteurs compressifs médullaires) + contrôles si lésions - Recherche de shunt droite-gauche - Bilan urodynamique si troubles sphinctériens
Cochléo-vestibulaire	- Vidéonystagmogramme, audiométrie + investigations spécialisées en cas d'atteinte
Articulaire	- IRM articulaire (recherche de lésions osseuses) + contrôles si lésions

Tableau V : Examens complémentaires recommandés pour statuer sur l'aptitude à la reprise de l'activité hyperbare après accident de désaturation en fonction de la forme clinique de l'ADD (d'après Bergmann 2006).

5) Les œdèmes pulmonaires d'immersion

L'œdème pulmonaire d'immersion (OPI) est un accident de description relativement récente et souvent méconnu (environ 300 cas publiés à ce jour). Il représenterait autour de 10 à 15 % de l'ensemble des accidents de plongée. Il est potentiellement récidivant (15 % des cas), et est classiquement observé chez le plongeur en scaphandre mais peut concerner également l'apnéiste ou le simple nageur en surface (Gnadinger et coll. 2001).

Son origine est liée principalement aux conséquences des contraintes environnementales de l'immersion sur le système cardio-vasculaire. D'évolution habituellement favorable, il peut se compliquer d'une décompensation cardio-circulatoire mettant en jeu le pronostic vital (Cochard et coll. 2005).

Il s'agit d'un œdème classiquement non cardiogénique, initialement interstitiel puis alvéolaire dont l'origine est attribuée à une augmentation de la pression dans les capillaires pulmonaires associée à une diminution des pressions dans les voies aériennes et l'espace pleural. On évoque aussi la possibilité d'altération de la perméabilité alvéolo-capillaire et un défaut de drainage lymphatique interstitiel. La physiopathologie de l'OPI est complexe car elle fait intervenir de nombreux facteurs souvent intriqués. L'apparition d'un déséquilibre fonctionnel cardiaque droit/gauche semble en précipiter le développement. (Coulange et coll. 2010, Castagna et coll. 2018). Ces accidents sont initiés par les modifications hémodynamiques liées à l'immersion, l'effort physique (Bove 2016), le froid, le stress psychologique et la ventilation en charge. En apnée, l'hypoxie, la dépression intrathoracique à la descente, et les contractions diaphragmatiques en fin d'apnée sont des facteurs contributifs.

Cliniquement, l'OPI débute pendant la plongée avec une sensation d'étouffement qui se majore progressivement en particulier lors de la remontée. En surface, le plongeur est dyspnéique, cyanosé avec toux, grésillement laryngé et expectorations rosées ou hémoptysie franche. Dans 15 % des cas, l'hypoxie peut être sévère avec une perte de connaissance et se

compliquer d'une noyade secondaire. Le diagnostic de certitude repose sur le scanner thoracique à l'hôpital.

Généralement, les signes s'améliorent rapidement sous oxygène normobare. En revanche, cet OPI peut entraîner dans 30 % des cas une dysfonction myocardique (avec parfois une cardiopathie de stress de type *Tako-tsubo*), qu'il faut rechercher par un bilan cardiaque (Gempp et coll. 2013). La recherche minutieuse d'une HTA (si besoin par MAPA), souvent méconnue dans 50 % des cas, doit être effectuée dans tous les cas, car il s'agit d'un facteur de survenue et de récurrence de ces OPI (Gempp et coll. 2014).

6) Les effets au long cours de l'exposition à l'hyperbarie

Le code de la sécurité sociale reconnaît l'ostéonécrose de l'épaule, de la hanche et du genou, avec ou sans atteinte articulaire, avec un délai de prise en charge de 20 ans, comme maladie professionnelle liée aux travaux hyperbares (tableau n° 29 du régime général).

L'Assurance Maladie fait état de 8 reconnaissances de maladies du tableau n° 29 de 2007 à 2013⁴, sans détailler les pathologies ostéo-articulaires des pathologies ORL. Ce nombre très faible soulève la question d'une sous-déclaration des affections à long délai de latence.

À côté de ces pathologies à caractère « réglementaire », d'autres atteintes au long cours ont été décrites. Elles concernent le système nerveux central et le poumon.

6.1.- Effets au long cours sur le système nerveux central : les lésions cérébrales latentes.

La question sur les conséquences à long terme de la plongée sur le système nerveux central est toujours débattue. Des altérations des fonctions supérieures, comme des troubles de la mémoire ou de la concentration, ont été décrites chez des plongeurs professionnels et amateurs, même en l'absence d'antécédent d'une maladie de décompression. Ces perturbations sont interprétées comme le résultat de petites lésions cérébrales ischémiques infracliniques, conséquences de bulles intravasculaires. Cependant, peu de travaux apportent des éléments objectifs sur d'éventuels troubles des fonctions supérieures compliquant la plongée.

Alors que les études neurophysiologiques et électrophysiologiques soulignent les effets délétères de la plongée en condition extrême sur le fonctionnement cérébral (Todnem et coll. 1991, Slosman et coll. 2004), les résultats des études neuroradiologiques plaident plutôt en faveur d'une absence de lien significatif entre la présence d'anomalies cérébrales de la substance blanche à l'IRM et l'exposition hyperbare (Rinck et coll. 1991, Todnem et coll. 1991, Muyard et coll. 1999, Tetzlaff et coll. 1999, Hutzelmann et coll. 2000, Cordes et coll. 2000, Tripodi et coll. 2004, Ors et coll. 2006).

Néanmoins, quelques études contrôlées retrouvent une prévalence plus élevée de lésions cérébrales asymptomatiques dans certains sous-groupes de plongeurs par rapport aux témoins (Fueredi et coll. 1991, Reul et coll. 1995, Yanagawa et coll. 1998, Schwerzmann et coll. 2001, Erdem et coll. 2009). La grande discordance des résultats tient à la fois à l'hétérogénéité des populations étudiées, à leur mode de recrutement (enrôlement sur invitation *versus* choix aléatoire par les investigateurs) et leur qualité (plongeurs amateurs *versus* plongeurs professionnels), mais également à l'existence de biais méthodologiques dans

⁴ <http://www.risquesprofessionnels.ameli.fr/statistiques-et-analyse/sinistralite-atmp/dossier/nos-statistiques-sur-les-maladies-professionnelles-par-ctn.html>

certaines études (absence de séquence IRM en FLAIR⁵, antécédents d'accident de décompression pour certains plongeurs, incertitude sur les paramètres de plongée, différence d'âge avec le groupe contrôle...) qui faussent l'analyse critique des résultats. L'existence d'une possible corrélation entre le nombre et/ou la taille des lésions cérébrales et la présence de certains facteurs de risque comme l'âge, l'IMC, le profil lipidique, le tabac, l'expérience en plongée ou bien encore les paramètres de plongée ne sont également pas toujours établis, avec des résultats contradictoires entre les études.

L'hypothèse d'un passage de bulles artérielles « silencieuses » au niveau cérébral, par l'intermédiaire d'un shunt droite-gauche (SDG) comme un *foramen ovale* perméable, en l'absence de symptômes d'accident de décompression, a été avancée pour expliquer la présence d'hypersignaux de la substance blanche à l'IRM. Les études ont des résultats contradictoires. Pour certains, la présence d'un SDG ne semble pas être un facteur favorisant d'hypersignaux (Germonpré et coll. 2003, Gerriets et coll. 2003, Koch et coll. 2004), tandis que pour d'autres, le doute persiste pour les SDG de haut grade (Knauth et coll. 1997).

Dans une étude cas-témoins récente, Gempp et coll. (2010) ont comparé la prévalence des hypersignaux de la substance blanche et d'un SDG chez 32 plongeurs militaires, sans antécédents d'accident de désaturation par rapport à 32 non plongeurs, comparables pour l'IMC, l'habitus (tabac, alcool), et le bilan lipidique. Dans le groupe des plongeurs, la présence et le nombre d'hypersignaux sont plus élevés que dans le groupe contrôle (43,7 % contre 21,8 %) et la présence d'un SDG de haut grade est associée à une présence plus élevée d'hypersignaux que chez les sujets ayant un SDG de bas grade et par rapport au groupe contrôle. Les auteurs concluent que les sujets exposés depuis longtemps à l'hyperbarie et se plaignant de symptômes cognitifs devraient bénéficier d'une investigation par IRM cérébrale, complétée par un bilan neuropsychologique et la recherche d'un SDG en cas d'anomalies objectivables à l'IRM.

6.2.- Les effets au long cours sur le poumon

Les différentes études, menées là encore chez les plongeurs, semblent suggérer qu'il existe une diminution de la CVF, du VEMS, des débits expiratoires maximaux et de la TLCO (Louge 2006). Cependant, les niveaux de preuve apportés par ces travaux sont faibles. L'évolution naturelle des paramètres pulmonaires en fonction de l'âge semble être le facteur déterminant de la variation du VEMS (Burrows et coll. 1986, Gulsvick et coll. 1994).

La conférence internationale de consensus sur les effets au long cours de la plongée sous-marine, tenue en Norvège en 1993 (Hope et coll. 1994) conclut à l'absence de conséquence significative sur le poumon de la pratique répétée de la plongée profonde.

Cependant, plusieurs études objectivent une diminution du DEM 25 % et du DEM 25-50 % proportionnelle à l'ancienneté plongée (Tetzlaff et coll. 1998, Skogstad et coll. 2002) en particulier chez les plongeurs ayant plus de 100 plongées (Faltot, 1989), et indépendante de l'âge, du poids et de l'intoxication tabagique (Reuter et coll. 1999). Tetzlaff et coll. remarquent que la diminution des débits expiratoires est plus importante chez les plongeurs respirant de l'oxygène. Toutefois, ces observations demeurent mineures, sont parfois absentes (Lemaitre, 2002) et il n'y a pas d'atteinte chronique respiratoire évidente sur les évaluations radiographiques. En 2006, Tetzlaff et coll., dans une étude cas-témoins (468 plongeurs militaires vs 122 non plongeurs) observent une diminution du VEMS qui n'est pas liée à la

⁵ *Fluid Attenuated Inversion Recovery*. C'est une séquence qui supprime le signal du liquide céphalo-rachidien. Les lésions de la substance blanche apparaissent hyperintenses.

plongée, mais au tabac. En Nouvelle-Zélande, Sames et coll. (2009) observent une diminution minime mais significative, par rapport aux valeurs théoriques, du VEMS (- 0,27 % par an) et du DEP (- 0,47 % par an) chez 336 plongeurs professionnels suivis pendant cinq ans.

Enfin, il a été observé une diminution significative de la TLCO chez des plongeurs profonds professionnels après plongée à saturation (Thorsen et coll. 1990), alors que les plongeurs à l'oxygène ont des valeurs de TLCO supérieures à celles des plongeurs à l'air. Bermon et coll. (1997), dans une étude longitudinale sur 6 ans réalisée chez des plongeurs sauveteurs (classe 2), trouvent une réduction significative de la TLCO. Plus récemment (Pougnnet et coll. 2013) une étude longitudinale montrait une diminution des débits expiratoires et de la TLCO après 10 ans de plongée chez 33 professionnels. Les mécanismes de cette diminution ne sont pas encore clairement identifiés. La part respective du vieillissement, du tabac et de la plongée doit encore être précisée (Pougnnet et coll. 2014).

Références des articles cités :

Aublin B. Étude des mesures préventives des activités professionnelles en milieu hyperbare. Mémoire pour l'obtention du diplôme interuniversitaire de médecine subaquatique et hyperbare. BTP Santé au Travail, Villeurbanne 2014. 121 p.

Behnke AR, Thomson RM, Motley EP. The psychologic effects from breathing air at 4 atmospheres pressure. *Am J Physiol* 1935; 112: 554-8.

Bennett PB, Rostain JC. Inert gas narcosis. *In* : Brubakk AO, Neuman TS (eds). *Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving*. 5th ed. London : Saunders 2003. p 300-22.

Bermon S, Magnie MN, Dolisi C, *et al.* Decreased pulmonary diffusing capacity of divers over 6-year period. *Eur J Appl Physiol* 1997, 76: 170-3.

Bert P. La pression barométrique. *Recherches de physiologie expérimentale*. G Masson, Paris. 1878. 1168 p.

Bergmann E. Suivi des accidents de plongée : contre-indications, reprise. *In* : B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulange (eds). *Physiologie et médecine de la plongée* (2^e éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006. p 449-52.

Boussuges A, Blanc P, Molenat F, Bergmann E, Sainty JM. Haemoconcentration in neurological decompression illness. *Int J Sports Med* 1996, 17 : 341-55.

Boussuges A, Regnard J. Physiologie cardiovasculaire et bilan hydrominéral. *In* : B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulange (eds). *Physiologie et médecine de la plongée* (2^e éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006. p 115-39.

Bove AA. Pulmonary aspects of exercise and sports. *Methodist Debaquey Cardiovasc J*. 2016 Apr-Jun; 12(2): 93-7.

Boycott AE, Damant GCC, Haldane JS. The prevention of compressed air illness. *J Hyg Camb* 1908, 8 : 342-443.

Burrows B, Lebowitz MD, Camilli AE, *et al.* Longitudinal changes in forced expiratory volume in one second in adults. *Am Rev Respir Dis*. 1986, 133: 974-80.

Candito M, Candito E, Chatel M, van Obbergen E, Dunac A. Homocystéinémie et facteurs de thrombophilie dans les accidents de décompression immérités chez des plongeurs. *Rev Neurol (Paris)* 2006, 162 : 8-9, 840-4.

- Castagna O, Regnard J, Gempp E, Louge P, Brocq FX, Schmid B, Desruelle AV, Crunel V, Maurin A, Chopard R, MacIver DH. The key roles of negative pressure breathing and exercise in the development of interstitial pulmonary edema in professional male scuba divers. *Sports Medicine-open*. 2018, 4 (1). DOI 10.1186/s40798-017-0116x.
- Clark JM, Lambertsen CJ. Pulmonary oxygen toxicity, a review. *Pharmacol RBV* 1971; 2: 37-133.
- Cochard G, Arvieux J, Lacour JM, et al. Pulmonary edema in divers: recurrence and fatal outcome. *Undersea Hyperb Med* 2005, 32: 39-44.
- Cochard G, Henckes A, Deslandes S, Gladu G, Ozier Y. Dangerosité de l'œdème pulmonaire d'immersion au cours de la nage : à propos d'un cas. *Bull Med Sub Hyp* 2013, 23,1 :43-8.
- Cordes P, Keil R, Bartsch T, *et al.* Neurologic outcome of controlled compressed-air diving. *Neurology* 2000, 55: 1743-5.
- Coulangue M, Rossi P, Gargne O *et al.* Pulmonary oedema in healthy scuba divers: new physiological pathways. *Clin Physiol Funct Imaging* 2010, 30: 181-6.
- Elridge MW, Dempsey JA, Haverkamp HC, Lovering AT, Hokanson JS. Exercise-induced intrapulmonary arteriovenous shunting in healthy humans. *J Appl Physiol* 2004, 97: 797-805.
- Erdem I, Yildiz S, Uzun G, Sonmez G *et al.* Cerebral white-matter lesions in asymptomatic military divers. *Aviat Space Environ Med* 2009, 80: 2-4.
- Faltot J. Volumes pulmonaires et débits maximaux chez le plongeur sportif. Thèse de médecine. Bordeaux II. 1989, n°199.
- Francis TJ, Pearson RR, Robertson AG, Hodgson M, Dutka AJ, Flynn ET. Central nervous system decompression sickness: latency of 1070 human cases. *Undersea Biomed Res* 1988, 15, 6: 403-17.
- Fueredi GA, Czarnecky DJ, Kindwall EP. MR findings in the brains of compressed air tunnel workers: relationship to psychometric results. *Am J Neuroradiol* 1991, 12: 67-70.
- Gardette B, Comet M. Les effets biologiques de l'hydrogène. *In* : B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulangue (eds). *Physiologie et médecine de la plongée* (2^e éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006. p 330-36.
- Gempp E, Blatteau JE, Stephant E, Pontier JM, Constantin P, Pény C. MRI findings and clinical outcome in 45 divers with spinal cord decompression sickness. *Aviat Space Environ Med* 2008, 79, 12: 1112-6.
- Gempp E, Blatteau JE, Simon O, Stephant E. Musculoskeletal decompression sickness and risk of dysbaric osteonecrosis in recreational divers. *Diving Hyperb Med* 2009, 39, 4: 200-4.
- Gempp E, Louge P, Blatteau JE, Hugon M. Risk factors for recurrent neurological decompression sickness in recreational divers: a case-control study. *J Sports Med Phys Fitness* 2012, 52, 5: 530-6.
- Gempp E, Louge P. Inner ear decompression sickness in scuba divers: a review of 115 cases. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2013, 270, 6: 1831-7.
- Gempp E, Louge P, Henckes A, Demaistre S, Heno P, Blatteau JE. Reversible Myocardial Dysfunction and Clinical Outcome in Scuba Divers with Immersion Pulmonary Edema. *Am J Cardiol* 2013, 111: 1655-59.
- Gempp E, De Maistre S, Louge P. Hypertension is predictive of recurrent immersion pulmonary edema in scuba divers. *Int J of Cardiol* 2014, 172, 2: 528-9.

Gempp E, Sbardella F, Stephant E, Constantin P, De Maistre S, Louge P, Blatteau JE. Brain MRI signal abnormalities and right-to-left shunting in asymptomatic military divers. *Aviat Space Environ Med.* 2010, 81, 11: 1008-12.

Germonpré P, Balestra C, Masay L, *et al.* Correlation between patent foramen ovale, cerebral MRI lesions and neuropsychometric testing in experienced sports divers. In: Hyldegaard O (ed). *Proceedings of the 29th Annual Meeting of the EUBS on Diving and Hyperbaric Medicine.* EUBS, Copenhagen, Denmark. 2003, p. 61-4.

Germonpré P, Dendale P, Unger P, Balestra C. Patent foramen ovale and decompression sickness in sport divers. *J Appl Physiol* 1998, 84, 5: 1622-6.

Gerriets T, Tetzlaff K, Hutzelmann A, Liceni T, Kopsiske G, Struck N, Reuter M, Kaps M. Association between right-to-left shunts and brain lesions in sport divers. *Aviat Space Environ Med* 2003, 10: 1058-60.

Gnadinger C, Colwell C, Knaut A. Scuba diving induced pulmonary edema in a swimming pool. *J of Emergency Medicine* 2001, 21 : 419-21.

Grandjean B, Bergmann E, Bathélémy A. Les accidents de décompression : clinique. In : B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulange (eds). *Physiologie et médecine de la plongée (2^e éd.)*. Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006. p 411-16.

Gulsvik A, Bakke P, Humerfelt S, *et al.* Spirometry and transfer factor for carbon monoxide in asymptomatic never smoker from a general population. In: Hope A, Lund T, Elliott DH, *et al.* (eds). *Long term health effects of diving.* Norwegian Underwater Technology Centre, Bergen, Norway. 1994: 325-31.

Haines HL, Harris JD. Aerotitis media in submariners. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1946, 55: 347-71.

Haute autorité de santé. Fermeture du foramen ovale perméable, par voie veineuse transcutanée (à l'exclusion de la fermeture de la communication interauriculaire : libellé DASF004). HAS Paris, juillet 2005. Disponible sur : <http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/fop.pdf>

Hollien H, Shearer W, Hicks JW Jr. Voice fundamental frequency levels of divers in helium-oxygen speaking environments. *Undersea Biomed Res.* 1977, 4, 2:199-207.

Hope A, Lund T, Elliott DH, *et al.* Long term health effects of diving. Norwegian underwater technology center, Bergen (Norway). 1994.

Hugon M, Grandjean B, Blatteau JE. Épidémiologie des accidents de plongée. In : B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulange (eds). *Physiologie et médecine de la plongée (2^e éd.)*. Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006. p 220-31.

Hutzelmann A, Tetzlaff K, Reuter M, *et al.* Does diving damage the brain? MR control study of divers' central nervous system. *Acta Radiol* 2000, 41: 18-21.

Imbert JP, Méliet JL. Théories de la décompression. In : B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulange (eds). *Physiologie et médecine de la plongée (2^e éd.)*. Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006. p 518-29.

Jammes Y, Broussolle B, Giry P, Hyacinthe R. Physiologie respiratoire et plongée. In : B. Broussolle (ed). *Physiologie et médecine de la plongée.* Ellipses Edition Marketing, Paris. 1992. p 121-154.

Knauth M, Ries S, Pohimann S, *et al.* Cohort study of multiple brain lesions in sport divers: role of a patent foramen ovale. *BMJ* 1997, 314: 701-5.

- Koch AE, Kampen J, Tetzlaff K, Reuter M *et al.* Incidence of abnormal cerebral findings in the MRI of clinically healthy divers: Role of a patent foramen ovale. *Undersea Hyperb Med* 2004, 31: 261-8.
- Laborit H, Barthélémy L, Perrimond-Trouchet R. Action de l'héparine dans le traitement des accidents de décompression. *Agressologie* 1961 (2) 3: 229-36.
- Lemaitre F, Bedu M, Coudert J. Pulmonary function of recreational divers: a cross sectional study. *Int J Sport Med* 2002, 23, 4: 273-8.
- Louge P. Effets au long cours de la plongée sous-marine sur le poumon. *In* : B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulange (eds). *Physiologie et médecine de la plongée (2^e éd.)*. Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. p 487-92.
- Louge P, Méliet JL. Toxicité neurologique de l'oxygène. *In* : B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulange (eds). *Physiologie et médecine de la plongée (2^e éd.)*. Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. p 282-94.
- Louge P, Blatteau JE, Gempp E, De Maistre S, Hugon M. Accidents de plongée, cadre nosologie et bases physiopathogéniques. *Médecine et Armées*, 2015, 43, 1: 41-5.
- Lovering AT, Elliott JE, Beasley KM, Laurie SS. Pulmonary pathways and mechanisms regulating transpulmonary shunting into the general circulation: an update. *Injury* 2010, 41 Suppl 2: S16-23.
- Mathieu D, Wattel F, Mathieu-Nolf M. Intoxication par le monoxyde de carbone. *In* : Wattel F et Mathieu D. *Traité de médecine hyperbare*. Ellipses Editions Marketing. Paris 2002. p 214-38.
- Muyard B, Hautbois E, Huot P, Taillemite JP, Guivarc'h C, Guillou L, Leni P, Méliet JL, Garcia JF, Solacroup JC. Recherche de lésions cérébrales latentes chez les plongeurs de la marine nationale. Résultats d'une étude en imagerie par résonance magnétique. *Médecine et armées*, 1999, 27, 5: 385-9.
- Ors F, Sonmez G, Yildiz S, Uzun G, Senol MG, Mutlu H, Saracoglu M. Incidence of ischemic brain lesions in hyperbaric chamber inside attendants. *Adv Ther* 2006, 6: 1009-15.
- Pougnat R, Henckes A, Mialon P, Lucas D, Pougnat L, Garlantézec R, Loddé B, Dewitte JD. Evolution of the ventilatory function of professional divers over 10 years. *Undersea Hyperb Med* 2013, 40, 4: 339-43.
- Pougnat R, Pougnat L, Lucas D, Uguen M, Henckes A, Dewitte JD, Loddé B. Longitudinal change in professional divers' lung function: literature review. *Int Marit Health* 2014, 65, 4: 223-9.
- Reul J, Weis J, Jung A, *et al.* Central nervous system lesions and cervical disc herniations in amateur divers. *Lancet* 1995, 345: 1403-5.
- Reuter M, Tetzlaff K, Steffans JC, *et al.* Functional and high resolution computed tomographic studies of divers lungs. *Scan J Work Environ Health* 1999, 25: 67-74.
- Rinck PA, Svihus R, de Francisco P. MR imaging of the central nervous system in divers. *J Magn Reson Imaging* 1991,1: 293-9.
- Riu R, Flottes L, Bouche J, Le Den R, Guillerm R. La physiologie de la trompe d'Eustache : ses applications cliniques et thérapeutiques. Arnette, Paris. 1966. 525 p. Congrès de la Société française d'oto-rhino-laryngologie et de pathologie cervico-faciale.

- Rostain JC. Le syndrome nerveux des hautes pressions. *In* : B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulange (eds). *Physiologie et médecine de la plongée* (2^e éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. p 337-56.
- Rothman HB, Gelfand R, Hollien H, Lambertsen CJ. Speech intelligibility at high helium-oxygen pressures. *Undersea Biomed Res* 1980, 7, 4: 265-75.
- Sames C, Gorman DF, Mitchell SJ, Gamble G. The long-term effects of compressed gas diving on lung function in New Zealand occupational divers: a retrospective analysis. *Diving Hyperb Med*. 2009,39, 3: 133-7.
- Schneeweis C, Fleck E, Gebker R. Myocardial infarction after scuba diving. *Eur Heart J*. 2012, 33, 17: 2224.
- Schwerzmann M, Seiler C, Lipp E, *et al*. Relation between Directly Detected Patent Foramen Ovale and Ischemic Brain Lesions in Sport Divers. *Ann Intern Med* 2001, 134: 21-4.
- Shykoff BE, Warkander DE. Exercise carbon dioxide (CO₂) retention with inhaled CO₂ and breathing resistance. *Undersea Hyperb Med* 2012, 39, 4: 8 15-28.
- Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T, Kjuus H. Lung function over six years among professional divers. *Occup Environ Med* 2002, 59: 629-33.
- Slosman DO, De Ribaupierre S, Chicherio C *et al*. Negative neurofunctional effects of frequency, depth and environment in recreational scuba diving: the Geneva “memory dive” study. *Br J Sports Med* 2004, 38, 2: 108-14.
- Testud F. Monoxyde de carbone. *In*: Testud F. *Pathologie toxique professionnelle et environnementale*. Eska. Paris 2005. p 101-8.
- Tetzlaff K, Friege L, Hutzelmann A, *et al*. Magnetic resonance signal abnormalities and neuropsychological deficits in elderly compressed-air divers. *Eur Neurol* 1999, 42: 194-9.
- Tetzlaff K, Friege L, Reuter M, Haber J, Mutzbauer T, Neubauer B. Expiratory flow limitation in compressed air divers and oxygen divers. *Eur Respir J*. 1998, 12: 895-9.
- Tetzlaff K, Theysohn J, Stahl C, Schlegel S, Koch A, Muth CM. Decline of FEV₁ in scuba divers. *Chest* 2006, 130: 238-43.
- Todnem K, Skeidsvoll H, Svihus R, *et al*. Electroencephalography, evoked potentials and MRI brain scans in saturation divers. An epidemiological study. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1991, 79: 322-9.
- Tripodi D, Dupas B, Potiron M, Louvet S, Geraut C. Brain magnetic resonance imaging, aerobic power, and metabolic parameters among 30 asymptomatic scuba divers. *Int J Sports Med* 2004, 25: 575-81.
- Uguen M, Pougnet R, Uguen A, Loddé B, Dewitte JD. Dysbaric osteonecrosis among professional divers: a literature review. *Undersea Hyperb Med*. 2014, 41, 6: 579-87.
- Warkander DE, Shykoff BE. Effects of inspired CO₂ and breathing resistance while breathing oxygen. Communication à la réunion annuelle de l’EUBS, Wiesbaden septembre 2014.
- Wilmshurst PT, Nuri M, Crowther A, Betts JC Webb-Peploe MM. Recurrent pulmonary oedema in scuba divers; prodrome of hypertension: a new syndrom. *In*: AJ Bachrach and MM Matzen (eds). *Underwater physiology VIII*. Undersea Medical Society, Bethesda, MD, USA, 1984. p. 327-39.
- Wilmshurst P, Bryson P. Relationship between the clinical features of neurological decompression illness and its causes. *Clinical Science* 2000, 99: 65-75.

Yanagawa Y, Okada Y, Terai C, et al. MR imaging of the central nervous system in divers. *Aviat Space Environ Med* 1998, 69: 892-5.

Ouvrages de référence :

ANSES. Effets sanitaires liés aux expositions professionnelles à des mélanges gazeux respiratoires autres que l'air dans le cadre des activités hyperbares. Rapport d'expertise. ANSES, Maisons-Alfort. 2014, 352 p.

Broussolle B (ed). *Physiologie et médecine de la plongée*. Ellipses Edition Marketing, Paris. 1992. 686 p.

Broussolle B, Méliet JL, Coulange M (eds). *Physiologie et médecine de la plongée (2^e éd.)*. Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. 880 p.

Brubakk A, Neuman TS (eds). *Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving 5th edition*. WB Saunders, London, 2002, 800 p.

Dictionnaire Permanent Sécurité et Conditions de Travail. Étude : Travaux et activités hyperbares. Éditions Législatives, Montrouge 2015.

Edmonds C, Bennett M, Lippmann J, Mitchell SJ (eds). *Diving and subaquatic medicine 5th edition*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton FL. 2016, 865 p.

Lafay V (ed.). *Coeur et Plongée*. Ellipses Éditions Marketing, Paris 2017. 334 p.

Lowry C, Walker R, Pennefather J, Edmonds C. *Diving and Subaquatic Medicine Fourth edition*. Hodder Arnold, London 2005. 736 p.

CHAPITRE II

ÉTAT DES PRATIQUES EN SANTÉ AU TRAVAIL EN FRANCE

I.- ÉVOLUTION DE L'APTITUDE MÉDICALE DES TRAVAILLEURS INTERVENANT EN MILIEU HYPERBARE À TRAVERS L'HISTORIQUE DE LA RÉGLEMENTATION FRANÇAISE.

A) La réglementation de 1974

Elle distinguait :

- les travaux effectués dans l'air comprimé pour le creusement des tunnels, des galeries de mines ou des fondations de piles de pont (tubistes) : décret 74-657 du 9 juillet 1974,
- les travaux effectués par les scaphandriers : décret 74-725 du 11 juillet 1974.

Le titre III du décret 74-657 et le titre V du décret 74-725 fixent les règles de la surveillance médicale pour les travailleurs concernés. Ils posent tous deux **l'absence d'inaptitude** comme condition de base au travail en conditions hyperbares. Ils précisent que « les conditions dans lesquelles doit s'exercer la surveillance médicale font l'objet de recommandations aux médecins, définies par arrêté du ministre chargé du travail ».

Les recommandations pour la surveillance médicale des tubistes ont fait l'objet de l'arrêté du 1^{er} octobre 1974 (JORF du 22 octobre) tandis que celles pour la surveillance des scaphandriers ont été publiées par l'arrêté du 5 octobre 1974 (JORF du 29 novembre).

Par ailleurs, le décret 74-725 détermine pour les scaphandriers 3 classes de qualification :

- classe I : travaux à des pressions relatives n'excédant pas 4 bars ;
- classe II : travaux à des pressions relatives n'excédant pas 6 bars ;
- classe III : travaux à des pressions relatives supérieures à 6 bars.

Les examens recommandés et leur périodicité en fonction des différentes catégories de travailleur hyperbare sont reportés dans le tableau VI.

B) La réglementation de 1990 – 1991

Le décret 90-277 du 28 mars 1990 regroupe sous un même texte les différentes catégories de travailleurs hyperbares, répartis selon les mêmes trois classes qu'en 1974. La classe I est scindée en deux sous-classes : IA jusqu'à 1200 hPa et IB au-delà. La catégorisation des différentes activités est fixée, sous forme de mentions, par l'arrêté du 28 janvier 1991 (JORF du 2 mars 1991) :

- Mention A : activités de scaphandrier.
- Mention B : autres activités subaquatiques.
- Mention C : activités d'hyperbariste médical.
- Mention D : autres activités d'hyperbariste. Les tubistes de 1974 appartiennent à cette catégorie.

L'accès aux interventions hyperbares est soumis à **l'absence de contre-indication médicale** (art. 33 du décret). Les examens médicaux, destinés à déterminer **l'aptitude** des travailleurs, comprennent un examen clinique général et des examens complémentaires, dont le détail est décrit par l'arrêté du 28 mars 1991 (JORF du 26 avril 1991). Cet arrêté introduit de plus pour

toutes les catégories un examen médical quadriennal et un examen semestriel pour les travailleurs de plus de 40 ans. Le détail des examens recommandés fait l'objet du tableau VII.

Dans cette réglementation :

- l'EEG n'est plus réservé aux seules classe II et III ;
- le bilan biologique est détaillé dans son contenu ;
- la mesure de la $V\cdot O_2$ max indirecte est couplée à l'EFR ;
- le test de susceptibilité à l'oxygène disparaît. Il est remplacé par un test en chambre hyperbare à une pression de 1,2 bar relatif.
- Pour la classe III, la plongée fictive à une pression relative de 8 bars disparaît.
- pour la classe Ia mention D il n'est pas exigé d'EEG, d'épreuve d'effort, ni de radiographie des genoux.
- Pour les travailleurs classe III soumis à des pressions relatives supérieures à 26 bars, des investigations neurophysiologiques et vestibulaires complémentaires sont préconisées, sans autre précision.
- Le bilan radiologique des grosses articulations devient quadriennal.

Enfin, l'arrêté de 1991 émet des recommandations sur les conditions d'aptitude et liste les principales contre-indications appareil par appareil, en précisant qu'elles « devront être appréciés au cas par cas par le médecin du travail en fonction de l'âge du travailleur, de son expérience des métiers hyperbares et bien entendu du poste de travail qu'il est censé occuper. »

Depuis, cet arrêté a été un véritable outil pour le médecin du travail, car il permettait :

- grâce aux différentes classes et mentions d'individualiser les différents types de postes de travail et d'en préciser leurs risques,
- de disposer d'un ensemble d'examens cliniques, sensiblement communs aux quatre mentions, permettant d'établir une aptitude médicale globale aux risques de l'hyperbarie,
- d'identifier, grâce à la liste exhaustive des contre-indications, les travailleurs à écarter des expositions au milieu hyperbare.

C) La réglementation depuis 2011

Le risque hyperbare est placé par le code du travail (art. R. 4624-23) parmi les risques particuliers imposant un suivi individuel renforcé. Celui-ci comporte un examen médical d'embauche donnant lieu à un avis d'aptitude, renouvelé avec une périodicité qui ne peut être supérieure à quatre ans et qui peut faire l'objet d'une visite intermédiaire par un professionnel de santé (infirmier ou infirmière essentiellement). Ces dispositions, issues du décret n° 2016-1908 du 27 décembre 2016, se substituent à celles du décret 2012-135 du 30 janvier 2012 (remplacement de la surveillance médicale renforcée par le suivi individuel renforcé, modifications de la périodicité), qui précisait entre autres que « le médecin du travail est juge des modalités de cette surveillance médicale, en tenant compte des recommandations de pratique existantes » (ancien art. R. 4624-19).

L'abrogation de l'arrêté du 28 mars 1991 a privé le médecin du travail de ces recommandations : le législateur ne reconnaît plus à l'administration de compétence médicale et renvoie aux institutions techniques (dont la HAS est le chef de file) le soin d'émettre les recommandations auxquelles doivent se référer les médecins du travail.

Examens	Examens complémentaires recommandés	Tubistes			Scaphandriers			
		Embauche	Périodiques		Embauche Cl. I, II, III	Embauche Cl. II	Embauche Cl. III	Périodique
			6 mois	1 an				
Examen clinique complet	coefficient de Pignet	x	x		x			x
Analyse d'urines	glucose, protéines (post prandial)	x	x		x			x
	acétonurie							x
Radiologie	cardio-pulmonaire	x		x	x			x
	épaules, hanches, genoux	x		x	x			x
ORL	manœuvre de Valsalva	x			x			
	épreuves labyrinthiques	x		x	x			x
	audiogramme tonal et vocal	x		x	x			x
	épreuve caisson 1 bar relatif	x						
	épreuve caisson 3 bars relatifs				x			
Examen cardiovasculaire	test de Ruffier ou similaire	x		x	x			x
	épreuve de Pachon-Martinet	x			x			x
	test de Flack	x			x			
	ECG				x			
	épreuve d'effort				x			
Examen fonctionnel respiratoire	CV, VEMS.	x						
Bilan biologique sanguin	NFS – Hb				x			
	azotémie – glycémie – uricémie – cholestérolémie				x			
	BW – TS – TC – groupage				x			
Neurologie	EEG (SLI – HPN – ROC)					x		
	Test O2 1,8 bars relatifs					x		
	test caisson 8 bars relatifs						x	

Tableau VI : Examens médicaux de la réglementation de 1974

Examens	Examens complémentaires recommandés	Embauche		Périodique toutes classes		
		Mentions A, B, C, D lb	Mention D la	6 mois (> 40 ans)	1 an	4 ans
Examen clinique complet		x	x	x	x	x
Exploration fonctionnelle respiratoire	CV – VEMS – Courbe débit-volume	x	x		x	x
	V*O ₂ max indirecte	x	x			x
ECG	Repos	x	x		x	x
	Effort sous maximal	x			x	x
ORL	Audiogramme	x	x		x	x
	Impédancemétrie	x	x			
	Caisson à 1200 hPa (0,3 à 3 bars/min.)	x	x			
EEG	HPN – SLI	x				
Bilan biologique	NFS	x	x		x	x
	glycémie – uricémie – cholestérolémie totale – triglycéridémie	x	x		x	x
	Albuminurie – hématurie	x	x		x	x
Radiologie	Téléthorax	x	x			
	Grosses articulations	x				x

Tableau VII : Examens médicaux de la réglementation de 1991

II.- LES PRATIQUES ACTUELLES POUR LA DÉTERMINATION DE L'APTITUDE MÉDICALE DES TRAVAILLEURS HYPERBARES.

A) Les médecins concernés

La détermination de l'aptitude initiale, périodique et de reprise au poste de travail relève du médecin du travail de l'entreprise (secteur privé) ou du médecin de prévention (fonction publique et secteur assimilé).

En pratique, rares sont les médecins du travail ayant les connaissances spécifiques leur permettant de statuer. Il n'existe à notre connaissance que deux services de santé au travail interentreprises ayant un secteur professionnel dédié à l'hyperbarie (à Lyon et Marseille). Aussi les médecins du travail concernés font-ils le plus souvent appel, lorsque les conditions le permettent (proximité, délais) à un service hospitalier de médecine hyperbare, au nombre de 20 pour la France métropolitaine et les départements d'outre-mer. Certains s'adressent à des médecins libéraux connus localement pour leur compétence en la matière, issus de la plongée de loisir le plus souvent, ou titulaires de DU ou DIU de médecine de plongée ou de médecine hyperbare.

Dans les armées, le ministère de la défense a regroupé sur un seul centre national (à Toulon) les activités d'aptitude initiale, périodique révisionnelle (quadriennale) et visite d'expertise.

B) Les niveaux de qualification médicale existants

Les médecins en charge des examens d'aptitude aux activités hyperbares se répartissent selon leur niveau de connaissance en la matière en :

- médecins dont les connaissances ne proviennent que de leur formation médicale initiale (cas général des médecins du travail) ;
- médecins ayant suivi une formation de base de quelques heures : sécurité civile, forces armées, réunions de formation continue organisée par différents organismes universitaires (EPP, DPC) ou associatifs (FFESSM, MEDSUBHYP) ;
- médecins ayant suivi une formation structurée de plusieurs jours (une à deux semaines) avec un programme le plus souvent orienté vers les activités subaquatiques. C'est le cas pour la sécurité civile, les forces armées, le ministère chargé de la mer et pour les médecins ayant bénéficié de la formation classe I mention C de l'INPP ;
- titulaires d'un diplôme universitaire de médecine de plongée ou de médecine hyperbare (Paris XIII, Marseille) ;
- titulaires du diplôme interuniversitaire de médecine subaquatique et hyperbare (Marseille, Lille, Nice, Angers, Besançon, Paris XIII, Bordeaux, Toulouse, Nancy, Lyon, Strasbourg, Brest en 2015-2016) ;
- praticiens hospitaliers, œuvrant au sein d'un secteur hospitalier de médecine hyperbare.

C) Enquête nationale

Une enquête a été menée en avril et mai 2013 auprès des principaux centres et services de France métropolitaine qui réalisent couramment des bilans d'aptitude aux activités hyperbares (voir en annexe). Il leur était demandé, à l'aide d'une grille avec cases à cocher, de dire leurs pratiques en matière d'examens complémentaires systématiques pour les différentes catégories de salariés qu'ils recevaient. Neuf services ont fourni des réponses exploitables :

- BTP Santé au Travail (Dr Baud, Lyon)

- Centre médical subaquatique EXPERTIS (Dr Barré, Marseille)
- Service de médecine hyperbare, pôle RUSH, AP – HM (Dr Coulange, Marseille)
- Service de médecine hyperbare, centre hospitalier d’Ajaccio (Dr Grandjean, Ajaccio)
- Unité de traitement par oxygène hyperbare, hôpital Pasteur (Dr Kauert, Nice)
- Service de médecine hyperbare et d’expertise de plongée, Hôpital d’instruction des armées Sainte Anne (Dr Hugon, Toulon)
- Service de médecine hyperbare – CHRU La Cavale Blanche (Dr Henckès, Brest)
- Unité fonctionnelle Hyperbarie – Plongée, hôpital d’instruction des armées du Val-de-Grâce (Dr Constantin, Paris)
- Service médical, Institut national de plongée professionnelle (Dr Borgnetta, Marseille).

La compilation des réponses donne des indications sur l’application des examens systématiques du bilan de 1991 :

- Comme on pouvait s’y attendre, l’examen clinique est pratiqué par tous les services. Quatre d’entre eux administrent un autoquestionnaire.
- L’examen dentaire n’est pratiqué que dans 5 services.
- Pour l’ORL :
 - 4 réfèrent à un spécialiste
 - 8 déclarent pratiquer une otoscopie, et 4 observer la manœuvre de Valsalva ;
 - tous pratiquent l’audiométrie et 7 la tympanométrie,
 - 1 service prescrit des radiographies des sinus.
- Pour la neurologie :
 - 6 déclarent un examen neurologique complet,
 - 2 pratiquent un EEG simple et 6 un EEG avec épreuves d’activation (SLI – HPN).
- Pour les radiographies des grosses articulations :
 - 8 services prescrivent des radiographies conventionnelles,
 - 3 services prescrivent des IRM.
- Pour la pneumologie :
 - Tous pratiquent une exploration fonctionnelle respiratoire.
 - 1 service pratique des tests de provocation bronchique, et 2 des tests de réversibilité ;
 - le cliché pulmonaire standard est demandé par 8 services, tandis qu’un demande une tomодensitométrie thoracique.
- Pour la cardiologie :
 - 1 centre réfère à un spécialiste,
 - tous pratiquent un ECG de repos,
 - 5 pratiquent un ECG d’effort.
- L’adaptation à l’effort est estimée :
 - 1 fois par un step-test,
 - 5 fois par une épreuve sous-maximale type Åstrand.
- Le test de compression en caisson n’est pratiqué que par 6 centres.

Aucun des centres interrogés ne remet en cause la périodicité des examens médicaux. Quelques différences dans les pratiques apparaissent cependant entre les médecins hospitaliers et les médecins du travail, tant pour les examens initiaux (tableau VIII) que pour les examens périodiques (tableau IX).

Examens de la visite initiale	Centres hospitaliers	Médecins du travail
EFR	OUI	OUI
V•O ₂ max indirecte	NON	50% Oui ; 50% Non
ECG repos	OUI	OUI
Épreuve d'effort sous maximale	NON remplacée par une épreuve d'effort maximale	OUI
EEG	NON, sauf si exposition à des PiO ₂ élevées (systématique dans les armées)	NON, sauf si exposition à des PiO ₂ élevées
Radiographie grosses articulations	NON remplacée par IRM	NON – à remplacer par IRM Mais systématiques dans les armées pour interventions > 5 ATA
Bilan biologique	OUI	OUI
Audio-tympanométrie	OUI	OUI
Test de compression à 1,2 bar	Seulement si n'a jamais été soumis à l'hyperbarie	Seulement si n'a jamais été soumis à l'hyperbarie
Aptitude semestrielle pour > 40 ans	NON	NON

Tableau VIII : Différences de pratiques pour la visite initiale entre les centres hospitaliers et les médecins du travail.

Pour la visite quadriennale, la seule différence relevée concerne la prescription de l'EEG : il n'est pas pratiqué dans les armées ; les centres civils le répètent s'il a été prescrit en visite initiale.

Examens de la visite annuelle	Médecins hospitaliers	Médecins du travail
EFR	Si justifiée par le poste de travail	OUI
V•O ₂ max indirecte	NON	NON
ECG Repos	Selon facteurs de risque Systématique après 40 ans Systématique dans les armées	OUI
Épreuve d'effort sous maximale	NON	OUI
Bilan biologique	OUI	OUI
Audio-tympanométrie	OUI	OUI

Tableau IX : Différences de pratique pour la visite annuelle entre les centres hospitaliers et les médecins du travail.

Au total :

Il existe un consensus certain entre les différents médecins : le sujet exposé au risque hyperbare doit bénéficier au minimum d'une exploration cardio-vasculaire, respiratoire, audio-vestibulaire et d'un bilan biologique orienté vers les désordres métaboliques. Dans le cadre d'une surveillance annuelle, les explorations initiales seront répétées de manière systématique ou dépendante de critères comme par exemple les facteurs de risques cardio-vasculaires.

En ce qui concerne l'EEG tous s'accordent à dire que s'il reste un outil clinique encore intéressant dans certains domaines, il a peu d'intérêt dans le bilan de dépistage d'une éventuelle lésion neuro-cérébrale. Toutefois lorsque l'hyperbariste risque d'être confronté à de hautes P_{iO_2} la réalisation d'un EEG paraît souhaitable à la plupart des médecins interrogés.

La radiographie conventionnelle des grosses articulations, en raison de ses faibles performances pour le diagnostic précoce, et en raison de son caractère particulièrement irradiant, ne trouve plus sa place dans le diagnostic de l'ostéonécrose. La plupart des médecins l'ont de ce fait supprimée.

Le test de compression en chambre hyperbare, à une pression relative de 1,2 bar, est supprimé par la plupart des médecins pour les sujets ayant déjà une expérience hyperbare, comme la pratique de la plongée par exemple. Les médecins qui conservent ce test le font essentiellement dans l'optique de prévenir un éventuel problème de claustrophobie chez le sujet.

Pour ce qui concerne la périodicité des visites d'aptitudes :

- la visite semestrielle n'est plus pratiquée de manière systématique,
- les visites annuelles et quadriennales sont conservées par tous.

Annexe

Fiche d'enquête : BILAN PRATIQUÉ POUR LES TRAVAILLEURS HYPERBARES

Identification du centre médical délivrant l'aptitude :

Profession :	Mention :	Classe :
---------------------	-----------	----------

*Marquer d'un X les examens pratiqués
Remplir autant de tableaux que de
professions concernées.*

	Examen initial	Examens périodiques		
		Intervalle 1*	Intervalle 2*	Intervalle 3*
Autoquestionnaire				
Ex. clinique				
Ex. dentaire				
ORL				
CS spécialiste				
Otoscopie				
Valsalva				
Audiométrie				
Tympanométrie				
Radiographie des sinus				
Neurologie				
Clinique				
EEG simple				
EEG + stimulations				
Radiologie G.A.				
Clichés conventionnels				
TDM / IRM articulaire				
Pneumologie				
EFR débit/vol.				
EFR provocation bronchique				
EFR réversibilité				
Cliché pulmonaire standard				
TDM thoracique				
Ophthalmologie				
Acuité visuelle minimale				
Vision des couleurs				
FO				
Vision nocturne				
Biologie				
NFS				
Urée – Glycémie – Uricémie – Créatinine				
Cholestérol – HDL Chol – Trigly.				
Transaminases - γ GT – CDT				
Cardiologie				
ECG de repos				
ECG d'effort				
Adaptation à l'effort				
Step test				
Cooper – VMA				
Épreuve sous maximale (type Åstrand)				
Test caisson (préciser la pression)				
Autres examens				

* préciser l'intervalle et la catégorie de travailleur
Commentaires libres s'il y a lieu sur feuille séparée.

CHAPITRE III

ÉTAT DES PRATIQUES À L'ÉTRANGER

I.- LES RECOMMANDATIONS EUROPÉENNES

Dans le cadre de la libre circulation dans le monde du travail, les plongeurs professionnels européens (qui constituent la majorité des effectifs de travailleurs hyperbaristes) sont souvent obligés de travailler dans des pays avec une législation différente de celle du pays d'origine ou dans des zones peu réglementées.

Les multiples réunions des délégués nationaux de 17 pays à l'EDTC⁶ ont abouti en 2003 à un consensus, adopté par l'industrie offshore (représentée par l'IMCA⁷ et son conseil médical le DMAC⁸) et dans plusieurs pays européens qui ne possédait pas de législation appropriée. La France était représentée par les Dr J.-L. Méliet et C. Dey.

La particularité de la démarche retenue revenait à un renversement de paradigme en ce qui concerne la définition des contre-indications. Alors que dans le passé la plupart des textes réglementaires définissaient une liste de contre-indications qu'il fallait dépister durant l'examen d'aptitude, l'appréciation de l'aptitude devenait une expertise prenant en considération le risque de survenue d'une pathologie ou d'éventuelles complications selon le type d'exposition et les éventuels problèmes de santé du candidat.

La conséquence logique de cette approche est que le médecin examinateur doit disposer d'une compétence suffisante lui permettant de décider raisonnablement. C'est pourquoi l'ECHM⁹ et l'EDTC ont proposé des normes pour la formation des médecins examinateurs de plongeurs et des médecins hyperbaristes (ECHM-EDTC 2011).

Les recommandations sur l'examen d'aptitude approuvées en 2003 par l'EDTC ont été publiées dans un manuel (Wendling et coll. 2004) qui ne concerne que la plongée professionnelle, mais que l'on peut appliquer aux autres activités hyperbares.

Il contient de plus, tenant compte des connaissances actuellement établies, une section de référence de 145 pathologies ou maladies qui peuvent éventuellement représenter un risque pour un travail subaquatique ou hyperbare. Pour chacune, la publication décrit seulement des situations qui sont une contre-indication absolue ou sans risque et les contre-indications relatives avec des recommandations pour la pratique de la plongée au cas où celle-ci serait autorisée.

⁶ L'European Diving Technology Committee est une organisation non gouvernementale européenne réunissant des représentants des entrepreneurs d'intervention subaquatique, des syndicats de plongeurs, des administrations du travail et des médecins de la plongée des pays membres. Actuellement 22 pays européens y sont représentés. L'objectif de ce comité est d'améliorer la sécurité dans la plongée professionnelle.

⁷ International Marine Contractors Association. Cette association représente l'industrie *offshore* mondiale. L'industrie pétrolière, construction de pipelines, plateformes et logistiques, et bien sûr la plongée offshore en saturation sont représentées.

⁸ Diving Medical Advisory Committee, groupe d'experts qui sert de consultant à l'IMCA. Son domaine d'intérêt d'origine est la plongée *offshore*.

⁹ European Committee for Hyperbaric Medicine. Il regroupe des représentants des sociétés savantes européennes de médecine hyperbare.

1) Critères généraux pour l'aptitude à la plongée professionnelle

Même si les dangers de la plongée sous-marine sont les mêmes pour les plongeurs de loisir et professionnels, le risque dépend de l'activité, des procédures techniques et de la performance physique et psychique du sujet.

Critères d'aptitude retenus :

- aucune pathologie connue restreignant l'accomplissement de la tâche,
- aucune pathologie connue pouvant mettre en péril la sécurité du travailleur ou de l'équipe,
- aucune pathologie connue qui pourrait s'aggraver lors ou à la suite des expositions,
- aucune pathologie connue qui prédispose le sujet à une maladie de décompression ou professionnelle.

2) Les différents types d'examens médicaux

L'EDTC définit trois types d'examens d'aptitude :

2.1.- Examen approfondi

Il s'agit du tout premier examen et des examens périodiques successifs avec un intervalle de 5 ans pour les sujets jeunes. Cet intervalle peut être raccourci avec la probabilité d'apparition de pathologie à risque à partir de 45 ans.

Il comporte :

- une anamnèse ;
- un examen clinique ;
- un examen otoscopique (avec mobilité tympanique),
- un examen neurologique (avec épreuve de Romberg sensibilisée),
- des examens paracliniques :
 - exploration fonctionnelle pulmonaire avec courbes débit volume,
 - épreuve d'effort submaximale (exprimée en METs),
 - biologie : hématologie, glycémie, test urinaire.

2.2.- Examen annuel

Anamnèse avec examen clinique simple (auscultation, otoscopie, épreuve de Romberg).

2.3.- Examen de reprise après accident de décompression ou incident médical majeur

Cet examen et la proposition d'aptitude nécessitent une expertise en médecine hyperbare. Le niveau de compétence requis est celui du spécialiste hospitalier.

2.4.- Examens sur indications

- ECG (si âge > 45 ans)
- Dépistage de la drépanocytose (si génétiquement possible)
- TDM thoracique et radiographies spécifiques (si pathologie structurale pulmonaire suspectée)
- IRM des grosses articulations et lipidémie (si expositions plus 20 h par semaine à plus de 4 000 hPa)

- audiogramme si exposition au bruit
- tout examen complémentaire s'il existe une indication d'après l'anamnèse ou les examens précédents).

3) Recommandations d'ordre médico-administratif

Si possible, le médecin examinateur devrait suivre personnellement le salarié le plus longtemps possible.

Le médecin devrait être accrédité par l'administration gouvernementale nationale. Cette accréditation publique devrait permettre, outre la traçabilité, l'acceptation de l'expertise dans les autres pays de l'Union.

Le document émis à la suite des examens médicaux note seulement leur conclusion, soit « apte » ou « inapte », que l'examen a été effectué conformément aux standards EDTC et éventuellement des restrictions limitant les expositions.

Un document contenant les résultats des examens médicaux, les conclusions médicales, les recommandations et mises en garde du médecin, et signé par les deux parties, est remis au salarié. Un double est conservé dans le dossier médical.

4) Compétences des médecins examinateurs

Puisque l'examen d'aptitude est devenu une expertise, une formation appropriée est jugée nécessaire par l'EDTC et une recommandation pour la formation des médecins a été développée, en partenariat avec l'ECHM. Elle inclut à différents niveaux les aspects de la médecine professionnelle (prévention) et de la médecine hyperbare (thérapeutique).

Trois niveaux de compétences sont définis :

4.1.- Niveau 1 : Examen médical des plongeurs

Médecins décidant de l'aptitude des plongeurs professionnels (et éventuellement de loisir), des travailleurs dans l'air comprimé, sauf pour la reprise après maladie ou accident. Une compétence en médecine du travail est recommandée.

4.2.- Niveau 2D (comme Diving) : Praticien en médecine de plongée

Compétent pour l'aptitude initiale et autres évaluations des plongeurs professionnels ou de loisirs et travailleurs dans l'air comprimé ;

Capable de prendre en charge les accidents de plongée, et de conseiller l'employeur sur les questions de médecine et de physiologie.

Une compétence en médecine du travail est recommandée.

Doit posséder des compétences certifiées et une expérience pratique en évaluation de l'aptitude, prise en charge des accidents professionnels et généraux (soins d'urgence et réanimation), préparation des plans de sécurité pour les opérations de plongée.

4.3.- Niveau 2H (comme Hyperbare) : Praticien de médecine hyperbare

Responsable des séances de traitements hyperbares (sous la supervision d'un expert ou consultant) ;

Expérience significative en réanimation et anesthésie

Compétent pour évaluer et prescrire les indications thérapeutiques.

4.4.- Niveau 3 : Expert en médecine hyperbare ou médecine de la plongée

Compétences de chef de service d'OHB (traitements et encadrement du personnel)

Compétent en management de la recherche

Compétent en enseignement.

L'ECHM reconnaît de plus un niveau 4 de spécialiste associé : il s'agit d'experts d'autres spécialités médicales qui ont développé une compétence particulière dans le domaine hyperbare.

Des modules de formation spécifique sont décrits pour les niveaux 1, 2D et 2H. Le diplôme interuniversitaire de médecine hyperbare enseigné en France correspond à une combinaison des niveaux 2D et 2H.

5) Évolution des recommandations européennes

Les recommandations de l'EDTC ont été élaborées en 2003. Une révision de ces propositions est actuellement en cours, pour une publication espérée fin 2018.

II.- ÉTAT DES PRATIQUES

Dans le cadre de la révision de ces recommandations, une enquête a été menée au cours du premier semestre 2014 par J. Wendling pour le compte de l'EDTC auprès de représentants de différents pays. Le questionnaire fourni permettait de remplir une grille de recueil d'informations. Des correspondants ont été interrogés dans les pays suivants : Afrique du Sud, Australie, Belgique, Canada, Danemark, Espagne, France, Italie, Norvège, Nouvelle Zélande, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suisse, USA. Le Canada, le Danemark, les Pays-Bas et la Norvège n'ont pas fourni de réponse.

Le questionnaire et les réponses recueillies figurent en annexe.

Il en ressort que la plupart des pays (7/9, si l'on exclut la France) ont une réglementation ou des recommandations pour l'aptitude des travailleurs hyperbares. Seuls les USA s'en remettent à l'engagement de la responsabilité pénale et civile de l'employeur en cas de manquement à la sécurité.

L'Espagne n'a pas de réglementation concernant l'hyperbarie atmosphérique. En Belgique, Suisse, Australie et Afrique du Sud, la réglementation du travail hyperbare ne concerne pas les activités de loisir ni scientifiques.

La réglementation donne des directives médicales dans 6 pays : R-U, Italie, Suisse, Australie, Nouvelle-Zélande, Afrique du Sud. Les autres se réfèrent à des règles de bonne pratique.

Pour ce qui concerne la compétence des médecins,

- le R.-U. et la Belgique exigent la qualification de médecin du travail en plus d'une compétence en médecine hyperbare,
- les USA laissent le choix à l'employeur, sous sa responsabilité, qui s'adresse le plus souvent à un spécialiste reconnu,
- l'Italie, l'Australie et la NZ exigent une compétence en médecine hyperbare
- l'Afrique du Sud n'exige une qualification en médecine du travail que pour les tubistes.

L'administration chargée du travail reçoit copie des décisions d'aptitude au R-U et Afrique du Sud. La Nouvelle-Zélande tient un fichier national des aptitudes. En Italie, les certificats d'aptitude sont centralisés pour les agents des Affaires Maritimes.

Une accréditation administrative des médecins concernés est exigée par le R-U, l'Afrique du Sud. En Australie et NZ, c'est la société savante médicale (SPUMS : South Pacific Undersea Medical Society) qui tient à jour, en liaison avec l'IMCA, une liste de médecins compétents.

Le recours administratif contre la décision médicale existe au R-U, en Belgique, Suisse et Afrique du Sud. En Italie, les salariés peuvent demander une surexpertise médicale.

L'aptitude est délivrée pour le poste de travail en Belgique, aux USA et en Afrique du Sud. Au R-U, Espagne, Suisse, Australie et Nouvelle Zélande, il s'agit d'une aptitude à une catégorie d'exposition (équivalente à nos classes et mentions).

Tous les pays interrogés admettent un âge minimal de 18 ans. L'Italie n'admet pas d'examen initial après 40 ans. L'Australie et la Nouvelle Zélande fixent à 16 ans l'âge minimum pour les encadrants de plongée de loisir. La Suisse limite les expositions hyperbares à 50 % du temps de travail à partir de 50 ans. L'Australie et la Nouvelle Zélande exigent un examen cardiovasculaire approfondi au-delà de 40 ans.

Tous les pays pratiquent un examen initial et un examen annuel. L'examen de reprise n'est obligatoire qu'en Italie, Suisse, USA et Afrique du Sud. Les examens complémentaires pratiqués sont répertoriés dans le tableau X.

Indépendamment des prescriptions réglementaires, on constate une grande disparité dans les pratiques. Aux Etats-Unis en particulier, où il n'existe pas de prescription réglementaire, les médecins, dont la responsabilité est engagée au cas par cas, ont tendance à prescrire tous les examens de la batterie classique.

Examens	UK		Italie		Espagne		Belgique ³		Suisse		USA		Aust et NZ		Afrique du Sud	
	Ex. initial	Ex. pér.	Ex. initial	Ex. pér.	Ex. initial	Ex. pér.	Ex. initial	Ex. pér.	Ex. initial	Ex. pér.	Ex. initial	Ex. pér.	Ex. initial	Ex. pér.	Ex. initial	Ex. pér.
ECG	SI		x		SI		SI	SI		x	x	x			x	x ⁶
EFR	x	x	x		SI		SI	SI		x	x	x		x	x	x
Test d'effort sous-maximal	x	x	x		SI		SI	SI		x		SI ⁴		SI	x	x
Numération formule sanguine	SI		x				SI	SI		x	x	x			x	
Ionogramme							SI	SI		x	x	x			x	
Enzymes							SI	SI		x	x	x			x	
Urines	x	x	x				SI	SI		x	x	x	x	x	x	x
RX thoracique			x	x ²			SI	SI			x		x		x	x ⁷
RX GA							SI	SI			x		x	x ⁵	x	x ⁸
Audiogramme	SI		x				SI	SI			x	x	x	x	x	x
Tympanogramme			x ¹				SI	SI								
EEG			x ¹				SI	SI								

Ex. pér. : examen périodique

SI : sur indication

¹ Militaires

² Gardes-côtes

³ pas de prescription réglementaire

⁴ après 40 ans

⁵ tubistes sur indication

⁶ intervalle 5 ans avant 40 ans, annuel ensuite

⁷ intervalle 5 ans

⁸ si expositions > 4 ATA et 20 h/sem.

Tableau X : Examens systématiques pratiqués dans les différents pays interrogés.

Annexe

Enquête EDTC des pratiques à l'étranger

(Dr J. Wendling, 1^{er} semestre 2014)

Practical Aspects of Fitness to Dive Assessment for Occupational Divers National Regulations

1. Which divers need to have a fitness to dive assessment (FTD) by national regulations?

Categories: offshore – inshore/inland commercial – freelancer (self-employed, including fishing/salvaging) – search and rescue (SAR) : police, fireguards, coastguards – scientific (fulltime employed) – scientific (students) – recreational diving instructors (paid) – recreational diving instructors (non-paid) – tunnelers – HBO chamber personal.

2. Are assessments all the same or different for certain categories? v = same, 1,2,... = different (describe in the last field of the line under “remarks”).

3. Who is attesting FTD to the diver/employer?

Categories: only MD with occ med diploma/specialty – MD with specific training as medical examiner of divers (MED) – MD with higher education for diving medicine – any MD – others (explain under remarks).

4. Is the national health and safety administration (H&S) involved in:

the assessment (decision by H&S mandatory) – getting copy of medical record – getting copy of attest – accreditation of MEDs and quality control (CME) – responsible when diver appeals the negative decision of a MED.

5. Are certifications valid for:

Any kind of hyperbaric exposure – categories – only for the actual job (explain under “remarks”).

6. What assessments are national standard?

Categories: initial FTD – periodic in-depth FTD – annual FTD – resume diving FTD.

7. What technical examinations are mandatory for in-depth assessment?

(v = mandatory, i = on indication only, 1,2... = other indications to be noted under “remarks”) ECG – lung function (with flow volume curve) – submaximal stress test for aerobic capacity (explain which test under “remarks”) – laboratory: blood count – sickle cell test – electrolytes – enzymes – urine – x-ray thorax – x-ray big articulations/MRI – audiogram – tympanogram – EEG.

8. Are there age limits for occupational divers?

minimal age – maximal age (please note under “remarks” if there are restrictions or certain diving procedures for divers categories).

9. FTD decision is taken on the basis of:

individual risk assessment – list of contraindications (indicate number of CI's) – restricted permissions are possible.

10. Are certificates for FTD of foreign MEDs recognised? Yes on individual bases if equivalent – yes if declared equivalent to EDTC standard and appropriate MEDs accreditation documented – others.

Questions	UK	I	F	E	B	CH	USA	AUS/ NZ	SA
1. Which divers need to have a fitness to dive assessment (FTD) by national regulations?									
a) offshore	✓	✓	✓	✓	✓	✓	~ 43)	✓	✓
b) inshore/inland commercial	✓	✓	✓	✓	✓	✓	~ 43)	✓	✓
c) freelancer (self-employed, including fishing/salvaging)	1)	✓ 7)	50)	✓	-	-	~ 43)	20)	✓ 36)
d) search and rescue SAR (police, fireguards, coastguards)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	~ 43)	✓	✓
e) scientific (fulltime employed)	✓	8)	✓	✓	✓	✓	~ 43)	✓ or 20)	✓
f) scientific (students)	2)	8)	✓	✓	-	-	~ 43)	21)	✓
g) recreational diving instructors (paid)	✓	✓	✓	✓	-	-	-	20)	-
h) recreational diving instructors (non-paid)	3)	?	✓	✓	-	-	-	21)	-
i) tunnelers	✓	✓	✓	-	✓	✓	~ 43)	✓	✓
j) HBO chamber personal	✓	✓	✓	-	✓	✓	~ 43)		✓
k) Media divers	✓	?	✓	✓	✓	✓	~ 43)	20)	✓
2. Are assessments all the same or different for certain categories? v = same, 1,2,... = different (describe in the last field of the line under "remarks")									
Same assessment for all	✓	9)	var 51)	var 31)	var 56)	✓	var 44)	✓ ~ excl f), h)	✓ 37) excl g, h
3. Who is attesting FTD to the diver/employer?									
- only MD with occ med diploma/specialty	4)	j) d)	52) a), b), d), e), i), j), k)		✓ 57)	47)	~ 45)	-	i
- MD with specific training as medical examiner of divers (MED)	✓	-	g) 52)			-	~ 45)	a), b), d), e), part i) j)	ftdi
- MD with higher education for diving medicine	-	a), b) c), e) f), i)			✓ 57)	-	~ 45)	-	ftda 38)
- any MD	5)	g), h) 10)	c), f), h)	-		✓ 47)	g), h)	-	g), h)
- others (explain under remarks)	-	-		✓ 32)		-	-	22) c), e), part f) g), h), k)	-
4. Is the national health and safety administration (H&S) involved in									
- the assessment (decision by H&S mandatory)	-	-	-	-	-	✓	-	-	-
- getting copy of medical record	-	-	-	-	-	✓	-	- 23)	-
- getting copy of attest	✓	- 13) 14)	-	-	-	✓	-		✓
- accreditation of MEDs and quality control (CME)	✓	- 13) 14)	-	-	-	-	-	- 24)	✓
- responsible when diver appeals the negative decision of a MED	✓	- 15)	✓	-	✓	✓	-	-	✓

	UK	I	F	E	B	CH	USA	AUS/ NZ	SA
5. Are certifications valid for:									
- Any kind of hyperbaric exposure	✓	-	-		✓ 58)	✓	-	✓	-
- categories	opt	✓	~53		-	-	-	opt	-
- only for the actual job (explain under remarks”).	opt	-	✓		✓	opt	✓	opt 25)	✓
6. What assessments are national standard?									
- initial FTD (ftdi)	✓	a)	(✓) 54)	-	-	✓	✓	-	✓
- periodic in-depth FTD (ftdp)	✓	a)	(✓) 54)	-	-	✓ 48)	opt 46)	26)	39)
- annual FTD (ftda)	✓	a),b) c), d), e) ,f), g) ,i), j)	(✓) 54)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
- resume diving FTD (ftdr)	-	✓	-	-	-	✓	✓	-	✓
7. What technical examinations are mandatory for in-depth assessment? (v = mandatory, i = on indication only, 1,2... = other indications to be noted under “remarks”)									
- ECG	ftdi	✓	✓	- 34)	✓ 59)	ftdp	ftdi ftdp	-	✓ 39)
- lung function (with flow volume curves)	ftda	✓	✓	- 34)	✓ 59)	ftdp	ftdi ftdp	ftdp	✓
- submaximal stress test for aerobic capacity (explain which test under “remarks”)	ftda	✓	✓	- 34)	✓ 59)	ftdp 48)	46)	- 28)	✓
- laboratory: blood count	ftdi	✓ 16)	✓	-	-	ftdp	ftdi ftdp	-	ftdi
- sickle cell test	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- electrolytes	-	-	✓	-	-	ftdp	ftdi ftdp	-	ftdi
- enzymes	-	-	-	-	-	ftdp	ftdi ftdp	-	ftdi
- urine	ftda	✓	✓	-	-	ftdp	ftdi ftdp	✓	✓
- x-ray thorax		- 17)	(✓)	-	-	-	ftdi	ftdi	38)
- x-ray big articulations/MRI	-	-	-	-	-	-	ftdi	- 27)	ftdi 40)
- audiogram	ftdi	✓	(✓)	-	✓ 59)	-	ftdi ftdp	✓	ftdi 41)
- tympanogram	-	- 18)	(✓)	-	-	-	-	-	-
- EEG	-	- 18)	(✓) 54)	-	-	-	-	-	-
8. Are there age limits for occupational divers?									
- minimal age	18 y	18 y	18 y	18 y	18 y	18 y	18 y	18 y 28)	18 y
- maximal age (please note under “remarks” if there are restrictions or certain diving procedures for divers categories)	-	- 19)	-	-	-	50 y 49) -	-	- 29)	-
9. FTD decision is taken on the basis of:									
- individual risk assessment	✓	All (-d)	✓ 34)	✓ 34)	✓	✓	-	(+)	✓
- list of contraindications (indicate number of CI's)		d)	f), g), h)	-	-	-	✓	✓	-
- restricted permissions are possible	✓	-	opt	opt	?	✓	opt	✓	✓

	UK	I	F	E	B	CH	USA	AUS/ NZ	SA
10. Are certificates for FTD of foreign MEDs recognised?									
– yes on individual bases if equivalent		19)		✓	✓	✓	-	30)	42)
– yes if declared equivalent to EDTC standard and appropriate MEDs accreditation documented	-	-		-	✓	-	-	✓	ftdi
– others	6)	-	✓ 53)		-	-	-	-	-

Tableau XI : Résumé des réponses des spécialistes étrangers

Remarks

Question 1:

20) AUS: in “general diving” FTD is on discretion of employer. Pearldivers in Western Australia or abalone and fishing divers in Tasmania have guidance by authorities.

1) UK: < 1 m and confined: not under approved Code of Practice inland, so no FTD.

7) I: Commercial sea harvester (< 20 m) under separate legislation.

8) I: According to employer (no legislation, however Code of Practice by labour direction).

2) UK: FTD optional, normally checklist by Recreational scuba training council (RSTC).

21) AUS: not under the regulation, use RSTC or ISO standard, more often still ancient Australian standard with stringent prescriptions.

3) UK: considered non occupation, so RSTC procedure (selfassessment).

43) USA: no guidance or prescription but obligation for “careful procedures” (otherwise litigation for enormous sums).

36) SA: for those diving “in benign conditions” there are less stringent regulations.

50) F: No prescription of assessment procedures however self-employed must prove operational safety by appropriate health state (check by a competent doctor).

Question 2:

9) I: a), e), f), i), according EDTC standards. b) according to ancient prescriptive regulation. d) according to own authorities. j) according to occupational medicine specialist discretion. g), h) according to EDTC if special risk, no guidance if normal risk.

37) SA: ftdi is same for all (except e, h) but ftida may vary as done by level II Diving Medical Physician.

44) USA: industry divers follow the Association of Diving Contractors International (ADCI) standards, recreational divers the RSTC standards. Rest not regulated.

31) E: regulations do not give guidance for FTD. b, c, e are checked by MD of Instituto Social de la Marina. Police and SAR get FTD by own doctors. The others freestyle by any MD.

51) F: As there is actually no formal prescription anymore, the assessment has to follow professional guidelines (under construction), thus will generally be more or less the same, however adaptable on discretion of the assessor.

56) B: There is no prescription for the examination, so it is at the discretion of the MED, however normally uses an own standard for all divers.

Question 3:

4) UK: since 2011 all MEDs need to have also the occupational medicine diploma.

11) I: SAR by institutional occupational MD or in-house trained MD.

12) I: inshore divers by institutional MD of Sanita Marittima.

5) UK: for FTD on indication by RSTC.

19) I: recreational instructors for diving with special risks need DMP (level 2d) or sport medicine specialist.

22) AUS: examining MD's competence not prescribed, usually they had an introductory course (1 to 3 days).

47) CH: MD performs FTD according to a checklist but being supervised by occupational MD of HSE.

45) USA: competence not prescribed. Up to the company to mandate a doctor. In reality 60 % occupational MD, 40 % MD with some diving medicine training. Also competence centres with level II DMP available in some places.

38) SA: annual assessments are done by company doctor (level II DMP) in cooperation with occ med. Only tunnelers have FTD by occ med with level 2 qualification.

32) E: Any MD can do FTD if attested minimal training in diving medicine (normally introductory courses only). Only few MDs have higher qualification (masters course at Barcelona University, cf. also 30).

52) F: For all employed divers the occupational MD of the company has to check and certify the divers. If he feels to have not appropriate competence, he may refer to a hyperbaric medicine specialist. However the occupational MD will have the final decision. Exceptions are the recreational diving instructors that may be checked by hyperbaric medicine or sports medicine specialists (special degree in France). Scientific students, non paid instructors and recreational divers need to have a medical check that may be performed by any GP (divers federations physicians generally have some basis in diving medicine).

57) B: Occupational medicine specialist with competence in diving/hyperbaric medicine, so most of the time company occupational MD refers divers to a specialist.

Question 4:

23) NZ: all records in national databank.

13) I: Sanita Marittima for b).

14) I: SAR are controlled including their MED's by their authorities.

24) AUS: SPUMS and IMCA have list of MED's.

15) I: Possible to see another MD by own initiative (to get a “better” assessment). Except SAR and inland (have expert committee on demand).

Question 5:

25) AUS: Tunnelers only for the job (employer).

33) E: Certificate could be issued for depth range (30 m, 55 m, unlimited) but normally not done so.

53) F: Certificates are valid for the job at the company they are employed. However when moving to another employer the new occupational doctor will generally accept the examination results and only evaluate the fitness for the new job.

58) B: As the FTD assessment is a risk assessment for the job and when the diver starts to work for another company he needs another examination, there is always kind of a limitation to the actual job, even if not mentioned.

Question 6:

26) NZ: 5 y. interval. In between annual online self-assessment (under control of authorities occupational MD). AUS: Some exams are periodical each 5 y.

39) SA: chest X-ray /5y., stress ECG /5y. < 40 y., then /1 y.

54) F: Until 2011 prescribed initial, periodic and annual FTD by regulations. After that date, a new decree refers to professional recommendations, that are under construction.

Question 7:

28) AUS: “physical fitness is to be checked”, stress-test only on discretion of MED.

16) I: except recreational instructors.

17) I: Coast guards every year.

27) AUS: tunnelers when exposed enough.

18) I: for SAR and Navy at ftdi.

34) E: all exams are optional. Mostly ECG, sometimes lung function and only exceptionally stress tests are performed.

46) USA: stress ECG only if periodic in depth ftdp is indicated, not before 40 y. Interval is at discretion of company diving medical physician.

48) CH: stress ECG /5 y. then ftdp including stress ECG /2 y.

40) SA: baseline for those diving > 20 h/week + 30m depth.

41) SA: annually only for those exposed.

54) F: From the formal prescribed examinations, EEG, tympanogram and X-rays are under discussion, probably optional in the future.

59) B: No prescribed procedure by regulations. This procedure is the personal standard of Dr Van Den Eede, more detailed examinations are performed on indication.

Question 8:

28) recreational divemaster : 16 y.

19) I: b) 40 y max for initial assessment.

29) AUS: no limit, but > 40 y: cardiovasc screening exam recommended.

49) CH: beyond 50 y. 50 % work time only allowed.

Question 9:

35) E: individual, as there is no guidance. Most MDs have only minimal training – not appropriately competent.

54) F: In contrast to the professional divers, the recreational diving federation still uses a prescriptive list of contraindications, however with recently some exceptions / modifications.

Question 10:

30) AUS: large span for discretionary decisions by employers. HSE and SPUMS lists are OK.

19) I: for most categories accepted by local MED on individual validation (not for SAR). Offshore if MED is HSE approved.

6) UK: offshore agreement with Netherlands and Norway only.

42) SA: Decision is always made by company level II DMP, however he may decide that properly done exam by foreign DMP is good, therefore exams not to be repeated.

55) F: Certificates of genuine countries are valid (according to European regulations), for EU citizens, on individual basis for non-EU citizens.

Références

ECHM – EDTC. Educational and training standards for physicians in diving and hyperbaric medicine. [http://www.edtc.org/ECHM-EDTC Educational and training standards \(2011\) \[1\].pdf](http://www.edtc.org/ECHM-EDTC_Educational_and_training_standards_(2011)[1].pdf)

Wendling J, Elliott D, Nome T, (eds). Medical assessment of working divers. Hyperbaric Editions, Biel-Bienne, Switzerland. 2004, 216 p.

Deuxième partie

RECOMMANDATIONS

**DE LA SOCIÉTÉ DE PHYSIOLOGIE ET DE MÉDECINE
SUBAQUATIQUES ET HYPERBARES DE LANGUE
FRANÇAISE**

ET DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MÉDECINE DU TRAVAIL

**pour la prescription des examens complémentaires nécessaires à
la détermination de l'aptitude aux postes de travail en milieu
hyperbare**

À l'issue du tour d'horizon que constitue l'état des lieux, les recommandations que la communauté médicale spécialisée peut faire aux médecins du travail peuvent s'articuler autour de 4 axes exprimés sous forme de quatre questions :

- 1) Quel sont les objectifs des examens médicaux d'aptitude ?
- 2) Quelle devra être la périodicité des examens médicaux d'aptitude ?
- 3) Quels sont les examens recommandés pour pouvoir prendre une décision ?
- 4) Enfin, quelles sont les connaissances indispensables (quelle formation complémentaire) pour les médecins qui auront à se prononcer ?

I.- OBJECTIFS DES EXAMENS MÉDICAUX D'APTITUDE

Le code du travail et la jurisprudence attribuent à l'employeur une obligation de sécurité de résultat en matière de prévention des altérations de la santé physique et mentale que pourraient subir les salariés par le fait du travail. Dans cet objectif, le médecin du travail (avec l'aide de l'équipe pluridisciplinaire) est son conseiller, et doit donc, dans son domaine technique, concourir à ce résultat dans le respect des règles déontologiques.

Outre les conseils et actions de prévention collective qui sont la première mission du médecin du travail, la prévention passe également par l'action individuelle auprès des salariés, que ce soit en termes de formation ou d'information aussi bien que de prévention médicale.

Le présent document ne concerne que ce dernier point, mais le contexte général des actions de prévention ne doit pas être perdu de vue.

La prévention médicale des activités hyperbares s'inscrit donc dans le contexte général de la prévention des risques professionnels selon la démarche fixée par les articles L.4121-1 et L.4121-2 du code du travail : éviter les risques, évaluer les risques qui ne peuvent être évités, combattre les risques à leur source. Or, les risques liés à l'activité hyperbare, tels qu'ils sont décrits dans le chapitre I, d'origine physique ou biochimique, peuvent être aggravés par un certain nombre de situations anatomiques, physiologiques ou pathologiques, comme par les conditions de travail. Il apparaît donc légitime de se préoccuper de ces situations, de les identifier, et pour chaque poste de travail, d'évaluer si le risque pour la santé du salarié est significativement augmenté par rapport à celui qu'encourt un salarié parfaitement sain. Pour cette raison, le médecin du travail devra se faire délivrer la fiche de poste établie par l'employeur.

En outre, au cours de la vie professionnelle, le salarié peut être atteint de différentes pathologies ou séquelles d'accidents qu'il ne présentait pas à son début professionnel.

Enfin, un accident du travail lié aux conditions hyperbares peut laisser des séquelles organiques ou fonctionnelles susceptibles d'aggraver le risque professionnel.

C'est pourquoi il convient de distinguer les différents examens médicaux correspondant à ces situations :

- l'examen médical initial, effectué avant toute exposition au milieu hyperbare, donc avant l'entrée dans l'activité, c'est-à-dire avant la formation, ou à l'occasion d'un changement significatif du niveau de risque (un changement de classe ou de mention par exemple, ce qui sous-entend un complément de formation) ou du statut (de plongeur de loisir à professionnel par exemple).

Cet examen est à distinguer de l'examen médical d'aptitude réalisé à l'embauche tel que défini par le code du travail (art R.4624-24) qui doit être demandé par l'employeur dans le cadre du suivi individuel renforcé avant toute affectation au poste de travail. En effet, le plus souvent, un employeur embauche un salarié possédant déjà une qualification : la visite d'embauche aura pour objet de vérifier et de mettre éventuellement à jour le bilan de santé tel que défini dans le présent document, et de vérifier la compatibilité des éléments recueillis avec le poste de travail.

À l'inverse, le cas peut se présenter où un employeur doit placer un de ses salariés non formé aux travaux hyperbares sur un poste hyperbare (par exemple en classe B pour des activités annexes comme scientifique, photographe, etc., en classe C dans le milieu médical, ou en classe D dans les

travaux publics). Il doit alors, avant de lui faire suivre une formation, l'adresser au médecin du travail pour un examen médical initial, indépendamment de l'examen d'embauche.

- l'examen médical périodique, effectué à intervalles réguliers, qui a pour objectifs :
 - de vérifier que l'état de santé du salarié ne s'est pas altéré et donc qu'il ne présente pas de risque majoré,
 - de dépister l'apparition éventuelle d'une maladie professionnelle.

Le recueil des éléments de la traçabilité des expositions, à la charge des SSTI (art. L.4622-2 du code du travail) n'entre pas dans le champ des présentes recommandations.

- l'examen médical de reprise (ou de pré-reprise, selon les cas), effectué après accident ou maladie, afin de vérifier l'absence de séquelle ou d'évaluer l'aggravation du risque en raison de la présence de séquelles, et ainsi proposer des adaptations du poste de travail ou une modification des conditions d'exposition.

De plus, un examen médical occasionnel peut être demandé à tout moment par l'employeur ou le salarié à l'occasion de toute question sur l'état de santé.

Le médecin examinateur devra souvent faire effectuer un ou des examens complémentaires afin de préciser le risque. Le chapitre II des présentes recommandations a pour objet d'aider les praticiens dans le choix des examens complémentaires.

Chacun de ces examens doit être l'occasion pour le médecin du travail de rappeler au salarié les règles fondamentales de la prévention primaire attachées aux spécificités de son poste de travail (règles hygiéno-diététiques, entretien du matériel, procédures de décompression, expositions hyperbares successives, etc.).

Comme il est de règle en pratique médicale courante, le recours au spécialiste n'a pas de caractère obligatoire : certains SST sont équipés pour effectuer des audiométries, des spirométries, des ECG. Il appartient donc au médecin du travail ou de prévention de juger de la nécessité de recourir au spécialiste.

À l'issue de l'examen, le médecin établit une des fiches d'avis prévues par l'arrêté du 16 octobre 2017 et explique si nécessaire à l'intéressé les raisons qui motivent sa décision. Il lui communique les résultats des examens complémentaires et le cas échéant les avis du ou des spécialistes auxquels il a été adressé.

Dans tous les cas, le recours contre la décision du médecin du travail est garanti par l'article L.4624-7 du code du travail.

Recommandation 1

L'examen médical d'aptitude du salarié exposé au risque hyperbare a pour objectif de rechercher et d'identifier les situations anatomiques, physiologiques ou pathologiques de nature à favoriser une majoration des risques professionnels. Il doit être l'occasion d'un rappel des règles de prévention primaire par le médecin.

L'évaluation des risques pour la santé du salarié doit se faire au regard du poste de travail effectivement détenu ou pour lequel il postule. Pour cela, le médecin du travail devra se faire délivrer la fiche de poste établie par l'employeur.

(Avis d'experts)

1) L'EXAMEN MÉDICAL INITIAL

Il s'agit de l'examen médical approfondi pratiqué avant l'entrée dans la profession. Il a pour objet d'identifier tout élément pathologique qui, en raison de l'augmentation du risque d'accident ou de maladie professionnelle, constituerait une contre-indication à l'exposition hyperbare ou nécessiterait une restriction des conditions de l'exposition, compte tenu de l'activité (mention et classe) à laquelle se destine le candidat.

Le plus souvent, le cas se présente lors de l'accès à la formation initiale. Le médecin devra prendre en compte, dans sa décision, le fait que le risque d'accidents, et particulièrement de barotraumatismes (ORL et pulmonaires), est majoré chez le débutant. De plus, bien que le code du travail dispose que les travaux en milieu hyperbare, autres que ceux de la classe 0 sont interdits aux jeunes âgés de quinze à 18 ans (art. D.4153-15 et 23), il prévoit la possibilité de dérogation notamment pour les apprentis et les stagiaires, sous réserve d'aptitude médicale. Le cas particulier de l'aptitude des jeunes travailleurs fait l'objet du chapitre 14.

L'examen approfondi devra être renouvelé à l'occasion d'un changement significatif du niveau de risque, en particulier lors d'un changement de classe de travail (pressions de travail plus élevées) ou de mention (apparition de risques particuliers liés à la mise en œuvre de méthodes d'intervention ou d'appareils plus complexes).

Recommandation 2

Un examen médical initial approfondi devra être pratiqué avant la première exposition aux conditions hyperbares. Le médecin devra tenir compte dans sa décision du risque accru d'accident chez les débutants.

Il devra être renouvelé dès lors que l'évolution professionnelle du salarié l'expose à un risque nouveau ou plus important.

(Avis d'experts)

2) PÉRIODICITÉ DES EXAMENS MÉDICAUX D'APTITUDE

Il existe un consensus d'experts international, partagé par les experts français, pour considérer qu'un examen médical annuel est indispensable pour suivre convenablement l'état de santé des salariés et répondre aux objectifs de prévention. Pour cette raison, les experts considèrent que cet examen ne peut être remplacé par un entretien infirmier ou une visite intermédiaire par un personnel de santé comme indiqué à l'art. R.4624-28.

Régulièrement, un examen médical périodique approfondi est recommandé pour explorer les grandes fonctions dont les performances sont susceptibles de s'altérer avec l'âge ou le mode de vie. La périodicité de cinq ans a été choisie pour s'adapter aux examens des différentes spécialités médicales concernées.

Recommandation 3

L'état de santé des salariés exposés au risque hyperbare doit faire l'objet d'un examen médical annuel, orienté selon les risques occasionnés par le poste de travail et les éléments médicaux connus du salarié.

Cette périodicité ne peut être décalée par une visite intermédiaire par un personnel paramédical.

Un examen périodique approfondi est recommandé tous les cinq ans.

(Avis d'experts)

3) L'EXAMEN MÉDICAL DE REPRISE

Le code du travail (art. R.4624-31) prévoit trois cas dans lesquels un salarié doit bénéficier d'un examen de reprise :

- après un congé de maternité,
- après une maladie professionnelle (quelle que soit sa durée),
- après un arrêt de 30 jours pour accident du travail, maladie ou accident non professionnel.

Ces dispositions ignorent les risques des activités hyperbares. Il existe des accidents du travail (barotraumatismes dentaires ou ORL, crises d'hyperoxie, intoxication au CO, accident de décompression articulaire par exemple) qui nécessitent moins de 30 jours d'arrêt de travail pour être résolus. De même, certaines maladies aiguës de courte durée, des voies aériennes par exemple, peuvent laisser comme séquelle une altération sensible de la fonction ventilatoire. Des pathologies rénales ou cardiovasculaires peuvent également avoir des conséquences physiologiques sans pour cela nécessiter un arrêt de travail supérieur à 30 jours.

C'est la raison pour laquelle il apparaît légitime de recommander que tout salarié exposé au risque hyperbare bénéficie d'un examen médical :

- dans les conditions de l'examen de reprise prévu par le code du travail pour les accidents du travail et les maladies professionnelles,
- après tout arrêt de travail pour accident ou maladie, quelle que soit sa durée. Il s'agirait en ce cas d'un examen à la demande de l'employeur ou du salarié selon le cas.

Recommandation 4

Tout travailleur exposé au risque hyperbare devrait bénéficier d'un examen médical après tout arrêt de travail pour accident ou maladie, d'origine professionnelle ou non, quelle que soit sa durée.

(Avis d'expert)

4) CONTENU DES EXAMENS MÉDICAUX

Pour répondre aux objectifs de prévention, ces différents examens médicaux devront faire l'objet d'un examen clinique approfondi et d'examen complémentaires. Un autoquestionnaire écrit peut être administré pour orienter le médecin et impliquer le salarié dans les actions de prévention individuelle. Il ne saurait se substituer à l'interrogatoire mené par le médecin. Un modèle simple d'autoquestionnaire utilisé pour la plongée est proposé en annexe pour exemple. Il pourra être modifié ou complété au gré du médecin examinateur pour correspondre au poste de travail et aux risques identifiés. La signature de l'intéressé pourra être demandée aux fins d'authentification.

Les examens complémentaires sont normalement laissés à l'initiative du médecin examinateur. Toutefois, pour l'aider dans ses choix, le chapitre suivant du présent document recommande, listés par appareil et spécialité médicale, un certain nombre d'examen complémentaires en fonction de l'âge, de l'activité, des antécédents et des données de l'anamnèse.

Recommandation 5

Tout examen médical d'aptitude à l'exposition au risque hyperbare doit comporter un examen clinique approfondi, éventuellement précédé d'un autoquestionnaire adapté aux risques du poste de travail. Des examens complémentaires peuvent être prescrits selon les présentes recommandations.

(Avis d'experts)

II.- LES EXAMENS COMPLÉMENTAIRES RECOMMANDÉS

Classiquement, on peut considérer en vertu de l'étude des risques comme organes cibles du risque hyperbare l'appareil respiratoire, la sphère ORL, le système nerveux central, l'appareil locomoteur ; et comme facteurs de risques les anomalies organiques ou fonctionnelles de l'appareil cardiovasculaire, les désordres métaboliques, hématologiques, la grossesse, les maladies infectieuses.

1.- LE BILAN PARACLINIQUE EN PNEUMOLOGIE

Pour l'appareil respiratoire, les examens recommandés jusqu'en 2012 dans le cadre de la détermination médicale de l'aptitude hyperbare étaient représentés par des explorations fonctionnelles respiratoires (spirométries) annuelles et la radiographie thoracique initiale (arrêté du 28 mars 1991).

Dorénavant sans texte de référence, une mise au point paraît nécessaire sur les explorations que le médecin, sollicité dans le but de déterminer l'aptitude médicale à une activité hyperbare, doit prescrire.

1.1.- MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE DE DONNÉES

a) Recherche bibliographique

Cette recherche a été fondée sur l'interrogation de bases de données bibliographiques, des sites internet des sociétés savantes concernées, des agences d'évaluation, des agences sanitaires et autres organismes officiels, auxquelles se sont ajoutées quelques références que sont les guides européens, internationaux relatifs à l'hyperbarie et son approche médicale (DMAC...).

La base de données bibliographiques *Medline* (National Library of Medicine, Etats-Unis) a été consultée ainsi que la revue des archives de maladies professionnelles et de l'environnement et l'encyclopédie médico-chirurgicale. Les termes de recherche sont des termes issus du thésaurus *Medline* ou des termes du titre ou du résumé déterminés par le sujet traité. Ils sont combinés en autant d'étapes que nécessaire à l'aide des opérateurs « ET », « OU ».

Ainsi, les mots-clés *fitness, hyperbaric, diving, diving medicine, respiratory, lung* ont été utilisés de façon croisée ou isolée pour retrouver les références les plus pertinentes. De plus les articles reliés après la recherche initiale ont également pu être consultés.

b) Limites de sélection des données de la littérature médicale

Lorsqu'on s'intéresse à l'aptitude médicale et à l'évaluation des risques pour un salarié, il est excessivement difficile de trouver des articles de niveau 1, puisque bien souvent la situation médicale d'un hyperbariste est examinée au cas par cas. En effet, chaque individu étant unique (sur le plan génétique, comportemental ou environnemental) et une même maladie n'ayant pas la même expression d'un individu à l'autre (Sosnay et Cutting 2014), il n'a été que très rarement retrouvé des articles concernant la prévalence d'un état pathologique posant problème au sein d'une grande population d'hyperbaristes. Les situations individuelles ont, à ce titre, été plus décrites que des problématiques collectives. C'est d'ailleurs une des raisons qui a été à l'origine de l'abrogation du décret de 1990 et de l'arrêté de 1991 car l'approche des examens complémentaires, initialement obligatoires dans la détermination de l'aptitude, de systématique est devenue pragmatique, non obligatoire et à l'appréciation du médecin du travail.

De plus, en termes d'aptitude, il est également très difficile de déterminer quelle maladie est à risque de décompenser de façon certaine en milieu hyperbare car les patients porteurs

d'anomalies respiratoires (suspectées comme les plus à risque) ont bien souvent vu leur aptitude refusée et n'ont donc pas été soumis à des contraintes hyperbares. Il est par conséquent malaisé d'affirmer comment une pathologie respiratoire évolue en milieu hyperbare.

Des études rétrospectives sur les facteurs ayant abouti à une atteinte respiratoire délétère (favorisée par un état pré-pathologique) manquent. Des autopsies avec retour sur l'état de santé pré-mortem de l'hyperbariste peuvent essayer de retrouver ce qui a causé le décès de la personne soumise à une contrainte hyperbare. Cependant la pratique de ces autopsies ne semble pas internationalement standardisée (Goldhahn 1977). À ce titre, lors d'activités hyperbares en immersion, les morts de plongeurs dont le corps a été retrouvé *a posteriori* sont très souvent liées à des noyades (et/ou des hypoxies) (Goldhahn 1977, Spira 1999, Bove 2014, Youn Shin Kim 2014). Cependant une grande difficulté demeure quant à savoir si un problème respiratoire préexistant (plus qu'un problème technique) a été à l'origine de cette hypoxie et/ou de cette noyade.

Par ailleurs, il existe des individus qui souffrent de maladies respiratoires qui ont été soumis à des contraintes hyperbares et qui n'ont eu aucun problème lors des expositions. Ces derniers ont en effet pu cacher leur pathologie au moment des consultations d'aptitude, totalement la méconnaître, avoir été certifiés aptes sans examen médical approfondi ou bien ont pu pratiquer une activité hyperbare à leur propre compte (notamment dans le cadre des loisirs) sans avoir à présenter de certificat médical préalable (Taylor et coll. 2002).

Néanmoins, malgré les limites décrites ci-dessus, nous allons tenter de répondre à plusieurs questions concernant la pratique de ces examens.

1.2.- OBJECTIF DE L'EXAMEN D'APTITUDE

Déterminer l'aptitude médicale à un poste de travail hyperbare consiste à conclure s'il y a ou non adéquation entre l'état de santé du sujet et le fait d'exposer son organisme aux contraintes liées au travail en pression. En termes de prévention, on cherche à minimiser les risques de développer une atteinte aigüe ou chronique dans le cadre de cette exposition. Il ne s'agit par conséquent pas de réaliser un diagnostic médical mais plutôt de savoir si le sujet pourra faire face aux contraintes que rencontrera son appareil respiratoire dans le cadre de ses activités hyperbares. L'aptitude fonctionnelle à tenir ce poste sous contrainte est donc plus importante à déterminer que de savoir s'il s'agit de telle ou telle maladie qui ne semble pas compatible avec un exercice hyperbare.

L'examen médical aura également comme objectif de dépister un facteur de risque d'une pathologie liée à l'hyperbarie de façon générale ou à la plongée de façon plus précise (accident de désaturation, œdème pulmonaire d'immersion, barotraumatisme thoracique, surpression pulmonaire...) (Spira 1999, Bove 2014).

1.3.- SUR QUELS ÉLÉMENTS (CLINIQUES ET PARACLIQUES) SE FONDER POUR PRENDRE UNE DÉCISION D'APTITUDE OU D'INAPTITUDE À L'EXPOSITION AU RISQUE HYPERBARE ?

a) Lors d'un examen initial (avant la première exposition)

Sur le plan respiratoire, étant donné les contraintes que représente une activité professionnelle en milieu hyperbare, plusieurs éléments sont à recueillir.

Tout d'abord, outre la recherche des caractéristiques de l'activité proposée, le médecin examinateur recueille, dans la mesure du possible, les données de l'étude du poste de travail du professionnel hyperbare. Il consigne ces informations dans le dossier médical de santé au travail de l'intéressé (Turbant Castel et coll. 2008).

L'interrogatoire va également chercher à déterminer si le professionnel a déjà fait l'objet d'une inaptitude médicale, dans quelle classe et quelle mention il postule, quelle est sa formation au milieu hyperbare (pratique-t-il la plongée ?). Il s'intéressera ensuite aux antécédents respiratoires (s'il y en a), à l'habitus (addictions, au tabac notamment, pratique d'activité physique) et aux prises médicamenteuses éventuelles.

Le dossier peut être étayé d'un document attestant que l'hyperbariste a fourni tous les éléments concernant ses antécédents et son état de santé actuel. Ce document n'a cependant qu'une faible valeur médico-légale.

Il sera ensuite réalisé un examen clinique ciblé respiratoire (inspection notamment à la recherche de cicatrices de traumatismes thoraciques ou de thoracotomies, palpation, percussion et auscultation respiratoire avec pour point de mire la recherche de sibilants) qui orientera la prise de décision. Un examen clinique normal n'est pas forcément gage d'aptitude médicale au poste hyperbare. Cependant l'absence d'anomalie clinique constitue un élément favorable.

Enfin des examens complémentaires pourront être réalisés. D'abord ceux ciblés sur les capacités fonctionnelles présentes au regard des antécédents décrits par le professionnel. Néanmoins si des examens paracliniques récents de bonne qualité, voire anciens, ont été réalisés et permettent d'évaluer l'état respiratoire de l'hyperbariste, il n'est pas indiqué de les faire effectuer de nouveau.

À ce jour, de nombreux examens complémentaires sont à disposition du praticien pour explorer l'appareil respiratoire.

Cependant parce qu'ils sont trop invasifs, trop irradiants, difficilement accessibles, encore à l'état de recherche, en cours d'évaluation, n'explorant que trop peu de problèmes respiratoires, ou peu discriminants dans le cadre de notre recherche, certains d'entre eux ne peuvent être utilisés pour le dépistage d'une pathologie non compatible avec une exposition hyperbare.

En effet, il ne s'agit pas forcément d'avoir un examen paraclinique très spécifique mais plutôt un examen très sensible pouvant procurer des données fiables et faciles à recueillir pour connaître les capacités respiratoires d'un hyperbariste et les risques qu'il encourt si des anomalies existent.

Ainsi, la perméabilité des voies aériennes supérieures et terminales doit être d'une fonctionnalité quasi-parfaite pour éviter une surpression pulmonaire. Les maladies respiratoires obstructives doivent donc être dépistées.

La plèvre viscérale ne doit pas risquer de se détacher de la plèvre pariétale (antécédents de pneumothorax, bulles d'emphysème à proximité de la paroi), car le pneumothorax ainsi créé pourrait s'aggraver lors de la remontée de manière dramatique.

La vascularisation doit être optimale, en particulier il ne doit pas y avoir de shunt droite-gauche, risquant de favoriser un accident de décompression par passage de bulles dans la circulation artérielle.

L'appareil respiratoire joue un rôle fondamental dans l'adaptation de l'organisme à l'effort. Ce rôle est d'autant plus difficile que l'augmentation de masse volumique des mélanges respiratoires avec la pression augmente les résistances bronchiques (Bove 1996, Jammes et coll. 2006) et que l'immersion, dans le cas des plongeurs, modifie la mécanique ventilatoire. De plus, l'activité en milieu hyperbare se caractérise par un niveau d'effort significativement élevé. L'élévation de la consommation d'oxygène fait du système cardio-respiratoire un ensemble physiologique devant être capable de fonctionner de manière optimale (Held et Pendergast 2013).

S'agissant des examens respiratoires prescrits dans le cadre des bilans d'aptitude à la recherche des états décrits ci-dessus, trois examens ont été souvent cités par les comités d'experts : radiographie thoracique, exploration fonctionnelle respiratoire (EFR) et tests d'hyperréactivité bronchique (Wendling 1996, EDTC 2003, Barès 2006).

Il ne semble pas pertinent d'effectuer une radiographie thoracique standard lors de l'examen initial, dans le cadre d'un dépistage systématique de maladies respiratoires infracliniques au sein de la population. Le code de la santé publique (art. R.1333-56) prévoit en effet : « *Pour l'application du principe mentionné au 1° de l'article L. 1333-1, toute exposition d'une personne à des rayonnements ionisants, dans un but diagnostique, thérapeutique, de médecine du travail ou de dépistage, fait l'objet d'une analyse préalable permettant de s'assurer que cette exposition présente un avantage médical direct suffisant au regard du risque qu'elle peut présenter et qu'aucune autre technique d'efficacité comparable comportant de moindres risques ou dépourvue d'un tel risque n'est disponible.[...] La justification d'une exposition aux rayonnements ionisants à des fins médicales et médico-légales s'appuie soit sur les recommandations de pratique clinique de la Haute Autorité de santé, soit sur l'avis concordant d'experts formulé dans les conditions prévues à l'article R. 1333-70.* » En 2009, la HAS renvoyait à la réglementation en vigueur : la radiographie thoracique systématique avant embauche et lors de l'activité professionnelle n'est indiquée que dans des cas particuliers définis par la réglementation ou le CSHPF. Mais le guide du bon usage des examens d'imagerie médicale de la Société française de radiologie (2012), établi conjointement avec l'Autorité de sûreté nucléaire, ne retient pas cette indication.

Seule la tomodensitométrie thoracique pourrait être envisagée dans le cadre d'une démarche diagnostique et individualisée si les éléments recueillis ne permettent pas d'établir une évaluation de l'état respiratoire pré-exposition à une contrainte hyperbare (Talarmin et coll. 1997), selon les recommandations de la Société française de radiologie. C'est également la recommandation de l'EDTC (Wendling et coll. 2004).

En définitive et en complément de la clinique, à un instant t , le meilleur moyen de connaître les capacités respiratoires du candidat est d'effectuer une EFR de repos et une exploration respiratoire d'effort (le minimum étant une saturométrie d'effort). En effet, des EFR initiales ont plusieurs avantages : elles sont peu invasives, renseignent sur les capacités ventilatoires de l'hyperbariste, mais sont peu spécifiques. Elles font le point sur un large éventail de situations aux aptitudes fonctionnelles respiratoires variables (du porteur d'une BPCO à un sujet atteint

de sarcoïdose par exemple), sont peu coûteuses (un peu plus d'une centaine d'euro maximum) au regard d'autres examens et sont une base pour des comparaisons ultérieures (Barré 2002).

En dépistage et sans point d'appel, on peut remplacer l'EFR par l'enregistrement d'une boucle débits-volumes.

Un test de provocation bronchique non spécifique n'est pas à réaliser de façon systématique et est à discuter selon les cas. En effet, si l'anamnèse, l'examen clinique et les EFR déjà réalisés n'ont pas permis au médecin du travail de se déterminer, il est possible que ce test soit alors prescrit mais sous certaines conditions que nous verrons ci-après.

b) Lors d'un examen périodique

L'anamnèse est de nouveau réalisée à la recherche d'une affection respiratoire intercurrente. Elle sera complétée par un examen clinique ciblé.

Les explorations complémentaires seront orientées par la clinique et, même en l'absence d'anomalie clinique, des EFR sont indiquées dans le but de dépister une altération des capacités fonctionnelles, qu'elle soit due à l'activité hyperbare ou à une pathologie.

Néanmoins, il convient de distinguer le risque des expositions en immersion et sans immersion. L'exercice en immersion doit être d'autant plus surveillé qu'il implique le risque de noyade et de difficulté de secours (Tetzlaff et Muth 2005, Edmonds et coll. 2012).

1.4.- QUELLE DOIT ÊTRE LA PÉRIODICITÉ ET LA NATURE DES EXAMENS CLINIQUES ET PARACLINIQUES ?

Il existe un consensus international pour recommander un examen médical annuel (voir recommandation 1). Une anomalie clinique au cours de cet examen méritera des explorations qui relèveront alors du diagnostic médical. Après l'âge de 40 ans, il ne semble pas nécessaire de réaliser de visite semestrielle mais de garder une rythmicité annuelle (Barré 2002).

Les EFR sont à réaliser au plus tard tous les 5 ans si elles étaient normales avant 40 ans puis tous les ans après 40 ans pour les activités en immersion. En effet, dans de nombreuses études, il a été rapporté l'apparition de syndromes obstructifs périphériques et d'altérations de la diffusion alvéolo-capillaire chez des sujets dont la contrainte hyperbare représentait le facteur de risque majeur de ces dégradations (la pratique d'un entraînement physique en étant plutôt un facteur protecteur). Les dégradations étaient déjà significatives après 5 ans d'activité (Thorsen et coll. 1990, Pougnet et coll. 2013). Ces altérations ne sont cependant pas retrouvées par tous les auteurs (Tetzlaff et Thomas, 2017).

Pour les expositions sans immersion, une boucle débit-volume, avec un intervalle minimum de deux ans après 40 ans, semble pouvoir suffire en l'absence de signe d'appel : la notion émerge à présent qu'en l'absence d'altération fonctionnelle initiale ou d'épisode pathologique intercurrent, les seules activités en ambiance hyperbare n'ont pas à long terme d'effet spécifique cliniquement significatif sur la fonction respiratoire (Sames et coll. 2018).

1.5.- QUELLES SONT LES CONDITIONS DE REPRISE DE L'ACTIVITÉ PROFESSIONNELLE APRÈS UN ARRÊT DE TRAVAIL POUR MALADIE OU ACCIDENT ?

La reprise de l'activité professionnelle après maladie ou accident peut être envisagée sous deux aspects :

- l'accident de santé ne laisse pas de séquelles : il y aura alors retour sur le poste avec des restrictions d'aptitude ou des adaptations du poste dépendant de l'origine et de la nature de l'accident de santé (crise d'asthme par exemple) ;

- soit l'accident de santé laisse des séquelles respiratoires. Elles devront alors être qualifiées et quantifiées et pourront aboutir soit à une restriction partielle ou totale des activités hyperbares.

Il faut donc préciser quelles séquelles sont à risque pour l'activité hyperbare. Il est vrai que des altérations pleurales, des séquelles de trappage aérien, des séquelles obstructives avec risques de piégeage gazeux ou des séquelles interstitielles vont modifier la compliance pulmonaire, faciliter les lésions dysbariques ou altérer les capacités d'échanges gazeux. Néanmoins si les séquelles morphologiques sont sans conséquence sur les EFR, dans certaines pathologies autres que l'emphysème ou les pneumothorax à répétition, la reprise d'activité pourra être discutée.

Or, le médecin du travail est souvent isolé pour prendre ce genre de décision. De plus, il est souvent difficile d'obtenir un consensus entre tous les médecins interrogés sur un même cas (Harrison 2005, Sames et coll. 2012). Néanmoins, des référents sur la question doivent pouvoir être interrogés en cas de décision difficile à prendre.

1.6.- PATHOLOGIES SUPPOSÉES AUGMENTER LES RISQUES DES EXPOSITIONS HYPERBARES

a) Maladies respiratoires aiguës

Pouvant plutôt être considérées comme des contre-indications temporaires à une exposition hyperbare, les trachéites, bronchites, bronchiolo-alvéolites ou les pneumopathies aiguës sont à envisager avec sérieux (Chim et coll. 2006). En effet, il faudra s'assurer de leur guérison pour autoriser une réexposition hyperbare : les risques de surpression pulmonaire ou une altération des échanges gazeux sont à craindre dans le cadre des pathologies créant une obstruction bronchique et/ou une atteinte alvéolaire fonctionnelle.

Pour les pleurésies infectieuses, c'est le risque de pneumothorax qu'il faudra envisager. Une grande attention doit également être portée aux abcès pulmonaires et aux séquelles de piégeage aérien que cela entraîne.

b) Maladies respiratoires chroniques

Les bronchopneumopathies chroniques obstructives (BPCO)

Elles se distinguent par un trouble ventilatoire obstructif (qui peut être objectivé sur une boucle débit-volume) ou une distension caractérisée par l'augmentation du rapport VR/CP. On y retrouve l'emphysème, l'asthme fixé ou la bronchite chronique obstructive. Les dilatations des bronches représentent les mêmes risques de surpression thoracique que les BPCO et contre-indiquent les activités hyperbares.

Même cliniquement asymptomatique, la BPCO s'accompagne à terre, en normobarie de distension dynamique et d'une moindre tolérance à l'exercice (Soumagne et coll. 2016). Il est légitime de faire l'hypothèse que ces risques sont majorés par les facteurs qui augmentent le travail ventilatoire et facilitent la bronchoconstriction en hyperbarie et en immersion.

Les barotraumatismes thoraciques peuvent également être favorisés par des bulles d'emphysème, des *blebs*. Il faudra également craindre le risque de pneumothorax s'il existe un emphysème sous pleural.

En outre, les altérations cellulaires secondaires à la toxicité de l'oxygène sont susceptibles d'aggraver l'état de la muqueuse respiratoire déjà pathologique (Jammes et coll. 2006, Held et Pendergast 2013).

L'asthme

La maladie asthmatique est sans doute la plus retrouvée dans les discussions autour de l'aptitude médicale à l'hyperbarie. En effet, de nombreux asthmatiques ne déclarent pas leur maladie et plongent, dans le cadre du loisir notamment. Interrogés, ces derniers ne font part d'aucun problème lors de ces activités (Taylor et coll. 2002, Tetzlaff et Muth 2005, Harrison et coll. 2005). Une analyse rétrospective des barotraumatismes thoraciques traités à Marseille ne retrouve aucun asthme sous jacent. La cause principale est un défaut d'expiration lié à une panique ou à un exercice de remontée sans embout (Coulange et coll. 2008).

Le risque théorique de surpression pulmonaire lié à un bronchospasme (notamment en immersion), doit cependant être pris en compte, bien que les données épidémiologiques actuellement disponibles, qui ne concernent que la plongée de loisir, ne le démontrent pas (Lynch et Bove 2009, Adir et Bove 2016).

L'examen initial et périodique devra donc rechercher par l'interrogatoire, l'examen clinique et l'enregistrement des courbes débit-volume, les antécédents et les signes évocateurs d'un syndrome obstructif expiratoire. La suspicion d'une maladie asthmatique justifiera le recours au spécialiste : l'asthme est protéiforme et les phénotypes n'ont pas la même évolution, la même susceptibilité au déclenchement de crises, ni la même gravité (Halder et coll. 2008, Agache et coll. 2012) et, eu égard aux contraintes ventilatoires rencontrées en hyperbarie sèche et surtout immergée, une appréciation qualitative et quantitative spécialisée doit être recherchée en cas de doute.

L'asthme au froid et l'asthme d'effort sont considérés comme des motifs d'inaptitude, essentiellement pour les activités subaquatiques.

Au total, les phénotypes d'asthme et les histoires individuelles sont différents. Chaque sujet devra donc bénéficier d'une évaluation clinique et complémentaire personnalisée (Adir et Bove 2016).

Il est globalement admis en plongée de loisir qu'un asthmatique de palier 1 sans crise d'asthme récente, avec un examen clinique normal, des EFR normales, y compris avec test pharmacodynamique, n'est pas inapte à l'hyperbarie, alors qu'un asthme permanent, modéré ou sévère (paliers 3 et 4) est une contre-indication stricte à la plongée autonome (Tetzlaff et coll. 1998 et 2002, Coëtmeur et coll. 2001, Ong et coll. 2009).

Les pathologies interstitielles chroniques

Des pneumopathies fibrosantes aux vascularites pulmonaires en passant par les bronchiolites oblitérantes, nombreuses sont les pathologies interstitielles pouvant faire l'objet d'une contre-indication. Néanmoins, il est difficile d'établir un degré d'atteinte parenchymateuse ou d'altération de la diffusion alvéolo-capillaire qui soit la limite de la contre-indication à un exercice hyperbare. Des études à large échelle manquent dans ce sens.

Le médecin du travail devra le plus souvent s'en remettre au cas par cas à l'avis du spécialiste. De nombreux auteurs estiment cependant que ces pathologies ne doivent pas autoriser le travail hyperbare (Neumann 1999, Wendling et coll. 2004).

Les pathologies séquellaires

Les antécédents de traumatismes thoraciques, de tumeurs pulmonaires, de pathologies infectieuses graves, de bronches à clapet, d'une exérèse pulmonaire partielle sont cités comme étant des contre-indications à l'exercice hyperbare.

Il en est de même de l'antécédent de pneumothorax spontané en raison du risque de récurrence, de 23 à 52 % selon les auteurs (Neumann 1999, Wendling et coll. 2004). Les sujets avec antécédents de pneumothorax iatrogènes ou post-traumatiques ou de traumatismes thoraciques pourront être déclarés aptes sous réserve d'une fonction ventilatoire correcte et de l'absence de kystes aériques.

Les suites favorables d'embolie pulmonaire même modeste doivent faire l'objet d'évaluations approfondies étiologiques (v. chapitre hématologie) et fonctionnelles, et imposent une grande prudence pour l'aptitude aux postes de travail exposant à un risque élevé de production de bulles circulantes.

L'insuffisance respiratoire

Il semble difficile d'envisager qu'un insuffisant respiratoire chronique désire exercer un métier hyperbare. De plus, il est fort probable que le médecin du travail prenant connaissance de cette insuffisance respiratoire ne délivre aucune aptitude (même restrictive) à cet exercice.

1.7.- CONCLUSION : EXAMENS RESPIRATOIRES À RÉALISER DANS LE CADRE DE LA DÉTERMINATION DE L'APTITUDE MÉDICALE À L'EXPOSITION AU RISQUE HYPERBARE

En analysant les données actuelles de la littérature, il s'avère que l'examen le plus adapté en première intention est l'enregistrement des boucles débit-volume au cours de la réalisation de manœuvres d'expiration et d'inspiration forcées. Les valeurs recueillies constituent le point de repère pour suivre l'évolution ultérieure des paramètres fonctionnels individuels. Des examens plus complets, en particulier la mesure des volumes non mobilisables, par pléthysmographie corps entier ou dilution d'hélium, la mesure de la diffusion alvéolo-capillaire du CO, des tests de bronchodilatation ou la recherche d'une hyperréactivité bronchique, pourront être proposés par le spécialiste pour explorer les antécédents ou les anomalies détectées. L'épreuve d'exercice pourra être proposée pour vérifier l'absence de distension dynamique au cours des efforts ventilatoires.

Peuvent être considérées comme pathologiques les valeurs suivantes des différents paramètres :

- volumes mobilisables < 80 % de la valeur théorique,
- VEMS < 90 % de la valeur théorique,
- coefficient de Tiffeneau < 75 %,
- DEM 50, DEM 25 et DEM 50 – 25 < 75 % de la valeur prédite.

La radiographie thoracique n'a pas d'intérêt dans la détermination de l'aptitude. Si l'anamnèse ou l'examen clinique montrent la nécessité d'un examen morphologique, ce sera l'indication d'une tomodensitométrie thoracique.

Au total, en visite initiale, un enregistrement des boucles débit-volume est recommandé même en l'absence d'antécédent respiratoire déclaré.

En l'absence de facteur de risque, d'antécédent respiratoire, d'anomalie clinique dans l'intervalle, cet examen sera renouvelé au minimum tous les 5 ans.

Recommandation 6

Lors de l'examen médical initial et périodique :

L'examen clinique de l'appareil respiratoire et les indicateurs issus de l'enregistrement des boucles débit-volume sont les examens sur lesquels le médecin doit s'appuyer.

L'enregistrement des boucles débit-volume doit être renouvelé tous les cinq ans au minimum.

La radiographie thoracique systématique n'est pas indiquée. L'examen d'imagerie thoracique de référence est la tomodensitométrie. Elle sera prescrite s'il existe des signes d'appel à l'interrogatoire, à l'examen clinique ou à l'exploration fonctionnelle.

En cas de doute, une exploration fonctionnelle respiratoire plus complète devra être envisagée sur avis du spécialiste : la mesure de la capacité de transfert alvéolo-capillaire au CO (TLCO) et les épreuves de réactivité bronchique ou de réponse respiratoire à l'exercice pourront être réalisées à la suite d'un premier examen clinique et paraclinique insuffisamment informatif.

(4 C)

Références

Adir Y, Bove AA. Can asthmatic subjects dive? Eur Respir Rev. 2016 Jun; 25(140): 214-20.

Agache I, Ciobanu C, Paul G, Rogozea L. Dysfunctional breathing phenotype in adults with asthma – incidence and risk factors. Clinical and Translational Allergy 2012, 2:18.

Arrêté du 28 mars 1991 définissant les recommandations aux médecins du travail chargés de la surveillance médicale des travailleurs intervenant en milieu hyperbare. JORF 26 avril 1991, p 5640-2.

Arrêté du 2 mai 2012 abrogeant diverses dispositions relatives à la surveillance médicale renforcée des travailleurs. JORF 8 mai 2012, texte 123.

- Barès C. Principes généraux de l'aptitude à la plongée. *In* : Broussolle B, Méliet JL, Coulange M (eds). *Physiologie et Médecine de la Plongée*. Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. p 551-67.
- Barré P. Aptitude médicale à l'hyperbarie professionnelle. *In* : Wattel F, Mathieu D (eds). *Traité de médecine hyperbare*. Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2002. p 678-701.
- Bove AA. Medical aspects of sport diving. *Med Sci Sports Exerc*. 1996, 28, 5: 591-5.
- Bove AA. Diving Medicine. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014 May 28.
- Chim H, Soo KH, Low E, Chan G. Severe acute respiratory syndrome in a naval diver. *Mil Med* 2006, 171, 6: 491-3.
- Coëtmeur D, Briens E, Dassonville J, Vergne M. Asthma and scuba diving Absolute contraindication? In all asthma patients? *Rev Mal Respir*. 2001, 18: 381-6.
- Coulange M, Gourbeix JM, Grenaud JJ, D'Andréa C, Henckes A, Harms JD, Cochard G, Barthélémy A. La RSE (remontée sur expiration) en 2008 : Bénéfices / Risques ? Analyse rétrospective des barotraumatismes thoraciques. *Bull. Medsubhyp* 2008, 18, 1: 9-14.
- Edmonds C, Lippmann J, Lockley S, Wolfers D. Scuba divers' pulmonary oedema: recurrences and fatalities. *Diving Hyperb Med*. 2012; 42, 1: 40-4.
- EDTC. Fitness to dive standards. 2003. 34 p.
- Goldhahn RT Jr. Scuba diving deaths: a review and approach for the pathologist. *Leg Med Annu*. 1977, 1976: 109-32.
- Haldar P, Pavord ID, Shaw DE, Berry MA, Thomas M, Brightling CE, Wardlaw AJ, Green RH. Cluster Analysis and Clinical Asthma Phenotypes. *Am J Respir Crit Care Med* 2008, 178, 3: 218–24.
- Harrison D, Lloyd-Smith R, Khazei A, Hunte G, Lepawsky M. Controversies in the medical clearance of recreational scuba divers: updates on asthma, diabetes mellitus, coronary artery disease, and patent foramen ovale. *Curr Sports Med Rep* 2005, 4, 5: 275-81.
- HAS. Principales indications et non-indications de la radiographie du thorax. Rapport d'évaluation technologique. Haute Autorité de Santé, Saint-Denis La Plaine, février 2009. 169 p. Disponible sur : http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-03/rapport_rx_thorax.pdf [mars 2015].
- Held HE, Pendergast DR. Relative effects of submersion and increased pressure on respiratory mechanics, work, and energy cost of breathing. *J Appl Physiol*. 2013, 114, 5: 578-91.
- Jammes Y, Giry P, Hyacinthe R. Physiologie respiratoire et plongée. *In* : Broussolle B, Méliet JL, Coulange M (eds). *Physiologie et Médecine de la Plongée*. Ellipses Editions Marketing, Paris, 2006. p 86-114.
- Lynch JH, Bove AA. Diving medicine: a review of current evidence. *J Am Board Fam Med*. 2009, 22, 4 : 399-407.
- Neumann TS. Pulmonary fitness for diving. *In* : Lundgren CEG, Miller JN. *The lung at depth*. Marcel Dekker, New York. 1999, 75-90.
- Ong LM, Bennett MH, Thomas PS. Pulmonary dysanapsis and diving assessments. *Undersea Hyperb Med*. 2009, 36, 5: 375-80.

- Pougnat R, Henckes A, Mialon P, Lucas D, Pougnat L, Garlantézec R, Loddé B, Dewitte JD. Evolution of the ventilatory function of professional divers over 10 years. *Undersea Hyperb Med* 2013; 40, 4: 341-5.
- Sames C, Gorman D, Mitchell S. Postal survey of fitness-to-dive opinions of diving doctors and general practitioners. *Diving Hyperb Med* 2012, 42, 1: 24-9.
- Sames C, Gorman D, Zhou L. Long term changes in spirometry in occupational divers: a 10-25 year audit. *Diving Hyperb Med*. 2018, sous presse.
- Société française de radiologie. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale. 2012. Accessible sur <http://www.gbu.radiologie.fr> [mars 2015].
- Sosnay PR, Cutting GR. Interpretation of genetic variants. *Thorax*. 2014, 69, 3: 295-7.
- Soumagne T, Laveneziana P, Veil-Picard M, Guillien A, Claudé F, Puyraveau M, Annesi-Maesano I, Roche N, Dalphin JC, Degano B. Asymptomatic subjects with airway obstruction have significant impairment at exercise. *Thorax*. 2016 Sep;71, 9: 804-11.
- Spira A. Diving and marine medicine review part II: diving diseases. *J Travel Med* 1999, 6, 3: 180-98.
- Talarmin B, Garcia JF, Casse JP, Le Bivic T, André V, Clavel G, Guennec Y Aptitude et surveillance du plongeur. Intérêt d'un bilan d'imagerie ? *Médecine du sport* 1997, 71, 4: 145-51.
- Taylor DM, O'Toole KS, Ryan CM. Experienced, recreational scuba divers in Australia continue to dive despite medical contraindications. *Wilderness Environ Med*. 2002, 13, 3: 187-93.
- Tetzlaff K, Muth CM. Demographics and respiratory illness prevalence of sport scuba divers. *Int J Sports Med*. 2005; 26, 7: 607-10.
- Tetzlaff K, Muth CM, Waldhauser LK. A review of asthma and scuba diving. *J Asthma* 2002, 39, 7: 557-66.
- Tetzlaff K, Neubauer B, Reuter M, Friege L. Atopy, airway reactivity and compressed air diving in males. *Respiration* 1998, 65, 4: 270-4.
- Tetzlaff K, Thomas PS. Short- and long-term effects of diving on pulmonary function. *Eur Respir Rev*. 2017, 26, 143.
- Thorsen E, Segadal K, Kambestad B, Gulvik A. Diver's lung function: small airways disease ? *British Journal Of Industrial Medicine* 1990; 47: 519-23.
- Turbant Castel E, Manaouil C, Doutrelot-Philippon C, Jardé O. Le dossier médical en santé au travail. *Arch Mal Prof Env* 2008 ; 68(4) : 402-13.
- Wendling J. et coll. Aptitude à la plongée (2^e éd.). Société Suisse de Médecine Subaquatique et Hyperbare (Crissier) 1996.
- Wendling J, Elliott D, Nome T. Medical assessment of working divers. EDTC, Hyperbaric Editions, Biel-Bienne, Suisse, 2004. 216 p.
- Youn Shin Kim. Technical Approach for the Postmortem Examination of SCUBA Diving Fatality. *Korean Journal of Legal Medicine* (2014) 38:1, 1.

2.- LE BILAN PARACLINIQUE EN ORL

La part de l'ORL dans l'évaluation de l'aptitude médicale à l'exposition au risque hyperbare est importante car la pathologie en ORL en rapport avec l'hyperbarie est riche. En effet, les organes ORL sont soumis à une double contrainte ; contact avec le milieu extérieur et variations de pression. La législation actuellement en vigueur laisse le libre choix au médecin pour fixer les examens complémentaires qu'il juge nécessaires. Le praticien devra donc s'appuyer dans sa démarche sur un véritable raisonnement médical conduisant vers les examens appropriés.

2.1- RAPPELS DES RISQUES ORL

a) Les risques otologiques

Le risque principal est l'apparition d'une baisse neurosensorielle de l'audition c'est-à-dire une lésion irréversible. Celle-ci peut être la conséquence d'un accident aigu lié le plus souvent à un barotraumatisme de l'oreille interne ou plus rarement à un accident de décompression de l'oreille interne voire un coup de piston platinair. Mais il peut s'agir aussi d'une hypoacousie progressive conséquence de multiples barotraumatismes de l'oreille interne pouvant survenir *a minima* même sans douleur et entraîner une véritable souffrance chronique et répétée de l'oreille interne (Green et coll. 1993, Meller et coll. 2003, Herranz Gonzalez-Botas et Coll. 2008) ou d'une exposition au bruit non protégée (Anthony et coll. 2010).

Le risque vestibulaire existe aussi. Il s'agit essentiellement d'un risque aigu lié à une lésion brutale de l'oreille interne ou liée à un déficit vestibulaire non compensé comme par exemple une maladie de Ménière en crise. Il s'agit là de situations d'urgences bien particulières qu'il convient de considérer au cas par cas.

Il existe enfin un risque d'infection et/ou d'aggravation d'une pathologie inflammatoire lors de certaines pathologies qui contre-indiquent le contact de l'eau avec l'oreille externe ou moyenne. Il s'agit surtout des otites chroniques qui demandent une évaluation circonstanciée.

b) Risque naso-sinusien et pharyngo-laryngé

Le risque est essentiellement de survenue de barotraumatismes sinusiens. Il s'agit d'une pathologie peu fréquente surtout dans ses formes graves. Sa survenue, si elle a lieu, se produit généralement en début de carrière et soulève donc le problème de l'aptitude initiale. Les deux tiers des accidents relatés concernent les sinus frontaux. Un tiers intéresse le sinus maxillaire. Le sinus sphénoïdal peut être exceptionnellement concerné (Schipke et coll. 2017).

Le risque de lésion pharyngo-laryngée est exceptionnel.

2.2.- PATHOLOGIES PRÉEXISTANTES QUI AUGMENTENT LE RISQUE ORL

a) Pour le risque otologique

Il s'agit d'abord des atteintes préexistantes de l'audition. Le nombre de cellules ciliées ne fait que décroître au cours de l'existence. Cette évolution est plus ou moins rapide en fonction de divers paramètres :

- Endogènes d'abord comme l'existence de fragilités de ces cellules, le plus souvent génétiques, chez certains individus qui vont présenter au cours de leur évolution des altérations précoces de leur audition. Ces atteintes « d'organisme » sont le plus souvent bilatérales et symétriques. Mais d'autres pathologies liées à l'organe peuvent entraîner des atteintes unilatérales : otospongiose, cholestéatome, neurinome de l'acoustique...

Mentionnons à ce propos que l'otospongiose opérée, les fistules périlymphatiques sont des contre indications absolues. D'autres pathologies doivent faire l'objet d'une évaluation au cas par cas en fonction de l'atteinte notamment les otites chroniques opérées ou non (risques infectieux, risques auditifs et de barotraumatismes) ou les fractures du rocher.

- Exogènes ensuite, liées à l'environnement comme le bruit, à la prise de certains médicaments ototoxiques, certaines maladies inflammatoires ou infectieuses...

La pratique des activités hyperbares, et en particulier de la plongée accroît nettement les risques de dégradation de l'audition. Il conviendra donc de dépister et contre-indiquer les patients porteurs d'une cophose unilatérale (oreille unique) et ceux atteints d'une surdité bilatérale importante et/ou évolutive. Pour ceux-ci, le recueil des antécédents, des anciens audiogrammes et de l'histoire de leur surdité (aspect évolutif) sera primordial. Enfin, l'exposition au bruit est un facteur nettement aggravant qu'il faudra rechercher (Anthony et coll. 2010).

Il s'agit ensuite de tous les dysfonctionnements de la fonction d'équilibration pressionnelle tubaire qui sont des contre-indications absolues – tant qu'ils persistent – à l'exposition hyperbare : les risques de barotraumatismes sont élevés. C'est pourquoi la perméabilité tubaire devra être particulièrement vérifiée chez le candidat à une formation initiale.

Un facteur de dysperméabilité souvent méconnu est la consommation tabagique chronique (Schreiner et coll. 1997, Nihlen et coll. 2011) occasionnant à la longue une rhinite inflammatoire chronique responsable d'un épaissement muqueux et d'une hypersécrétion muqueuse altérant la fonction tubaire.

b) Pour le risque naso-sinusal et pharyngo-laryngé

Au niveau des sinus, il faudra savoir dépister toutes les atteintes pouvant entraîner un barotraumatisme des sinus. Certaines situations comme la polypose nasale ou les sinusites chroniques doivent être évaluées individuellement.

Au niveau du larynx, le laryngocèle (Toussaint et Coffine 2001) est une contre-indication absolue.

2.3.- LE DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES ORL EN HYPERBARIE

Le dépistage des pathologies ORL en hyperbarie nécessite :

- un interrogatoire adapté insistant sur la consommation de tabac, les antécédents ORL, l'existence de signes fonctionnels otologiques, rhino-sinusiens et laryngés ;
- un examen clinique devant comprendre une otoscopie durant une manœuvre de Valsalva à la recherche d'une mobilité tympanique, une acoumétrie, un examen vestibulaire simple et un examen de la cavité buccale, du pharynx et des fosses nasales ;
- certains examens complémentaires.

2.4.- LES EXAMENS COMPLÉMENTAIRES RECOMMANDÉS

a) L'audiométrie tonale

L'audiométrie tonale permet le dépistage d'une atteinte auditive non compatible avec l'hyperbarie, notamment en cas de cophose unilatérale ou de surdité bilatérale importante et/ou évolutive que les risques hyperbares pourraient aggraver. Dans ces cas-là, et notamment lorsque le déficit auditif atteint 25 à 30 dB sur les fréquences conversationnelles (500, 1000 et 2000 Hz), il est possible de quantifier le retentissement fonctionnel de la surdité à l'aide de l'audiométrie vocale.

Pour apprécier l'évolutivité de l'affection, il faut obtenir des audiométries antérieures et s'aider des éventuels signes fonctionnels apparatus (gène auditive, acouphènes). La notion d'exposition au bruit, même extraprofessionnelle, est également importante à noter car elle participe à la dégradation de l'audition. Il en est de même pour certains médicaments ototoxiques ou certains solvants organiques (toluène).

Il s'agit d'un examen capital, sensible, spécifique et reproductible à condition bien sûr que le sujet soit coopérant. Son coût est peu élevé (52 Euros en 2014, avec la tympanométrie), elle n'est pas invasive et son accessibilité aisée.

Au total, l'audiométrie tonale est indispensable initialement comme référence. Tout sujet exposé au risque hyperbare doit en bénéficier. Elle devra être renouvelée en fonction des risques (exposition au bruit ou aux solvants organiques aromatiques) et des antécédents. De manière schématique, en l'absence d'antécédents et d'exposition au bruit, un intervalle de cinq ans suffit. Dans le cas contraire, elle sera annuelle.

En cas d'atteinte auditive sur l'audiogramme, après s'être assuré qu'il ne s'agit pas d'un état aigu et que le patient a bien coopéré pendant l'examen, il pourra être nécessaire de demander un avis spécialisé afin d'éliminer certaines pathologies (par exemple atteinte unilatérale et neurinome de l'acoustique), préciser si possible une étiologie, évaluer l'évolutivité et le retentissement. Certaines atteintes sont des contre-indications définitives, d'autres doivent être appréciées dans leur contexte (individu, poste). Une atteinte bilatérale, modérée et peu évolutive survenant en cours de carrière dans un poste non exposé au bruit nécessitera d'être moins strict qu'à l'examen initial.

b) La tympanométrie

Elle est d'intérêt discuté en visite initiale, car il existe des faux négatifs, c'est-à-dire des problèmes d'obstruction tubaire avérée à tympanométrie normale. Elle peut participer et éventuellement étayer des doutes en complément d'un bon interrogatoire et d'une otoscopie lors d'une manœuvre de Valsalva.

c) Les autres examens possibles

- **La vidéonystagmographie** n'a pas d'intérêt en visite systématique. Selon l'interrogatoire et l'examen vestibulaire clinique, un examen vestibulaire plus poussé pourra être demandé.

- **La fibroscopie nasopharyngée** et la **tomodensitométrie des sinus** sont nécessaires dans l'exploration de tout symptôme nasosinusal (obstruction nasale, rhinorrhée, hyposmie ou anosmie, épistaxis et céphalées) et au moindre doute. Les radiographies conventionnelles des sinus apparaissent inutiles de façon systématique.

- Les **potentiels évoqués auditifs** (PEA) peuvent être indiqués pour déterminer de façon formelle le niveau auditif chez un patient peu coopérant ou simulateur. Plus rarement ils peuvent entrer dans le bilan d'une surdité de perception unilatérale à la recherche d'une étiologie rétro cochléaire, mais dans ce cas une IRM sera préférée car plus sensible (Chelly et coll. 1998).

- Pour certains, l'enregistrement des **otoémissions acoustiques** et de leur produits de distorsion pourraient avoir une valeur dans le cadre du dépistage de la fragilité cochléaire au stade infraclinique (Raynal et coll. 2011).

- L'épreuve de **compression en caisson** n'a que peu d'intérêt. Pour certains, elle peut étayer une décision difficile en cas de pathologie nasosinusienne chronique dont le retentissement est difficile à apprécier (De Rotalier et coll. 2004). Cependant, il faut savoir qu'en plongée, l'environnement extérieur et notamment le froid perturbe le fonctionnement muqueux nasosinusal et tubotympanique avec des risques d'œdème et d'hypersécrétion qui entravent le bon équilibre des pressions au niveau de ces cavités (Stammberger 1991) ; et qu'une situation « limite » mais sans problème en caisson peut en situation réelle entraîner un barotraumatisme.

De plus, faire effectuer cette épreuve avant toute formation à des personnes n'ayant jamais été confrontées à une élévation de pression barométrique peut être à l'origine de barotraumatismes auriculaires qui pourraient avoir des conséquences irrémédiables. Au total, le rapport bénéfice / risque ne permet pas de recommander cette épreuve.

Recommandation 7

L'examen otorhinolaryngologique doit avoir pour objectif de dépister les pathologies préexistantes qui majorent le risque hyperbare et de rechercher les altérations d'origine professionnelle.

L'examen clinique doit comprendre une otoscopie avec examen de la mobilité tympanique sous manœuvre de Valsalva et un examen vestibulaire.

L'audiométrie tonale est recommandée pour l'évaluation initiale et sera renouvelée au moins tous les 5 ans, ou avant en cas d'accident ORL ou d'exposition au bruit.

L'épreuve de compression en caisson n'a pas habituellement d'indication en otorhinolaryngologie.

La tympanométrie et la radiographie conventionnelle des sinus ne sont pas recommandées comme examens systématiques.

(Avis d'experts)

Références

Anthony TG, Wright NA, Evans MA. Review of diver noise exposure. *Underwater Technology* 2010, 29, 1: 21-39.

Chelly H, Cyna-Gorse F, Bouccara D, Sterkers O. Quand demander une IRM en pathologie otologique ? *Lettre d'oto-rhino-laryngologie et de chirurgie cervico-faciale* 1998, 237: 25-7.

De Rotalier P, Conessa C, Talfer S, Hervé S, Poncet JL. Barotraumatismes sinusiens. *EMC [20-466-A-10] Oto-rhino-laryngologie* 2004. 1, 3: 232-40.

Green S, Rothrock S, Hummel C, Green E. Incidence and severity of middle ear barotrauma in recreational scuba diving. *Journal of Wilderness Medicine* 1993. 4, 3: 270-80.

Meller R, Rostain JC, Luciano M, Chays A, Bruzzo M, Cazals Y, Magnan J. Does repeated hyperbaric exposure to 4 atmosphere absolute cause hearing impairment? Study in Guinea pigs and clinical incidences. *Otol Neurotol* 2003, 24, 5: 723-7.

Nihlén U, Frantz S, Wollmer P, Greiff L, Andersson M. Nasal Symptoms in Smoking Induced Lung Disease. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 2011, 127, 2: AB96.

Raynal M, Job A, Crambert A, Prunet D, le Page P, Briche T, Kossowski M. Intérêt des otoémissions acoustiques dans le dépistage de la fragilité cochléaire au stade infraclinique. *Médecine et Armées* 2011, 39, 5: 459-64.

Schreiner C, Calhoun K, Seikaly H, Perachio A. The effect of smoking on nasal mucociliary clearance. *Otolaryngol Head and Neck Surg.* 1997, 117, 2: 180.

Schipke JD, Cleveland S, Drees M. Sphenoid sinus barotrauma in diving: case series and review of the literature. *Res Sports Med* 2017; 26 (1): 1-14.

Stammlerger H. Secretion transportation. In: Stammlerger H (ed). *Functional endoscopic sinus surgery*. BC Decker, Philadelphia. 1991, p. 17-47.

Toussaint B, Coffine L. Laryngocèle et plongée. *Science & Sports*. 2001, 16, 5: 280-1.

3.- LES EXAMENS PARACLINIQUES EN CARDIOLOGIE

Depuis l'abrogation de l'arrêté de 1991, nous sommes passés d'une approche systématique à une approche pragmatique de l'aptitude médicale en milieu professionnel. Or si la première attitude peut conduire à de nombreux examens inutiles, coûteux et à une perte de temps, la seconde pose la question de l'efficacité, et donc de la sensibilité de cette stratégie pour le dépistage des pathologies à risque.

Les interventions en milieu hyperbare interpellent le cardiologue de par leur risque spécifique, mais aussi en raison du manque de possibilités d'intervention rapide et efficace en cas d'urgence.

Le dépistage et la surveillance des professionnels doivent être basés sur *ce que l'on sait* du risque cardio-vasculaire, et de son *adaptation au milieu hyperbare*.

On sait que le risque est d'abord celui de l'exercice lui-même puisque la survenue d'une mort subite est 2 à 3 fois plus fréquente chez les athlètes que chez les sédentaires (Corrado et coll. 2003). Cependant, la morbi-mortalité totale est elle-même deux fois supérieure chez les sujets peu actifs physiquement par rapport aux sujets régulièrement actifs (Berlin et Colditz 1990, Sandvik et coll. 1993, Thompson et coll. 2007). C'est là le paradoxe du sport qui reste globalement très protecteur moyennant un sur-risque pendant l'effort intense lui-même (Paffenbarger et coll. 1993). Néanmoins, ce sur-risque temporaire est très différent en fonction du niveau d'entraînement puisque, pour un effort intense, il peut varier d'un facteur 2,4 avec un entraînement régulier, à plus de 100 pour un sédentaire (Mittleman et coll. 1993). La notion de pratique d'une activité physique régulière est donc fondamentale pour les travailleurs exposés à l'hyperbarie.

3.1.- LES FACTEURS DE RISQUE

a) L'âge

Avant 35 ans

On sait que le risque de décompensation brutale est, chez le sujet de moins de 35 ans, essentiellement secondaire à des pathologies héréditaires (cardiomyopathie hypertrophique, maladie arythmogène du ventricule droit, canalopathies) (Maron et coll. 1996, Queneau et coll. 2013, Schwartz et Corrado 2012), d'où l'importance primordiale de l'interrogatoire sur les antécédents familiaux (mort subite ou maladie cardiaque avant 50 ans).

Il ne faut pas non plus négliger les pathologies coronariennes, congénitales ou acquises, responsables d'environ 25 % des morts subites à cet âge.

L'examen physique est souvent pauvre à cet âge alors que le tracé électrocardiographique de repos (ECG) est d'une grande utilité. En effet, il est anormal dans plus de 80 % des cas des pathologies cardiologiques familiales avec risque arythmogène, ce qui lui confère une très bonne valeur prédictive négative.

Si l'examen clinique seul est susceptible de dépister seulement 3 à 6 % des pathologies cardio-vasculaires dans cette tranche d'âge, son association avec un ECG permettra un

dépistage de 60 % des anomalies (Corrado et coll. 2006, Lawless et Best 2008, Myerburg et Vetter 2007). C'est la raison pour laquelle l'ECG a été recommandé dans le dépistage des jeunes (12 à 35 ans) sportifs compétiteurs par la société Européenne de cardiologie (Corrado et coll. 2003), attitude suivie par la Société Française de Cardiologie en 2009 (Carré et coll. 2009). L'ECG est donc un examen paraclinique fondamental dans cette tranche d'âge. Son application doit être généralisée, mais cela pose le problème de la formation des médecins concernés à l'interprétation de l'ECG normal afin de solliciter un avis spécialisé devant toute anomalie (Corrado et coll. 2010).

Les autres examens paracliniques utiles dans ce contexte sont surtout l'épreuve d'effort (dépistage des coronaropathies, des anomalies rythmiques...) et l'échocardiographie (dépistage des cardiomyopathies, des valvulopathies...). D'autres examens paracliniques (IRM, études électrophysiologiques, tests génétiques...) peuvent être nécessaires dans certains cas, mais restent du ressort d'un avis spécialisé.

Après 35 ans

Au-delà de 35 ans, la pathologie coronarienne devient nettement prédominante, puisqu'elle représente plus de 80 % des morts subites (hors de toute contrainte hyperbare).

L'interrogatoire, à la recherche d'une symptomatologie et des facteurs de risque cardiovasculaires mais aussi du niveau d'entraînement moyen, est là aussi fondamental.

L'examen physique est souvent plus riche (souffles cardiaques ou vasculaires, signes d'insuffisance cardiaque) et la prise tensionnelle est primordiale chez les sujets exposés à l'hyperbarie comme nous le verrons plus loin.

L'ECG est une évidence bien que son apport soit souvent paradoxalement plus pauvre dans cette tranche d'âge, car l'ECG de repos d'un coronarien, connu ou non, est le plus souvent normal.

La biologie (bilan lipidique, glycémie, fonction rénale) est nécessaire au dépistage des facteurs de risque.

Le reste du bilan paraclinique de dépistage d'une coronaropathie est par ailleurs centré sur les tests d'ischémie (épreuve d'effort), l'imagerie (coroscaner, IRM) pouvant apporter parfois sa contribution. Il est important de rappeler que la sensibilité et la spécificité d'une épreuve d'effort sont très étroitement liées au contexte clinique : symptomatologie et facteurs de risque. Une épreuve d'effort à visée coronarienne n'a aucun intérêt chez un jeune actif, asymptomatique et sans facteurs de risque. Cet examen n'a donc aucune raison d'être systématique et doit être ciblé sur une population à haut risque coronarien.

b) L'environnement

Outre l'aspect de l'exercice physique, *l'adaptation au milieu hyperbare* est essentiellement liée aux contraintes environnementales que sont le froid, l'hyperoxie, la charge ventilatoire liée à la congestion de la circulation pulmonaire par l'immersion, à la respiration en charge positive ou négative (pression transthoracique hydrostatique et résistances de l'appareillage ventilatoire), à la respiration de gaz denses, la décompression et l'immersion pour les plongeurs (Bove 2016). L'immersion et les contraintes qui l'accompagnent modifient les

facteurs physiologiques des fonctions, et abaissent ainsi souvent les seuils de risques hémodynamique, ischémique, rythmique et embolique.

Les contraintes les plus redoutées, en particulier chez les plongeurs, sont le froid et l'hyperoxie responsables d'un ralentissement de la fréquence cardiaque et d'une vasoconstriction périphérique. Cette dernière peut être tout à fait inappropriée et intense chez des sujets hypertendus ou prédisposés à l'hypertension artérielle. La vasoconstriction systémique, voire coronarienne, est aussi un facteur de décompensation hémodynamique ou ischémique. Enfin la bradycardie engendrée par le froid et l'hyperoxie peuvent être intenses et susceptibles de favoriser l'apparition de troubles du rythme ou de la conduction.

D'autres mécanismes de défaillance cardiaque commencent à être mieux cernés, en particulier le cumul de conditions qui conduisent au déséquilibre hémodynamique droit-gauche, susceptible de survenir même en surface et en eau tempérée (Castagna et coll. 2018).

c) Les facteurs pathologiques

L'hypertension artérielle

L'hypertension artérielle (HTA) mérite un abord spécifique, surtout pour les plongeurs professionnels. En raison d'une part de sa fréquence, mais aussi des intrications très importantes de cette pathologie avec la plongée sous-marine. En effet, la plongée favorise l'élévation tensionnelle. Il ne s'agit pas d'un effet pression (Lafay et coll. 1995), mais comme décrit ci-dessus des effets vasoconstricteurs conjugués de l'hypervolémie relative (en immersion, diminution de la capacité et de la compliance vasculaires totales), de la vasoconstriction due au froid (parfois très marquée) et à l'hyperoxie, en particulier chez les patients plus âgés (Alpérovitch et coll. 2009, Fraser et coll. 2011, Gole et coll. 2011, Sun 2010).

Rappelons que l'HTA est une maladie de la vasomotricité, que le froid est un moyen de détection de l'HTA (*cold pressure test*, Casey et coll. 2008) et que l'hyperoxie combinée au froid sont des facteurs favorisant d'œdème pulmonaire (Coulange et coll. 2008, Gempp et coll. 2013, Wilmshurst et coll. 1989). Certains plongeurs, non hypertendus, mais simplement prédisposés à l'HTA semblent plus sensibles au développement d'un œdème pulmonaire d'immersion (Peacher et coll. 2010, Wilmshurst et coll. 1989).

Le plongeur en activité est donc particulièrement exposé. L'effort physique, le stress psychologique, la déshydratation inhérente à toute plongée, la ventilation d'un gaz de haute densité, la circulation de bulles ne peuvent que renforcer cet effet hypertensif. Par ailleurs, le patient hypertendu peut avoir développé des complications cardiaques, rénales ou vasculaires liées à son HTA. La présence d'une cardiomyopathie hypertensive est susceptible de favoriser l'apparition de troubles du rythme ou d'une défaillance hémodynamique favorisant aussi un œdème pulmonaire, voire une mort subite en plongée. De plus l'HTA est un des premiers facteurs de risque d'une pathologie coronarienne ou vasculaire cérébrale.

Les patients hypertendus sont donc des sujets à haut risque pour lesquels la plongée peut-être le révélateur d'une pathologie silencieuse sous-jacente. Ils doivent donc être identifiés et évalués avec beaucoup d'attention.

La ventilation d'un gaz dense modifie considérablement le travail ventilatoire et par là même est susceptible d'altérer les conditions hémodynamiques comme cela est bien connu avec le

pouls paradoxal de l'asthmatique en crise. Cette altération est essentiellement diastolique et des modifications de la repolarisation de l'ECG ont été décrites en hyperbarie (Lafay et coll. 1995). La encore les sujets les plus sensibles à ces altérations sont ceux souffrant déjà de troubles de la fonction diastolique, et en premier lieu les patients souffrant d'hypertension artérielle.

L'immersion, avec un déséquilibre hydrostatique qui génère une contrainte de pression transpulmonaire et avec des résistances ventilatoires imposées par le circuit de gaz, agit dans le même sens en augmentant le retour veineux et, au froid, la vasoconstriction périphérique, donc le travail cardiaque, mais aussi le travail ventilatoire.

Les shunts circulatoires droite-gauche

Enfin la présence d'un shunt intracardiaque ou pulmonaire au repos chez un plongeur est un facteur favorisant la survenue d'un accident embolique lors de la décompression, tant neurologique (Gempp et coll. 2009) que cutané (Wilmshurst et coll. 2001), la cause première restant la production de bulles dans le torrent circulatoire.

En pratique, dans les études publiées, seuls les plongeurs apparaissent concernés : en hyperbarie sèche, les pressions de séjour, les vitesses de décompression pratiquées et les variations de pression intrathoracique liées à la ventilation sont moins importantes qu'en plongée.

La question du *foramen ovale* perméable (FOP) reste donc cruciale dans ce contexte. Les données dont nous disposons sont seulement rétrospectives, et dans une population de plongeurs sportifs. Elles font état d'un risque très faible (risque relatif de 2 à 5, selon l'importance du FOP) pour un risque absolu initial de 2/10 000 plongées (Bove 1998, Germonpré et coll. 1998, Germonpré 1999) au regard de la fréquence très élevée de cette variante anatomique dans la population (20 à 25 %). Cette importante discordance entre prévalence et risque absolu ne plaide pas pour un dépistage systématique en prévention primaire vis-à-vis du FOP. Le bénéfice de celui-ci reste cependant évident en prévention secondaire.

Néanmoins, se pose la question du devenir professionnel d'un sujet ayant présenté un accident de désaturation (ADD) embolique chez qui l'on a mis un FOP en évidence.

En l'absence de séquelle neurologique, **l'adaptation du poste de travail doit dans tous les cas être recherchée**, portant sur une restriction de profondeur et/ou de temps de séjour, l'inhalation de mélanges suroxygénés, l'exécution de paliers à l'oxygène. Cette méthode de prévention a montré son efficacité tant en plongée de loisir (Gempp et coll. 2012) qu'en plongée professionnelle (Klingmann et coll. 2012).

Dans les cas où il ne serait pas envisageable pour l'employeur d'adapter le poste de travail (que ce soit par changement de méthode ou de procédure¹⁰), il serait légitime de proposer l'indication d'une fermeture du FOP.

¹⁰

Cf. décret n° 2011-45 du 11 janvier 2011 relatif à la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare.

En effet, en l'absence d'étude prospective permettant d'assurer le bien fondé de cette procédure, il est possible de s'appuyer sur des études rétrospectives qui semblent donner des résultats encourageants :

- Bilinger et coll. (2011) ont suivi sur cinq ans 104 plongeurs de loisir. 39 n'avaient pas de FOP, 26 avaient un FOP ayant fait l'objet d'une fermeture percutanée et 39 avaient un FOP non obturé. Il a été observé 5 accidents neurologiques majeurs : 4 dans le groupe avec FOP non fermé, 1 avec FOP fermé et aucun dans le groupe sans FOP.
- Une étude cas-témoin récente effectuée en caisson hyperbare sur 47 plongeurs (Honěk et coll. 2014) montre que la fermeture transcutanée du *foramen ovale* supprime l'embolisation artérielle des bulles après des expositions générant des bulles dans la circulation veineuse (80 min. à 18 m et 20 min. à 50 m), alors que des bulles artérielles sont observées chez les sujets dont le FOP n'a pas été obturé.
- Dans une étude critique de la série de Honěk, Bove (2014) admet que pour les plongeurs professionnels, la fermeture du FOP pourrait être proposée, alors qu'il ne la recommande pas pour les plongeurs de loisir.
- Enfin, les risques iatrogènes liés à ce geste chez le plongeur seraient moins fréquents que dans les autres indications (Pearman et coll. 2015).

Ces études sont à l'opposé de la position de la HAS qui avait indiqué en 2005 que les études alors prises en considération (Wilmshurst et coll. 1996 et Walsh et coll. 1999) ne permettaient pas de conclure quant à l'efficacité de la fermeture sur la récurrence des ADD. Malgré ce manque de certitude, le groupe d'experts réuni par la HAS avait considéré en 2005 que la reprise de la plongée était possible après 6 mois de traitement antiagrégant et étanchéité vérifiée par échographie de contraste. Plus récemment, un groupe d'experts australiens et britanniques (Smart et coll. 2015) en arrive à la même conclusion pour la pratique de la plongée de loisir, en précisant que la persistance d'un traitement anti-plaquettaire préventif par aspirine est acceptable.

La HAS n'a toutefois pas reconnu cette fermeture comme devant être prise en charge par l'Assurance Maladie.

Il est enfin utile de rappeler que la présence d'un shunt pulmonaire à l'effort est une donnée quasi physiologique pour des efforts importants (Lovering et coll. 2010). Cette notion doit faire rappeler la règle de prévention valable pour tous les sujets exposés à l'hyperbarie : pas d'effort physique pendant la phase de décompression, ni pendant les heures qui la suivent (8 à 12 en pratique, selon les paramètres de l'intervention).

Au total :

- Le dépistage systématique d'un shunt droite-gauche n'a pas d'intérêt.
- La découverte d'un *foramen ovale* perméable à l'issue d'un accident de désaturation doit faire proposer des adaptations des procédures de plongée.
- En présence d'un FOP de haut grade ou en cas d'impossibilité pour l'employeur d'adapter le poste de travail, la fermeture percutanée du *foramen ovale* peut être proposée. La décision sera prise après évaluation du rapport bénéfice sur risques, en concertation entre le médecin du travail, le médecin hyperbare, le cardiologue compétent en hyperbarie et l'intéressé lui-même, dûment informé du risque et des limites de la procédure.

3.2.- L'EXAMEN MÉDICAL

a) Clinique

Sur le plan cardio-vasculaire, le dépistage et la surveillance seront donc avant tout cliniques : **l'interrogatoire** est fondamental, en insistant sur les données familiales, surtout pour les sujets jeunes. Il sera aussi à la recherche d'autres facteurs de risque cardio-vasculaires (dyslipidémie, HTA, diabète traités ou non ; tabac, sédentarité), d'un traitement en cours, d'une symptomatologie fonctionnelle (précordialgies, dyspnée, palpitations, malaises), mais aussi devra systématiquement s'enquérir du niveau d'entraînement physique du sujet. Il devrait faire l'objet d'un questionnaire déclaratif.

L'examen physique reste souvent pauvre, mais il faut insister sur la prise tensionnelle, qui est fondamentale dans ce contexte professionnel. Elle doit être complétée au moindre doute par des mesures à domicile (automesure ou mesure ambulatoire de la pression artérielle). La recherche de souffles vasculaires ou de signes d'insuffisance cardiaque est systématique.

b) Paraclinique

Le bilan paraclinique doit comprendre un **électrocardiogramme** de repos, y compris chez le jeune en raison de sa sensibilité de dépistage des pathologies héréditaires. Une anomalie de l'ECG doit conduire à un avis spécialisé. Une attention particulière doit être portée sur la mesure de l'espace QT. Un allongement spontané du QT doit rendre très prudent en raison du risque de troubles du rythme graves favorisés par l'immersion (Bove 2015).

Un **bilan biologique** est nécessaire pour la détection ou le contrôle des facteurs de risque cardio-vasculaires (diabète, dyslipidémie).

Considérant qu'il s'agit de sujets asymptomatiques, avec un examen cardio-vasculaire normal, **l'épreuve d'effort** ne doit pas être systématique. Elle est indiquée dans certains groupes à risque :

- chez les sujets présentant des facteurs de risque particulièrement péjoratifs dans ce contexte professionnel : les obèses (IMC > 30), les hypertendus et les diabétiques ;
- chez les sujets présentant l'association d'au moins deux facteurs de risques (classification Score de la Société Européenne de Cardiologie, Score Risk Charts) parmi les suivants :

- âge > 40 ans chez les hommes, > 50 ans chez les femmes,
- tabagisme actif ou sévère depuis moins de 5 ans,
- dyslipidémie (LDL-cholestérol > 1,5g.L⁻¹),
- hérédité cardio-vasculaire chez un ascendant du premier degré.

Sauf avis contraire spécialisé, cet examen sera renouvelé tous les cinq ans.

En fonction des facteurs de risque individuels, cette épreuve pourra être couplée à une épreuve d'effort ventilatoire. À l'opposé, la réalisation d'une épreuve d'effort avec analyse des gaz expirés en routine ne semble d'aucun intérêt chez des sujets sains, asymptomatiques à l'effort et présentant par ailleurs une fonction pulmonaire normale.

Une **échocardiographie** transthoracique (avec étude de la fonction diastolique) est indiquée :

- chez tous les sujets symptomatiques à l'effort,
- chez les patients hypertendus.

Les sujets symptomatiques à l'effort et les sujets porteurs d'une cardiopathie connue, traitée ou non, devraient être temporairement écartés de l'activité professionnelle hyperbare jusqu'à l'obtention d'un avis spécialisé.

Les autres examens sont du ressort d'un avis spécialisé.

c) L'examen médical de reprise

Il sera orienté en fonction de la pathologie à l'origine de l'arrêt de travail. Le bilan cardiovasculaire devra évaluer, à l'aide des explorations appropriées, le risque lié aux séquelles éventuelles. Il est en effet difficile de retenir une attitude prédéfinie pour chaque pathologie. Les conseils proposés pour la plongée sportive et de loisir¹¹ sont une indication, mais ne peuvent pas être transposés tels quels en médecine du travail. Chaque cas devra être évalué en collaboration avec un cardiologue par ailleurs compétent en médecine hyperbare.

Dans le cadre d'un accident de désaturation de forme neurologique, la recherche systématique d'un shunt droite-gauche fait partie du bilan étiologique. La présence d'un *foramen ovale* perméable doit faire préconiser des restrictions sévères d'exposition hyperbare en immersion en termes de pression maximale admissible, de durée d'exposition et de méthode de décompression, tenant compte du grade du *foramen ovale* et des méthodes d'intervention utilisées (matériel et procédures de décompression).

Après fermeture par voie veineuse transcutanée d'un *foramen ovale* perméable (cf. *supra*), la reprise de l'activité hyperbare (plongée subaquatique le plus souvent) ne sera autorisée qu'après objectivation de l'étanchéité de la fermeture.

Ici encore, le médecin du travail devra s'appuyer sur l'expertise d'un cardiologue compétent en hyperbarie.

d) Au total :

La réalisation de l'ECG de repos devrait être initiale, puis tous les 5 ans jusqu'à 40 ans, puis tous les ans.

La réalisation d'une épreuve d'effort devrait être réservée aux sujets à risque, puis renouvelée en fonction d'un avis spécialisé au moins tous les cinq ans.

La réalisation d'une échocardiographie transthoracique devrait être réservée à certains sujets (patients hypertendus), puis renouvelée en fonction d'un avis spécialisé.

La réalisation d'autres examens complémentaires relève d'une consultation spécialisée.

Cette stratégie de dépistage et de suivi devrait faire l'objet d'une évaluation et d'une révision tous les 10 ans, voire moins, en fonction de son efficacité et de l'actualisation de données de la science.

¹¹ <http://www.medical.ffessm.fr>. Onglet *Terrains particuliers* / *Cardiologie*.

Recommandation 8

Un examen cardiologique et un ECG sont recommandés lors de l'examen d'aptitude initial. L'examen cardiologique, renouvelé chaque année, doit comprendre au moins un examen clinique approfondi avec mesure de la pression artérielle au repos. (Avis d'experts)

Un bilan biochimique sanguin à la recherche d'un diabète ou d'une dyslipidémie est recommandé tous les cinq ans. L'ECG sera renouvelé tous les cinq ans jusqu'à 40 ans, puis tous les ans. (Avis d'experts)

Considérant qu'il s'agit de sujets asymptomatiques avec un examen cardio-vasculaire normal, l'**épreuve d'effort** est indiquée :

- chez les sujets présentant des facteurs de risque péjoratifs : les obèses (IMC > 30), les hypertendus et les diabétiques ;

- chez les sujets présentant l'association d'au moins deux facteurs de risques parmi les suivants :

- âge > 40 ans chez les hommes, > 50 ans chez les femmes,
- tabagisme actif ou sevré depuis moins de 5 ans,
- dyslipidémie (LDL-cholestérol > 1,5g.L⁻¹),
- hérédité cardio-vasculaire chez un ascendant du premier degré. (4C)

Compte tenu des facteurs de risques individuels, elle pourra être couplée avec une épreuve d'effort ventilatoire.

La réalisation d'une **échocardiographie transthoracique** est réservée à certains sujets sur avis spécialisé. (Avis d'experts)

La recherche systématique d'un *foramen ovale* perméable n'est pas recommandée lors de l'examen médical initial. A l'inverse, il doit être recherché systématiquement au décours d'un accident de désaturation neurologique, vestibulaire ou cutané. (Avis d'experts)

Lors d'un examen de reprise :

- chaque cas devra être évalué en collaboration avec un avis spécialisé compétent en médecine hyperbare ;

- après accident de désaturation, la présence d'un *foramen ovale* perméable doit être prise en compte pour émettre des restrictions d'exposition et des aménagements du poste de travail (utilisation de mélanges suroxygénés, décompressions à l'oxygène, limitation de profondeur et/ou de durée d'exposition). (4C)

La fermeture du *foramen ovale* n'est pas une contre-indication à la reprise de l'activité hyperbare. Elle pourra être envisagée dans le cas où la responsabilité du FOP est fortement incriminée, après décision collégiale entre le médecin du travail, le médecin hyperbare et le cardiologue. La décision finale sera prise par le plongeur dûment informé des limites et des risques de la procédure. (3C)

Après fermeture d'un FOP, la reprise des activités hyperbares ne sera autorisée qu'après la durée du traitement antiagrégant plaquettaire préconisée en regard de la technique utilisée et vérification par échographie de contraste de l'étanchéité de la fermeture. (Avis d'experts)

Références

- Alpérovitch A, Lacombe J-M, Hanon O et coll. Relationship Between Blood Pressure and Outdoor Temperature in a Large Sample of Elderly Individuals: The Three-City Study. *Arch Intern Med* 2009, 169: 75-80.
- Berlin JA, Colditz GA. A meta-analysis of physical activity in the prevention of coronary heart disease. *Am J Epidemiol* 1990, 132, 4: 612-28.
- Billinger M, Zbinden R, Mordasini R, Windecker S, Schwerzmann M, Meier B, Seiler C. Patent foramen ovale closure in recreational divers: effect on decompression illness and ischaemic brain lesions during long-term follow-up. *Heart* 2011, 97, 23: 1932-7.
- Bove AA. Risk of decompression sickness with patent foramen ovale. *Undersea Hyperb Med* 1998, 25 3: 175-8.
- Bove AA. The PFO gets blamed again... Perhaps this time it is real. *JACC: Cardiovascular Interventions* 2014, 7, 4: 409-10.
- Bove AA. Cardiovascular Concerns in Water Sports. *Clin Sports Med.* 2015 Jul; 34(3): 449-60.
- Bove AA. Pulmonary Aspects of Exercise and Sports. *Methodist DeBakey Cardiovasc J.* 2016 Apr-Jun;12(2): 93-7.
- Carré F, Brion R, Douard H, Marcadet D, Leenhardt A, Marçon F, Lusson JR. Recommandations concernant le contenu du bilan cardiovasculaire de la visite de non contre indication à la pratique du sport en compétition entre 12 et 35 ans. *Arch Mal Cœur Vaiss Pratique* 2009, 182: 41-3.
- Casey DP, Braith RW, Pierce GL. Changes in central artery blood pressure and wave reflection during a cold pressor test in young adults. *Eur J Appl Physiol* 2008, 103, 5: 539-43.
- Castagna O, Regnard J, Gempp E, Louge P, Brocq FX, Schmid B, Desruelle AV, Crunel V, Maurin A, Chopard R, MacIver DH. The key roles of negative pressure breathing and exercise in the development of interstitial pulmonary edema in professional male scuba divers. *Sports Medicine-open.* 2018, 4, 1.
- Corrado D, Basso C, Pavei A, Michieli P, Schiavon M, Thiene G. Trends in sudden cardiovascular death in young competitive athletes after implementation of a preparticipation screening program. *JAMA* 2006, 4; 296, 13: 1593-601.
- Corrado D, Basso C, Rizzoli G, Schiavon M, Thiene G. Does sports activity enhance the risk of sudden death in adolescents and young adults? *J Am Coll Cardiol* 2003. 42: 1959-63.
- Corrado D, Pelliccia A, Bjørnstad HH and al. Cardiovascular pre-participation screening of young competitive athletes for prevention of sudden death: proposal for a common European protocol. Consensus Statement of the Study Group of Sport Cardiology of the Working Group of Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology and the Working Group of Myocardial and Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology *European Heart Journal* (2005)26, 516-24.
- Corrado D, Pelliccia A, Heidbuchel H and al. Section of Sports Cardiology, European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation Recommendations for interpretation of 12-lead electrocardiogram in the athlete. *Cardiovascular Prevention and Rehabilitation.* *Eur Heart J* 2010, 31, 2: 243-59.
- Coulanges M, Rossi P, Gargne O, Gole Y, Bessereau J, Regnard J, Jammes Y, Barthélémy A, Auffray JP, Boussuges A. Pulmonary oedema in healthy SCUBA divers: new physiopathological pathways. *Clin Physiol Funct Imaging* 2010, 30, 3: 181-6.

- European Society of Cardiology. European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice (version 2012). *European Heart Journal* 2012, 33: 1635-1701.
- Fraser JA, Peacher DF, Freiburger JJ et al. Risk factors for immersion pulmonary edema: hyperoxia does not attenuate pulmonary hypertension associated with cold water-immersed prone exercise at 4.7 ATA. *J Appl Physiol* 2011, 110, 3: 610-8.
- Gempp E, Blatteau JE, Stephant E, Louge P. relation between right-to-left shunts and spinal cord decompression sickness in divers. *Int J Sports Med.* 2009, 30, 2: 150-3.
- Gempp E, Louge P, Blatteau JE, Hugon M. Risks factors for recurrent neurological decompression sickness in recreational divers: a case-control study. *J. Sports Med Phys Fitness* 2012, 52, 5: 530-6.
- Gempp E, Louge P, Henckès A, Demaistre S, Heno P, Blatteau JE. Reversible myocardial dysfunction and clinical outcome in scuba divers with immersion pulmonary edema. *Am J Cardiol* 2013, 111, 11: 1655-9.
- Germonpré P. Le foramen ovale perméable dans l'accident neurologique de décompression. Revue de la littérature. *Bull Méd Subaquat Hyperb* 1999, 9(Suppl): 111-6.
- Germonpré P, Dendale P, Unger P, Balestra C. Patent foramen ovale and decompression sickness in sports divers. *J Appl Physiol* 1998, 84, 5: 1622-6.
- Gole Y, Gargne O, Coulange M et al. Hyperoxia-induced alterations in cardiovascular function and autonomic control during return to normoxic breathing. *Eur J Appl Physiol* 2011, 111, 6: 937-46.
- Haute Autorité de Santé. Fermeture du *foramen ovale* perméable par voie veineuse transcutanée (à l'exclusion de la fermeture de la communication inter auriculaire : libellé DASF004). Juillet 2005. Rapport d'évaluation de techniques de santé. <http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/fop.pdf> [18 mars 2018].
- Honěk J, Srámek M, Sefc L, Januška J, Fiedler J, Horváth M, Tomek A, Novotný S, Honěk T, Veselka J. Effect of catheter-based patent foramen ovale closure on the occurrence of arterial bubbles in scuba divers. *JACC Cardiovasc Interv.* 2014; 7, 4: 403-8. Epub 2014 Mar 14.
- Klingmann C, Rathmann N, Hausmann D, Bruckner T, Kern R. Lower risk of decompression sickness after recommendation of conservative decompression practices in divers with and without vascular right-to-left shunt. *Diving Hyperb Med* 2012, 42,3: 146-50.
- Lafay V, Barthelemy P, Comet B, Frances Y, Jammes Y. ECG changes during the experimental human dive HYDRA 10 (71 atm/7,200 kPa). *Undersea Hyperb Med* 1995, 22, 1: 51-60.
- Lawless CE, Best TM. Electrocardiograms in athletes: interpretation and diagnostic accuracy. *Med Sci Sports Exerc* 2008, 40, 5: 787-98.
- Lovering AT, Elliott JE, Beasley KM, Laurie SS. Pulmonary pathways and mechanisms regulating transpulmonary shunting into the general circulation: an update. *Injury* 2010, 41 Suppl 2: S16-23.
- Maron BJ, Shirani J, Poliac LC, Mathenge R, Roberts WC, Mueller FO. Sudden death in young competitive athletes: clinical, demographic, and pathological profiles. *JAMA.* 1996, 276: 199 –204.
- Mittleman MA, Maclure M, Tofler GH, Sherwood JB, Goldberg RJ, Muller JE. Triggering of acute myocardial infarction by heavy physical exertion. Protection against triggering by regular exertion. Determinants of Myocardial Infarction Onset Study Investigators. *N Engl J Med* 1993, 329, 23: 1677-83.
- Myerburg RJ, Vetter VL. Electrocardiograms should be included in preparticipation screening of athletes. *Circulation* 2007, 116, 22: 2616-26.

- Paffenbarger RS Jr, Hyde RT, Wing AL, Lee IM, Jung DL, Kampert JB. The association of changes in physical-activity level and other lifestyle characteristics with mortality among men. *N Engl J Med* 1993, 25; 328, 8: 538-45.
- Peacher DF, Pecorella SR, Freiburger JJ et al. Effects of hyperoxia on ventilation and pulmonary hemodynamics during immersed prone exercise at 4.7 ATA: possible implications for immersion pulmonary edema. *J Appl Physiol* 2010, 109: 68-78.
- Pearman A, Bugeja L, Nelson M, Szantho GV, Turner M. An audit of persistent foramen ovale closure in 105 divers. *Diving Hyperb Med* 2015, 45, 2: 94-7.
- Queneau P, Rieu M, Lecomte D, Goullé JP, Probst V, Jouven X. Mort subite au cours des activités physiques et sportives. Recommandations pour des mesures préventives. *Bull Acad Nat Méd*, 2013, 197, 7, 1419-35. Disponible sur : <http://www.academie-medecine.fr/wp-content/uploads/2013/11/QueneauVDDAnmRapportMortSubiteAuCours-Pratiques-Sportives.%E2%80%A6.pdf>. [18 mars 2018].
- Sandvik L, Erikssen J, Thaulow E, Erikssen G, Mundal R, Rodahl K. Physical fitness as a predictor of mortality among healthy, middle-aged Norwegian men. *N Engl J Med* 1993, 328, 8: 533-7.
- Schwartz PJ, Corrado D. Sudden cardiac death in young competitive athletes. *Eur Heart J* 2012, 33, 16: 1986-8.
- Smart D, Mitchell S, Wilmshurst P, Turner M, Banham N. Joint position statement on persistent foramen ovale (PFO) and diving. South Pacific Underwater Medicine Society (SPUMS) and the United Kingdom Sports Diving Medical Committee (UKSDMC). *Diving Hyperb Med*. 2015; 45, 2: 129-31.
- Société Européenne de Cardiologie. Systematic COronary Risk Evaluation: High & Low cardiovascular Risk Charts based on gender, age, total cholesterol, systolic blood pressure and smoking status, with relative risk chart, qualifiers and instructions. http://www.escardio.org/static_file/Escardio/Subspecialty/EACPR/Documents/score-charts.pdf [décembre 2017].
- Sun Z. Cardiovascular responses to cold exposure. *Front Biosci (Elite Ed)* 2010, 1;2: 495-503.
- Thompson PD, Franklin BA, Balady GJ and al. American Heart Association Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; American Heart Association Council on Clinical Cardiology; American College of Sports Medicine. Exercise and acute cardiovascular events placing the risks into perspective: a scientific statement from the American Heart Association Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism and the Council on Clinical Cardiology. *Circulation*. 2007, 115, 17: 2358-68.
- Walsh KP, Wilmshurst PT, Morrison WL. Transcatheter closure of patent foramen ovale using the Amplatzer septal occluder to prevent recurrence of neurological decompression illness in divers. *Heart* 1999; 81, 3: 257-61.
- Wilmshurst PT, Nuri M, Crowther A, Webb-Peploe MM. Cold-induced pulmonary oedema in scuba divers and swimmers and subsequent development of hypertension. *Lancet* 1989, 14; 1, 8629: 62-5.
- Wilmshurst PT, Pearson MJ, Walsh KP, Morrison WL, Bryson P. relationship between right-to-left shunts and cutaneous decompression illness. *Clin Sci (Lond)*. 2001, 100, 5: 539-4.
- Wilmshurst P, Walsh K, Morrison L. Transcatheter occlusion of foramen ovale with a button device after neurological decompression illness in professional divers. *Lancet* 1996; 348, 9029: 752-3.

4.- LE BILAN PARACLINIQUE DE L'APPAREIL LOCOMOTEUR

L'évaluation des risques pour l'appareil locomoteur procède d'une triple approche :

- d'abord la connaissance du poste de travail et de l'activité du salarié ;
- puis la recherche d'atteintes articulaires ou périarticulaires qui pourraient être contre-indiquées en raison de leur forte probabilité de décompensation ou d'aggravation dans ces conditions de travail ;
- enfin, le recueil *a posteriori* des événements de santé vécus pendant les séjours en pression, et lors des décompressions.

4.1.- RAPPEL DES RISQUES EN HYPERBARIE POUR L'APPAREIL LOCOMOTEUR :

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) constituent une part importante des pathologies rencontrées chez les travailleurs hyperbares. En effet, dans ces postes de travail, quelle que soit la mention, des contraintes mécaniques importantes peuvent engendrer des atteintes rachidiennes ou des membres, essentiellement des membres supérieurs : la manutention et de port de matériels ou d'équipements parfois très lourd (40 à 70 kg pour certains équipements de scaphandrier ou outils manipulés avant, pendant et après la plongée, brancardage de patients dans certains caissons d'accès difficile, charges de plus de 100 kg dans certains chantiers de creusement de tunnels) est fréquente.

Les différentes pathologies rachidiennes rencontrées chez ces travailleurs hyperbares dans la tranche 45 – 55 ans ne sont pas différentes de celles présentées par les travailleurs soumis à la manutention manuelle et leur ouvre les mêmes droits à reconnaissance d'accident du travail ou de maladies professionnelles du tableau 98 RG.

Il en est de même pour les atteintes des membres. L'hypersollicitation de la ceinture scapulaire et des membres supérieurs peut conduire à des pathologies articulaires ou périarticulaires ouvrant droit aux tableaux 57 RG ou 69 RG des maladies professionnelles ou faire l'objet d'une demande de reconnaissance de maladies à caractère professionnel.

C'est lors de la phase de décompression que l'hyperbarie est susceptible de faire apparaître des manifestations pathologiques dues à la naissance et au développement de microbulles dans des structures musculo-squelettiques, le plus souvent des tendons et les articulations. Ces accidents de décompression ostéo-articulaires, appelés *bends* en anglais, se manifestent par des douleurs intenses, articulaires ou périarticulaires, qui cèdent rapidement sous traitement hyperbare et ne laissent le plus souvent pas de séquelles.

Une autre forme de pathologie rhumatologique, d'évolution chronique, est constituée par les nécroses osseuses aseptiques atteignant le plus souvent les grosses articulations (épaules, hanches, genoux) et décrites sous le nom d'ostéonécroses dysbariques (OND). Leur physiopathologie semble multifactorielle, faisant intervenir non seulement des infarctissements d'origine bullaire, mais aussi des phénomènes graisseux et pressionnels (Coulange, 2006). Elles restent cliniquement silencieuses pendant des intervalles allant de quelques mois à quelques années. On en distingue deux formes : juxta-articulaire, proche de la surface articulaire et susceptible de provoquer une symptomatologie, et médullaire, à distance des surfaces articulaires, sans manifestation clinique (Davidson 1972).

La prévalence de cette affection varie considérablement selon les conditions de l'exposition hyperbare : 22,7 % chez les travailleurs en air comprimé (Davidson 1989) contre 3,4 % chez les plongeurs professionnels, avec un pic à 57 % chez des pêcheurs d'éponges (Coulange et coll. 2006).

Les risques traumatiques des activités de chantier (chutes de plain pied ou de hauteur, chutes d'objets, etc.) s'ajoutent aux risques spécifiques.

4.2.- LES PATHOLOGIES PRÉEXISTANTES QUI PEUVENT AUGMENTER LES RISQUES

Une atteinte fonctionnelle de l'appareil locomoteur est susceptible d'accroître le risque d'accident du travail sous deux aspects :

- par réduction des capacités de travail (déplacements, instabilité de la plateforme en mer, tenue des outils, escalades d'échelles, manutention, etc.),
- par l'aggravation des lésions préexistantes, pouvant conduire à des impotences fonctionnelles permanentes.

Il en est ainsi en particulier :

- de l'arthrose,
- des déficits fonctionnels post-traumatiques ou postopératoires (amputation, raideur, état douloureux, dysfonction musculotendineuse ou insuffisance ligamentaire),
- des luxations récidivantes ou de l'instabilité articulaire habituelle,
- des affections vertébrales dégénératives ou post-traumatiques (hernie discale),
- des affections rhumatismales en phase aiguë.

4.3.- LE DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES CRÉÉES PAR L'HYPERBARIE

Les arthralgies survenant en décompression (*bends*) doivent faire l'objet d'une investigation diagnostique par imagerie afin de dépister la survenue d'une ostéonécrose et si besoin, d'en suivre l'évolution (Coulange et coll. 2006). L'imagerie par résonance magnétique est l'examen privilégié dans cette indication.

Cependant, les ostéonécroses dysbariques (OND) sont irrégulièrement associées à des antécédents de *bends* : pour Walder (1994) seulement 10 % de travailleurs hyperbares atteints d'accidents de décompression articulaire ont développé une OND. À l'inverse, 25 % des sujets présentant une OND n'avaient pas présenté de *bend*. Pour Davidson (1989), les ouvriers des tunnels seraient plus souvent atteints que les plongeurs : 17 % contre 4,3 % respectivement. Pour Gempp et coll (2016), dans une série de 42 observations, 26 % des accidents de décompression musculo-squelettiques ont évolué vers une OND. Les facteurs favorisants étaient l'âge supérieur à 40 ans, un IMC > 25,5, une durée de séjour hyperbare > 40 minutes, et un délai de traitement supérieur à 6 heures.

Un certain nombre de facteurs pathologiques sont également associés à un risque élevé de développer une ostéonécrose dysbarique :

- l'obésité (McCallum et Petrie 1984),
- les hyperlipidémies (Jones et coll. 1993),
- une consommation habituelle d'alcool ou de stéroïdes.

L'évolution de l'ostéonécrose avec ou sans exposition ultérieure à l'hyperbarie est objet de débat. Une étude rétrospective menée pendant 10 ans chez 15 travailleurs hyperbares (Van Blarcom et coll. 1990) semble montrer que l'évolution péjorative de la maladie se poursuit en l'absence d'exposition ultérieure à l'hyperbarie. À l'inverse, il n'est pas démontré que la poursuite des activités hyperbares contribue à l'aggravation d'une ostéonécrose préexistante, sauf si des facteurs favorisants persistent (dyslipidémie par exemple).

L'ostéonécrose, avec ou sans atteinte articulaire intéressant l'épaule, la hanche et le genou, confirmée par l'aspect radiologique des lésions, est inscrite au tableau n° 29 des maladies professionnelles, et doit à ce titre être recherchée par le médecin du travail dès lors que les conditions d'exposition sont réunies (tubistes, scaphandriers, expositions à l'air comprimé, longs séjours en pression). Les protocoles de décompression avec respiration d'oxygène pur ont fait la preuve de leur efficacité dans la prévention des accidents de désaturation (Sharareh et Schwarzkopf 2015). Il faut cependant savoir qu'une exposition unique ou peu profonde est susceptible de provoquer une OND (Jones et coll. 1993).

4.4.-LES EXAMENS RECOMMANDÉS

a) La visite initiale

Elle repose sur l'interrogatoire et l'examen clinique approfondi. Des examens complémentaires radiographiques (tomodensitométries) ou d'imagerie par résonance magnétique pourront être prescrits pour faire un bilan sur des signes d'appel ou des antécédents. En leur absence, la radiographie systématique des grosses articulations (épaules, hanches, genoux) chez un sujet qui n'a jamais été exposé à l'hyperbarie n'est d'aucun intérêt.

b) Les examens périodiques

La réévaluation annuelle de l'aptitude tient compte de l'activité exercée, du poste de travail occupé et de la survenue éventuelle d'accidents traumatiques ou de désaturation ostéoarticulaires dans l'intervalle.

Le bilan comprend, outre l'interrogatoire, l'examen clinique approfondi, la prise en compte des pièces médicales en la possession du salarié. Une imagerie adaptée à la pathologie présentée ou suspectée peut être prescrite. L'IRM est l'examen de référence pour le diagnostic de l'ostéonécrose aseptique (dont l'ostéonécrose dysbarique n'est qu'une forme étiologique : Bayle et coll. 1990, Bolte et coll. 2005), avec une sensibilité de 90 % et une spécificité de 98 % (Puech et coll. 1989).

c) L'examen médical de reprise

Tout antécédent de douleur articulaire pendant une décompression ou au décours d'une intervention en milieu hyperbare, même transitoire, doit faire l'objet d'un examen médical quelle que fut la durée de l'arrêt de travail et être exploré par une IRM. Dans la série de Gempp et coll. (2016), l'évolution vers l'OND a été objectivée par une IRM initiale puis un suivi radiographique entre 6 et 12 mois.

Pour être reconnue comme maladie professionnelle n° 29 RG, une ostéonécrose de l'épaule, de la hanche ou du genou doit être confirmée par l'aspect radiographique des lésions. L'imagerie par tomodensitométrie sera prescrite :

- sans délai en cas de syndrome algique de l'articulation,
- ou si une IRM effectuée entre 6 semaines et trois mois après l'accident de décompression ostéoarticulaire montre des signes d'évolution vers la nécrose.

Tout signe de lésion articulaire évolutive doit faire surseoir à la reprise de l'activité hyperbare.

Recommandation 9

La prévention de l'ostéonécrose dysbarique, maladie professionnelle du tableau n° 29 RG, repose sur le respect de règles hygiéno-diététiques et des protocoles de décompression.

Lors des examens initial et périodique, la radiographie conventionnelle systématique des grosses articulations (épaules, hanches, genoux) n'a pas d'indication dans la prévention ou le dépistage des ostéonécroses dysbariques.

En présence d'antécédents d'accident de désaturation articulaire ou de signes cliniques évocateurs, l'imagerie par résonance magnétique est l'examen de référence. Un suivi à distance par imagerie devra être institué, même en l'absence de manifestations cliniques.

Si l'IRM montre une ostéonécrose, une exploration par TDM entre 6 et 12 mois est nécessaire pour objectiver la survenue d'une maladie professionnelle n° 29 RG.

(3C)

Références

Bayle O, Comet M, Bartoli JM, Moulin G, Di Stephano-Louisseau D, Kasbarian M. Dépistage de l'ostéonécrose dysbarique par IRM. *Med Sub Hyp* 1990; 9, 4: 93-104.

Bolte H, Koch A, Tetzlaff K, Bettinghausen E, Heller M, Reuter M. Detection of dysbaric osteonecrosis in military divers using magnetic resonance imaging. *Eur Radiol*. 2005; 15, 2: 368-75.

Coulangue M, Bayle O, Barthélémy A. Ostéonécrose dysbarique. *In* : Broussole B, Méliet JL, Coulangue M (eds). *Physiologie et Médecine de la Plongée*. Ellipses Editions Marketing, Paris, 2006. p 499-515.

Davidson J. Radiology of dysbaric osteonecrosis. *J Clin Pathol* 1972, 25, 11: 1005-6.

Davidson JK. Dysbaric disorders: aseptic bone necrosis in tunnel workers and divers. *Bailleres Clin Rheumatol* 1989; 3, 1: 1-23.

Gempp E, Louge P, de Maistre S. Predictive factors of dysbaric osteonecrosis following musculoskeletal decompression sickness in recreational SCUBA divers. *Joint Bone Spine*. 2016 May;83(3):357-8. doi: 10.1016/j.jbspin.2015.03.010. Epub 2015 Oct 9.

Jones JP, Ramirez S, Doty SB. The pathophysiologic role of fat in dysbaric osteonecrosis. Clin Orthop Relat Res 1993; 296, 256-64.

McCallum RI, Petrie A. Optimum weights for commercial divers. Br J Int Med 1984; 41, 2, 257-8.

Puech B, Hugon M, Dufour M, Chateau J, Elizagaray A, Trividic A. Explorations, radiologiques, scintigraphique et par IRM des accidents de plongée ostéo-arthro-musculaires des épaules. Med Sub Hyp 1989 ; 8, 2 : 103-14.

Sharareh B, Schwarzkopf R. Dysbaric osteonecrosis: a literature review of pathophysiology, clinical presentation, and management. Clin J Sport Med. 2015; 25, 2: 153-61.

Van Blarcom ST, Czarnecki DJ, Fueredi GA, Wenzel MS. Does dysbaric osteonecrosis progress in the absence of further hyperbaric exposure? A 10-year radiologic follow-up of 15 patients. AJR Am J Roentgenol. 1990 Jul ;155, 1 : 95-7.

Walder DN. Bone necrosis. In: Jardine FM, McCallum RI eds. Engineering and health in compressed air work. Proceedings of the international Conférence, Oxford, September 1992. London: E & FN spon, 1994:16-28.

5.- LE BILAN D'APTITUDE EN OPHTALMOLOGIE

Des modifications de la fonction visuelle qui pourraient survenir en l'absence d'accidents au cours ou à la suite de travaux hyperbares en atmosphère comprimée ne sont pas rapportées. En revanche, les conséquences pathologiques de l'hyperbarie sur la fonction visuelle sont bien décrites pour la plongée subaquatique (Daubas et coll. 2006) et en thérapeutique hyperbare (McMonnies 2015).

5.1.- CONSÉQUENCES DU MILIEU SUR LA FONCTION VISUELLE ET RISQUES ASSOCIÉS

a) En milieu subaquatique

La vision est modifiée par l'indice de réfraction de l'eau qui interdit toute vision nette sans appareillage. L'interposition d'une couche d'air entre l'œil et l'eau permet de restituer une vision nette, au prix d'une déformation de l'image (agrandissement d'un tiers et distorsion du champ périphérique par le dioptré plan) et de la perception de la distance (sous-estimée si l'objet est proche, surestimée pour des distances > 1,20 m).

Le port de l'équipement de protection adapté (masque oculo-nasal ou casque complet) réduit considérablement le champ visuel binoculaire et le champ du regard.

L'acuité visuelle se trouve réduite par deux éléments fréquemment rencontrés : la turbidité du milieu et la diminution rapide de la luminance et du contraste, nécessitant un temps d'adaptation à la vision mésopique ou scotopique. La réduction de la stimulation visuelle périphérique est impliquée dans la baisse de l'acuité visuelle binoculaire d'un tiers observée même dans l'eau claire (Luria et Kinney 1970). À l'extrême, le travail sans aucune visibilité est fréquent en milieu subaquatique. Le port de verres correcteurs (intégrés ou additionnels) ou de lentilles est possible selon les équipements de tête, mais ne rétablit pas toujours une acuité visuelle intégrale.

La perception des couleurs est modifiée par l'absorption différente par l'eau selon les longueurs d'onde du spectre de la lumière incidente. La lumière naturelle devient rapidement monochromatique dès les faibles profondeurs. L'orange et le rouge disparaissent. Les couleurs perçues sont le bleu et le vert. Par exemple, en l'absence d'éclairage artificiel, le sang émis par une effraction cutanée est bleu ou vert.

L'usage d'une source lumineuse artificielle (polychromatique) de proximité rétablit la vision des longueurs d'onde absorbées.

b) En caisson

Le travail dans des enceintes hyperbares bénéficie de l'éclairage artificiel. Le code du travail (art. R.4223-4) exige un minimum de 120 lux pour les locaux de travail.

c) Les expositions aux pressions élevées de gaz

Les modifications des performances de la fonction visuelle observées tant dans la narcose à l'azote que dans le SNHP s'inscrivent dans les altérations des fonctions cérébrales, physiologiques et cognitives, enregistrées dans ces circonstances.

En revanche, l'exposition aux pressions élevées d'oxygène a des effets propres sur l'œil, décrits chez des sujets sous oxygénothérapie hyperbare :

- rétrécissement concentrique du champ visuel après 3,5 h sous 3 ATA d'O₂ (Behnke et coll. 1935),
- apparition ou aggravation d'une cataracte, même après un nombre d'expositions limité (Gesell et Trott 2007),
- apparition d'une myopie, le plus souvent réversible à l'arrêt du traitement (Lyne 1978, McMonnies 2015). Des troubles identiques ont été décrits chez des tubistes en air comprimé utilisant la décompression à l'oxygène (Onoo et coll. 2002).

La cataracte et la myopie ont été rapportées aux effets de l'hyperoxie, et en particulier des radicaux libres, sur les structures de l'œil. Ils pourraient également jouer un rôle dans l'évolution d'un kératocône (McMonnies 2015).

5.2.- AGGRAVATION PAR L'HYPERBARIE DES PATHOLOGIES PRÉEXISTANTES

Le kératocône entraîne une myopie et un astigmatisme irrégulier évolutifs, avec mauvaise acuité visuelle. L'hyperoxie sévère et de longue durée, comme celle rencontrée au cours des séances d'oxygénothérapie hyperbare, pourrait favoriser son évolution. Dans la mesure où le travailleur hyperbare n'est soumis qu'aux pressions partielles d'oxygène admises par la réglementation¹², ce risque semble écarté. Il n'est pas rapporté dans la littérature.

L'évolution des glaucomes, chronique à angle ouvert ou aigu à angle fermé, ne semble pas modifiée par l'hyperbarie. Cependant, les glaucomes évolués s'accompagnent d'une altération du champ visuel périphérique qui peut constituer un danger pour l'intéressé ou son entourage dans son poste de travail.

5.3.- L'EXPLORATION DE LA FONCTION VISUELLE POUR L'APTITUDE À L'HYPERBARIE PROFESSIONNELLE

a) Lors de l'examen initial

Comme pour les autres appareils, le bilan d'aptitude doit être adapté au poste de travail du salarié. Il comprend l'acuité visuelle avec et sans correction, en vision de près et en vision de loin.

En effet, les postes de travail, quelle que soit la mention, nécessitent souvent la lecture d'instruments de mesure ou d'indicateurs, et parfois l'écriture de données sur divers supports. La vision de près, éventuellement corrigée, doit le permettre.

De plus, dans les activités subaquatiques, certains postes de travail nécessitent la conduite d'embarcations ou une veille nautique en surface autour du chantier. Les normes relatives à la navigation maritime devront alors être appliquées¹³, comportant également la vision des couleurs. Elles sont rappelées en annexe.

¹² Voir tableau II, p. 14.

¹³ Annexe I du décret n° 2015-1575 du 3 décembre 2015 relatif à la santé et à l'aptitude médicale des gens de mer.

Le médecin du travail devra prendre en compte le fait que la vision est toujours altérée en conditions hyperbares (acuité, champ visuel, couleurs) et les contraintes du poste de travail. En particulier, pour les postes de travail nécessitant des expositions prolongées à de hautes pressions partielles d'oxygène, un examen des milieux transparents et une évaluation de la myopie sont indiqués, afin de pouvoir en suivre l'évolution éventuelle.

Le port de corrections visuelles adaptées peut être exigé par le médecin du travail pour occuper le poste. Pour les activités subaquatiques, la correction de l'amétropie peut être obtenue par des verres correcteurs placés sur le dioptré plan du masque de protection ou bien par le port de lentilles souples hydrophiles.

b) Périodicité de l'examen visuel

Un examen de dépistage annuel simple type Visiotest® effectué au cabinet du médecin du travail permet de d'objectiver une dégradation des performances visuelles. Toute altération devra faire l'objet d'un examen spécialisé approfondi.

c) Les examens de reprise après affection ophtalmologique (Daubas et coll. 2006) :

Dans tous les cas, l'avis du spécialiste sera requis.

- La chirurgie réfractive moderne (kératotomie radiaire exclue) nécessite une éviction d'au moins un mois après l'intervention, avec une cicatrisation cornéenne complète et récupération d'une acuité normale.
- Après chirurgie de la cataracte, le délai de convalescence dépend du type d'incision pratiquée, sous réserve de respecter un délai d'une semaine après ablation de la suture cornéenne afin d'éviter le risque d'infection.
- Après chirurgie du glaucome, une hémorragie sous conjonctivale qui pourrait se produire en cas de dépression dans le masque facial pourrait augmenter le risque de complication postopératoire (Butler 1995).
- Les greffes de cornée, après cicatrisation complète, ne semblent pas générer de risque de complication.
- La chirurgie du segment postérieur (vitré, rétine) nécessite une éviction d'au moins deux mois des activités hyperbares.
- La mise en place d'une prothèse creuse souple est une contre-indication formelle à la reprise en raison des variations de volume liées aux variations de pression.
- La chirurgie du strabisme et des annexes ne nécessite qu'une éviction correspondant à la durée de la cicatrisation.

Recommandation 10

L'examen visuel comporte au minimum la mesure de l'acuité visuelle avec correction en vision de loin et en vision de près.

L'examen de la vision des couleurs sera réalisé si le poste de travail le nécessite.

Sauf pathologie intercurrente ou affection évolutive, cet examen sera répété tous les cinq ans avant 40 ans, tous les ans ensuite.

(Avis d'experts)

Références

Behnke AR, Forbes HS, Motley EP. Circulatory and visual effects of oxygen at 3 atmosphere pressure. *Am J Physiol* 1935, 114: 436-42. Cité par : Clark JM. Oxygen toxicity. *In*: Bennett P and Elliott D (eds). *The Physiology and Medicine of Diving* 4th edition. WB Saunders Company Ltd. London 1993. p 121-69.

Butler FK. Diving and hyperbaric ophtalmology. *Urv Ophtamol* 1995, 39, 5: 347-66.

Daubas P, Deral-Stéphane V, Ferré M, Orsini F. Physiologie et ergonomie de la vision en plongée. *In* : Broussole B, Méliet JL, Coulange M (eds). *Physiologie et Médecine de la Plongée*. Ellipses Editions Marketing, Paris, 2006. p 168-80.

Daubas P, Ferré M, Macarez R. Pathologies ophtalmologiques et plongée sous-marine. *In* : Broussole B, Méliet JL, Coulange M (eds). *Physiologie et Médecine de la Plongée*. Ellipses Editions Marketing, Paris, 2006. p 470-86.

Gesell LB, Trott A. De novo cataract development following a standard course of hyperbaric oxygen therapy. *Undersea Hyperb Med*. 2007, 34, 6: 389-92.

Luria SM, Kinney JAS. Underwater vision. *Science* 1970, 167, 924: 1454-61.

Lyne AJ. Ocular effects of hyperbaric oxygen. *Trans Ophtalmol Soc UK* 1978, 98, 1: 66-8.

McMonnies CW. Hyperbaric oxygen therapy and the possibility of ocular complications or contraindications. *Clin Exp Optom*. 2015, 98, 2: 122-5.

Onoo A, Kiyosawa M, Takase H, Mano Y. Development of myopia as a hazard for workers in pneumatic caissons. *Br J Ophthalmol* 2002, 86, 11 : 1274-7.

Annexe

Décret n° 2015-1575 du 3 décembre 2015 relatif à la santé et à l'aptitude médicale à la navigation (extraits)

[...]

ANNEXE I

Normes d'aptitude médicale des gens de mer

[...]

24. Appareil oculaire, vision.

L'aptitude médicale à la navigation est soumise aux conditions d'acuité visuelle et de perception chromatique fixées par le paragraphe 26.

D'une manière générale sont incompatibles avec la navigation, de façon temporaire ou définitive, les affections et lésions aiguës ou chroniques de l'œil ou de ses annexes, ayant ou risquant d'avoir un retentissement sur la valeur fonctionnelle de l'appareil ou qui imposeraient des contraintes thérapeutiques impossibles à mettre en œuvre dans les conditions normales de navigation.

A l'entrée dans la profession de marin :

- les candidats qui satisfont, au moyen d'une correction optique, aux conditions d'acuité visuelle exigées mais ne présentent pas, avec cette correction, une activité visuelle de 10 dixièmes à chaque œil feront l'objet d'un examen spécialisé, destiné à préciser la nature de l'amétropie en cause, son étiologie et son pronostic ;

- les sujets monophthalmes ou présentant une amblyopie fonctionnelle équivalente ne peuvent prétendre qu'à des fonctions de médecin, d'agent du service général, de goémonier, de conchyliculteur, de matelot embarqué sur des navires armés à la petite pêche, sous réserve que l'œil restant ou directeur présente une acuité visuelle sans correction d'au moins 5 dixièmes et un champ visuel normal. Ils ne peuvent participer à la veille, ni prétendre à des fonctions de commandement.

En cours d'activité et après examen de leur cas par le collège médical maritime :

- les gens de mer devenus monophthalmes peuvent être autorisés à poursuivre la navigation après un délai d'adaptation de six mois et après avis favorable du spécialiste, sous réserve que l'œil restant présente une acuité visuelle sans correction d'au moins 5 dixièmes sans anomalie du champ visuel, avec cependant les restrictions suivantes ; ils ne peuvent participer à la veille ni prétendre à un brevet ou à des fonctions de commandement ;

- les gens de mer devenus aphaques bilatéraux ne peuvent être autorisés à poursuivre la navigation, sauf s'ils ont été traités par implants avec un bon résultat fonctionnel : ils peuvent alors faire l'objet d'une décision particulière d'aptitude après évaluation spécialisée de leur vision et en l'absence de trouble majeure du champ visuel.

Dans tous les cas, le strabisme important, les anomalies sévères du champ visuel entraînent l'inaptitude aux fonctions de commandement et à la veille à la passerelle.

[...]

26. Normes sensorielles

NORMES	ACUITÉ VISUELLE	PERCEPTION des couleurs (e)
<p>Normes I</p> <p>Aptitude toutes fonctions, toutes navigations.</p>	<p>Pour l'entrée et l'exercice de la profession de marin</p> <p>1. Vision de loin : 7/10 pour l'œil le plus faible ;</p> <p>Correction admise sous réserve d'une acuité visuelle sans correction de 1/10 pour l'œil le plus faible ;</p> <p>2. Vision de près satisfaisante à l'échelle 2 de Parinaud, correction admise ;</p> <p>3. Champ visuel binoculaire normal ;</p> <p>4. Absence d'héméralopie ;</p> <p>5. Sensibilité normale aux contrastes.</p>	<p>SPC 2 (f)</p>
<p>Normes II</p> <p>Aptitude toutes fonctions, toutes navigations sauf commandement et veille.</p>	<p>Pour l'entrée et l'exercice de la profession de marin</p> <p>1. Vision de loin : 4/10 pour l'œil le plus faible.</p> <p>Correction admise sous réserve d'une acuité visuelle sans correction de 1/10 pour l'œil le plus faible.</p> <p>2. Vision de près satisfaisante à l'échelle 3 de Parinaud, correction admise.</p> <p>3. Champ visuel binoculaire temporal normal.</p> <p>4. Monophtalmes, sur avis du collègue médical maritime.</p>	<p>SPC 2 (f)</p>
<p>(a) En cours de carrière, toute décision concernant des dépassements des normes sensorielles est du ressort du collège médical maritime.</p> <p>(b) Chirurgie réfractive acceptée sous réserve que l'intervention date de plus de six mois, que l'examen des yeux ne montre pas de complication post-opératoire et que la résistance à l'éblouissement se révèle normale. Un test à l'éblouissement est exigé pour satisfaire aux normes I. L'attention des intéressés est attirée sur les six mois de délai pendant lesquelles ils seront, au minimum, déclarés inaptes temporaires normes I ; ceci concerne tout particulièrement les candidats aux fonctions de conduite et de veille qui se feraient, de leur propre initiative, opérer pour corriger une déficience visuelle, afin de satisfaire aux normes.</p> <p>(c) Lorsque les normes exigées ne sont obtenues qu'à l'aide d'une correction optique, la possession à bord d'une paire de lunettes de rechange est obligatoire. La correction par orthokératologie est interdite.</p> <p>(d) Les officiers mécaniciens, radios, électriciens et les membres d'équipage effectuant du quart à la machine doivent répondre aux critères minimums des normes II et avoir un test de capacité chromatique professionnelle satisfaisant.</p> <p>(e) Standard de perception des couleurs :</p> <p>SPC 1 : aucune erreur à la lecture des tables d'Ishihara ;</p> <p>SPC 2 : erreurs à la lecture des tables, mais aucune erreur à l'identification des feux colorés émis au moyen de la lanterne chromoptométrique de Beyne, type marine (longueur d'onde spécifique pour le rouge et le vert) ;</p> <p>SPC 3 : erreurs aux deux épreuves (tables et feux).</p> <p>(f) SPC 3 est compatible avec les fonctions de médecin, commissaire, agent du service général et de personnel employé uniquement au travail du poisson.</p> <p>SPC 3 est également compatible avec les fonctions de mécanicien et de radio, sous réserve que les intéressés</p>		

6.- APTITUDE AU TRAVAIL HYPERBARE ET AFFECTIONS NEUROLOGIQUES ET PSYCHIATRIQUES

Le système nerveux peut être considéré comme l'un des organes cible de l'hyperbarie. L'évaluation de l'aptitude médicale à l'exposition au risque hyperbare passe donc par un bilan neurologique et psychiatrique en raison de la toxicité sur l'encéphale de l'oxygène et de l'azote à haute pression.

6.1.- RAPPEL DES RISQUES DE L'HYPERBARIE SUR LE SYSTÈME NERVEUX CENTRAL

L'exposition de l'encéphale à des pressions élevées d'oxygène ou d'azote peut entraîner des altérations du comportement du travailleur intervenant en milieu hyperbare qui peuvent porter atteinte à la sécurité et avoir des conséquences graves sur le travailleur et son entourage (Morgan 1983, Morgan and Raven 1985, Edmonds et coll. 1992, Morgan 1995, Anegg et coll. 2002, Colvard et Colvard 2003, Sundal et coll. 2013).

Deux types principaux d'évènements médicaux graves peuvent survenir :

- du point de vue neurologique : la crise convulsive hyperoxique,
- du point de vue psychiatrique : l'attaque de panique.

a) La crise convulsive hyperoxique

La crise convulsive hyperoxique est la conséquence de la toxicité aiguë de l'oxygène lorsque la pression partielle est supérieure à 1,7 ATA. Cette crise survient d'autant plus rapidement :

- que la pression partielle en oxygène est élevée (cf. Chapitre 1),
- qu'il existe des facteurs de vulnérabilité individuels abaissant le seuil épileptogène (cf. infra).

La crise hyperoxique est caractérisée par :

- une phase prodromique inconstante : avec signes et symptômes d'anxiété, rétrécissement périphérique du champ visuel, fasciculations des muscles faciaux,
- une phase tonique (moins d'une minute),
- une phase clonique (2 à 3 minutes),
- une phase de confusion post critique (10 minutes environ).

b) L'attaque de panique

L'attaque de panique survient d'autant plus rapidement :

- que la pression partielle en azote est élevée,
- qu'il existe des facteurs de vulnérabilité individuels au stress,
- que l'environnement présente des stimuli stressants (stimulus dangereux, effort physique intense, charge cognitive élevée, restriction sensorielle, pression temporelle, situation d'urgence, isolement social, etc.) (Bachrach et Egstrom 1987).

Elle est caractérisée par :

- une chronologie : apparition brutale et rapidement progressive des symptômes atteignant leur paroxysme en quelques minutes, pouvant durer quelques dizaines de minutes, et décroissants ensuite progressivement avec une phase d'asthénie post attaque de panique ;
- des symptômes physiques :
 - respiratoires : dyspnée, hyperventilation, sensation d'étouffement, blocage respiratoire,
 - cardiovasculaires : tachycardie, palpitations, oppression thoracique,
 - neurologiques : tremblements, paralysie, perte de coordination motrice,
 - neurovégétatifs : sueurs, tremblements, pâleur, vertige, malaise,
 - digestifs : douleurs abdominales, nausées, vomissements ;
- des signes psychiques :
 - peur intense avec sensation de catastrophe imminente, de perte de contrôle, de mourir, de devenir fou,
 - en cas d'attaque de panique grave : dépersonnalisation (sentiment d'étrangeté et de n'être plus soi-même), déréalisation (sentiment que le monde est irréel, étrange) :
- des signes comportementaux :
 - réponse inadaptée,
 - agitation psychomotrice improductive ou sidération motrice,
 - acte auto-agressif.

6.2.- PATHOLOGIES ET CONDITIONS PRÉEXISTANTES QUI AUGMENTENT LES RISQUES DE L'HYPERBARIE SUR LE SYSTÈME NERVEUX CENTRAL

De manière générale, tout antécédent neurologique, neurochirurgical, traumatique ou ayant des retentissements sur les fonctions supérieures (apnées du sommeil par exemple), fera l'objet d'investigations complémentaires en milieu spécialisé.

a) Crise convulsive hyperoxique

Le travailleur présentant un seuil épileptogène abaissé serait plus à risque de crise convulsive hyperoxique. Les conditions considérées comme pouvant abaisser le seuil épileptogène sont :

- les antécédents personnels de crise épileptique,
- les antécédents personnels de pathologies cérébrales (en particulier traumatisme crânien, infection cérébrale, accident vasculaire cérébral),
- les traitements et substances toxiques abaissant le seuil épileptogène,
- la fatigue,
- la dette de sommeil.

b) Attaque de panique

Le travailleur présentant une vulnérabilité au stress élevée serait plus à risque d'attaque de panique. Les conditions considérées comme pouvant augmenter la vulnérabilité au stress sont :

- les antécédents personnels de troubles psychiatriques (en particulier trouble psychotique, trouble bipolaire, trouble dépressif récurrent, trouble panique, agoraphobie, claustrophobie, trouble dissociatif) et d'addictions,
- les antécédents personnels de pathologies cardiaques ou pulmonaires favorisant la dyspnée à l'effort en milieu hyperbare, les modifications de la capnie étant un facteur de stress favorisant les attaques de panique (Meuret, Rosenfield et al. 2011),
- la fatigue,
- la dette de sommeil.

c) Addictions

La recherche d'un usage habituel de produits psychotropes relève en première intention de l'interrogatoire et de l'observation clinique. Cependant, un dépistage biologique apparaît justifié au regard des effets sur le jugement et l'adaptation des réponses psychomotrices en situation critique (voir § 9.3 page 133 et recommandation 14).

6.3.- DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES NEUROLOGIQUES ET PSYCHIATRIQUES CRÉÉES PAR L'HYPERBARIE

a) Dépistage du risque de crise convulsive hyperoxique

Le dépistage du risque de crise convulsive hyperoxique nécessite :

- un interrogatoire adapté insistant :
 - sur les antécédents personnels neurologiques,
 - sur les antécédents évocateurs de crise épileptique,
 - sur les traitements en cours,
 - sur la prise de toxiques.
- un avis neurologique spécialisé (épileptologique), indiqué en cas de doute sur un risque de crise convulsive hyperoxique, notamment en cas de suspicion d'épilepsie en cours ou d'antécédents familiaux d'épilepsie, qui posera l'indication d'un examen complémentaire électroencéphalographique (Szurhaj et Derambure 2004 ; Frost 2005 ; André-Obadia et coll. 2014).

b) Dépistage du risque d'attaque de panique

Le dépistage du risque d'attaque de panique nécessite un interrogatoire adapté insistant sur :

- les antécédents personnels psychiatriques,
- les antécédents personnels addictologiques,
- les antécédents d'attaques de panique (« Avez-vous déjà eu à plusieurs reprises des crises ou des attaques durant lesquelles vous vous êtes senti(e) subitement très anxieux(se), très mal à l'aise ou effrayé(e) même dans des situations où la plupart des gens ne le seraient pas ? Ces crises atteignaient-elles leur paroxysme en moins de 10 minutes ? »)
- les antécédents d'accident en milieu hyperbare et l'anxiété anticipatrice associée (Trevett et coll. 2010, Sundal et coll. 2013).

En cas de doute, un examen clinique évaluant le niveau d'anxiété de fond du sujet à l'aide d'un questionnaire de dépistage est possible. Deux auto-questionnaires validés en langue française, peuvent être utilisés :

- le questionnaire STAI forme Y-B (*State-Trait Anxiety Inventory*) qui évalue l'anxiété trait. Un score supérieur à 39 est associé à un risque accru d'attaque de panique en milieu hyperbare (Raglin et coll. 1996, Wilson et coll. 1999, Morgan et coll. 2004) ;
- le questionnaire ASI (*Anxiety Sensibility Index*) qui évalue la susceptibilité aux attaques de panique. Un score supérieur à 70 serait associé à un risque accru d'attaque de panique, mais ce seuil n'a pas été évalué pour les attaques de panique en milieu hyperbare (Schmidt et coll. 1997, Bouvard et coll. 2003).

Un examen psychiatrique (ou addictologique) spécialisé est indiqué en cas de doute sur un trouble psychiatrique (ou addictif), en cas suspicion d'une vulnérabilité élevée au stress ou de suspicion de toute altération comportementale liée à un trouble psychiatrique ou addictologique récidivant en milieu hyperbare.

Un examen complémentaire par test de compression en caisson pourra être réalisé dans certaines conditions uniquement (cf. infra).

c) Dépistage des lésions cérébrales latentes

Même en l'absence d'antécédents d'accident ou de maladie de décompression, il a été observé, après plusieurs années de pratique intensive de la plongée subaquatique à des pressions élevées (plus de 40 m), des modifications de l'électrogénèse cérébrale (Fabries 1980), des perturbations des tests neuro-psychologiques (Slosman et coll. 2004) et des anomalies de la substance blanche en IRM (Reul et coll. 1995). Une étude cas-témoin récente (Gempp et coll. 2010) suggère que les sujets exposés depuis longtemps à l'hyperbarie et se plaignant de symptômes cognitifs devraient bénéficier d'une investigation par IRM cérébrale, complétée par un bilan neuro-psychologique et la recherche d'un shunt circulatoire droite-gauche en cas d'anomalies objectivables à l'IRM.

6.4.- LES EXAMENS COMPLÉMENTAIRES RECOMMANDÉS

a) Lors de l'examen initial

L'électroencéphalographie

L'arrêté de 1991 préconisait un électroencéphalogramme (EEG) avec manœuvre d'activation de type stimulation lumineuse intermittente et hyperpnée, systématique dans la liste des examens préalables à la première affectation en milieu hyperbare. Ces recommandations proviennent de publications datant de 1976 (Corriol 1976, Corriol et coll. 1976). Elles sont restrictives et peuvent contre-indiquer une aptitude en milieu hyperbare chez des sujets jeunes qui ne feront probablement jamais de crise d'épilepsie hyperoxique.

En effet quelques points sont à rappeler :

- la pression partielle maximale en oxygène est fixée à 1,6 ATA, ce qui est inférieur à la PiO_2 nécessaire pour induire une crise convulsive (Todnem et coll. 1989) ;
- la survenue des crises d'épilepsie hyperoxiques en milieu hyperbare (en dehors de l'oxygénothérapie hyperbare), dans les rares travaux épidémiologiques réalisés, est extrêmement rare (Almeida et coll. 2007, Sundal et coll. 2013) ;

- le lien entre anomalie EEG et crise d'épilepsie manque grandement de sensibilité et de spécificité : les rares études réalisées ne retrouvent aucun lien entre les anomalies EEG et le risque d'accident en milieu hyperbare (Malhotra and Kumar 1975).

L'EEG est un examen dont l'interprétation est électroclinique, rendant toute utilisation systématique inopérante (Szurhaj et Derambure 2004, Frost 2005, André-Obadia et coll. 2014). L'EEG est indiqué en cas de suspicion clinique lors de l'interrogatoire et sur avis spécialisé épileptologique (cf. supra). Dans ce cas la présence d'anomalies EEG pourra contre-indiquer l'aptitude en milieu hyperbare, non pas du fait de leur seule présence, mais parce qu'elles renforcent l'hypothèse de crise épileptique ou d'épilepsie probable chez le sujet examiné.

Dans les rares cas de travail en milieu hyperbare où le seuil de 1,6 ATA de PiO_2 peut être dépassé (notamment lors des paliers en caisson à 2,2 bars sous oxygène pur et pour certains plongeurs militaires), l'EEG peut être proposé lors de l'examen initial en vertu du « principe de précaution » afin de limiter au maximum le risque de crise convulsive hyperoxique.

Test de compression en milieu hyperbare

Un test de compression en caisson pourra être réalisé si le travailleur n'a jamais été soumis au milieu hyperbare et s'il existe un risque de mauvaise gestion du stress en milieu hyperbare. Le rapport bénéfice / risque devra être évalué en tenant compte du risque de barotraumatisme ORL (voir p. 86).

b) Lors des examens périodiques

L'examen périodique s'attachera à rechercher l'existence de troubles neurologiques moteurs, sensitifs ou cognitifs qui pourraient être la conséquence d'accidents de décompression infracliniques, en particulier après 40 ans, chez les sujets ayant un passé significatif en nombre d'expositions à pression élevée (supérieures à 5 bars en pratique).

La prescription des examens complémentaires nécessaires (IRM cérébrale, bilan neuropsychologique, recherche d'un shunt droite-gauche) reste du ressort du spécialiste expert.

Aucun examen EEG périodique n'est indiqué sauf en cas de changement de la situation clinique (en particulier en cas de survenue de crise convulsive).

c) Lors de l'examen de reprise

En fonction de la pathologie ayant motivé l'arrêt de travail, l'impact des séquelles éventuelles et du traitement encore en cours sur les risques de l'exposition hyperbare devra être évalué.

C'est le cas notamment pour les séquelles :

- d'accident de désaturation neurologique,
- d'accident vasculaire cérébral,
- de traumatisme crânien,

ainsi que pour la poursuite de traitements susceptibles d'abaisser le seuil épileptogène (tramadol, antidépresseurs, etc.).

Le recours à un neurologue ou médecin hyperbare expert est recommandé.

6.5.- RESTRICTIONS D'EXPOSITION RECOMMANDÉES

a) Liées au risque de crise convulsive hyperoxique

En cas d'antécédent de crise épileptique une inaptitude sera envisagée sauf lorsque l'ensemble des points suivant sont réunis :

- crise épileptique isolée ou un antécédent d'épilepsie bénigne de l'enfance résolutive avant l'âge de 5 ans ;
- absence de récurrence depuis au moins dix ans sans traitement ;
- absence de facteur de risque d'épilepsie (antécédent de pathologie cérébrale).

En cas de suspicion d'épilepsie en cours (sur des arguments cliniques et électro-encéphalographiques), une inaptitude sera à envisager, en fonction du poste de travail, sur avis spécialisé épileptologique.

En cas d'antécédent de crise convulsive hyperoxique l'inaptitude est à discuter en fonction des circonstances de survenue et des éléments du dossier médical.

b) Liées au risque d'attaque de panique

La présence d'un trouble psychiatrique suivant entraîne l'inaptitude :

- un trouble psychotique,
- un trouble bipolaire,
- un trouble dépressif récurrent,
- un trouble panique,
- un trouble agoraphobique,
- un trouble phobique spécifique de type claustrophobie,
- tout trouble psychiatrique asymptomatique du fait d'un traitement en cours.

En l'absence de récurrence après deux ans sans traitement une aptitude pourra être envisagée pour les troubles psychiatriques suivants après avis spécialisé psychiatrique ou addictologique :

- un épisode dépressif majeur isolé,
- un trouble anxieux (autre que le trouble panique, agoraphobique ou claustrophobique),
- un trouble de l'adaptation,
- un épisode psychotique bref isolé,
- un trouble addictif.

En cas de suspicion de tout trouble psychiatrique ou addictologique, avec symptômes ou signes cliniques résiduels, ou avec un risque de récurrence élevé pouvant entraîner un risque d'attaque de panique ou d'altération comportementale en milieu hyperbare, une inaptitude sera à envisager sur avis spécialisé psychiatrique ou addictologique.

En cas d'antécédent d'attaques de panique répétées (supérieur à une) en milieu hyperbare une inaptitude définitive est à envisager. En l'absence de trouble psychiatrique caractérisé, une attaque de panique lors du test en compression en milieu hyperbare n'est pas un facteur suffisant d'inaptitude professionnelle. En cas d'attaques de panique répétées en condition d'entraînement et d'incapacité pour le travailleur de mettre en place des stratégies de gestion du stress efficace (Griffiths et coll. 1981), une inaptitude est à envisager.

Le non volontariat aux interventions hyperbares (en particulier dans les travaux publics où des opérateurs peuvent être désignés pour leurs compétences techniques sans possibilité pour eux de refuser) devra être recherché par l'interrogatoire. Les salariés concernés pourront être écartés de ces postes de travail pour inaptitude médicale.

Recommandation 11

Lors de l'examen initial, le médecin examinateur s'assurera du volontariat du travailleur pour les activités hyperbares. (Avis d'experts)

Le bilan clinique neurologique et psychiatrique initial s'attachera à prévenir les risques de crise convulsive hyperoxique et d'attaque de panique, par la recherche d'antécédents :

- de crises épileptiques,
- de pathologies ou traumatismes cérébraux,
- de troubles psychiatriques,
- de conduites addictives,

et par l'évaluation du niveau d'anxiété de fond. (4C)

L'EEG systématique n'est pas recommandé. Il pourra être pratiqué sur indication spécialisée dans le bilan initial, notamment en cas d'exposition prévisible à de fortes pressions partielles d'oxygène. Il ne sera pas renouvelé lors des examens périodiques. (Avis d'experts)

Un test de compression en caisson pourra être indiqué en cas de suspicion de risque de mauvaise gestion du stress. (Avis d'experts)

Lorsqu'un risque neurologique ou psychiatrique est identifié, ou qu'un trouble addictif est suspecté, le recours à l'avis d'un spécialiste expert est recommandé.

Les examens périodiques rechercheront des troubles neurologiques qui pourraient être la conséquence d'accidents de décompression infracliniques. Après 40 ans, il est indiqué de rechercher, chez les plongeurs ayant été soumis à des expositions répétées à des pressions supérieures à 5 bars, une altération des fonctions cognitives. Une imagerie à la recherche de lésions cérébrales latentes pourra être prescrite par le spécialiste. (3C)

Références

Almeida M do R, Bell GS, Sander JW. Epilepsy and recreational scuba diving: an absolute contraindication or can there be exceptions? A call for discussion. *Epilepsia* 2007,48, 5: 851-8.

André-Obadia N, Sauleau P et coll. Recommandations françaises sur l'électroencéphalogramme. *Neurophysiol Clin* 2014, 44, 6: 515-612.

Anegg U, Dietmaier G, Maier A, Tomaselli F, Gabor S, Kallus KW, Smolle-Jüttner FM. Stress-induced hormonal and mood responses in scuba divers: a field study. *Life Sci* 2002, 70, 23: 2721-34.

Bachrach AJ, Egstrom GH. Stress and performance in diving. Best Publishing Co, North Palm Beach, FL, 1987. 183 p.

- Bouvard M, Ayxeres-Vighetto A, Dupont H, Aupetit J, Portalier S, Arrindell W. Index de la sensibilité à l'anxiété révisé (*anxiety sensibility index revised*) : validation préliminaire de la version française. *L'Encéphale* 2003, 29, 2: 157-64.
- Colvard D, Colvard L. A study of panic recreational scuba divers. *The Undersea Journal*, First Quarter 2003: 40-4.
- Corriol J. EEG et aptitude à la plongée profonde professionnelle. *Med Sub Hyp* 1976, 59, 196-8.
- Corriol J, Papy JJ, Jacquin M, Blanquet F. What EEG criteria for diving fitness? *Aviat Space Environ Med* 1976, 47, 8: 868-72.
- Edmonds C, C. Lowry et al. *Diving in subaquatic medicine*. Butterworth-Heinemann, London, 1992.
- Fabries R. Modifications de l'électro-encéphalogramme chez le plongeur profond à long terme. Thèse Médecine. Marseille, 1980.
- Frost J. EEG in aviation, space exploration, and diving. *In*: Niedermeyer E and Lopes da Silva F (eds). *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2005. p. 683-8.
- Gempp E, Sbardella F, Stephant E, Constantin P, De Maistre S, Louge P, Blatteau JE. Brain MRI signal abnormalities and right-to-left shunting in asymptomatic military divers. *Aviat Space Environ Med*. 2010, 81, 11: 1008-12.
- Griffiths TJ, Steel DH, Vaccaro P, Karpman MB. The effects of relaxation techniques on anxiety and underwater performance. *International Journal of Sport Psychology* 1981, 12, 3: 176-82.
- Malhotra MS, Kumar CM. Electroencephalography in naval divers. *Aviat Space Environ Med* 1975, 46, 8: 1000-1.
- Meuret AE, Rosenfield D, Wilhelm FH, Zhou E, Conrad A, Ritz T, Roth WT. Do unexpected panic attacks occur spontaneously? *Biol Psychiatry* 2011, 70, 10: 985-91.
- Morgan WP. Psychological problems associated with the wearing of industrial respirators: a review. *Am Ind Hyg Assoc J* 1983, 44, 9: 671-6.
- Morgan WP. Anxiety and panic in recreational scuba divers. *Sports Med* 1995, 20, 6: 398-421.
- Morgan WP, Raglin JS, O'Connor PJ. Trait anxiety predicts panic behavior in beginning scuba students. *Int J Sports Med* 2004, 25, 4: 314-22.
- Morgan WP, Raven PB. Prediction of distress for individuals wearing industrial respirators. *Am Ind Hyg Assoc J* 1985, 46, 7: 363-8.
- Raglin JS, O'Connor PJ, Carlson N, Morgan WP. Responses to underwater exercise in scuba divers differing in trait anxiety. *Undersea Hyperb Med* 1996, 23, 2: 77-82.
- Reul J, Weis J, Jung A, Willmes K, Thron A. Central nervous system lesions and cervical disc herniations in amateur divers. *Lancet* 1995, 345: 1403-5.
- Schmidt NB, Lerew DR, Jackson RJ. The role of anxiety sensitivity in the pathogenesis of panic: prospective evaluation of spontaneous panic attacks during acute stress. *J Abnorm Psychol* 1997, 106, 3: 355-64.

Slosman DO, De Ribaupierre S, Chicherio C *et al.* Negative neurofunctional effects of frequency, depth and environment in recreational diving: the Geneva “memory dive” study. *Br J Sports Med* 2004, 32, 2: 108-4.

Sundal E, Irgens Å, Troland K, Thorsen E, Grønning M. Prevalence and causes of loss of consciousness in former North Sea occupational divers. *Int Marit Health* 2013, 64, 3: 142-7.

Szurhaj W, Derambure P. Place de l’EEG dans l’épilepsie. *Rev Neurol* 2004, 160, 11: 1113-9.

Todnem K, Nyland H, Dick AP, Lind O, Svihus R, Molvaer OI, Aarli JA. Immediate neurological effects of diving to a depth of 360 metres. *Acta Neurol Scand* 1989, 80, 4: 333-40.

Trevett A, Peck D, Forbes R. The psychological impact of accidents on recreational divers: a prospective study. *J Psychosom Res* 2010, 68, 3: 263-8.

Wilson JR, Raven PB, Morgan WP. Prediction of respiratory distress during maximal physical exercise: the role of trait anxiety. *Am Ind Hyg Assoc J* 1999, 60, 4: 512-7.

7.- APTITUDE AU TRAVAIL HYPERBARE ET AFFECTIONS HÉMATOLOGIQUES

7.1.- RAPPEL DES RISQUES HÉMATOLOGIQUES EN HYPERBARIE

La conséquence la mieux connue de l’hyperbarie sur les paramètres hématologiques est l’hémoconcentration (Pontier 2008) due à l’augmentation de la diurèse lors de l’immersion (Takeuchi 1995).

Une autre variation avait été décrite : la baisse du taux plaquettaire après une simple plongée (Philp 1974, Barnard 1981) de faible amplitude mais non retrouvée sur des travaux ultérieurs (Eckenhoff 1984, Pontier 2008).

Au niveau de l’hémostase, il avait été décrit une activation aigüe de l’hémostase après plongée autonome (Gris 1998), avec génération de facteur VII activé, de micro-particules et de facteur tissulaire. Ceci n’a pas été confirmé ultérieurement (Olszanski 2001) en dehors d’une élévation des complexes plasmines-antiplasmines.

À ce jour, il n’a pas été décrit de conséquences cliniques indiscutables liées à ces perturbations biologiques.

La possibilité d’une interférence entre état thrombophilique et survenue ou aggravation d’un accident de désaturation a été évoquée (Coignoux et Wolkiewicz 2000). Ceci n’a jamais été confirmé.

Il a été suggéré que des accidents de désaturation pouvaient être liés à l’amplitude de la diminution de l’hématocrite (Smith et coll. 1994). Ceci n’a pas été confirmé (Boussuges et coll. 1998). Cependant, en plongée subaquatique, les effets de l’immersion et de la contention par le vêtement en néoprène s’ajoutent, se traduisant par une réduction du volume plasmatique après deux heures d’immersion (Castagna et coll. 2013). Les pertes sudorales par charge thermique chaude peuvent encore aggraver la réduction du volume plasmatique (Castagna et coll. 2015).

7.2.- RECHERCHE DE PATHOLOGIES PRÉEXISTANTES QUI AUGMENTENT LES RISQUES

a) L’examen clinique peut permettre de dépister :

- *Un syndrome anémique* : dyspnée d’effort, voire dyspnée de repos, pâleur cutanéomuqueuse.
- *Un syndrome polyglobulique* : phosphènes, acouphènes, érythrose cutanéomuqueuse.

- *Un syndrome hémorragique* : purpura, ecchymoses récidivantes ou survenant pour des traumatismes minimes, antécédents hémorragiques dépistés par interrogatoire type ménorragies, saignements post-opératoires.
- *Une hémopathie* quelle qu'elle soit, suspectée par la découverte d'adénopathies, d'hépatomégalie, de splénomégalie.

La recherche des antécédents individuels ou familiaux de maladie thromboembolique peut conduire à suspecter une thrombophilie à rechercher en milieu spécialisé.

b) Examens biologiques

La *numération formule sanguine* permet de mettre en évidence ou de confirmer certaines de ces anomalies : anémie, polyglobulie, thrombopénie.

La découverte sur la numération formule sanguine d'une hémopathie est toujours possible, en particulier les hémopathies chroniques : leucémie myéloïde chronique, leucémie lymphoïde chronique, syndrome myéloprolifératif. Ces maladies feront l'objet d'une prise en charge thérapeutique avec un suivi spécifique.

Les hémoglobinopathies hétérozygotes sans anémie (trait thalassémique, trait drépanocytaire) ne semblent pas associées à une augmentation de risque. Malgré cela et le constat que la littérature ne rapporte aucune donnée montrant une augmentation de risque chez le drépanocytaire, des auteurs (Vigilante et DiGeorge 2014) ont considéré que l'activité plongée devait être déconseillée dans le domaine militaire, ceci ne s'appliquant pas à la plongée de loisir ni professionnelle.

En ce qui concerne l'hémostase, en dehors de la thrombopénie qui dans sa forme sévère peut être responsable d'un saignement spontané, le dépistage d'anomalie de la coagulation par réalisation d'un temps de céphaline activé et d'un temps de Quick ne paraît pas indispensable. Ces examens ne seraient réalisés que devant l'existence d'un syndrome hémorragique clinique.

7.3.- LE DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES CRÉÉES PAR L'HYPERBARIE

Il n'est pas démontré que l'hyperbarie soit responsable en elle-même de pathologie hématologique. Dans la littérature figurent un certain nombre de cas cliniques isolés dont la valeur scientifique est toute relative : hémorragie spinale spontanée après plongée (Hida et coll. 2002), hémorragie orbitale après barotraumatisme lié au masque (Butler et Gurney 2001).

Les trois anomalies qui pourraient avoir une incidence en termes de risques sont :

a) L'anémie, non pas lors des phases en immersion ou de séjour en pression mais lors du retour à la pression atmosphérique qui peut entraîner une hypoxie chez le sujet non anémique. L'anémie augmente ce risque. De même, l'hypotension aigüe lors de l'émersion pourrait être aggravée par l'anémie.

b) La polyglobulie : la polyglobulie, qu'elle soit primitive ou secondaire, a pour principale complication la thrombose. L'hémoconcentration induite par la plongée peut aggraver cette polyglobulie. Il serait donc nécessaire de fixer un seuil maximal d'hématocrite. Ce seuil ne peut venir que d'un consensus professionnel car la littérature n'en donne aucun.

c) La thrombopénie : les thrombopénies extrêmes (en dessous de 30 Giga/L) s'accompagnent d'un risque hémorragique spontané. Il n'est pas démontré que la plongée augmente ce risque mais le caractère spontané doit inciter à la prudence dans la mesure où ce type d'accident peut survenir à tout moment.

7.4.- LES EXAMENS RECOMMANDÉS

En dehors de l'examen clinique, la numération formule sanguine nous paraît être le seul examen à recommander, dans le cadre de l'hématologie, avant la 1^{ère} exposition.

Aucun autre examen systématique ne peut se justifier ; les examens à faire pourraient être liés à la découverte de signes cliniques évoquant des pathologies hématologiques. Les hémopathies, les états hémorragiques ou thrombophiliques seront recherchés par l'anamnèse et l'examen clinique. Ils feront l'objet d'explorations complémentaires en cas d'éléments évocateurs.

7.5.- RESTRICTIONS D'EXPOSITION ET CONDITIONS D'EXPOSITION AUTORISÉES EN FONCTION DES RÉSULTATS DES EXPLORATIONS

Compte tenu des éléments ci-dessus, les restrictions d'exposition concernent :

a) Anémie :

Un seuil minimal d'hématocrite à 40 % chez l'homme (taux d'hémoglobine à 13g/dL) et à 37 % chez la femme (hémoglobine 11,5 g/dL) pourrait être proposé pour la pratique professionnelle.

b) Polyglobulie :

Le risque d'aggravation de la polyglobulie par l'hémoconcentration pourrait inciter à la prudence chez les hommes ayant un hématocrite à plus de 54 % (hémoglobine > 17 g/dL) et les femmes ayant un hématocrite à plus de 47 % (hémoglobine 15 g/dL).

c) Plaquettes :

La limite inférieure des taux de plaquettes pourrait être de 30 Giga/L (risque d'hémorragie spontanée) ou 50 Giga/L (risque en cas d'hémorragie provoquée).

Chez les patients porteurs d'une anomalie hématologique préexistante et traitée, il pourrait être proposé une surveillance annuelle voire biannuelle pour vérifier si les seuils ci-dessus sont respectés.

Recommandation 12

Une numération formule sanguine est recommandée avant la première exposition au milieu hyperbare, à la recherche d'une anémie, d'une polyglobulie ou d'une thrombopénie.

Les hémopathies, les états hémorragiques ou thrombophiliques seront recherchés par l'anamnèse et l'examen clinique. Ils feront l'objet d'explorations complémentaires en cas d'éléments évocateurs.

(Avis d'experts)

Références

- Barnard EE, Weathersby PK. Blood cell changes in asymptomatic divers. *Undersea Biomed Res* 1981, 8, 4: 187-98.
- Boussuges A, Succo E, Juhan-Vague I, Sainty JM. Activation of coagulation in decompression illness. *Aviat Space Environ Med* 1998, 69, 2: 129-32.
- Butler FK, Gurney N. Orbital hemorrhage following face-mask barotrauma. *Undersea Hyper Med* 2001, 28, 1 : 31-4.
- Coignoux Y, Wolkiewicz J. Accidents de décompression et états thrombophiliques : approche physiopathologique. *Bull Medsubhyp* 2000, 10, 1 : 17-24
- Castagna O, Blatteau JE, Vallée N, Schmid B, Regnard J. The underestimated compression effect of neoprene wetsuit on divers hydromineral homeostasis. *Int J Sports Med* 2013, 34 : 1043-50.
- Castagna O, Blatteau JE, Vallée N, Schmid B, Dumoulin G, Regnard J. Alterations in body fluid balance during fin swimming in 29 °C water in a population of special forces divers. *Int J Sports Med* 2015, 36 : 1125-33.
- Gris JC, Arquizan T, Brunel C, Gillet JL, Grand D. Acute haemostasis activation after scuba diving. *Thromb Haemost* 1998, 80, 4: 721-2.
- Hida K, Iwasaki Y, Akino M. Spontaneous spinal hemorrhage during scuba diving. Case illustration. *J Neurosurg* 2002; 96, 3(Suppl): 351.
- Newton HB, Burkart J, Pearl D, Padilla W. Neurological decompression illness and hematocrit: analysis of a consecutive series of 200 recreational scuba divers. *Undersea Hyperb Med* 2008, 35, 2: 99-106.
- Olszański R, Radziwon P, Baj Z, Kaczmarek P, Giedrojć J, Galar M, Kłoczko J. Changes in the extrinsic and intrinsic pathways in human after decompression following saturation diving. *Blood Coag Fibrinolysis* 2001; 12, 4: 269-74.
- Philp RB. A review of blood changes associated with compression-decompression: relationship to decompression sickness. *Undersea Biomed Res* 1974, 1, 2: 117-50.
- Pontier JM, Jimenez C, Blatteau JE. Blood platelet count and bubble formation after a dive to 30 msw for 30 min. *Aviat Space Environ Med* 2008, 79, 12: 1096-9.
- Pontier JM, Vallée N, Bourdon L. Bubble-induced platelet aggregation in a rat model of decompression sickness. *J Appl Physiol* 2009, 107, 6: 1825-9.
- Smith RM, Van Hoesen KB, Neuman TS. Arterial gas embolism and hemoconcentration. *J Emerg Med* 1994, 12, 2: 147-53.
- Vigilante JA, DiGeorge NW. Sickle cell trait and diving: review and recommendations. *Undersea Hyperb Med* 2014, 41, 3 : 223-8.

8.- APTITUDE AU TRAVAIL HYPERBARE, FONCTION RÉNALE ET AFFECTIONS DES REINS

8.1.- RAPPEL DES CONTRAINTES NÉPHROLOGIQUES EN HYPERBARIE SÈCHE ET EN IMMERSION

Il n'est pas décrit de risque néphrologique spécifique des conditions d'ambiance hyperbare.

L'hyperbarie sèche n'a pas d'effet significatif sur la fonction rénale normale, à l'exception d'une diurèse modérée avec nocturie pour des pressions élevées, supérieures à 30 ATA (Goldinger et coll. 1992, Shiraki et coll. 1984). Mais l'hyperbarie sèche des chantiers hyperbares expose fréquemment à une ambiance chaude et humide (espaces confinés, compression, activité physique et outillage produisant de la chaleur) dans laquelle le rein doit ajuster le bilan hydrominéral face à un risque non négligeable d'hypovolémie (vasodilatation, sudation).

L'immersion, avec ou sans hyperbarie, est diurétique pour deux raisons.

Tout d'abord, l'exposition à la pression hydrostatique ou à la pression d'un vêtement élastique crée un déséquilibre immédiat entre volume sanguin et capacité du réseau vasculaire systémique. Le rein répond à cette hypervolémie fonctionnelle obligatoire en diminuant la volémie et les volumes liquidiens interstitiels et même intracellulaires, tout en régulant les compositions électrolytiques nécessaires aux fonctions physiologiques (activités membranaires, excitabilité musculaire et nerveuse...) (Greenleaf et coll. 1980, Mourot et coll. 2004, Jimenez et coll. 2010, Castagna et coll. 2013, Castagna et coll. 2015). Cette réponse rénale se manifeste entre autres par une hémococoncentration qui reflète la réduction du volume plasmatique (Castagna et coll. 2015, Greenleaf et coll. 1980, Mourot et coll. 2004, Philp et coll. 1974, Pontier et coll. 2008, Regnard et coll. 2012).

D'autre part, la pression externe est transmise aux masses musculaires des membres de sorte que la pression hydrostatique des espaces interstitiels est supérieure à celle de la lumière capillaire. Cet écart de pression hydrostatique génère une absorption plasmatique d'eau interstitielle qui s'établit en quelques dizaines de minutes et se poursuit pendant des heures. L'augmentation continue de volémie entretient la *diurèse de pression*, qui réduit donc progressivement le volume plasmatique et plus encore le volume des liquides interstitiels et même secondairement celui des liquides intracellulaires. On peut globalement considérer que les contraintes physiques de l'immersion (la plongée) sur l'appareil cardiovasculaire conduisent le rein à effectuer une dialyse qui soustrait longtemps l'eau et les électrolytes des différents espaces liquidiens (Regnard 2012).

L'ajustement des volumes liquidiens perdure pendant toute l'immersion : il a été observé pendant des immersions de 12 h (Johansen et coll. 1985, Castagna et coll. 2014), et même pendant 29 h, à l'occasion d'une plongée spéléologique. Il faut donc considérer que le « travail rénal » est nettement plus sollicité en immersion qu'en ambiance gazeuse. Ces effets de l'immersion stimulent la fonction rénale (débit urinaire et débit sodé) lorsqu'elle est entravée, comme dans la cirrhose hépatique et l'insuffisance cardiaque (Bichet et coll. 1983, Gabrielsen et coll. 2001).

Au décours de l'immersion (retour en ambiance gazeuse et disparition de la pression exercée sur la peau), le déséquilibre s'inverse brutalement entre le volume sanguin diminué et la

capacité vasculaire soudainement augmentée (ce qui modifie tout aussi brutalement l'hémodynamique générale et la perfusion tissulaire dans de nombreux organes). L'hypovolémie affecte la précharge cardiaque et le volume d'éjection systolique (Boussuges et coll. 2006, 2007, 2009, Jimenez et coll. 2010, Molénat et coll. 2004) et le débit microcirculatoire. Le rein doit alors assurer la reconstitution d'une volémie appropriée et des volumes liquidiens interstitiels et intracellulaires, avec leur composition électrolytique physiologique. Ce travail est plus lent que celui, opposé, qui a lieu pendant l'immersion et pour lequel les forces en présence sont plus grandes (écarts de pressions hydrostatiques entre les compartiments liquidiens).

Au total, la fonction rénale est fortement sollicitée pendant et au décours de l'immersion. Elle doit donc être suffisamment performante pour réaliser de façon répétée ces ajustements physiologiques de l'équilibre hydrominéral chez les personnes qui sont souvent exposées à l'hyperbarie immergée.

La **fonction rénale** est actuellement définie en néphrologie par la valeur du débit de filtration glomérulaire (DFG) évalué par la clairance de la créatinine calculée selon l'équation CKD-EPI (HAS 2011).

Cette mesure est effectuée pour l'ensemble du tissu rénal considéré globalement : les deux reins ou un seul pour les sujets qui ont subi une néphrectomie (thérapeutique ou de don d'organe). L'insuffisance rénale est définie et quantifiée par la valeur de DFG (CKD-EPI) :

Stades de l'insuffisance rénale chronique	DFG (CKD-EPI) (mL/min/1,73 m ²)	
Stade 1	> 90	avec marqueurs associés
Stade 2 (débutante)	60 ≤ DFG < 90	
Stade 3 (modérée)	30 ≤ DFG < 60	
Stade 4 (sévère)	10 < DFG < 30	15 – 30 si diabète
Stade 5 (terminale)	< 10	< 15 si diabète

Tableau XII : Stades de l'insuffisance rénale chronique en fonction du débit de filtration glomérulaire (DFG) estimé par l'équation CKD-EPI (d'après HAS 2011).

8.2.- PATHOLOGIES PRÉEXISTANTES SUSCEPTIBLES D'AUGMENTER LES RISQUES

Un rein unique (anatomique ou fonctionnel) n'est pas une contre-indication en soi (si le DFG global est suffisant), mais il vieillit (remaniements histologiques et diminution de fonction) plus vite que lorsqu'ils sont deux.

Donc quelques années après une néphrectomie, il convient de se montrer prudent, de vérifier le DFG (CKD-EPI) et de déconseiller d'exposer fréquemment l'organe à une tâche vraisemblablement plus grande que dans la vie terrestre.

8.3- LES EXAMENS RECOMMANDÉS

L'interrogatoire et éventuellement l'autoquestionnaire doivent rechercher la notion de maladie rénale transitoire ou chronique (possiblement héréditaire comme la polykystose), l'existence de symptômes (protéinurie, hématurie) et leurs dates (durée, ancienneté...). L'existence d'une

hypertension artérielle ou d'un diabète doit faire documenter leur ancienneté, les traitements en cours et faire vérifier la fonction rénale.

Deux examens sont indiqués en dehors d'avis spécialisés que requerraient des antécédents ou une symptomatologie significative : la mesure du DFG et la recherche de protéinurie.

L'évaluation du DFG est le seul examen justifié en cas de doute sur une altération significative de la fonction rénale. En première intention, elle doit être estimée à partir de la valeur de la créatininémie (dosage enzymatique) et selon l'équation CKD-EPI (HAS 2011). La mesure vraie du DFG utilisant un marqueur exogène n'est réalisée qu'en service spécialisé et demandée par un spécialiste néphrologue devant des anomalies confirmées des résultats de CKD-EPI et un contexte clinique pertinent.

La recherche de protéinurie ou d'albuminurie peut être réalisée à partir d'un dosage de l'albuminurie ou protéinurie sur un recueil des urines des 24 heures ou à partir d'un échantillon d'urine et dans ce cas, le résultat est exprimé sous forme de rapport albuminurie/créatinine urinaire ou protéinurie/créatinine urinaire.

8.4.- RESTRICTIONS D'EXPOSITION EN FONCTION DES RÉSULTATS DES EXPLORATIONS

- Il semble raisonnable de contre-indiquer l'activité de plongée professionnelle lorsque le DFG (CKD-EPI) est inférieur ou égal à $60 \text{ mL/min/1,73m}^2$.

Pour l'hyperbarie sèche, la décision d'aptitude pourrait être prise en concertation avec un spécialiste (néphrologue) qui assure un suivi spécialisé de la fonction rénale du sujet lorsqu'elle se situe autour de $60 \text{ mL/min/1,73m}^2$. Cela peut être le cas par exemple, pour une participation limitée dans le temps (semaines, mois) à un chantier hyperbare.

- La protéinurie et l'hématurie sont des indicateurs indépendants. Une protéinurie est considérée significative si elle est supérieure à $0,5 \text{ g/24 h}$. Une protéinurie supérieure à 1 g/24 h est une contre-indication à la plongée, même avec $\text{DFG} > 60 \text{ mL/min/1,73 m}^2$.
- L'existence d'un syndrome néphrotique avec protéinurie à $2-3 \text{ g/24 h}$ est une contre-indication.
- Chez une personne à rein unique, il convient de vérifier la microalbuminurie qui doit être inférieure à $30 \mu\text{g/24 h}$.
- Enfin les kystes (unique ou polykystose) ne sont pas une contre-indication a priori. Il est cependant nécessaire de les documenter par une imagerie : de multiples gros kystes constitueraient une contre-indication raisonnable.
- L'existence d'une exposition significative (prolongée, ayant causé des symptômes) aux métaux lourds ou à des substances toxiques (solvants comme le trichloréthylène...) doit faire vérifier la fonction rénale (DFG, protéinurie).

Recommandation 13

Avant les premières activités hyperbares professionnelles, un dosage de la créatinine plasmatique avec calcul du DFG selon la formule CKD-EPI et une recherche de protéinurie par bandelettes sont les deux examens utiles, à des fins de dépistage systématique chez des personnes indemnes de pathologie rénale et d'antécédents à risque d'atteinte rénale. Un résultat positif de protéinurie sur bandelette peut justifier un dosage vrai sur recueil des 24 h.

En cas de rein unique chez un sujet jeune, le calcul du DFG (CKD-EPI) et la protéinurie dosée sur recueil urinaire des 24 h sont nécessaires.

Les antécédents significatifs de maladie rénale même silencieuse doivent faire demander un avis néphrologique spécialisé.

Lors des examens périodiques, le dosage de créatinine plasmatique avec calcul de DFG (CKD-EPI) et le dépistage de protéinurie (ou son dosage) doivent être répétés : ils permettent à peu de frais un suivi d'évolution de la fonction rénale, et éventuellement un dépistage d'altération. Ils sont indispensables en cas d'HTA ou de diabète.

(Avis d'experts)

Références

Bichet DG, Groves BM, Schrier RW. Mechanisms of improvement of water and sodium excretion by immersion in decompensated cirrhotic patients. *Kidney Int* 1983, 24, 6: 788-94.

Boussuges A, Blanc F, Carturan D. Hemodynamic changes induced by recreational scuba diving. *Chest* 2006, 129, 5: 1337-43.

Boussuges A, Gole Y, Mourot L, Jammes Y, Melin B, Regnard J, Robinet C. Haemodynamic changes after prolonged water immersion. *J Sports Sci* 2009, 27, 6: 641-649.

Boussuges A, Molenat F, Grandfond A, Regnard J, Wolf JP, Galland F, Robinet C. Cardiovascular changes induced by cold water immersion during hyperbaric hyperoxic exposure. *Clin Physiol Funct Imaging* 2007, 27, 5: 268-74.

Castagna O, Blatteau JE, Peny C, Ruby X, Chopard R, Barrot L, Belon F, Blanchard JC, Desruelle A-V, Vallée N, Schmid B, Regnard J. Fluid balance during prolonged Scuba dive: effect of hydratation during immersion. Communication à la 40^e réunion annuelle de l'European Underwater & Baromedical Society (EUBS), Wiesbaden, Allemagne, septembre 2014.

Castagna O, Blatteau JE, Vallée N, Schmid B, Regnard J. The underestimated compression effect of neoprene wetsuit on divers hydromineral homeostasis. *Int J Sports Med* 2013, 34: 1043-50.

Castagna O, Desruelle AV, Blatteau JE, Schmid B, Dumoulin G, Regnard J. Alterations in body fluid balance during fin swimming in 29 °C water in a population of special forces divers. *Int J Sports Med* 2015, 36 14: 1125-33.

Gabrielsen A, Bie P, Holstein-Rathlou NH, Christensen NJ, Warberg J, Dige-Petersen H, Frandsen E, Galatius S, Pump B, Sørensen VB, Kastrup J, Norsk P. Neuroendocrine and renal

effects of intravascular volume expansion in compensated heart failure. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2001, 281, 2: R459-67.

Goldinger JM, Hong SK, Claybaugh JR, Niu AK, Gutman SI, Moon RE, Bennett PB. Renal responses during a dry saturation dive to 450 msw. *Undersea Biomed Res* 1992, 19,4: 287-93.

Greenleaf JE, Shvartz E, Kravik S, Keil IC. Fluid shifts and endocrine responses during chair rest and water immersion in man. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 1980, 48, 1: 79-88.

Haute Autorité de Santé 2011. Évaluation du débit de filtration glomérulaire et du dosage de la créatininémie dans le diagnostic de la maladie rénale chronique chez l'adulte. Texte court du rapport d'évaluation technologique. Disponible sur : https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_1064297/fr/evaluation-du-debit-de-filtration-glomerulaire-et-du-dosage-de-la-creatinemie-dans-le-diagnostic-de-la-maladie-renale-chronique-chez-l-adulte-rapport-d-evaluation [18 mars 2018].

Jimenez C, Regnard J, Robinet C, Mourot L, Gomez-Merino D, Chennaoui M, Jammes Y, Dumoulin G, Desruelle AV, Melin B. Whole body immersion and hydromineral homeostasis: effect of water temperature. *Eur J Appl Physiol* 2010, 108, 1: 49-58.

Johansen LB, Foldager N, Stadeager C, Kristensen MS, Bie P, Warberg J, Kamegai M, Norsk P. Plasma volume, fluid shifts, and renal responses in humans during 12 h of head-out water immersion. *J Appl Physiol* (1985) 1992, 73, 2: 539-44.

Molénat F, Boussuges A, Grandfond A, Rostain JC, Sainty JM, Robinet C, Galland F, Méliet JL. Haemodynamic effects of hyperbaric hyperoxia in healthy volunteers: an echocardiographic and Doppler study. *Clin Sci (Lond)* 2004, 106(4):389-95.

Mourot L, Wolf JP, Galland F, Robinet C, Courtière A, Bouhaddi M, Méliet JL, Regnard J. Short-term vasomotor adjustments to post-immersion dehydration are hindered by natriuretic peptides. *Undersea Hyper Med* 2004, 31, 2: 203-10.

Philp RB. A review of blood changes associated with compression-decompression: relationship to decompression sickness. *Undersea Biomed Res* 1974, 1, 2: 117-50.

Regnard J, Mourot L, Castagna O, Jimenez C, Blatteau JE, Bouhaddi M, Wolf JP, Boussuges A, Méliet JL, Melin B, Robinet C. Mechanisms that alter body fluid balance during immersion. Communication à la 38^e réunion annuelle de l'European Underwater & Baromedical Society (EUBS), Belgrade, Serbie, septembre 2012.

Shiraki K, Sagawa S, Konda N, Nakayama H, Matsuda M. Hyperbaric diuresis at a thermoneutral 31 ATA He-O₂ environment. *Undersea Biomed Res* 1984, 11, 4: 341-53.

9.- LES AUTRES EXAMENS BIOLOGIQUES COMPLÉMENTAIRES POUR L'APTITUDE AU TRAVAIL HYPERBARE

9.1.- RAPPEL DES RISQUES

Le travail en milieu hyperbare, gazeux ou aquatique, a parmi ses conséquences, une modification des contraintes physiologiques cardiaques, respiratoires, métaboliques et thermiques (voir Première partie, chapitre I, Conséquences physiologiques p. 7). L'adaptation de l'organisme à ces conditions exceptionnelles nécessite une parfaite intégrité des mécanismes de régulation, en particulier à l'effort.

a) La désaturation

La décompression, étape inévitable lorsque le travail est terminé, constitue un état physiologique particulier caractérisé par un déséquilibre gazeux continu entre les gaz dissous dans l'organisme et le milieu extérieur. La présence dans la circulation de bulles gazeuses est en pratique inévitable. En trop grand nombre, elles déclenchent des accidents de désaturation et sont à l'origine de désordres biologiques, décrits sous le nom de maladie de la décompression, où interviennent des phénomènes de coagulation, d'inflammation, d'immunité et de perturbation de la rhéologie (voir Première partie, chapitre I, Les accidents de désaturation, p. 23 à 30).

Un certain nombre de situations physiologiques ou pathologiques ont été identifiées comme favorisant la survenue d'accidents de désaturation.

Dès 1945, Harvey observait chez le chat soumis à une décompression d'altitude, des bulles (d'azote) très abondantes dans les tissus gras et dans les veines drainant ces tissus. Cette observation renforce l'hypothèse selon laquelle, l'azote étant environ cinq fois plus soluble dans les lipides que dans l'eau, le pourcentage de masse grasse influence la quantité d'azote dissous et donc le risque d'accident de désaturation (Francis et Mitchell 2002). Cependant, bien qu'une hyperlipidémie puisse en théorie favoriser l'existence de noyaux gazeux adsorbés à la surface des chylomicrons, les perturbations du métabolisme lipidique n'apparaissent pas comme facteur favorisant des accidents de désaturation (Daubresse et coll.2014, Gempp et coll. 2015).

b) Le risque de perte de connaissance

Une perte de connaissance en plongée subaquatique fait courir un risque immédiat de noyade.

Dans les activités hyperbares sèches, bien que l'entourage puisse porter secours, la perte de connaissance d'un travailleur, outre qu'elle met en jeu la sécurité du chantier, peut avoir des conséquences inacceptables pour l'employeur :

- en mention C, les soins et l'évacuation d'un soignant malade peuvent conduire à l'interruption de la séance thérapeutique, au détriment de la personne traitée ;
- en mention D, l'arrêt des opérations a des conséquences économiques considérables.

Parmi les affections susceptibles de provoquer des pertes de connaissance inopinées, outre les affections cardiologiques (Deuxième partie, chapitre II-3) et épileptiques (id°, chapitre II-6), figurent les diabètes, facilement dépistables.

c) Le risque comportemental

La narcose aux gaz inertes (Première partie, chapitre I-3.3.4) modifie malgré l'entraînement les perceptions, les réactions et les comportements des opérateurs.

L'absorption de substances psychotropes ayant des effets du même ordre (au premier rang desquelles se trouve l'alcool) ne pourrait qu'aggraver les effets neurotoxiques des gaz et augmenter le risque de survenue d'un accident.

Le dépistage de l'usage de telles substances apparaît donc légitime, même s'il n'a de valeur qu'au moment où il est réalisé. Il doit donc être accompagné d'une information claire et complète de l'intéressé sur les risques encourus en cas de consommation de substances ou médicaments psychotropes, licites ou illicites.

d) Le risque de désadaptation à l'effort

L'activité professionnelle hyperbare nécessite le plus souvent des activités physiques avec des efforts intenses, réalisés sous contrainte ventilatoire et thermique, au froid ou au chaud. La mise en œuvre d'outillages lourds comme des marteaux-piqueurs, des dispositifs de levage, des opérations de manutention lourde est fréquentes. Le déplacement avec des équipements et du matériel encombrants peut s'effectuer dans des zones à fort courant ou dans des structures étroites et encombrées.

Ce contexte du travail hyperbare nécessite une parfaite adaptation de l'organisme aux contraintes en matière de régulation des fonctions circulatoire, respiratoire, de régulation thermique, humorale et électrolytique.

Le dépistage des dysfonctionnements cardiocirculatoires et respiratoires a été traité plus haut. Le dépistage des affections métaboliques et endocriniennes pouvant retentir sur les adaptations à l'effort apparaît légitime en complément des précédentes.

e) Les risques liés aux pathologies préexistantes

Les risques liés à l'existence ou la survenue d'une pathologie hématologique sont traités au chapitre 7.

Si l'interrogatoire ou l'examen clinique permettent de suspecter une affection métabolique ou endocrinienne, les examens complémentaires adaptés pourront être prescrits afin d'en faire le bilan.

Deux cadres nosologiques présentent cependant des risques accrus d'accident en milieu hyperbare : les diabètes et l'usage habituel de produits psychotropes (alcool, stupéfiants et assimilés).

9.2.- LE DIABÈTE

Les études et propositions actuellement disponibles ne concernent que la plongée de loisir (Bryson et coll. 1998, Edge et coll. 2002, Tabah et coll. 2004 et 2005, Lormeau et coll. 2005, Pollock et coll. 2006, Mitchell 2008).

Pour ce qui concerne les activités professionnelles, l'EDTC (Wendling et coll. 2004), comme l'UHMS (Pollock et coll. 2005) considèrent que la découverte d'un diabète lors de l'examen initial constitue une inaptitude à la plongée en raison du risque de perte de connaissance et du risque de survenue de complications (tableau XIII).

Complications	Interactions possibles avec le travail hyperbare
Hypoglycémie	Peut être précipitée par le stress, le froid et l'exercice physique. Conséquences potentiellement catastrophiques en raison de l'altération de la conscience. Les signes avertisseurs peuvent ne pas être perçus en plongée. Possibilité de confusion avec les signes d'ADD, d'hypothermie ou de cinétose.
Hyperglycémie	Peut augmenter la déshydratation, risque potentiel d'ADD. Peut aggraver l'issue d'un ADD neurologique.
Coronaropathie	Réduction de la tolérance à l'exercice. Risque d'ischémie myocardique.
Régulation hypothalamique du glucose	Une sécrétion d'adrénaline se produit lors de l'hypoglycémie, après glycopénie neuronale. Le patient est alors incapable de reconnaître les signes de l'hypoglycémie (phénomène décrit sous le nom d' <i>inconscience hypoglycémique</i>).
Neuropathie autonome	Affaiblissement de la décharge d'adrénaline lors de la chute de la glycémie, aggravant ainsi les conséquences potentielles de l'hypoglycémie.
Neuropathie périphérique	Confusion possible avec les signes de l'ADD.
Angiopathie périphérique	Réduction de la tolérance à l'exercice.
Altération de la fonction rénale	Conséquences multiples en fonction de la sévérité de l'atteinte.

Tableau XIII : Complications ou associations aiguës et chroniques connues dans le diabète et interactions potentielles avec le travail en conditions hyperbares. *D'après SPUMS diving medical 2010.*

Le dépistage d'un diabète lors des examens initial et périodique apparaît dès lors comme légitime par la réalisation d'une glycémie à jeun et la recherche d'une glycosurie.

Lors de l'examen initial chez le sujet jeune, la découverte d'un diabète de type I contre-indique l'exposition professionnelle à l'hyperbarie.

La découverte d'un diabète de type II à l'occasion d'un examen périodique doit faire pratiquer un bilan complet en milieu spécialisé. La décision d'aptitude devra prendre en compte, outre l'avis du diabétologue expert :

- les éléments inhérents au poste de travail (qui doivent figurer dans le document unique et le manuel de sécurité hyperbare de l'employeur) :
 - activité subaquatique ou atmosphérique,
 - efforts physiques développés, outils et appareils mis en œuvre,
 - contrainte thermique,
 - sécurité des coéquipiers,
 - pression d'intervention, durée de séjour et durée nécessaire pour le retour à la pression atmosphérique,
 - possibilité de secours immédiat,
 - responsabilité, en termes de sécurité, vis-à-vis de co-équipiers ou collègues ;

- les éléments inhérents au sujet diabétique :
 - diabète non insulino-dépendant,
 - investissement personnel, connaissance et maîtrise du diabète,
 - absence d'obésité,
 - absence de complication neurologique, vasculaire, angiologique, ophtalmologique ou rénale,
 - possibilité d'alimentation au poste de travail en cas de dépense physique intense,
 - traitement suivi. Les sulfamides et glinides, hypoglycémifiants, sont incompatibles, ainsi que l'insulinothérapie chez le diabétique insulino-requérant.

La maladie évoluant fréquemment vers l'une ou l'autre des complications, le travailleur devra être informé le plus tôt possible que l'inaptitude est probable à plus ou moins brève échéance.

9.3.- L'USAGE HABITUEL DE PRODUITS PSYCHOTROPES

L'analyse des risques permet de considérer que les postes de travail en conditions hyperbares sont des postes à risques, au sens du nouvel article L.4624-4 du code du travail (loi n° 2015-994 du 17 août 2015) : « postes présentant des risques particuliers pour leur santé ou leur sécurité, celles de leurs collègues ou de tiers » et justifient une surveillance médicale spécifique.

L'usage de substances modifiant le comportement, le jugement ou les réactions psychomotrices introduit un risque exogène qui s'ajoute aux autres facteurs de risques. Son dépistage apparaît dès lors légitime. Il en est ainsi, dans des conditions précisées par la réglementation, dans certaines catégories professionnelles : contrôle de la navigation aérienne¹⁴, personnel navigant technique de l'aéronautique civile¹⁵, marin professionnel¹⁶, personnel du réseau ferroviaire accomplissant des fonctions de sécurité¹⁷. Pour la conduite automobile¹⁸, le dépistage biologique est laissé à l'appréciation du médecin examinateur.

¹⁴ Arrêté du 16 mai 2008 relatif aux critères et conditions de délivrance des attestations d'aptitude médicale de classe 3 nécessaires pour assurer les services du contrôle de la circulation aérienne et à l'organisation des services de médecine aéronautique. JORF du 8 juin 2008, p.9414.

¹⁵ Arrêté du 27 janvier 2005 relatif à l'aptitude physique et mentale du personnel navigant technique professionnel de l'aéronautique civile, modifié par l'arrêté du 26 février 2013.

¹⁶ Décret n° 2015-1575 du 3 décembre 2015 relatif à la santé et à l'aptitude médicale des gens de mer.

¹⁷ Arrêté du 30 juillet 2003 modifié relatif aux conditions d'aptitude physique et professionnelle et à la formation du personnel habilité à l'exercice de fonctions de sécurité sur le réseau ferré national.

¹⁸ Arrêté du 31 août 2010 modifiant l'arrêté du 21 décembre 2005 fixant la liste des affections médicales incompatibles avec l'obtention ou le maintien du permis de conduire ou pouvant donner lieu à la délivrance de permis de conduire de durée de validité limitée.

Au total, le dépistage de l'usage de substances psychotropes, tant lors de l'examen initial que des examens périodiques, repose sur :

- l'interrogatoire,
- l'observation du comportement,
- l'examen clinique.

En présence de signes évocateurs, des examens biologiques sanguins ou urinaires pourront être prescrits. Des résultats positifs devront faire rechercher l'avis d'un spécialiste expert.

Recommandation 14

Les examens biologiques effectués lors de l'examen initial et des examens périodiques doivent être orientés par l'anamnèse et la clinique.

Il est cependant recommandé de rechercher systématiquement un diabète par le dosage de la glycémie à jeun.

La pratique d'un bilan lipidique systématique est justifiée dans le cadre du dépistage des facteurs de risque cardiovasculaire.

Des examens biologiques sanguins ou urinaires recherchant une consommation abusive d'alcool ou l'usage de substances toxiques ou psychotropes peuvent être prescrits en présence d'éléments d'orientation cliniques ou anamnésiques.

(Avis d'experts)

Références

- Bryson P, Edge C, Gunby A, Leger Dowse M. Scuba diving and diabetes: collecting definitive data from a covert population of recreational divers. Interim observations from a long term ongoing prospective study. UHMSJ 1998, 25: 51-2.
- Daubresse L, Henckes A, Souquière L, Cochard G. Étude épidémiologique rétrospective des accidents de plongée sous-marine autonome pris en charge au centre hyperbare du CHU de Brest de 2000 à 2009. Bulletin MEDSUBHYP 2014, 24, 2: 47-56.
- Edge C, Bryson P, Edmonds C *et al.* Insulin-dependent diabetes mellitus. *In* : Edmonds C, Lowry C, Pennefather J, Walker R (eds). Diving and Subaquatic Medicine. Arnold, New York. 2002, p 581-95
- Francis TJR, Mitchell SJ. Pathophysiology of decompression sickness. *In*: Brubakk AF, Neumen TS (eds). Bennett and Elliotts' Physiology and Medicine of Diving. 5th edition. WB Saunders, Philadelphia 2002. p 544-6.
- Gempp E, Louge P, de Maistre S, Hugon M, Blatteau JE. Manifestations neurologiques après plongée sous-marine : attitude pratique. Médecine et armées, 2015, 43, 1:61-8.
- Harvey EN. Decompression sickness and bubble formation in blood and tissues. Bull N Y Acad Med 1945, Oct; 21, 10: 505-36.
- Lormeau B, Sola A, Tabah A, Chiheb S, Dufaitre L, Thurninger O, Bresson R, Lormeau C, Attali JR, Valensi P. Blood glucose changes and adjustments of diet and insulin doses in type 1 diabetic patients during scuba diving (for a change in French regulations). Diabetes Metab 2005, 31: 144-51.
- Mitchell SJ. Clearance to dive and fitness for work. *In*: Neuman TS, Thom SR (eds). Physiology and medicine of hyperbaric oxygen therapy. Saunders 2008, Philadelphia. p 65-94.
- Pollock NW, Uguccioni DM, Dear GdeL (eds). Diabetes and recreational diving: guidelines for the future. Proceedings of the Undersea and Hyperbaric Medical Society/Divers Alert Network 2005 June 19 Workshop. Divers Alert Network, Durham, NC. 2005.
- Pollock NW, Uguccioni DM, Dear Gd, Bates S, Albushies TM, Prosterman SA. Plasma glucose response to recreational diving in novice teenage divers with insulin-requiring diabetes mellitus. Undersea Hyperb Med 2006, 33, 2: 125-33.
- SPUMS. South Pacific Underwater Medicine Society Incorporated. Guidelines on medical risk. Assessment for recreational diving. 4th Edition. Melbourne, Aust. Dec 2010, p 23-7. Disponible sur : http://www.spums.org.au/sites/default/files/member_downloads/SPUMS%20Medical%204th%20edition-July%202011_0.pdf
- Tabah A, Lormeau B, Bresson R, Dufaitre L, Thurninger O, Sola A. Diabetes and diving: change in regulations? *In*: Grandjean B and Meliet JL (eds). Proceedings of the 30th annual meeting of the European undersea and baromedical society. Ajaccio 2004. p 82-9.
- Tabah A, Lormeau B, Dufaitre L, Sola A, Bresson R, Thurninger O, Marmion N, Attali JR, Valensi P, Venutolo F, Grandjean B : Scuba diving with diabetes mellitus: French data, procedures and regulations. *In*: Pollock NW, Uguccioni DM, Dear GdeL (eds). Diabetes and recreational diving: guidelines for the future. Proceedings of the Undersea and Hyperbaric

Medical Society/Divers Alert Network 2005 June 19 Workshop. Divers Alert Network, Durham, NC. 2005. p 68-80.

Wendling J, Elliott D, Nome T, (eds). Medical assessment of working divers. Hyperbaric Editions, Biel-Bienne, Switzerland. 2004, 216 p.

10.- TRAVAIL EN MILIEU HYPERBARE ET MALADIES CUTANÉES

La littérature scientifique est très pauvre concernant les maladies cutanées et les contraintes hyperbares. Les seuls articles et cas rapportés concernent les accidents de décompression cutanés.

La détermination de l'aptitude au milieu hyperbare chez une personne souffrant de problèmes de peau doit donc se fonder sur le bon sens et le principe de précaution, faute de preuve scientifique.

10.1.- RAPPEL DES RISQUES DE L'HYPERBARIE

Comme pour d'autres appareils, la phase de décompression peut engendrer des signes cutanés en rapport avec le phénomène bullaire. Classiquement on décrit les « puces », sensations de prurit, et les « moutons », macules ou papules érythémateuses douloureuses (Grandjean et coll. 2006). Ces deux types d'atteintes sont en lien avec une sursaturation en gaz inerte du derme et de l'hypoderme et sont plus fréquemment rencontrées lors de plongées « sèches ». A côté de ces atteintes, on peut voir des livedo ou *cutis marmorata* au niveau du tronc et des racines des membres (Vann et coll. 2010), en lien avec une stase veineuse locale, qui peuvent accompagner ou précéder l'apparition d'autres atteintes comme des atteintes neurologiques (Kalentzos 2010) ou des douleurs thoraciques (Trevett et coll. 2006) ; certains suggèrent un lien entre ce type d'atteinte cutanée et l'existence d'un foramen ovale perméable (Wilmshurst et coll. 2001, Abed 2013).

L'hyperbarie peut exposer à des variations de température, au chaud comme au froid. Ces variations peuvent déclencher chez les sujets prédisposés des manifestations à retentissement essentiellement fonctionnel comme une érythralgie ou une urticaire au froid.

L'environnement du travailleur peut comporter des allergènes (matériels et produits contenant du latex, résines, nettoyants et dégraissants divers, poussières de ciments dans les travaux publics, etc.).

Enfin, les activités subaquatiques peuvent être à l'origine d'envenimations (piqûres de méduses, scorpènes, anémones, etc.) ou d'abrasions du revêtement cutané.

10.2.- LES PATHOLOGIES PRÉEXISTANTES QUI PEUVENT AUGMENTER LES RISQUES

Peu de pathologies cutanées présentent un risque vital en conditions hyperbares. Les contre-indications à l'hyperbarie vont surtout survenir dans le cadre de maladies générales avec manifestations cutanées et risque d'atteinte d'autres organes ou de décompensation d'atteintes préexistantes (Bonnin et coll. 2003) :

- la sarcoïdose avec atteinte pulmonaire (atteinte interstitielle),
- la sclérodermie avec atteinte pulmonaire (fibrose),
- la neurofibromatose (épilepsie),
- la sclérose tubéreuse de Bourneville (épilepsie),
- les malformations artério-veineuses en cas de shunt droit/gauche (risque d'accident de décompression neurologique grave),
- les maladies de système de type lupus en cas de vascularites associées ou cryoglobulinémie (augmentation de la viscosité sanguine et risque d'accident de décompression),

- l'hyperéosinophilie (augmentation de la viscosité sanguine),
- l'ulcère artériel (risque de coronaropathie associé),
- l'angio-œdème.

Certaines pathologies cutanées ne constituent pas de contre-indication formelle mais les épisodes aigus doivent être contrôlés par précaution avant d'autoriser une exposition hyperbare. Leur retentissement fonctionnel, en particulier sur les problèmes de thermorégulation, doit être évalué dans le cas de :

- psoriasis étendu,
- eczéma étendu,
- maladies bulleuses.

Un épisode infectieux (viral, bactérien, fongique) doit être traité et guéri avant d'autoriser l'exposition hyperbare.

Enfin, on peut citer l'urticaire au froid, mais dans ce cas précis le risque vital est lié non pas aux conditions d'hyperbarie mais au facteur « immersion » que l'on ne retrouve que chez les plongeurs. L'érythermalgie mérite également d'être mentionnée, la température pouvant augmenter en compression « sèche » (caisson, tunneliers).

10.3.- LE DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES CRÉÉES PAR L'HYPERBARIE

La recherche d'une atteinte cutanée après exposition hyperbare repose sur l'interrogatoire. En cas de suspicion d'une pathologie de décompression, une évaluation neurologique minutieuse doit être réalisée et la recherche d'un shunt droite-gauche effectuée.

En cas de doute sur une pathologie de contact, le travailleur devra être adressé au spécialiste pour explorations complémentaires.

10.4.- LES EXAMENS RECOMMANDÉS

Le médecin chargé de déterminer l'aptitude devra avant tout se baser sur l'interrogatoire et l'examen clinique du patient. Aucun examen complémentaire systématique n'est justifié.

Il faut par conséquent évoquer à l'anamnèse les maladies cutanées aussi anciennes soient-elles. En cas de pathologie préexistante, le médecin devra avoir connaissance du diagnostic précis, des éventuelles autres atteintes patentes ou possibles, ainsi que des traitements en cours.

Lors de l'examen clinique, on s'attachera à inspecter l'ensemble du tégument. Les examens complémentaires seront alors demandés au cas par cas si l'interrogatoire et/ou l'examen physique font craindre une pathologie susceptible de décompenser du fait d'une contrainte hyperbare.

En cas de doute, une consultation chez un spécialiste compétent en hyperbarie est nécessaire.

10.5.- LES RESTRICTIONS D'EXPOSITION ET LES EXPOSITIONS AUTORISÉES EN FONCTION DES RÉSULTATS DES EXAMENS COMPLÉMENTAIRES

Les pathologies cutanées présentent un risque relatif qui doit être discuté au cas par cas en fonction de leur retentissement fonctionnel.

On peut citer comme pathologies pouvant entraîner une contre-indication à l'immersion (Saurat et coll. 2009) :

- l'urticaire au froid,
- l'urticaire à l'eau,
- les allergies de contact (néoprène, caoutchouc),
- les plaies chroniques,
- les cryoglobulinémies et le cryofibrinogène,
- un syndrome de Raynaud sévère,
- les dermatoses étendues,
- les panniculites au froid.

Références

- Abed S. Accidents de décompression cutanés associés à un shunt droit-gauche en plongée : 9 observations. *Ann Dermatol Venereol* 2013, 12 suppl 1, 140: S593-4.
- Bonnin JP, Cart P, Grimaud C, Happey JC, Strub JM. Plongée sous-marine et milieu subaquatique. Masson, Paris, 2003, 360 p.
- Grandjean B, Bergmann E, Barthélémy A. Les accidents de décompression : clinique. *In* Broussole B, Méliet J-L et Coulange M (eds). *Physiologie et Médecine de la Plongée*. Ellipses Editions Marketing, Paris 2006. p 411-16.
- Kalentzos VN. Images in clinical medicine. Cutis marmorata in decompression sickness. *N Engl J Med* 2010, 362, 23: e67
- Saurat JH, Lachapelle JM, Lipsker D, Thomas L. *Dermatologie et infections sexuellement transmissibles* (5^{ème} éd.). Masson, Paris, 2009. 1176 p.
- Trevett AJ, Sheehan C, Forbes R. Decompression illness presenting as breast pain. *Undersea Hyper Med* 2006; 33, 2: 77-9.
- Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. *Lancet* 2010, 377: 153-64.

11.- RECOMMANDATIONS DE BONNES PRATIQUES EN MATIÈRE D'APTITUDE DENTAIRE POUR LES EXPOSITIONS AU MILIEU HYPERBARE

11.1.- RAPPEL DES RISQUES BUCCO-DENTAIRES LIÉS AUX EXPOSITIONS HYPERBARES

a) Douleurs dentaires

La barodontalgie est une douleur dentaire dont l'apparition est liée à une variation de pression (Shiller 1965). Les mécanismes de survenue en sont à l'heure actuelle largement méconnus (Rauch 1985, Gunepin 2010). C'est un symptôme qui est le plus souvent l'expression aigüe d'une pathologie subclinique préexistante, plutôt qu'une pathologie proprement dite (Zadik 2010, Gunepin et coll. 2013).

Les douleurs peuvent être intenses avec des vertiges et/ou une incapacité subite qui peuvent compromettre la sécurité (Jagger et coll 1997, Zadik 2006, Zadik 2010).

Des douleurs dentaires autres que les barodontalgies peuvent survenir chez les plongeurs subaquatiques :

- La pression positive de l'air arrivant dans la cavité buccale peut pénétrer dans un site chirurgical non cicatrisé et induire une alvéolite avec des douleurs semblables à celles d'une barodontalgie (Robichaud et McNally 2005).
- Les dents supportent mieux les fortes températures que les basses températures (inférieures à 15° C), et ce surtout si les fonds de cavité (isolations) sont déficients ou si le patient présente des sensibilités dentinaires (exemple des collets des dents dénudés). Or, les mélanges respirés, en se détendant, se refroidissent et par-là irritent l'organe pulpodentinaire s'il n'est pas bien isolé (Gunepin et coll. 2013).
- le « syndrome dentaire des hautes pressions » touche les dents saines des plongeurs profonds. Il est caractérisé par une hyperhémie pulpaire, voire des microhémorragies, et évolue vers des lésions nécrotiques, semblables aux ostéonécroses dysbariques, générant des douleurs sourdes plus ou moins chroniques (Bruy 2005). Un dégazage trop rapide entraîne l'apparition de bulles au niveau de l'apex, bulles qui ne sont décelables ni cliniquement ni radiographiquement. Ces bulles peuvent être à l'origine d'une gangrène pulpaire (Gunepin et coll. 2013).

b) Barotraumatismes dentaires

Ils peuvent se manifester sous la forme de fractures d'odontes, de fractures de restaurations (ces deux types de fractures sont englobés sous le terme « fractures dentaires ») et de diminution de la rétention des dispositifs prothétiques fixes et amovibles (Musajo et coll. 1992, Holowatyj 1996, Lyons et coll. 1997 et 1999, Peker et coll. 2009, Gunepin et coll. 2012, Gulve et Gulve 2013^{a,b}).

Le terme *barodontocrexis* (explosion de la dent liée à la pression) est parfois utilisé pour décrire les fractures dentaires (Calder et Ramsey 1983, Zadik 2009) liées aux variations de la pression. La survenue de ces fractures est favorisée par la préexistence de facteurs prédisposants pathologiques (caries secondaires, etc.) ou non (obturations défectueuses, etc.). La diminution de la rétention des dispositifs prothétiques est liée au type de ciment utilisé pour les sceller (ciment provisoire ou permanent et composition du ciment). Les fractures de matériaux et de tissus dentaires peuvent avoir comme conséquences une simple gêne (bord

tranchant, etc.) jusqu'à l'inhalation de débris pouvant mettre en péril la vie de l'intéressé (Klechak 1993, Peker et coll. 2009).

c) Risques bucco-dentaires spécifiques à la pratique de la plongée subaquatique

Problèmes liés à l'utilisation de l'embout buccal

- Le syndrome buccal de la plongée sous-marine ou « *mouth regulator syndrome* » : Chez le plongeur, les douleurs de l'articulation temporo-mandibulaire (ATM) peuvent inclure, à divers degrés, toute la symptomatologie des algies et dysfonctionnements de l'appareil manducateur (ADAM) : douleurs musculaires, douleurs articulaires, maux de tête, atteintes méniscales (Hobson 1996, Gunepin et coll. 2013). Ces symptômes sont attribués à la protrusion mandibulaire et à la pression exercée sur l'embout buccal par certaines dents (généralement canines et prémolaires) au cours de la plongée. La fréquence des douleurs au niveau de l'ATM est d'autant plus importante que l'eau est froide (Roydhouse 1977 et 1985), probablement du fait de la pression plus intense des dents et la contraction des lèvres sur l'embout buccal (Jagger et coll. 1997). Ces symptômes sont exacerbés chez le patient bruxomane (qui grince des dents) (Grant et Johnson 1998). Les symptômes peuvent se limiter à la durée de la plongée ou devenir chroniques et permanents.
- Un stress émotionnel, le froid, un courant important peuvent conduire le plongeur à serrer plus fort son embout buccal, avec un risque de détérioration des obturations dentaires (Hobson 2001, Gunepin et coll. 2013) même si l'embout est flexible (Roydhouse 1977).
- Un embout buccal mal adapté peut entraîner des lésions de la muqueuse buccale se manifestant par des gingivorragies dues au frottement de la collerette de l'embout, et des mobilités dentaires au niveau des prémolaires consécutives à un serrage intense sur les tétos (Scheper et coll. 2005). Une atteinte du parodonte peut également être observée sur les tissus affaiblis par des facteurs tels que le tartre et le tabac.
- La pression, si minime soit-elle, exercée par l'embout buccal sur un implant dentaire en phase d'ostéointégration peut compromettre celle-ci (Stein 2009). Des mouvements de l'implant de 50 à 150 µm suffisent en effet à compromettre sa stabilité (Gunepin et coll. 2013).
- L'embout buccal peut être un vecteur de transmission entre plongeurs de certains virus, comme l'*herpès simplex* (Potasman 1997). Ce risque est prégnant lors des manœuvres subaquatiques d'échange d'embouts buccaux réalisées lors des séances de formation.
- Un embout buccal inadapté peut être à l'origine d'un réflexe nauséux et d'une remontée rapide à la surface, aux conséquences délétères (risque d'accident de décompression ou de surpression) (Gunepin et coll. 2013).

Risques liés au port de prothèses amovibles

L'embout buccal est tenu par de picots serrés par les incisives. Si ces incisives sont celles d'une prothèse antérieure amovible, une traction sur l'embout buccal pourra détacher la prothèse, dont l'engagement dans le carrefour pharyngé entraîne un risque vital. On ne peut a priori pas éliminer ce risque pour les prothèses amovibles latérales.

d) Rejet de greffes osseuses

Les variations de pression atmosphérique ne semblent pas avoir d'influence sur la prolifération cellulaire. *In vitro*, la prolifération des odontoblastes serait ralentie par l'exposition à l'air comprimé à la pression de 5 bars, et augmentée à la même pression d'oxygène pur (von See et coll. 2014). L'ostéointégration du greffon pourrait ainsi être compromise.

11.2.- DONNÉES ÉPIDÉMIOLOGIQUES

a) Les barodontalgies

Leur incidence varie selon les échantillons étudiés de 2,5 à 21,6 % avec un taux moyen de 11,3 % (Wingo 1980, Rottman 1981, Coggins 1985, Taylor et coll. 2003, Tujay et Sen 2005, Al-Hajri et Al-MAdi 2006, Jagger et coll. 2009, Zadik 2009, Zanotta et coll. 2014, Gunepin et coll. 2015).

b) Les barotraumatismes dentaires

La prévalence des fractures dentaires varie selon les études de 0,8 % à 6,6 % avec une prévalence moyenne de 5,3 % (Jagger et coll. 2009, Zanotta et coll. 2014, Gunepin et coll. 2015).

c) Diminution de la rétention des dispositifs prothétiques

Une étude portant sur un échantillon de 125 plongeurs australiens n'a mis en évidence aucun cas de perte de prothèse dentaire au cours d'une plongée (Taylor et coll. 2003). Chez les plongeurs sous-marins militaires français, seuls 0,8 % ont présenté au cours de leur carrière un descellement de prothèse dentaire au cours d'une plongée (Gunepin et coll. 2015).

11.3.- LES PATHOLOGIES ET FACTEURS FAVORISANT LA SURVENUE DE COMPLICATIONS BUCCO-DENTAIRES

La plupart des pathologies bucco-dentaires peuvent être à l'origine de barodontalgies ou de barotraumatismes dentaires (Zadik 2009 2010, Zadik et Drucker 2011, Gunepin et coll. 2013). À ces pathologies viennent s'ajouter des facteurs de risque non pathologiques liés à des thérapeutiques inadaptées à la pratique de la plongée et au travail en milieu hyperbare, voire défectueuses. Toutes ces pathologies et ces facteurs de risque doivent donc être dépistés lors d'un examen endo-buccal et par interrogatoire (Gunepin et coll. 2013, *Norwegian guidelines for medical examination of occupational divers* 2010).

a) Pathologies à dépister

- caries initiales (survenant sur des dents indemnes de restauration dentaire) et secondaires (caries se développant au niveau d'une restauration dentaire préexistante) ;
- pathologies pulpaires (inflammatoires et infectieuses) ;
- pathologies parodontales (inflammatoires et infectieuses) :

Pour la pratique de la plongée subaquatique :

- ADAM ;
- bruxisme.

b) Facteurs de risque à relever

- obturations défectueuses (fissures, fractures, perte d'étanchéité, mobilité) ;
- soins dentaires récents (soins conservateurs et endodontiques, chirurgie orale et parodontale) ;
- soins dentaires inadaptés à la pratique de la plongée sous-marine et au travail en milieu hyperbare (obturations temporaires, dispositifs prothétiques scellés avec un ciment temporaire, coiffages pulpaire directs et indirects, pulpotomies, restaurations profondes sans mise en place de fond de cavité) ;
- communication bucco-sinusienne en phase de cicatrisation.

Pour la pratique de la plongée subaquatique :

- présence d'une prothèse amovible ;
- implant dentaire en phase d'ostéointégration ;
- site de prélèvement d'un greffon ou ayant bénéficié d'une greffe en phase de cicatrisation ;
- sensibilité dentinaire.

c) Critères pour l'aptitude à la préhension de l'embout buccal (plongée subaquatique)

(Wendling et coll. 2004, *Norwegian guidelines for medical examination of occupational divers 2000*, Service de santé des armées 2010, Gunepin et coll. 2013)

Édentement

L'absence d'intégrité fonctionnelle des groupes incisivo-canin et prémolaire ne permet pas l'utilisation de l'embout buccal. Pour un certain nombre d'institutions, elle contre-indique de fait la pratique de la plongée subaquatique, sauf en cas d'utilisation d'équipements de tête comportant un masque oronasal. Les édentements doivent être compensés par des dispositifs prothétiques fixes dento ou implanto-portés. Pour l'EDTC, le critère retenu est la capacité à tenir l'embout buccal.

Présence d'une prothèse amovible

Le port d'une prothèse dentaire amovible est incompatible avec la pratique de la plongée subaquatique. Le plongeur doit retirer sa prothèse tout en conservant la capacité à maintenir son embout buccal. Des embouts buccaux sur mesure compensant l'absence de la prothèse peuvent être réalisés chez un chirurgien dentiste.

Présence d'un appareil orthodontique multi-attaches

L'utilisation des embouts buccaux standards est incompatible avec le port d'un traitement orthodontique multi-attaches. Pour plonger avec ce type d'appareil, le plongeur doit utiliser un embout buccal réalisé sur mesure chez un chirurgien dentiste.

11.4.- DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES BUCCO-DENTAIRES CRÉÉES PAR L'EXPOSITION AU RISQUE HYPERBARE

- détérioration d'organes dentaires ou d'obturations dentaires préexistantes (recherche de fissures, fractures, perte d'étanchéité, mobilité au niveau des obturations, voire d'une perte d'obturation) ;
- diminution de la rétention des dispositifs prothétiques (recherche d'une mobilité ou d'un descellement des prothèses fixées).

Pour la plongée subaquatique, recherche de l'apparition de douleurs au niveau des ATM (syndrome buccal de la plongée) et recherche d'ADAM.

11.5.- LES EXAMENS RECOMMANDÉS

Il faut distinguer :

- le suivi bucco-dentaire périodique chez un chirurgien dentiste selon les règles de bonnes pratiques (*National Institute for Health and Care Excellence 2004, Union française pour la santé bucco-dentaire 2013, Gunepin et coll. 2014*). La pratique d'activités hyperbares n'impacte pas la périodicité normale des visites de contrôle chez un chirurgien dentiste, qui est de 12 mois mais qui peut varier de 3 à 24 mois en fonction des facteurs de risque de survenue de pathologies bucco-dentaires (antécédents de pathologies, hygiène alimentaire et bucco-dentaire, etc.) de chaque personne.
- le suivi en santé au travail. Le médecin du travail devrait s'appuyer lors de l'examen initial et périodique quinquennal sur l'avis d'un chirurgien dentiste. L'examen périodique annuel sera réalisé par le médecin du travail.

a) Lors de l'examen initial et de l'examen périodique quinquennal

L'avis d'un chirurgien dentiste est recommandé, s'appuyant sur un examen clinique avec :

- un interrogatoire à la recherche de symptômes de pathologies bucco-dentaires, de bruxisme, d'ADAM, de sensibilité dentinaire ;
- une étude du dossier dentaire du patient (fiche patient, clichés radiographiques, etc.) avec recherche de l'historique des soins bucco-dentaires (date et type de soins réalisés) ;
- un examen endo-buccal incluant :
 - la recherche à l'aide d'une sonde et d'un miroir de caries dentaires, d'obturations défectueuses, d'obturations temporaires, de fistules, et de soins bucco-dentaires récents (site d'extraction, de chirurgie parodontale, de greffe, etc.) ;
 - la réalisation de tests de vitalité pulpaire au niveau des dents porteuses d'obturations volumineuses (recherche de nécrose pulpaire) ;
 - la réalisation de tests de percussion (percussion verticale : recherche de pathologies périapicales – percussion horizontale : recherche de fractures dentaires) ;
 - la réalisation de tests du mordru (recherche de fêlures dentaires) ;
 - la transillumination (recherche de caries et de fissures au niveau des tissus dentaires) ;
 - la palpation des tissus mous (recherche d'abcès dentaires).

Une radiographie panoramique dentaire pourra être réalisée, sur indication du chirurgien dentiste, complétée éventuellement par des clichés rétroalvéolaires, afin d'explorer les lésions

des tissus dentaires (caries initiales et secondaires) et parodontaux (foyers infectieux) et de mettre en évidence la présence de soins bucco-dentaires inadaptés à l'exposition hyperbare (pulpotomie, coiffages pulpaire directs, etc.).

b) Examens périodiques annuels

Les objectifs de l'examen clinique sont les mêmes, qu'il soit réalisé par un médecin ou un chirurgien dentiste. Cependant, les connaissances des médecins du travail en matière d'odontologie et leur plateau technique limité pour la réalisation de ce type d'examen restreignent leurs possibilités de dépistage de pathologies et de facteurs favorisant la survenue de complications bucco-dentaires. C'est pourquoi, en cas de doute, le médecin du travail pourra, s'il le souhaite, demander l'avis d'un chirurgien dentiste.

Afin de prévenir la réalisation d'examens bucco-dentaires uniquement au titre du suivi médical des travailleurs exposés au risque hyperbare et afin de faciliter la prise de décision des médecins du travail, les patients pourront être invités à faire coïncider leur visite dentaire périodique chez un chirurgien dentiste avec leur visite médicale, initiale ou périodique, réalisée par le médecin du travail.

c) Examens de reprise

En fonction des actes réalisés pour un traitement, une durée d'éviction des activités hyperbares est donnée à titre indicatif dans le tableau XIV.

Recommandation 15

En présence d'éléments d'orientation, l'avis d'un chirurgien dentiste est recommandé lors de l'examen initial et périodique quinquennal des salariés exposés au risque hyperbare. Il devra s'appuyer sur un examen endobuccal complet, éventuellement complété par des examens radiographiques.

(Avis d'experts)

Type d'acte	Durée (indicative) de la restriction d'exposition au risque hyperbare
Endodontie	Éviter l'exposition de la pose du diagnostic justifiant le traitement endodontique jusqu'à 24 heures après la disparition des symptômes après traitement définitif.
Soins conservateurs	24 à 72 heures après tout soin ayant nécessité une anesthésie locale (en fonction de la complexité du soin).
Chirurgie buccale simple (extraction)	Une à deux semaines en fonction de la chirurgie pratiquée et de la durée de l'intervention.
Chirurgie buccale complexe (greffes, interventions sur les sinus, etc.)	6 semaines à 2 mois après une greffe osseuse (en fonction du volume de la greffe). 6 semaines à 2 mois après une chirurgie du sinus (par exemple comblement de sinus). Idéalement jusqu'à la cicatrisation confirmée par un chirurgien-dentiste.
Communication bucco-sinusienne	2 semaines, idéalement jusqu'à la cicatrisation confirmée par un chirurgien-dentiste.
Prothèses fixées (couronnes, bridges)	Pas d'exposition pendant le traitement prothétique. Éviter l'exposition hyperbare avec une prothèse provisoire ou scellée provisoirement.
Implantologie	À déterminer par l'implantologiste, au minimum de 5 à 8 semaines de restriction.

Tableau XIV : Traitements bucco-dentaires et restrictions temporaires de travail en milieu hyperbare (Zadik et Drucker 2011, Gunepin et coll. 2013).

Références

Al-Hajri W, Al-Madi E. Prevalence of barodontalgia among pilots and divers in Saudi Arabia and Kuwait. *Saudi Dent J* 2006, 18 : 134–40.

Bruy J. Barotraumatismes et algies dentaires dysbariques. *Médecine et armées* 2005, 33, 4: 305-10.

Calder IM, Ramsey JD. Odontocrexsis – the effects of rapid decompression on restored teeth. *J Dent* 1983, 11: 318–23.

Coggins LJ. Barodontalgia in relation to SCUBA divers. *J Okla Dent Assoc* 1985, 75: 14–6.

Grant SM, Johnson F. Diver's mouth syndrome: a report of two cases and construction of custom-made regulator mouthpieces. *Dent Update* 1998, 25: 254–6.

Gulve MN, Gulve ND^(a). The effect of pressure changes during simulated diving on the pull out of glass fiber posts. *Dent Res J* 2013, 10, 6: 737-43.

Gulve MN, Gulve ND^(b). Provisional crown dislodgement during scuba diving: a case of barotrauma. *Case Rep Dent* 2013, 2013: 845125.

- Gunepin M, Derache F, Audoual T. Barodontalgies en milieu hypobare – implications en dentisterie aéronautique militaire. *Revue de médecine aéronautique et spatiale* 2010, 51, (190/10): 29-36.
- Gunepin M, Derache F, Fogel JP, Richard JM, Rivière D. Détermination de la périodicité des visites d'aptitude dentaire au sein des armées. *Médecine et armées*, 2014, 42, 3: 237-44.
- Gunepin M, Derache F, Zadik Y, Blatteau JE, Risso JJ, Hugon M. Problèmes odontologiques des plongeurs sous-marins militaires français : résultats de l'étude POP. *Médecine et armées* 2015, 43, 1: 111-8.
- Gunepin M, Derache F, Zadik Y, Risso JJ, Blatteau JE, Hugon M, Rivière D. Prise en charge buccodentaire des plongeurs sous-marins. Importance du concept de « dentisterie de la plongée ». *Encyclopédie médico-chirurgicale* 2013 [23-850-A-80]. <http://www.em-consulte.com/article/904533/prise-en-charge-buccodentaire-des-plongeurs-sous-m>.
- Gunepin M, Derache F, Zadik Y, Risso JJ, Blatteau JE, Hugon M, Rivière D. Le syndrome de l'embout buccal chez le plongeur militaire. Étiopathogénie et prévention. *Information dentaire* 2013; 95, 13: 28-31.
- Gunepin M, Derache F, Zadik Y, Risso JJ, Blatteau JE, Rivière D. Sport des profondeurs : fractures dentaires induites par des variations de pression. *Information dentaire* 2012, 94, 22: 41-5.
- Gunepin M, Zadik Y, Derache F, Dychter L. Non barotraumatic tooth fracture during diving. *Aviation space and environmental medicine* 2013, 84, 6: 630-2.
- Hobson RS. Temporomandibular dysfunction syndrome associated with scuba diving mouthpieces. *Br J Sports Med* 1991, 25: 49–51.
- Hobson RS, Newton JP. Dental evaluation of scuba diving mouthpieces using a subject assessment index and radiological analysis of jaw position. *Br J Sports Med* 2001, 35: 84–8.
- Holowatyj RE. Barodontalgia among flyers: a review of seven cases. *J Can Dent Assoc* 1996, 62: 578–84.
- Jagger RG, Jackson SJ, Jagger DC. In at the deep end – an insight into scuba diving and related dental problems for the GDP. *Br Dent J* 1997, 183: 380–2.
- Jagger RG, Shah CA, Weerapperuma ID, Jagger DC. The prevalence of orofacial pain and tooth fracture (odontocrexia) associated with SCUBA diving. *Prim Dent Care* 2009, 16: 75–8.
- Klechak TL. Dental barotraumas of diving. *Fla Dent J* 1987, 58: 10–1.
- Lyons KM, Rodda JC, Hood JA. The effect of environmental pressure changes during diving on the retentive strength of different luting agents for full cast crowns. *J Prosthet Dent*. 1997, 78: 522-7.
- Lyons KM, Rodda JC, Hood JA. Barodontalgia: a review, and the influence of simulated diving on microleakage and on the retention of full cast crowns. *Mil Med* 1999, 164: 221-7.
- Musajo F, Passi P, Girardello GB, Rusca F. The influence of environmental pressure on retentiveness of prosthetic crowns: An experimental study. *Quintessence Int*. 1992, 23: 367-9.
- National Institute for Health and Care Excellence: Guidance*. Dental recall: recall interval between routine dental examinations. National Collaborating Centre for Acute Care (UK), October 2004.
- Norwegian guidelines for medical examination of occupational divers*. Dental status. Statens helsetilsyn. IK-2708 E August 2000. p. 18. Accessible sur : <https://www.yumpu.com/en/document/view/5728005/norwegian-guidelines-for-medical-examination-of-occupational-divers>

- Peker I, Erten H, Kayaoglu G. Dental restoration dislodgment and fracture during scuba diving: A case of barotrauma. *J Am Dent Assoc* 2009, 140: 1118-21.
- Potzman II, Pick N. Primary herpes labialis acquired during scuba diving course. *J Travel Med* 1997, 4: 144-5.
- Rauch JW. Barodontalgia – dental pain related to ambient pressure change. *Gen Dent* 1985, 313-5.
- Robichaud R, McNally ME. Barodontalgia as a differential diagnosis: symptoms and findings. *J Can Dent Assoc* 2005, 71: 39-42.
- Rottman K. Barodontalgia: a dental consideration for the SCUBA divers. *Quintessence Int* 1981, 12: 99-103.
- Roydhouse N. 1001 disorders of the ear, nose and sinuses in scuba divers. *Can J Appl Sport Sci* 1985, 10: 99-103.
- Roydhouse N. The jaw and scuba diving. *J Otolaryngol Soc Aust* 1977, 4: 162-5.
- Scheper WA, Lobbezoo F, Eijkman MA. Oral problems in divers. *Ned Tijdsch Tandheelkd* 2005, 112: 168-72.
- Service de santé des armées – Instruction n° 900/DEF/DCSSA/AST/AME du 21 juillet 2014 relative à l'aptitude médicale à la plongée subaquatique et au travail en milieu hyperbare dans les armées.
- Shiller WR. Aerodontalgia under hyperbaric conditions. An analysis of forty five case histories. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965, 20: 694-7.
- Stein L. La plongée sous-marine et les implants dentaires. *Alert Diver – Divers Alert network (Europe)*. Quarter 2009. p. 31-5.
- Taylor DM, O'Toole KS, Ryan CM. Experienced scuba divers in Australia and the United States suffer considerable injury and morbidity. *Wilderness Environ Med* 2003, 14: 83-8.
- Tukay A, Sen D. Frequency of barodontalgia under hypobaric conditions. Presented at XXXVIth world congress on military medicine. Saint Petersburg, 5-11 June 2005.
- Union Française pour la Santé Bucco-Dentaire. Nouvelles recommandations. L'UFSBD réactualise ses stratégies de prévention. *Pratiques dentaires* Novembre 2013: 17-39.
- Wingo HH. Barodontalgia: etiology and treatment. *J Kentucky Med Assoc* 1980, 32: 13-5.
- von See C, Stoetzer M, Koch A, Ruecker M, Gellrich N. Influence of pre-implant bone augmentation on diving fitness: An in vitro study. *J Dent Implant* 2014, 4: 22-8.
- Wendling J, Elliott D, Nome T (eds). *Medical assessment of working divers*. Hyperbaric Editions, Biel-Bienne 2004. 216 p.
- Zadik Y, Drucker S. Diving dentistry: a review of the dental implications of scuba diving. *Aust Dent J* 2011; 56, 3: 265-71.
- Zadik Y. Barodontalgia. *J Endod* 2009, 35: 481-5.
- Zadik Y. Barodontalgia due to odontogenic inflammation in the jawbone. *Aviat Space Environ Med* 2006, 77: 864-6.
- Zadik Y. Dental barotrauma. *Int J Prosthodont* 2009, 22: 354-7.
- Zadik Y. Barodontalgia: what have we learned in the past decade? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010 Apr; 109(4): e65-9
- Zanotta C, Dagassan-Berndt D, Nussberger P, Waltimo T, Filippi A. Barodontalgias, dental and orofacial barotraumas: a survey in Swiss divers and caisson workers. *Swiss Dent J*, 2014, 124, 5: 510-9.

12.- GASTROENTÉROLOGIE ET HYPERBARIE

12.1.- ÉTUDE DES RISQUES DE L'HYPERBARIE POUR L'APPAREIL DIGESTIF

L'analyse des risques, de leurs conséquences et des mesures de prévention en termes d'aptitude est résumée dans le tableau XV.

12.2.- LA DÉMARCHE DÉCISIONNELLE

En fonction de ces éléments, une démarche d'évaluation de l'aptitude peut être proposée en présence d'une pathologie hépato-gastro-intestinale.

a) Première étape : rechercher, par l'interrogatoire et l'examen clinique, un retentissement de la maladie ou des traitements pouvant contre-indiquer immédiatement la pratique de l'activité.

- En cas de retentissement direct de l'affection, on sera amené à poser une contre-indication définitive, ou temporaire jusqu'à guérison ou stabilisation.
- En cas d'absence de retentissement direct de l'affection, le traitement peut avoir des conséquences à évaluer (toxicité cardio-vasculaire et/ou respiratoire, déficience immunitaire, retentissement sur l'hydratation, la glycémie, les fonctions rénales ...).

b) Seconde étape : rechercher la compatibilité de la maladie et de la mise en pression, ou fixer des limites aux conditions de cette pratique (éloignement du site de plongée, environnement confiné ...) :

- Risque barotraumatique lié à une obstruction (hernie, séquelle, chirurgie) ;
- Risque lié à la pression par elle-même : reflux gastro-œsophagien, achalasie ;
- Risques liés aux conditions de la pratique (éloignement, confinement, travail en saturation) à évaluer ou réévaluer régulièrement : antécédent d'ulcère gastro duodéal, de maladie inflammatoire chronique intestinale (MICI) ;
- Autres risques liés aux maladies ou aux conséquences d'une chirurgie (hépatopathies – pancréatopathies – dumping syndrome).

c) Les pathologies aigües nécessitent un arrêt temporaire, avec ou sans réévaluation de la contre-indication à la pratique de l'activité :

- Pathologies aigües infectieuses (bactériennes – virales – parasitaires) ou non infectieuses,
- Poussée aigüe d'une maladie ulcéreuse ou d'une MICI.

d) Les autres manifestations digestives (troubles dyspeptiques, troubles fonctionnels intestinaux, troubles du transit et douleurs abdominales) sont à évaluer à la recherche d'une organicité.

12.3.- LA DÉCISION D'APTITUDE

Pour chaque examen (examen initial préalable à la première affectation en milieu hyperbare ou examen périodique) le médecin du travail devra rechercher ou compléter les antécédents personnels et familiaux associés aux éléments cliniques. Aucun examen complémentaire n'est recommandé en première intention.

Phases	Pathologies	Facteurs de risque	Conséquences physiopathologiques	Risques	Mesure de prévention
Préparation du matériel	CHIRURGIE ABDOMINALE AVEC OUVERTURE PARIETALE	Manutention lourde	Rupture de la cicatrice	Éventration	Pas de port d'objet lourd ni d'effort nécessitant une contraction de la sangle abdominale de type isométrique pendant les 3 à 6 mois suivant l'intervention. Information du patient. Réévaluation médicale avant reprise du travail
Augmentation de la pression ambiante	REFLUX GASTRO OESOPHAGIEN SEVERE ACHALASIE	Augmentation de la pression transpariétale – Positionnement tête en bas	Reflux des aliments, des liquides, du liquide gastrique	Inhalation bronchique Toux Vomissements	Dépistage des sujets à risque : interrogatoire, examen clinique, dossier médical du patient, évaluation de l'importance du reflux et des mesures d'atténuation possible (position de travail tête en haut, hygiène de vie, maîtrise du poids...) évaluation des possibilités thérapeutiques et du rapport bénéfice risque d'un traitement ou d'une contre-indication à la pratique de l'activité. Information du patient. Décision médicale partagée. Réévaluation médicale à 3 mois en cas de traitement médical, à 6 mois en cas de traitement chirurgical (voir : OBSTRUCTION)
Diminution de la pression ambiante	OBSTRUCTION : Hernie hiatale par roulement – Hernies pariétales avec contenu intestinal – Pseudo obstruction intestinale séquellaire – Chirurgie anti reflux – Stomie continente.	Obstacle mécanique sur les voies digestives	Évacuation des gaz impossible	Surpression dans les organes creux (risque de perforation).	Dépistage des sujets à risque : interrogatoire, examen clinique, dossier médical du patient, évaluation des possibilités thérapeutiques et du rapport bénéfice risque d'un traitement ou d'une contre-indication temporaire ou définitive à la pratique de l'activité. Information du patient ; décision médicale partagée. Réévaluation à 3 ou 6 mois selon le type de chirurgie.
Émersion	GASTRO ENTERITE AIGÛE	Diarrhée Vomissements	Déshydratation	Favoriser un ADD	Réhydratation, antispasmodiques. Arrêt temporaire de l'activité
Selon les conditions de pratique : - Éloignement d'un centre spécialisé - Saturation	MALADIE ULCÉREUSE GASTRO DUODENALE	Poussée aigüe de la maladie, spontanée ou déclenchée par la prise d'AINS, le stress.	Ulcère aigu	Hémorragie digestive Perforation	Dépistage des sujets à risque : interrogatoire, examen clinique, dossier médical du patient. Information. contre-indication aux AINS. Recherche et traitement d'infection à <i>H. pylori</i> . Information du patient.
	MALADIES INFLAMMATOIRES INTESTINALES	Poussée aigüe de la maladie	Douleurs abdominales, déshydratation, déglobulisation	De la maladie elle-même ADD	Maladie stabilisée asymptomatique. Arrêt de l'activité et avis spécialisé en cas de poussée. Réévaluation de la situation avec le gastroentérologue avant une reprise d'activité professionnelle. Information du patient. Décision médicale partagée.

Phases	Pathologies	Facteurs de risque	Conséquences physiopathologiques	Risques	Mesure de prévention
Selon les conditions de pratique : - Éloignement d'un centre spécialisé - Saturation	DUMPING SYNDROME	Les repas	Palpitations, vertiges, sueurs, baisse de la pression artérielle en position debout	Malaise, non maîtrise d'une situation, panique...	Pas d'activité nécessitant une maîtrise d'une situation dans les trois heures qui suivent un repas. Reprise chirurgicale à évaluer. Aptitude au poste à évaluer.
	ILEOSTOMIES – COLOSTOMIES	Situation de confinement		Non acceptation sociale	Pas de situation de confinement, conditions de travail adaptées dans les lieux et la durée. Information du patient et de l'entourage.
		Décompression	Augmentation de volume des gaz	Éclatement ou décollement de la poche	Contention par bandage.
	HEPATOPATHIES CHRONIQUES	Virus Traitements		Risque lié à l'étiologie (contamination) – Risques liés aux traitements	Mesures générales de prévention : règles d'hygiène, vaccinations. Mesures spécifiques de prévention : évaluation de la réponse à l'exercice et des conséquences des traitements, constatées par le patient et possibles effets indésirables. Évaluation du rapport bénéfice / risque du contexte sur la pratique de l'activité (examen initial), ou de sa poursuite (examen périodique ou de réévaluation). Information du patient. Décision médicale partagée. Évaluation annuelle.
	CIRRHOSE	Gravité de la maladie (score de Child-Pugh) Traitements associés		Survenue de comorbidité, de complications	Diagnostic pouvant être évoqué lors de l'examen clinique, nécessitant des examens complémentaires et un avis du gastro-entérologue. - Pour les patients de classe A du score de Child-Pugh (cirrhose compensée) soumis à une surveillance régulière (cf. recommandations HAS) : évaluation tous les 6 mois de la réponse à l'exercice et des conséquences des traitements, constatées par le patient et possibles effets indésirables. Évaluation du rapport bénéfice / risque du contexte sur la pratique de l'activité (examen initial), ou de sa poursuite (examen périodique ou de réévaluation). Information du patient ; décision médicale partagée. - Patients classe B et C du score de Child-Pugh : contre-indication définitive.

Tableau XV : Risques de l'hyperbarie en gastro-entérologie et aptitude.

En cas d'élément pertinent, un avis spécialisé sera demandé à un hépato-gastro-entérologue avec une demande circonstanciée explicitant le contexte. Il appartiendra à ce spécialiste de juger de la nécessité de demander des examens adaptés à la situation.

Recommandation 16

Pour le système digestif, la recherche des éléments d'aptitude est d'abord clinique. Aucun examen complémentaire systématique n'est recommandé.

(Avis d'experts)

Références

- Bennet & Elliott's Physiology and medicine of diving 5th edition Ed Saunders 2003
- Bove AA, Davis J. Diving Medicine. 4th ed. Philadelphia, Saunders 2004.
- Broussolle B, JL. Méliet et M. Coulange (eds). Physiologie et médecine de la plongée (2^e éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006.
- Brubakk AO, Neuman TS (eds). Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving. 5th ed. London: Saunders 2003.
- Halpern P, Sorkine P, Leykin Y, Geller E. Rupture of the stomach in a diving accident with attempted resuscitation. A case report. Br J Anaesth. 1986, 58 (9): 1059-61.
- Haute Autorité de santé. Critères diagnostiques et bilan initial de la cirrhose non compliquée. Recommandation 2008. Disponible sur : http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_476486/fr/criteres-diagnostiques-et-bilan-initial-de-la-cirrhose-non-compliquee
- Hayden JD, Davies JB, Martin IG. Diaphragmatic rupture resulting from gastrointestinal barotrauma in a scuba diver. Br J Sports Med.1998, 32 (1): 75-6.
- Ohresser P, Bergmann E. Médecine Hyperbare. Masson, Paris, 1992.
- Tedeschi U, D'Addazio G, Scordamaglia R, Barra M, Viazzi P, Pardini V, Viotti G. [Stomach rupture due to barotrauma (a report of the 13th case since 1969)]. Minerva Chir 1999, 54 (7-8): 509-12.
- Wattel F, Mathieu D. Traité de Médecine hyperbare. Ellipses Éditions Marketing, Paris 2002. 711 p.

13.- APTITUDE À L'HYPERBARIE ET GYNÉCOLOGIE

13.1.- RAPPEL DES RISQUES DE L'HYPERBARIE SUR L'APPAREIL GYNÉCOLOGIQUE

Le risque majeur de l'hyperbarie sur l'appareil gynécologique est le risque lié à la grossesse. En effet, le placenta joue le rôle de poumon pour le fœtus. Les gaz inhalés par la mère sont redistribués au fœtus (oxygène et gaz inertes). Le dioxyde de carbone produit par le fœtus est rejeté dans la circulation maternelle.

Les données épidémiologiques sont rares.

En 1980, Bolton trouvait chez 136 femmes enceintes ayant plongé durant le premier trimestre, dont 99 à plus de 30 m, un risque significativement plus élevé de malformations fœtales que chez 72 femmes qui n'avaient pas plongé.

En 2006, St Leger Dowse et coll. ont compilé les données de 129 femmes ayant effectué 1465 plongées au cours de 157 grossesses jusqu'à 35 SA. L'une d'entre elles déclarait 92 plongées pendant une grossesse, dont deux à 65 m dans le premier trimestre. Cependant, la plupart (65 à 90 % selon les séries) avaient cessé la plongée au premier trimestre, si bien qu'il n'a pas été possible d'établir de corrélation entre le nombre de plongées et le nombre d'anomalies fœtales.

Les auteurs pensent que l'arrêt spontané ou la réduction des plongées par les femmes en début de grossesse explique cette absence de pathogénicité.

Différentes circonstances liées à l'hyperbarie peuvent générer des risques pour le fœtus, aux premiers rangs desquels on trouve l'hyperoxie et les phénomènes de décompression.

a) L'hyperoxie

Le développement du fœtus pourrait être affecté par l'hyperoxie (Broussolle 1979). Des études anciennes chez l'animal suggèrent qu'une exposition aux mélanges hyperoxiques pendant la grossesse peut entraîner un accouchement prématuré, une fibroplasie rétroplacentaire du nouveau-né (Fujikura 1964), ou une fermeture précoce du canal artériel aboutissant à une insuffisance cardiaque congestive, voire à un décès néonatal (Assali et coll. 1968). Plus récemment, diverses études ont établi chez l'animal d'expérience, que l'hyperoxie altère sensiblement le développement du tissu cérébral (Felderhoff-Mueser et coll. 2005 ; Kaindl et coll. 2006).

Dans l'espèce humaine, l'encéphale du fœtus semble protégé jusqu'à une certaine limite de l'hyperoxie par un ajustement vasomoteur de la circulation cérébrale (Almström et Sonesson 1996) : l'hyperoxie normobare augmente la PaO₂ du placenta et dans une partie de la circulation fœtale (foie, rein...), mais pas dans l'encéphale (Huen et coll. 2014). Dans une série de 90 patientes enceintes traitées par oxygénothérapie hyperbare par Mathieu et coll. (2002) pour des intoxications au monoxyde de carbone, le taux de prématurité, d'hypotrophie fœtale et de malformations n'était pas supérieur à la population de référence.

b) La décompression

Aucune des procédures de décompression utilisées ne prend en compte les échanges de gaz au niveau du placenta ni la dissolution des gaz inertes dans l'organisme du fœtus car il n'existe aucun modèle permettant de calculer de tels échanges.

On sait en revanche que des décompressions non adaptées, effectuées chez l'animal gravide entraînent des risques accrus de complications néonatales :

- faibles poids de naissance (Gilman et coll. 1983),
- malformations crâniennes, des membres, cardiaques (communication inter-ventriculaire, malposition des gros vaisseaux...), cécités (Miller et coll. 1971, Gilman et coll. 1982, 1983).

À l'inverse, il a été observé chez la brebis l'absence de bulles chez le fœtus alors qu'elles étaient détectées chez la mère (Nemiroff et coll. 1981).

D'autre part des modifications physiologiques chez la femme enceinte augmentent les risques liés à l'exposition hyperbare :

- l'épaississement des muqueuses des sinus augmente le risque de barotraumatisme (Breathnach et coll. 2004),
- les nausées du premier trimestre rendent peu confortable une sortie en mer,
- des problèmes de flottabilité à cause d'un équipement qui n'est plus adapté à la modification physique (combinaison, ceinture de plomb, ...),
- l'exposition au froid entraîne une vasoconstriction qui modifie les échanges gazeux tissulaires et augmente la fatigabilité,

Il faut également prendre en compte le risque de traumatisme direct dans les activités médicales (brancardage) ou de travaux publics (manutention, travaux de force), liées aux exigences du poste de travail.

La contraception, qu'elle soit orale ou par dispositif intra-utérin, n'est pas considérée comme une contre-indication à l'exposition hyperbare.

Au total, le risque hyperbare peut être considéré comme une exposition environnementale de toxicité 1A pour la reproduction (R1A), par analogie avec la classification des agents chimiques dangereux (CMR) fixée par le code du travail (art. R.4411-6) et en référence à l'annexe I du règlement (CE) 1272/2008 du 16 décembre 2008 : effets néfastes sur le développement (JOEU 31-12-2008). C'est la raison pour laquelle l'article D.4152-29 du code du travail interdit d'affecter ou de maintenir une femme enceinte à un poste de travail hyperbare.

c) Risques liés à certaines situations pathologiques

Prothèses mammaires

Le gel et la paroi des prothèses mammaires sont à la même pression que le milieu environnant. Le risque de rupture de la prothèse par un effet de la pression n'existe donc pas¹⁹.

Antécédents de curage ganglionnaire axillaire pour néoplasie du sein

La persistance d'une stase lymphatique (attestée par la pratique de manœuvres de drainage lymphatique) majore le risque d'accident de désaturation (cutané, osseux) au niveau du membre. Si l'exposition hyperbare ne peut être différée ou aménagée de manière à limiter la saturation en gaz inerte (intervention à faible pression et sans palier), le port d'un manchon ayant les effets d'un bas de contention est conseillé.

¹⁹ Il en est de même pour les prothèses testiculaires.

13.2.- DÉPISTAGE DE LA GROSSESSE

La question se pose dès lors du dépistage de l'état de grossesse lors des examens d'aptitude. Mais un tel dépistage ne vaut qu'au moment où il est pratiqué, ce qui lui ôte toute valeur préventive.

Par conséquent, il est recommandé que les femmes en âge de procréer qui sont exposées aux conditions hyperbares soient parfaitement informées des risques pour la grossesse, et qu'elles doivent déclarer leur état à leur employeur dès qu'il est connu, de manière à bénéficier des dispositions du code du travail.

13.3.- CONDUITE À TENIR EN CAS DE GROSSESSE

Les séries publiées dans la littérature font recommander les prescriptions suivantes :

- jusqu'à 6 SA, si les expositions hyperbares ont été réalisées à moins de 3 ATA d'air avec respect des procédures de décompression, le risque n'est pas avéré. Cependant, Morales et coll. (1999) conseillent d'éviter la plongée au cours du 1^{er} trimestre.

- expositions entre 6 et 13 SA : surveillance rapprochée de la grossesse après analyse des profils d'exposition et des procédures de décompression ;

- expositions au-delà de 13 SA : le risque morphogénétique est avéré. Une surveillance échographique rapprochée doit être réalisée avec échographie morphologique très précise à la 20^e semaine explorant en particulier les membres, le rachis, le cœur et les gros vaisseaux (Ugucioni et coll. 1999).

13.4.- LORS DE L'EXAMEN MÉDICAL DE REPRISE

L'allaitement ne constitue pas une contre-indication à l'exposition hyperbare, sous réserve de l'application des dispositions de l'art. L.1225-30 et suiv. du code du travail.

La reprise des activités hyperbares subaquatiques sera autorisée à l'issue du congé de maternité réglementaire.

Recommandation 17

L'exposition au risque hyperbare devrait être considérée comme un agent physique créant un risque de catégorie 1A pour la reproduction, en référence à l'annexe I du règlement (CE) 1272/2008 du 16 décembre 2008, et donc soumettre les employeurs aux dispositions des articles L.4152-2 et D.4152-29 du code du travail. (3C)

Toute femme en âge de procréer doit être informée des risques pour la grossesse et être invitée à déclarer son état à son employeur dès qu'elle en a connaissance, de manière à bénéficier des dispositions des articles L.1225-7 et L.1225-12 du code du travail.

En cas d'exposition hyperbare avant le diagnostic de grossesse, une surveillance échographique rapprochée doit être conduite, avec en particulier un examen morphologique précis à la 20^e semaine. (Avis d'experts)

Références

- Almström H, Sonesson SE. Doppler echocardiographic assessment of fetal blood flow redistribution during maternal hyperoxygenation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 1996, 8: 256-61.
- Assali NS, Kirschbaum TH, Dilts PV. Effects of hyperbaric oxygen on uteroplacental and fetal circulation. *Circulation Research* 1968, 22, 5: 573-88.
- Bolton ME. Scuba diving and fetal well-being: a survey of 208 women. *Undersea Biomed Res* 1980, 7, 3: 183-9.
- Breathnach F, Geoghegan T, Daly S, Turner MJ. Air travel in pregnancy: the air-born study. *Irish medical Journal* 2004, 97, 6 : 167-8.
- Broussolle B. La femme enceinte peut-elle pratiquer la plongée sportive ? *Med Aéro Spat Méd Sub Hyp* 1979, 69: 100.
- Felderhoff-Mueser U, Sifringer M, Polley O, Dzierko M, Leineweber B, *et al.* Caspase-1-processed interleukins in hyperoxia-induced cell death in the developing brain. *Ann Neurol* 2005, 57, 1: 50-9.
- Fujikura T. Retrolental fibroplasia and prematurity in newborn rabbits induced by maternal hyperoxia. *American Journal of Obstetrics and Gynecology* 1964, 90, 7: 854-8.
- Gilman SC, Greene KM, Bradley ME, Biersner RJ. Fetal development: effects of stimulated diving and hyperbaric oxygen treatment. *Undersea Biomed Res.* 1982; 9(4): 297-304.
- Gilman SC, Bradley ME, Greene KM, Fischer GJ. Fetal development: effect of decompression sickness and treatment. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 1983, 54, 11: 1040-2.
- Huen I, Morris DM, Sibley CP, Naish JH, Johnstone ED. Absence of PO₂ change in fetal brain despite PO₂ increase in placenta in response to maternal oxygen challenge. *BJOG* 2014, 121, 13 : 1588-94.
- Journal Officiel de l'Union Européenne. Toxicité pour la reproduction. Règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n° 1907/2006. JOEU 2008, L353 : 107-14. Consultable sur : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:FR:PDF>
- Kaindl AM, Sifringer M, Zabel C, Nebrich G, Wacker MA, *et al.* Acute and long-term proteome changes induced by oxidative stress in the developing brain. *Cell Death Differ.* 2006, 13, 7: 1097-109.
- Mathieu D, Wattel F, Mathieu-Nolf M. Intoxication par le monoxyde de carbone. *In* : Wattel F et Mathieu D (eds). *Traité de médecine hyperbare*. Ellipses Editions Marketing, Paris. 2002. p. 214-38.
- Miller PD, Telford IR, Hass GR. Effect of hyperbaric oxygen on cardiogenesis in the rat. *Biology of the Neonate* 1971;17(1):44-52.
- Morales M, Dumps P, Extermann P. Grossesse et plongée sous-marine : quelles précautions ? *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 1999, 28 : 118-23.
- Nemiroff MJ, Willson JR, Kirschbaum TH. Multiple hyperbaric exposures during pregnancy in sheep. *Am J Obstet Gynecol* 1981, 140: 651-5.

St Leger Dowse M, Gunby A, Moncad R, Fife C, Bryson P. Scuba diving and pregnancy: can we determine safe limits? J Obstet Gynaecol. 2006, 26, 6: 509-13.

Uguccioni DM, Moon R, Taylor MB. DAN explores fitness and diving issues for women. Alert Diver 1999. Disponible sur :

https://www.diversalernetnetwork.org/medical/articles/DAN_Explores_Fitness_and_Diving_Issues_for_Women [février 2018].

14.- APTITUDE À L'HYPERBARIE EN FONCTION DE L'ÂGE

Le code du travail dispose que les jeunes travailleurs (plus de quinze ans et moins de dix-huit ans) ne peuvent être exposés à un certain nombre de risques pour leur santé, leur sécurité, leur moralité ou excédant leurs forces (art L.4153-8) au nombre desquels figurent les travaux hyperbares (art. D.4153-23) autres que ceux de la classe 0. Il prévoit cependant la possibilité de dérogations, notamment pour les apprentis et les stagiaires, sous réserve d'un avis médical d'aptitude.

À l'opposé, aucune limite d'âge supérieure n'est fixée par la réglementation. Or, dans certaines professions relevant de la mention B, il n'est pas exceptionnel de rencontrer des scientifiques, des journalistes ou des intermittents du spectacle devant effectuer des plongées à titre professionnel au-delà de l'âge légal de la retraite. De même, en mention D, on peut imaginer qu'un cadre âgé doive pénétrer dans la chambre de coupe d'un tunnelier.

Le présent chapitre a pour objet de fournir au médecin chargé de délivrer l'aptitude médicale des éléments lui permettant de prendre sa décision.

14.1.- APTITUDE DES JEUNES TRAVAILLEURS

a) Les risques pour les jeunes travailleurs

Selon le sexe et les individus, le développement staturo-pondéral (croissance des os longs, masse musculaire) s'achève entre 17 et 22 ans. La stabilité émotionnelle est imparfaite, et peut s'accompagner d'une consommation de substances addictives. Les statistiques dont fait état l'Observatoire français des drogues et des toxicomanies (OFDT) indiquent que 47,8 % des jeunes de 17 ans déclareraient en 2014 avoir fumé du cannabis au cours de leur vie et plus d'un sur quatre en avoir consommé au cours du dernier mois. La consommation régulière concernerait presque 10 % de cette tranche d'âge²⁰.

Tous ces éléments sont des facteurs de risque surajoutés pour le jeune travailleur :

- les postes de travail en hyperbarie s'accompagnent de port de charges importantes, souvent de plus de 40 kg (matériel de plongée, outils et matériaux en travaux publics, etc.) ;
- les accidents de désaturation des extrémités osseuses pourraient théoriquement être à l'origine d'ischémies des cartilages de conjugaison, bien que cette éventualité ne soit pas documentée (Cilveti et coll. 2015) ;
- le défaut de stabilité émotionnelle accroît le risque d'attaque de panique (voir chapitre 6) ;
- la consommation de substances psycho-actives modifie le jugement et le comportement et compromet l'adaptation aux situations critiques.

La décision d'aptitude devra donc prendre en considération les spécificités du poste de travail proposé au jeune ainsi que son développement physiologique au moment de l'examen. La pratique antérieure d'un sport ou de la plongée sous-marine sera recherchée.

²⁰ <http://www.ofdt.fr/produits-et-addictions/de-z/cannabis/>

b) Restrictions d'exposition au risque hyperbare pour les jeunes travailleurs

Les risques évoqués ci-dessus conduisent logiquement à proposer des restrictions aux expositions hyperbares. Il s'agit d'éviter les séjours en pression qui entraînent une saturation significative des tissus longs²¹ et présentent par conséquent un risque d'accident de désaturation des extrémités osseuses.

Cette précaution exclut donc de l'aptitude les postes de travail en classe III.

Il existe par ailleurs plusieurs possibilités de limitations :

- limitation des expositions en classe I,
- ne pas autoriser les durées de séjour en pression nécessitant des paliers de décompression (en référence aux tables de décompression annexées à l'arrêté du 30 octobre 2012),
- en l'absence dans la littérature de données sur la tolérance neurologique à l'oxygène des sujets jeunes (moins de 18 ans), n'autoriser que des décompressions sous oxygène pur sans dépasser 1,6 bar de PiO_2 .

La recherche de substances psycho-actives dans les urines devrait être systématique et être l'occasion de sensibiliser le jeune aux risques généraux et particuliers pour l'activité à laquelle il postule. Cet entretien sera également l'occasion d'apprécier le degré de maturité psychologique du jeune. Il pourra lui être proposé de se soumettre à un test de recherche du niveau d'anxiété (voir chapitre 6). L'avis d'un spécialiste pourra également être recherché.

Les autres risques, comme ceux liés à la manutention lourde, seront évalués selon les pratiques habituelles en médecine du travail.

Recommandation 18

L'exposition à l'hyperbarie en classe III n'est pas recommandée pour les jeunes travailleurs tels que définis par l'art. L.4153-8 du code du travail.

Pour délivrer l'aptitude à un poste de travail hyperbare, dans le cadre des dérogations prévues par le code du travail, le médecin devra prendre en compte :

- les spécificités du poste de travail,
- le développement staturo-pondéral du jeune,
- son équilibre psychologique. La recherche d'une consommation de substances psycho-actives est recommandée.

Les restrictions d'exposition suivantes sont recommandées :

- limitation à la classe I,
- pas de décompression avec paliers, ou paliers effectués avec respiration d'oxygène pur à PiO_2 maximale de 1,6 bar.

Au moindre doute, l'avis d'un spécialiste devra être recherché.

(Avis d'experts)

²¹ Voir p. 15 et suiv.

14.2.- APTITUDE DES TRAVAILLEURS ÂGÉS

a) Conséquences physiologiques du vieillissement

Le vieillissement touche l'ensemble des capacités fonctionnelles et physiologiques. Ses effets commencent progressivement à partir de 35 – 40 ans, mais demeurent généralement minimes jusqu'à 60 ans (Kreutz et coll. 2004). Les modifications tissulaires (histologiques) très lentement progressives retentissent peu à peu sur les fonctions principalement circulatoire (cœur et vaisseaux) et respiratoire, ainsi que sur la fonction musculaire, les fonctions sensorielles et perceptives, dont l'équilibration. Ces modifications fonctionnelles impactent l'adaptation à l'activité physique et les performances fonctionnelles ainsi que la tolérance des appareils vis-à-vis des contraintes de l'exercice. La capacité à faire face sans dommage aux contraintes d'ambiance spécifiques (dues à la pression hydrostatique ou aux charges thermiques) est donc progressivement restreinte avec l'avancée en âge.

- Le travail ventilatoire augmente avec l'âge (Johnson et coll. 1999, Jensen et coll. 2009), ce qui augmente en retour le travail cardiaque (Peters et coll. 1992, Castagna et coll. 2018).
- Le travail cardiaque augmente également, en raison des changements de compliance artérielle et myocardique (Arbab-Zadeh et coll. 2004).
- La pression artérielle pulmonaire augmente davantage lors de l'exercice (Ehram et coll. 1983). L'âge émousse les régulations circulatoires baroréflexes et tissulaires (systémique, coronaire, cérébrale) (Fisher et coll. 2009, 2013, Ogoh et coll. 2011).
- Le froid diminue le débit sanguin cérébral et augmente la consommation d'oxygène myocardique (Wilson et coll. 2010), alors que débit coronaire s'adapte moins bien avec l'avancée en âge (Gao et coll. 2012). La stimulation neurovégétative due au froid augmente le risque de troubles de conduction et d'arythmies cardiaques (Shattock et coll. 2012). La prévalence des troubles du rythme augmente avec l'âge : dans une étude (Haim et coll. 2015) elle double à partir de 55 ans et double encore après 65 ans.
- En décompression, la production de bulles est accrue (Carturan et coll. 2002, Cameron et coll. 2007).

Cependant, chez les sujets qui ont une activité physique régulière, les performances fonctionnelles sont plus longtemps conservées avec l'avancée en âge (Punakallio et coll. 2012, Maufrais et coll. 2014), mais des défaillances fonctionnelles peuvent survenir particulièrement en plongée chez des sujets aux fonctions normales, en raison des contraintes qui découplent les sollicitations fonctionnelles du seul besoin énergétique. Ces contraintes exposent en particulier au risque de survenue d'œdème pulmonaire d'immersion et de décompensation cardiovasculaire accompagnante (Bates et coll. 2011, Gempp et coll. 2013, Castagna et coll. 2018).

C'est pourquoi les limites d'adaptabilité respiratoire et cardiovasculaire doivent être recherchées grâce aux épreuves d'effort qui apprécient les « plafonds » et « réserves » de ces fonctions particulièrement sollicitées (Palange et coll. 2007, Stickland et coll. 2012, Aguilaniu et coll. 2013).

b) Les éléments à prendre en compte pour la décision d'aptitude

Les contraintes du poste de travail

- Les conditions des interventions, en particulier le milieu, au sec ou en immersion, avec ses conséquences ventilatoires, hémodynamiques et thermiques différentes ;
- la nécessité d'efforts physiques :

- manutention et port de matériel ou d'équipements lourds,
 - franchissement de dénivelés importants (jusqu'à 9 m dans une chambre d'abattage de tunnelier),
 - éventualité de porter secours à un coéquipier blessé ou en danger, ou présence d'accompagnateurs pouvant s'en charger ;
- l'environnement sonore ou toxique (poussières, etc.), pour les risques non spécifiques.

Les éléments médicaux

L'interrogatoire doit rechercher :

- les antécédents professionnels, pathologiques et traumatologiques ; l'habitus (consommation de tabac, d'alcool) ;
- la pratique d'activités physiques professionnelles ou de loisir (l'utilisation de questionnaires dédiés est conseillée²²), l'existence de symptômes et leurs circonstances de survenue ;
- les traitements en cours.

L'examen clinique sera complété par le bilan paraclinique et biologique standard. Toutefois, les symptômes éventuels (respiratoires, cardiaques, musculaires) ou l'existence d'un traitement en cours doivent orienter la recherche d'avis spécialisés (cardiologie, pneumologie...) pour préciser les aptitudes fonctionnelles en condition d'effort : ce n'est qu'en cas d'altération fonctionnelle déjà sévère que des indicateurs obtenus au repos objectivent les inaptitudes à faire face aux contraintes rencontrées dans les activités du poste. Une épreuve d'effort respiratoire et cardiaque est recommandée pour apprécier les ressources fonctionnelles du travailleur. Ses résultats doivent, le cas échéant, orienter vers d'éventuelles limitations d'exposition à certaines contraintes. En raison des interactions fonctionnelles, l'interprétation doit être interdisciplinaire.

²² Annexes IIa et IIb, p. 195 et 197.

Recommandation 19

Le bilan d'aptitude d'un travailleur hyperbare au-delà de 60 ans est le même que pour les sujets plus jeunes. Toutefois, les risques d'accidents de désaturation neurologiques et ostéo-articulaires, d'œdème pulmonaire d'immersion et de perte de connaissance sont plus élevés.

Au delà de 50 ans, et au delà des circonstances déjà envisagées (recommandations 6 et 8), toute perception subjective d'une gêne fonctionnelle (sensation de pénibilité) ou de son augmentation au cours des activités professionnelles ou de loisir doit faire approfondir les interrogatoires et déclencher auprès des spécialistes des investigations cardiaques et respiratoires au repos et à l'exercice. Une épreuve d'effort respiratoire et cardiologique apparaît comme un préalable indispensable pour juger des ressources fonctionnelles en regard des exigences du poste de travail.

Il en est de même lors d'un examen de reprise.

L'ensemble des résultats doit permettre d'écarter un risque de défaillance fonctionnelle compte tenu des contraintes rencontrées dans le poste de travail.

Des restrictions d'exposition pourront être prononcées, en termes d'activité physique, de durée ou de pression de séjour. Les expositions successives (au sens des procédures d'intervention annexées à l'arrêté du 30 octobre 2012) sont déconseillées.

(Avis d'experts)

Références

- Aguilaniu B, Wallaert B. De l'interprétation de l'EFX à la décision médicale Rev Mal Respir 2013, 30: 498-515.
- Arbab-Zadeh A, Dijk E, Prasad A, Fu Q, Torres P, Zhang R, Thomas JD, Palmer D, Levine BD. Effect of aging and physical activity on left ventricular compliance. Circulation. 2004, 110: 1799-805.
- Bates ML, Farrell ET, Eldridge MW. The curious question of exercise-induced pulmonary edema. Pulm Med 2011; 2011: 361931.
- Cameron BA, Olstad CS, Clark JM, Gelfand R, Ochroch EA, Eckenhoff RG. Risk factors for venous gas emboli after decompression from prolonged hyperbaric exposures. Aviat Space Environ Med. 2007; 78,5: 493-9.
- Carturan D, Boussuges A, Vanuxem P, Bar-Hen A, Burnet H, Gardette B. Ascent rate, age, maximal oxygen uptake, adiposity, and circulating venous bubbles after diving. J Appl Physiol (1985). 2002; 93, 4: 1349-56.
- Castagna O, Regnard J, Gempp E, Louge P, Brocq FX, Schmid B, Desruelle AV, Crunel V, Maurin A, Chopard R, MacIver DH. The key roles of negative pressure breathing and exercise in the development of interstitial pulmonary edema in professional male scuba divers. Sports Medicine-open. 2018, 4,1. DOI 10.1186/s40798-017-0116.
- Ehram RE, Perruchoud A, Oberholzer M, Burkart F, Herzog H. Influence of age on pulmonary haemodynamics at rest and during supine exercise. Clin Sci (Lond). 1983, 65, 6: 653-60.
- Fisher JP, Kim A, Young CN, Ogoh S, Raven PB, Secher NH, Fadel PJ. Influence of ageing on carotid baroreflex peak response latency in humans. J Physiol. 2009; 587(Pt 22): 5427-39.

- Fisher JP, Hartwich D, Seifert T, Olesen ND, McNulty CL, Nielsen HB, van Lieshout JJ, Secher NH. Cerebral perfusion, oxygenation and metabolism during exercise in young and elderly individuals. *J Physiol (London)*. 2013; 591, 7: 1859-70.
- Gao Z, Wilson TE, Drew RC, Ettinger J, Monahan KD. Altered coronary vascular control during cold stress in healthy older adults. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 302: H312–H318, 2012.
- Haim M, Hoshen M, Reges O, Rabi Y, Balicer B, Leibowitz M. Prospective national study of the prevalence, incidence, management and outcome of a large contemporary cohort of patients with incident non-valvular atrial fibrillation. *J Am Heart Assoc*. 2015; 4: e001486.
- Jensen D, Ofir D, O'Donnell DE. Effects of pregnancy, obesity and aging on the intensity of perceived breathlessness during exercise in healthy humans. *Respir Physiol Neurobiol*. 2009; 167, 1: 87-100.
- Johnson BD, Weisman IM, Zeballos RJ, Beck KC. Emerging concepts in the evaluation of ventilatory limitation during exercise: the exercise tidal flow-volume loop. *Chest*. 1999; 116, 2: 488-503.
- Johnson BD, Reddan WG, Seow KC, Dempsey JA. Mechanical constraints on exercise hyperpnea in a fit aging population. *Am Rev Respir Dis*. 1991; 143(5 Pt 1): 968-77.
- Kreutz G, Vallet P, Dornier G. Vieillesse, santé et travail. ED 5022. Travail et Sécurité, 2004, 636. Réédition 2012 sur <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%205022>
- Maufrais C, Schuster I, Doucende G, Vitiello D, Rupp T, PhD, Dauzat M, Obert P, Nottin S. Endurance training minimizes age-related changes of left ventricular twist-untwist mechanics. *J Am Soc Echocardiogr*. 2014; 27: 1208-15.
- Ogoh S, Fisher JP, Young CN, Fadel PJ. Impact of age on critical closing pressure of the cerebral circulation during dynamic exercise in humans. *Exp Physiol*. 2009; 96, 4: 417-25.
- Palange P, Ward SA, Carlsen KH, Casaburi R, Gallagher CG, Gosselink R, O'Donnell DE, Puente-Maestu L, Schols AM, Singh S, Whipp BJ. ERS Task Force. Recommendations on the use of exercise testing in clinical practice. *Eur Respir J* 2007, 29: 185-209.
- Peters J, Ihle. Coronary and systemic vascular response to inspiratory resistive breathing. *J Appl Physiol (1985)*. 1992; 72, 3: 905-13.
- Punakallio A, Lindholm H, Luukkonen R, Lusa S. Lifestyle factors predicting changes in aerobic capacity of aging firefighters at 3- and 13-year follow-ups. *J Occup Environ Med*. 2012; 54, 9: 1133-41.
- Shattock MJ, Tipton MJ. 'Autonomic conflict': a different way to die during cold water immersion? *J Physiol*. 2012, 590, 14: 3219–30.
- Stickland MK, Butcher SJ, Marciniuk DD, Bhutani M. Assessing exercise limitation using cardiopulmonary exercise testing. *Pulm Med*. 2012;2012: 824091.
- Wilson TE, Gao Z, Hess KL, Monahan KD. Effect of aging on cardiac function during cold stress in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 298 : R1627–R1633, 2010.

15.- TABLEAUX RÉCAPITULATIFS DES EXAMENS CLINIQUES ET PARACLINIQUES RECOMMANDÉS POUR LA DÉTERMINATION DE L'APTITUDE À L'EXPOSITION AU RISQUE HYPERBARE

Les tableaux ci-dessous récapitulent les examens cliniques et paracliniques recommandés lors des examens médicaux initiaux et périodiques, à titre systématiques ou optionnels. Dans tous les cas, en cas de doute, le recours à l'avis sapiteur d'un spécialiste peut être requis.

	Examens systématiques			Examens sur indications
	Examen initial	Examen annuel	Examen quinquennal	
Autoquestionnaire	X	X	X	
Examen clinique approfondi	X	X	X	
IMC	X	X	X	
Pneumologie Enregistrement des courbes débit-volume	X	après 40 ans	X	TDM thoracique EFR complète (volumes non mobilisables, TLCO, réactivité bronchique ²³ , épreuve d'effort)
ORL Otoscopie avec manœuvre de Valsalva	X	X	X	Explorations vestibulaires complémentaires
Audiométrie tonale	X	si exposition au bruit	X	
Cardiologie Examen clinique approfondi avec mesure de la PA au repos	X	X	X	MAPA Épreuve d'effort chez les sujets à risques (voir p. 97) Échographie
ECG de repos	X	après 40 ans	X	
Évaluation de l'adaptabilité à l'effort	X interrogatoire / questionnaire	X interrogatoire / questionnaire	X interrogatoire / questionnaire	Épreuve d'effort maximale avec recherche éventuelle des seuils ventilatoire et métabolique
Appareil locomoteur Examen clinique approfondi	X	X	X	IRM des articulations
Ophthalmologie Acuité visuelle avec et sans correction	X	X	X	Champ visuel Examen des milieux transparents

²³ Épreuve de provocation à la métacholine ou test de réversibilité aux aérosols de béta-2-mimétiques.

Neurologie et psychiatrie Interrogatoire adapté (recherche d'antécédents) Examen clinique approfondi	X	X	X	Test d'anxiété EEG IRM cérébrale et bilan neuro-psychologique après 40 ans
Affections hématologiques Examen clinique Recherche d'antécédents NFS	X X X	X X	X X X	Recherche d'une thrombophilie
Dermatologie Interrogatoire Examen clinique	X X	X X	X X	
Stomatologie Interrogatoire adapté Recherche d'antécédents Examen endobuccal complet	X X X	X X X	X X X	Radiographie panoramique dentaire
Gastro-entérologie Interrogatoire adapté Recherche d'antécédents	X X	X X	X X	
Gynécologie – obstétrique Interrogatoire adapté	X	X	X	Test de grossesse Échographie si grossesse débutée
Examens biologiques complémentaires Glycémie à jeun Bilan lipidique Créatininémie Évaluation du DFG (CKD-EPI) Recherche d'une protéinurie	X X X X X	X	X X X X X	Bilan hépatique Recherche de psychotropes dans les urines ou le sang

Tableau XVI : Examens recommandés pour la détermination de l'aptitude initiale ou périodique à l'exposition hyperbare.

En résumé, après l'âge de 40 ans :

- le bilan systématique annuel est complété par un enregistrement des courbes débit-volume et un ECG de repos,
- une épreuve d'effort cardiologique est indiquée chez les sujets à risques,
- des examens complémentaires peuvent être prescrits sur indication pour la recherche des effets au long cours des expositions hyperbares (tableau XVII).

Organes cibles	Examens	Anomalies recherchées	Commentaires
Poumons	Spirométrie TLCO (sur indication)	Diminution des débits maximaux, du coeff. de Tiffeneau, du DEMM 25-50 %, diminution de la TLCO.	Diminution des VEMS et CVF après l'âge de 40 ans.
Cerveau	IRM (sur indication)	Hypersignaux de la substance blanche, à prédominance fronto-pariétale.	Nombre d'hypersignaux corrélé avec la présence d'un shunt droite-gauche important. Compléter par un bilan neuro-psychologique.
Appareil ostéo-articulaire	IRM (sur indication)	Recherche d'ostéonécrose, hyposignal T1 de la moelle osseuse.	Atteinte préférentielle des épaules, hanches et genoux (MP n° 29 RG).
ORL	Audiométrie tonale	Surdité de perception.	Non directement liée à l'hyperbarie mais aux nuisances sonores associées.
Œil	FO Champ visuel, Vision des couleurs	Rétinopathie dysbarique.	Altération de la vision des couleurs, du champ visuel central, lésions dégénératives de la rétine périphérique.

Tableau XVII : Examens recommandés pour la recherche des effets au long cours de l'exposition à l'hyperbarie (après 40 ans, sur indication).

Référence

Cilveti R, Osona B, Peña JA, Moreno L, Asensio O. Scuba diving in children: physiology, risks and recommendations. *An Pediatr (Barc)*. 2015; 83, 6: 410-6.
<http://www.analesdepediatria.org/es/linkresolver/buceo-edad-pediatria-fisiologia-riesgos/S1695-4033%2815%2900115-0/>

16.- IMPACT ÉCONOMIQUE DES RECOMMANDATIONS

Le coût des examens médicaux proposés à titre systématique, et donc à la charge de l'employeur (s'il dispose d'un service de santé au travail autonome) ou du service de santé au travail interentreprises²⁴, est donné à partir des tarifs (au 30 septembre 2015) des nomenclatures des actes professionnels, des actes médicaux et des actes biologiques de l'Assurance Maladie.

La découverte d'une pathologie nécessitant une exploration complémentaire par un spécialiste relève normalement de la prise en charge par l'Assurance Maladie. Les coûts des examens cités dans les différents chapitres du présent document sont donc simplement donnés à titre indicatif.

Le coût des examens initiaux et périodiques varie considérablement selon que les actes sont pratiqués au cabinet du médecin du travail, dans les hôpitaux publics ou chez un spécialiste libéral. S'agissant d'actes hors du parcours coordonné de soins et hors convention, ils sont libres de fixer leurs honoraires. Le coût de l'examen médical par le médecin du travail est le coût moyen pratiqué en 2014 dans les SST de la région PACA. Dans certains SST, il est supérieur à 130 €.

16.1.- Examen médical initial

ACTES	Au SST	En externe (tarif S.S.)
Examen médical au SST (coût moyen)	103,00 €	103,00 €
Pneumologie :		
- consultation		28,00 €
- EFR par pléthysmographie		76,80 €
ORL		
- consultation		28,00 €
- audiométrie tonale et vocale + tympanométrie		53,13 €
Cardiologie		
- consultation		45,73 €
- ECG de repos 12 dérivations		14,26 €
Ophtalmologie		
- consultation		28,00 €
Chirurgien dentiste		23,00 €
Prélèvement sanguin veineux :		3,78 €
- Numération formule sanguine	5,00 €	5,00 €
- glycémie	1,35 €	1,35 €
- cholestérol total	1,35 €	1,35 €
- LDL-cholestérol	5,40 €	5,40 €
- triglycérides	1,89 €	1,89 €
- créatinine	1,89 €	1,89 €
- Gamma GT	1,89 €	1,89 €
Urines : bandelette réactive	0,50 €	
- test urinaire de dépistage de substances psycho-actives (non systématique).	26,00 €	26,00 €
TOTAL :	148,27 €	448,47 €

Tableau XVIII : Coût de l'examen médical initial au SST et hors SST (2016)

²⁴ Art. R.4624-36 C.T.

Si tous les examens sont effectués en externe, le coût de l'examen médical au SST demeure, de même que le coût du test de dépistage des substances psychoactives (s'il est effectué). Si le SST est équipé du matériel nécessaire (mesure de l'acuité visuelle, spiromètre, électrocardiographe), il ne restera à sa charge que les analyses sanguines (22,55 €) et le test de dépistage (26 €).

16.2.- EXAMEN PÉRIODIQUE ANNUEL

ACTES	Au SST	En externe
Examen médical au SST	103,00 €	103,00 €
ORL : - consultation		28,00 €
- audiométrie tonale simple		26,18 €
Urines (bandelette réactive)	0,50 €	
- test urinaire de dépistage de substances psycho-actives.	26,00 €	26,00 €
TOTAL :	129,50 €	183,18 €

Tableau XIX : Coût de l'examen périodique annuel (2016)

16.3.- EXAMEN PÉRIODIQUE QUINQUENNAL

Là encore, le coût varie selon que certains examens paracliniques sont effectués au SST ou chez un spécialiste. Le surcoût de l'examen après l'âge de 40 ans est lié à l'épreuve d'effort cardiologique. Bien qu'elle ne soit indiquée que chez les sujets à risque cardiovasculaire, elle est prise en compte en raison de la grande fréquence dans la population des différents facteurs de risques.

ACTES	< 40 ans		> 40 ans	
	SST	Externe	SST	Externe
Examen médical au SST	103,00 €	103,00 €	103,00 €	103,00 €
Pneumologie : - consultation		28,00 €		28,00 €
- EFR par pléthysmographie		76,80 €		76,80 €
ORL : - consultation		28,00 €		28,00 €
- audiométrie tonale simple		26,18 €		26,18 €
Cardiologie : - consultation		45,73 €		45,73 €
- ECG de repos 12 dérivations		14,28 €		
- épreuve d'effort cardiologique (ECG, VO2)				106,55 €
IRM cérébrale				192 € + 69,00 €
Prélèvement veineux	3,78 €	3,78 €	3,78 €	3,78 €
- NFS	5,00 €	5,00 €	5,00 €	5,00 €
- glycémie	1,35 €	1,35 €	1,35 €	1,35 €
- cholestérol total	1,35 €	1,35 €	1,35 €	1,35 €
- LDL-Cholestérol	5,40 €	5,40 €	5,40 €	5,40 €
- triglycérides	1,89 €	1,89 €	1,89 €	1,89 €
- créatinine	1,89 €	1,89 €	1,89 €	1,89 €
- Gamma GT	1,89 €	1,89 €	1,89 €	1,89 €
- analyse d'urines (bandelettes réactives)	0,50 €	0,50 €	0,50 €	0,50 €
- test urinaire de dépistage de substances psycho-actives.	5,40 €	26,00 €	26,00 €	26,00 €
TOTAL :	131,45 €	371,04 €	152,05 €	724,31 €

Tableau XX : Coût de l'examen quinquennal en fonction de l'âge du salarié (2016)

16.4.- TARIF DES EXAMENS COMPLÉMENTAIRES OPTIONNELS

Le tarif des examens complémentaires cités dans les chapitres consacrés aux différentes spécialités est donné à titre d'information dans le tableau ci-dessous.

ACTES	Tarification CCAM (sept. 2015)	
Consultation d'un spécialiste :		
- ORL		28,00 €
- cardiologue		45,73 €
- pneumologue		28,00 €
- neuro – psychiatre		43,70 €
- ophtalmologiste		28,00 €
- chirurgien dentiste		23,00 €
Épreuve d'effort pneumologique avec mesure des gaz du sang + surveillance ECG		121,60 €
Épreuve d'effort simplifiée (gazométrie seule)		73,72 €
Test de réactivité bronchique (provocation / réversibilité)		42,24 €
TLCO		37,24 €
Épreuves vestibulaires + ENG ou VNG + oculographie		84,48 €
Doppler transcrânien		104,54 €
Echographie transthoracique		96,00 €
Électroencéphalogramme		57,60 €
Radiographie panoramique dentaire		21,28 €
TDM* thoracique avec ou sans produit de contraste		25,27 €
Radiographie du thorax		21,28 €
Radiographie des 2 épaules		33,69 €
Radiographie des 2 genoux		33,69 €
Radiographie des 2 hanches		29,73 €
IRM des grosses articulations (par articulation) :	Forfait technique	Honoraires
- épaules		
- hanches	192 €	60 €
- genoux		
IRM cérébrale	192 €	69 €
Dosage des transaminases		2,97 €
Dosage de l'homocystéine (non remboursé S.S.)		32,00 €

* Appelée également « scanner »

Tableau XXI : Tarifs des examens complémentaires optionnels (2016)

Ces examens devraient être pris en charge par l'Assurance Maladie s'ils sont prescrits dans le cadre de l'exploration d'un élément pathologique, ou par la caisse AT-MP dans le cadre du diagnostic d'une maladie professionnelle ou du bilan d'un accident du travail.

III.- RECOMMANDATIONS EN FONCTION DES POSTES ET DES CONDITIONS DE TRAVAIL

Les activités professionnelles se déroulant en conditions hyperbares sont réparties en différentes catégories (art. R4461-28 du code du travail, décret 2011-45 du 11 janvier 2011) :

1.- CLASSIFICATIONS DES POSTES DE TRAVAIL

1.1- Selon le milieu d'intervention :

- aquatique : mention A ou B,
- atmosphérique : mention C ou D.

1.2.- Selon l'activité professionnelle :

- les travaux subaquatiques (ex. : chantiers, construction, montage, entretien, démontage ou démolition de structures ou installations) : mention A uniquement, par des salariés appartenant à des entreprises certifiées (ou des travailleurs temporaires en contrat de mission) ;

- les autres activités professionnelles relevant de la mention B. Sont cités :

- les activités physiques ou sportives. Il s'agit essentiellement des moniteurs et instructeurs des organismes proposant des formations ou des activités de loisir encadrées. Ils sont autorisés à pratiquer la plongée en apnée.
- l'archéologie subaquatique, dans laquelle des membres d'organismes (d'état ou du secteur privé) sont appelés à intervenir sur des chantiers de fouilles ou de relevés archéologiques ;
- les activités des professions des arts, spectacles et médias (techniciens, comédiens, journalistes) ;
- les aquaculteurs, ostréiculteurs, personnels des fermes aquacoles, pêcheurs de corail, d'oursins, de coquillages autorisés par l'administration des Affaires Maritimes ;
- le personnel de la défense, de la sécurité civile et des forces de l'ordre devant intervenir en plongée subaquatique ;
- enfin, le personnel scientifique ou technique (biologistes, scientifiques, experts, contrôleurs, techniciens divers) de toute origine. Les activités subaquatiques qui ne sont pas listées par ailleurs relèvent de cette catégorie.

Nota : les titulaires de la mention B pour les activités autres que physiques ou sportives peuvent être autorisés à pratiquer la plongée en apnée jusqu'à une profondeur de 10 mètres, selon des conditions définies par un arrêté conjoint du ministre compétent et du ministre du travail.

- Les activités médicales et paramédicales relèvent de la mention C. Il s'agit des infirmiers, techniciens, médecins, qui effectuent des séjours en caisson hyperbare, le plus souvent dans des structures hospitalières, mais parfois également sur chantier, pour prodiguer

des soins ou accompagner des malades ou des accidentés lors de séances de thérapeutique hyperbare, ou effectuer des actes d'exploration fonctionnelle.

- Les travaux (génie civil, construction, montage, démontage, entretien de structures, etc.) en atmosphère comprimée sont classés dans la mention D. Cette mention concerne essentiellement le personnel des entreprises (certifiées) de creusement de tunnels qui sont appelés à intervenir sous pression pour l'entretien ou le dépannage du matériel de forage, lorsque celui-ci est effectué sous pression pour s'opposer aux infiltrations d'eau ou assurer la stabilité du terrain.

1.3.- Selon la pression maximale d'intervention :

Classe d'intervention	Pression (relative) maximale d'intervention	Profondeur équivalente en eau
0	1 200 hPa	12 m
I	3 000 hPa	30 m
II	5 000 hPa	50 m
III	> 5 000 hPa	> 50 m

2.- EFFECTIFS EXPOSÉS

Une évaluation des populations en activité dans les mentions A, B et C a été publiée en 2014 par l'ANSES²⁵. Les effectifs « pêche et aquaculture » ont été fournis par la Direction des Gens de Mer (ministère chargé des transports). L'évaluation des effectifs en mention D est issue du milieu professionnel (JC Le Péchon, annexe).

Mention A : 500 à 1000²⁶

Mention B :

- activités physiques et sportives (moniteurs de plongée) 3 029²⁷
- archéologie : 300
- arts, spectacles, médias 200
- défense : 2 200
- sécurité civile : 3 000
- scientifiques : 400²⁸
- pêche et aquaculture 200

Mention C : 400

Mention D (voir annexe) : 200

Total 10 429 à 10 929

²⁵ Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Effets sanitaires liés aux expositions professionnelles à des mélanges gazeux respiratoires autres que l'air dans le cadre des activités hyperbares. Avis de l'ANSES. Rapport d'expertise mai 2015.

<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2013sa0030Ra.pdf>

²⁶ Pour l'INRS (Travail et sécurité, 2007, 03 : 2-8), il y aurait en 2007 en France 1000 scaphandriers (mention A) pour 400 équivalents temps plein et 250 CDI, répartis dans 85 sociétés de travaux immergés dont 30 majeures.

²⁷ Atlas des éducateurs sportifs déclarés. Edition 2015. Pôle Ressources National Sports de Nature. Ministère de la ville, de la jeunesse et des sports. <http://www.sportsdenature.gouv.fr/publications/atlas-2015-educateurs-sportifs-declares>.

²⁸ Source : Association française des plongeurs scientifiques.

3.- LES RISQUES EN FONCTION DES POSTES

Le tableau XXII récapitule les principaux risques d'accidents spécifiques les plus probables selon la mention et pour certains d'entre eux selon la classe d'intervention. Il est donné à titre indicatif et ne saurait se substituer à l'étude des risques que doit réaliser l'employeur et à leur évaluation faite par le médecin du travail dans la fiche d'entreprise et l'étude de poste.

Les risques non spécifiques (bruit, manutention de charges lourdes, vibrations, CMR, risques biologique, toxique ou radiologique, etc.) seront considérés en tenant compte de la réduction des capacités d'effort physique, des effets de la pression sur la toxicité des composants et des difficultés pour les interventions de secours.

3.1.- Les risques spécifiques liés à la mention

Ils sont principalement liés au milieu :

- pour les activités subaquatiques : noyade, contrainte thermique au froid,
- pour les activités atmosphériques : traumatologie, pathologies musculosquelettiques, contrainte thermique au chaud, bruit.

3.2.- Les risques liés à la classe

Ils concernent essentiellement :

- les accidents de désaturation : le risque augmente avec la pression maximale atteinte ;
- la réduction des capacités ventilatoires et donc d'effort, proportionnelle à la pression ;
- le temps du retour vers la pression atmosphérique en cas d'accident en pression : il augmente linéairement en fonction de la pression et exponentiellement avec le temps de séjour.

3.3.- Les risques liés à la technique d'intervention

En particulier :

- avec appareil respiratoire autonome :
 - en circuit ouvert (expiration à l'extérieur) : la résistance de l'appareil à l'écoulement des gaz peut être à l'origine d'une hypercapnie.
 - en circuit fermé ou semi-fermé : le recyclage des gaz expirés dans l'appareil peut être défectueux et provoquer une hypoxie (renouvellement insuffisant) ou une hypercapnie (épuration insuffisante).
- avec appareil respiratoire alimenté depuis la surface, le risque est la rupture de l'alimentation, qui impose de disposer d'un appareil autonome individuel de secours.

La nature des gaz inhalés : air comprimé, mélange suroxygéné, ou mélange appauvri en oxygène pour interventions à haute pression (classe III) favorise également certains risques (ADD, narcose, hyperoxie, hypoxie, hypercapnie).

3.4.- Les risques infectieux ou parasitaires

Ils seront évalués pour chaque poste et pourront faire l'objet de prescription de mesures prophylactiques appropriées (par exemple : vaccination contre la leptospirose et / ou l'hépatite A en cas de plongées en égouts, chimioprophylaxie du paludisme pour un chantier outre-mer). Le risque de transmission de maladie virale, bactérienne ou parasitaire par échange d'embouts ou d'appareil de protection respiratoire pendant une plongée subaquatique est possible : un cas de transmission d'herpès labial a été rapporté en plongée de loisir (Potasman 1997). La prophylaxie repose sur le traitement des porteurs et sur la désinfection régulière du matériel

en contact avec les voies respiratoires supérieures (FFESSM 2010). Aucun examen complémentaire systématique n'est recommandé. Des examens seront prescrits si nécessaire en fonction des données de l'interrogatoire et de l'examen clinique.

Les vaccinations réglementaires (poliomyélite, tétanos) seront dans tous les cas exigées. Le BCG pourra être exigé pour les opérateurs soumis à une promiscuité de vie ou de travail (séjours en caisson) ou d'échange d'appareils de protection respiratoire. Le personnel mention C reste soumis aux règles de prévention applicables au personnel soignant.

3.5.- Cas particulier des moniteurs de plongée

Relevant de la mention B, les moniteurs sont titulaires d'un diplôme professionnel d'enseignement de la plongée subaquatique (BEES, BPJEPS, DEJEPS, DESJEPS) délivré par le ministère chargé des sports, qui leur permet d'enseigner et d'encadrer la plongée sportive de loisir. Sous contrat de travail avec une structure associative ou commerciale, ce sont des travailleurs hyperbares à part entière. Ils peuvent également intervenir comme travailleur indépendant. Ce qui est présenté dans ce document s'applique donc à eux.

Néanmoins, leur particularité est qu'ils sont dans une situation dérogatoire, introduite par l'article 8 du décret du 11 janvier 2011, qui renvoie vers le Code du sport pour la définition des conditions particulières d'accès au certificat d'aptitude à l'hyperbarie (CAH) : les moniteurs de plongée sont réputés être titulaires d'un CAH mention B « Activités Physiques ou Sportives » dès lors qu'ils sont titulaires de leur diplôme d'État. Leurs prérogatives sont fixées par le code du sport :

- Les BPJEPS interviennent en enseignement jusqu'à 6 m et en encadrement d'exploration jusqu'à 40 m.
- Les BEES 1 interviennent en enseignement jusqu'à 40 m et en encadrement d'exploration jusqu'à 60 m.
- Les DEJEPS, DESJEPS et BEES 2 interviennent en enseignement et en encadrement d'exploration jusqu'à 60 m à l'air et jusqu'à 70 à 120 m au trimix selon leur qualification à la plongée aux mélanges.

Le Ministère chargé des sports a entrepris une réorganisation de la filière professionnelle (BPJEPS, DEJEPS, DESJEPS) pour toutes les disciplines. Cette réforme affectera probablement les profondeurs d'intervention des moniteurs de plongée. Il sera donc nécessaire de s'informer auprès du Ministère des Sports, des prérogatives associées à ces diplômes, actuellement définies par les articles A.322-71 et suivants du code du sport. Elles seront spécifiées dans les versions réactualisées des présentes recommandations²⁹.

La plus grande part de l'activité du moniteur se situe dans des profondeurs ne dépassant pas 20 m de profondeur. Soumis à de fortes contraintes réglementaires concernant les zones d'évolution des plongeurs qu'ils encadrent, les moniteurs de plongée dans leur exercice professionnel sont le plus souvent limités par les profondeurs et les durées de plongée accessibles aux plongeurs qu'ils encadrent. Ainsi, 20 % environ de leurs clients ne dépassent pas 6 m (baptêmes) et 60 % ne dépassent pas 20 m en réalisant dans ces zones de profondeur des plongées sans palier.

Il existe également une part d'activité du moniteur de plongée qui tend à se développer fortement au travers de pratiques en apnée. Il s'agit le plus souvent d'activités de randonnée subaquatique pendant lesquelles les pratiquants restent près de la surface et le moniteur fait des allers-retours entre la surface et le fond (le plus souvent entre 6 et 10 m) pour montrer et

²⁹ Voir le site www.medsubhyp.com

faire découvrir les fonds et les espèces. Plus rarement certains moniteurs proposent des activités de découverte et/ou d'entraînement en apnée de loisir ou compétitives avec des profondeurs atteintes plus importantes.

Au total, 60 % de l'activité des moniteurs sur l'ensemble d'une saison se déroule entre la surface et la profondeur de 10 mètres (baptêmes de plongée, formation des plongeurs des premiers niveaux, activités en apnée). Très logiquement, la pathologie la plus fréquemment rencontrée chez eux concerne les atteintes barotraumatiques de la sphère ORL en raison des nombreux allers et retours dans cette zone.

Les profondeurs de 20 à 40 mètres, associées parfois à des conditions de travail difficiles telles que : durée d'immersion quotidienne supérieure à 3 h, plus de 2 plongées par jour, allers et retours verticaux, au cours d'une même immersion (plongées yo-yo), efforts après la plongée liés à l'organisation matérielle de l'activité, peuvent favoriser la survenue d'accidents de désaturation, avec leurs conséquences neurologiques.

Les immersions dans la zone 40 à 60 m à l'air et au-delà au trimix³⁰, si elles restent très occasionnelles en pratique professionnelle et d'une durée d'immersion et de palier assez faible, peuvent augmenter le risque d'accident de désaturation.

Il n'existe pas en France de statistiques d'accidentologie exhaustive pour cette profession. Les données publiées par la commission médicale de la FFESSM³¹ font état de 140 accidents de plongée (toutes formes cliniques, recensés auprès des centres thérapeutiques hyperbares français de métropole et d'outre-mer) survenus chez des moniteurs (salariés et bénévoles) entre 1998 et 2013, sur 862 dossiers exploités. Selon cette statistique, les moniteurs représenteraient en moyenne 16 % (extrêmes : 7 – 27 %) des accidentés de plongée sportive et de loisir traités.

En matière d'encadrement et d'enseignement de la plongée de loisir l'activité saisonnière peut être irrégulièrement soutenue en fonction des régions concernées, en Métropole comme Outre-mer. Le rythme journalier des moniteurs de plongée professionnels sur les périodes les plus chargées en activité peut générer une fatigue certaine, et parfois s'accompagner d'une alimentation déséquilibrée par rapport au reste de l'année et d'une forte déshydratation liée à la fois à l'immersion et aux conditions environnementales sur le bateau et à terre.

Pour évaluer l'ensemble de ces éléments, le médecin pourra demander de se faire présenter le livret professionnel de relevé de plongées.

On sera donc particulièrement attentif lors de la visite initiale comme des examens périodiques, au niveau de condition physique et d'entraînement des moniteurs et à l'intégrité des fonctions cardiocirculatoires et respiratoires. L'absence de *foramen ovale* perméable devra être affirmée par échographie transœsophagienne ou échographie Doppler transcrânienne après tout accident neurologique de désaturation.

³⁰ voir p. 27.

³¹ <http://www.medical.ffessm.fr> – onglet « Documentation / Enquête accidents de plongée »

	Barotraumatismes		Accidents de désaturation (1)		Hyperoxie (2)	Hypoxie (3)	Hypercapnie	Narcose (4)	Noyade	Hypothermie	Hyperthermie	TMS Traumatologie
	ORL	Pulmonaires (5)	Type I Cutanés Articulaires	Types II Neurologiques Cochléo-vestibulaires								
Mention A	X		X	X	X		X	X	X	X		X
Mention B												
Activités physiques et sportives	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Archéologie subaquatique	X	X	X	X			X	X	X	X		X
Arts, spectacles, médias	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Pêche – Aquaculture	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Défense – Sécurité – Police	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Activités scientifiques	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Mention C	X		X					X			X	X
Mention D	X		X		X		X	X			X	X

- (1) Peu probables en classe 0
(2) Utilisation de mélanges suroxygénés ou paliers à l'oxygène
(3) Plongée en apnée ou utilisation d'appareils respiratoires isolants à circuit fermé ou semi-fermé
(4) Air comprimé au-delà de 4bar (classes II et III)
(5) Débutants en formation

Tableau XXII : Risques d'accidents les plus probables en fonction de la mention et de la classe d'intervention

3.6.- Cas particulier des travailleurs temporaires

Le code du travail dispose que l'aptitude à l'emploi des travailleurs temporaires (intérimaires) est prononcée par le médecin du travail de l'entreprise de travail temporaire (ETT), et que la surveillance médicale renforcée est à la charge de l'entreprise utilisatrice (EU).

Dans ce cadre, le médecin du travail de l'ETT ne connaît pas le poste de travail et ne peut donc pas se prononcer sur une aptitude en milieu hyperbare. La logique voudrait :

- que l'ETT signale dès la demande d'examen médical que le salarié est un travailleur hyperbare ;
- que le médecin de l'ETT l'oriente d'emblée pour avis vers le médecin du travail de l'entreprise utilisatrice.

En pratique, ce type de procédure relève de l'organisation interne du SSTI. Lorsque l'ETT et l'EU n'adhèrent pas au même SSTI, la coordination repose sur l'entente directe entre les services concernés.

3.7.- Évaluation de la capacité physique à l'effort

Certains postes de travail peuvent nécessiter la production d'efforts physiques intenses, tant en hyperbarie sèche (maintenance des roues de coupe des tunneliers par exemple) qu'en plongée subaquatique (déplacement de charges, manoeuvres de sauvetage d'un coéquipier) en plongée subaquatique. L'évaluation de la capacité à produire de tels efforts dans ces conditions fait donc partie des préoccupations du médecin du travail.

Les recommandations de 1991 préconisaient une « mesure » de la consommation maximale d'oxygène par méthode indirecte préalablement à la première affectation en milieu hyperbare, puis répétée annuellement. La consommation maximale d'oxygène déterminée à l'aide du nomogramme d'Åstrand devra être supérieure ou égale à 40 millilitres par minute et par kilogramme.

La réalisation du test d'Åstrand se heurte toutefois à un certain nombre de difficultés :

- il doit être réalisé par un médecin formé spécifiquement à cette épreuve ;
- des procédures d'urgence doivent permettre de faire appel si besoin aux moyens médicalisés de réanimation ;
- l'épreuve doit être arrêtée dès qu'apparaît la moindre anomalie clinique ou paraclinique.

Pour Pérès (2013) les conditions suivantes doivent être réunies :

- pas de tabac ni d'alcool 1 heure avant l'épreuve,
- à distance (2 heures) d'une prise alimentaire,
- réalisation sous cardioscope et mesure de la PA en permanence
- présence d'un défibrillateur obligatoire et de matériel de soins d'urgence.

Des conditions requises mais insuffisamment respectées peuvent altérer la précision ou à la reproductibilité de la mesure :

- conditions d'ambiance (hygrométrie, température, vitesse de l'air) variables selon le local ou sa situation géographique,

- précision et étalonnage des moyens de mesure (fréquence de pédalage, fréquence cardiaque) et de contrôle du temps,
- précision de la charge ou de la puissance électromagnétique opposée au sujet (variations notables selon l'appareillage), nécessité d'un étalonnage régulier des appareils,
- réglage de l'appareil (ergocycle) aux mensurations du sujet.

Des paramètres propres au sujet peuvent être à l'origine de variations dans les mesures : motivation, échauffement préalable, savoir-faire dans l'exécution technique du geste.

De telles conditions standardisées (Aguilaniu et coll. 2007, Aguilaniu et Wallaert 2013, 2015) permettant de comparer les résultats sont réunies dans les centres spécialisés dédiés à la médecine du sport ou à l'exploration fonctionnelle d'exercice. L'interprétation des résultats est cependant limitée par la précision de la méthode : 18,1 % dans le test d'Åstrand, 9,3 % dans une évolution de ce dernier proposée par Ekblom-Bak et coll. (2014). Par ailleurs, en situation d'immersion, la relation fréquence cardiaque – consommation d'oxygène telle que décrite par Åstrand ne s'applique plus (Regnard 2017).

Quelle valeur seuil faudrait-il adopter ? La $V\cdot O_2$ en plongée calme et peu profonde a été évaluée (Buzzacott et coll. 2014, Castagna et coll. 2015) entre 6 et 7 MET, soit environ $25 \text{ mLmin}^{-1}\text{kg}^{-1}$. En situation d'effort (nage à contre courant, sauvetage d'un plongeur en difficulté...) des niveaux d'activité de 12 MET, soit $42 \text{ à } 45 \text{ mLmin}^{-1}\text{kg}^{-1}$ peuvent être requis (Paineau et coll. 2011, *activité 11495 : plongée sous-marine, homme-grenouille, commando de marine*). Pour l'hyperbarie sèche, on peut se référer aux tables d'équivalence pour les activités physiques professionnelles et de loisir (Ainsworth et coll. 2011, Paineau et coll. 2011) : un travail lourd (charges de 30 à 40 kg, maniement d'outils lourds) à très lourd (charges de plus de 40 kg) demande 7 à 9 MET et plus. Selon les exigences du poste et des conditions de travail, le seuil de $40 \text{ mLmin}^{-1}\text{kg}^{-1}$ peut donc être trop élevé ou au contraire trop faible.

Au total :

- la prédiction de la consommation maximale d'oxygène par épreuve sous-maximale (type test d'Åstrand) devrait, selon les standards récents, être réservée à des centres spécialisés. Elle présente en effet de nombreuses sources d'imprécision, d'hétérogénéité et de non reproductibilité des résultats. Elle ne figure pas dans les indications validées des examens d'exploration fonctionnelle cardiopulmonaire à l'effort (Palange et coll. 2007).

- Il n'est pas possible de statuer à partir d'un test dont la réalisation technique ou les résultats peuvent être contestés.

- La $V\cdot O_{2\text{max}}$ prédite minimale requise dépend de l'activité développée au poste de travail. Elle ne devrait pas être inférieure à $25 \text{ mLmin}^{-1}\text{kg}^{-1}$ (7 MET) mais certains postes peuvent exiger des valeurs de $45 \text{ mLmin}^{-1}\text{kg}^{-1}$ (12 MET). Mais les contraintes hyperbares sollicitent les aptitudes fonctionnelles bien au-delà des seuls besoins métaboliques. Des seuils fonctionnels respiratoires (limitation des débits ventilatoires) ou cardiovasculaires (surcharge de la circulation thoracique et augmentation du travail cardiaque) peuvent alors être atteints avant d'approcher la seule dépense énergétique telle qu'elle serait mesurée en conditions standard normobares.

Par conséquent, la réalisation systématique d'un test d'effort sous-maximal pour prédire la consommation maximale d'oxygène ne peut être recommandée pour la détermination de l'aptitude au travail en milieu hyperbare.

A l'opposé, l'épreuve d'effort (effort maximal) telle qu'elle se pratique en cardiologie ou pneumologie est **indiquée** selon les recommandations de la société européenne de cardiologie, ainsi que pour les sujets âgés de 50 ans (cf. *supra*) et plus dont le poste de travail nécessite la réalisation d'efforts physiques. Elle est **optionnelle** (chapitre pneumologie) pour les sujets occupant certains postes de travail, à l'appréciation du médecin du travail. Elle n'est pas recommandable comme examen systématique.

Cependant, l'évaluation de la condition physique, c'est-à-dire de l'aptitude à effectuer des efforts de longue durée ou de forte intensité demeure un élément essentiel de la décision d'aptitude pour certains postes de travail. L'évaluation clinique par la biométrie, l'interrogatoire, l'examen et l'utilisation de questionnaires de pratique sportive adaptés³² permet une première approche. Les éléments péjoratifs recueillis devront être explorés en centre spécialisé par des épreuves standardisées et validées.

En outre, en fonction d'une fiche de poste qui indiquerait la nécessité d'une bonne aptitude à l'effort physique, le praticien pourra indiquer une épreuve d'effort maximale avec éventuellement mesure de la ventilation et identification des seuils ventilatoires, si les données de l'interrogatoire et du questionnaire ne sont pas concluantes.

Au total, compte tenu des éléments exposés dans le chapitre II, les recommandations suivantes peuvent être formulées :

Recommandation 20

L'examen médical d'aptitude à un poste de travail en milieu hyperbare devra être orienté, conjointement avec la surveillance médicale propre aux autres risques professionnels, en fonction des risques spécifiques de la classe et de la mention du salarié. Dans tous les cas, une attention particulière devra être portée sur :

- la perméabilité tubaire,
- la fonction ventilatoire,
- les capacités respiratoires et cardiovasculaires d'adaptation à l'effort,
- l'absence de risque de perte de connaissance brutale (épilepsie, diabète, troubles du rythme).

Pour les titulaires des mentions subaquatiques (A et B), l'accent sera mis sur la recherche et l'exploration d'une hypertension artérielle et la recherche de signes neurologiques déficitaires.

L'aptitude à la plongée en apnée, pour les activités où cette discipline est autorisée, ne nécessite pas d'autre examen que ceux nécessaires à la détermination de l'aptitude dans la classe dans laquelle le salarié est qualifié.

Les travailleurs des mentions C et D devront faire l'objet d'une surveillance particulière orientée vers l'appareil locomoteur (ostéonécrose dysbarique, troubles musculosquelettiques liés aux opérations de manutention lourde).

(Avis d'experts)

³² Les questionnaires de Ricci et Gagnon et de Huet font l'objet des annexes IIa et IIb. Ils sont également disponibles sur le site www.medsubhyp.com.

Recommandation 21

La réalisation d'une épreuve d'effort sous-maximale de type test d'Åstrand pour la détermination de l'aptitude à un poste de travail n'est pas recommandée. (Avis d'expert)

Pour vérifier si les capacités physiques du travailleur lui permettront de faire face aux besoins ou aux contraintes rencontrées dans le poste de travail, le médecin s'appuiera sur les données de la clinique et de l'anamnèse (dont des questionnaires spécialisés) et sur sa connaissance du poste de travail. (Avis d'expert)

Si le mode de vie et les contraintes du poste de travail ne permettent pas d'inférer la bonne tolérance des fonctions physiologiques aux activités en charge, une épreuve d'effort est indiquée. (3C)

S'il y a des raisons de penser (antécédents, altération des épreuves fonctionnelles de base) qu'il peut exister une altération de la fonction ventilatoire ou des échanges gazeux, il est indiqué de demander une épreuve d'effort respiratoire, avec éventuellement détermination des seuils métaboliques. (3C)

L'épreuve d'effort cardiologique est par ailleurs indiquée :

- selon les prescriptions de la société européenne de cardiologie (recommandation 8),
- au-delà de 50 ans selon les prescriptions de la recommandation 19.

Références

Aguilaniu B, Richard R, Costes F, Bart F, Martinat Y, Stach B, Denjean A ; Conseil Scientifique de la Société Française de Pneumologie. Méthodologie et pratique de l'exploration fonctionnelle à l'exercice. *Rev Mal Respir*. 2007;24(3 Pt 2): 2S111-60.

Aguilaniu B, Wallaert B. De l'interprétation de l'EFX à la décision médicale *Rev Mal Respir* 2013, 30 : 498-515.

Aguilaniu B, Wallaert B. EFX : De l'interprétation à la décision médicale. Éditions Margaux orange, Paris. 2015. 546 p.

Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc* 2011, 43, 8 : 1575-81.

Buzzacott P, Pollock NW, Rosenberg M. Exercise intensity inferred from air consumption during recreational scuba diving. *Diving Hyperb Med* 2014, 44, 2: 74-8.

Castagna O, Desruelle AV, Blatteau JE, Schmid B, Dumoulin G, Regnard J. Alterations in body fluid balance during fin swimming in 29° C water in a population of special forces divers. *Int J Sports Med* 2015; 36: 1125-33.

Ekblom-Bak E, Björkman F, Hellenius ML, Ekblom B. A new submaximal cycle ergometer test for prediction of VO₂max. *Scand J Med Sci Sports* 2014; 24, 2: 319-26.

Fédération française d'études et de sports sous-marins. Désinfection des matériels respiratoires en plongée subaquatique. Disponible sur :

http://www.ffessm.fr/faq_detail.asp?faq_numero=48&q=D%E9sinfection%20du%20mat%E9riel%20respiratoire%20de%20plong%E9e%20?

Paineau D, Vuillemin A. Version française du catalogue des dépenses énergétiques pour les activités physiques. Consultable sur : <https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/compendia>. [28 décembre 2017].

Palange P, Ward SA, Carlsen KH, *et al.* ERS Task Force. Recommendations on the use of exercise testing in clinical practice. *Eur Respir J* 2007, 29 : 185-209.

Pères G. Débit maximal de prélèvement d'oxygène. Puissance maximale aérobie. Mesure directe. Prédiction indirecte. Université Pierre et Marie Curie. Paris 2013. Consultable sur : <http://www.fmpmc.upmc.fr/modules/resources/download/fmpmc/ressourcesnumeriques/ducapitimedecinedusport/CIUMBS-DUCVS-PERES-VO2max-directe-21mars2013pdf.pdf> [janvier 2016].

Potasman I, Pick N. Primary Herpes Labialis acquired during Scuba diving course. *J Travel Med.* 1997; 4, 3: 144-5.

Regnard J. Physiologie cardio-vasculaire en plongée. *In* V. Lafay (ed.) Cœur et plongée. Ellipses Edition Marketing, Paris. 2017, p. 76-111.

Annexe

ÉVALUATION DU NOMBRE DE SALARIÉS MENTION D

Jean-Claude Le Péchon
Ingénieur Conseil
Hygiène et Sécurité Hyperbare
<http://hyperbar.perso.sfr.fr/>

1.- En 2015, il n'y avait en France qu'un seul tunnelier en activité nécessitant des interventions hyperbares, sur le chantier du métro de Rennes. La construction du tramway de Nice en 2016 en a mobilisé un second. Le nombre actuel de tubistes pouvant nécessiter une aptitude médicale dans l'année est donc de l'ordre de 30 à 50 personnes maximum.

Un groupe de deux sociétés françaises a participé au creusement du tunnel de Hong Kong. Le renouvellement de l'aptitude médicale était fait sur place et selon les critères de Hong Kong par le médecin du travail référent hyperbare du site.

2.- Le nombre total de tubistes (travaux publics) formés et ayant reçu un certificat d'aptitude à l'hyperbarie doit excéder 2000. Mais ils ne s'activent que par petits groupes en fonction des chantiers et beaucoup ne s'activent plus du tout...

Il faut ajouter les personnels de l'industrie aéronautique pour les visites de cellules d'avion (Pmax 0,6 bar) mais il n'est pas sûr qu'ils suivent la règle et fassent des visites. Ceux qui avaient été formés il y a longtemps (classe 0 mention D) n'ont jamais été formellement certifiés par l'Institut National de la Plongée Professionnelle (INPP), en raison de l'absence des certificats médicaux d'aptitude que l'employeur devait fournir.

3.- Dans le cadre du projet « Grand Paris », une vingtaine de tunneliers seront mis en service entre février 2018 et 2030. 7 à 12 engins devraient être en activité simultanément³³, avec environ 20 personnes qualifiées classe I mention D par site, avec au total environ 150 à 200 personnes concernées.

4.- Pour les centrales nucléaires, le nombre de tubistes mention D encore qualifiés à l'EDF n'a pu être déterminé. Il s'agit soit de mentions A fournis par l'entreprise de travaux subaquatique contractée par EDF pour conduire la partie hyperbare de l'essai, soit d'employés EDF formés au coup par coup, le plus souvent par l'INPP sur place. Leur emploi sur un seul site lors d'un essai décennal implique un renouvellement de certification pour l'essai suivant.

³³ <https://www.societedugrandparis.fr/focus/les-techniques-de-construction/tunnelier> [18mars 2018]

Troisième partie

**PROPOSITIONS
DE LA SOCIÉTÉ DE PHYSIOLOGIE ET DE MÉDECINE
SUBAQUATIQUES ET HYPERBARES DE LANGUE
FRANÇAISE**

**EN MATIÈRE DE FORMATION DES MÉDECINS
CHARGÉS DE LA SURVEILLANCE MÉDICALE DES
TRAVAILLEURS EXPOSÉS AU RISQUE HYPERBARE**

L'European Diving Technology Committee (EDTC) et l'European Committee for Hyperbaric Medicine (Desola et coll. 2004) distinguent trois niveaux de compétence pour les médecins (voir première partie, chapitre III page 44), attribués depuis 2013 par l'European College of Baromedicine (ECBM)³⁴.

Ces propositions doivent être adaptées à la réglementation de l'exercice de la médecine du travail. En effet, dans le secteur privé (régime général et agricole), seul le médecin du travail de l'entreprise est habilité à statuer sur l'aptitude du salarié au poste de travail. Cependant, contrairement à la fonction publique ou à certains secteurs spécialisés comme l'aéronautique ou la navigation maritime, la notion d'aptitude aux fonctions ou d'aptitude physique à une profession n'existe pas dans le code du travail.

Par ailleurs, un rapport de mission interministérielle récent (Issindou et coll. 2015) propose de confier à un médecin distinct du médecin du travail de l'entreprise l'évaluation de l'aptitude des salariés qui occupent un poste de sécurité. Sans argumentation réelle, les auteurs s'appuient sur l'existence d'aptitudes déjà réglementées (pilotes d'avion, conducteurs de train, etc.). Il est sous-entendu que ces médecins ont les connaissances qui leur permettent de statuer. Au-delà des problèmes soulevés par la mise en application de cette proposition, il y a là une reconnaissance implicite de la dualité aptitude à la profession – aptitude au poste de travail.

Il en est de même pour les activités hyperbares. Un socle minimum d'investigations anamnestiques, cliniques et paracliniques doit être réalisé afin d'identifier les états de santé qui pourraient constituer des facteurs de risques supplémentaires pour le travailleur (ou des tiers) dans ces conditions. Ensuite, le médecin du travail devra prendre sa décision au regard du poste de travail effectivement occupé. Il doit donc posséder à la fois la parfaite connaissance du poste et des conditions de travail, mais également celle des risques inhérents au travail en conditions hyperbares (voir I^{ère} partie, chapitre I).

Or, la formation théorique en médecine subaquatique et hyperbare délivrée dans le cadre du DES de médecine du travail ne dépasse pas deux heures. C'est pourquoi la Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française faisant sienne la proposition de l'EDTC, recommande :

1/ que les médecins du travail et les médecins de prévention de la fonction publique chargés du suivi des salariés et agents intervenant en conditions hyperbares reçoivent une formation complémentaire (au moins du niveau I ci-après) de nature à leur permettre de statuer sur l'aptitude de ces travailleurs ;

2/ de reconnaître trois niveaux de connaissances, donc de compétence, pour les médecins qui suivent des travailleurs hyperbares (indépendamment des qualifications attribuées par l'ECBM) :

- **Niveau I** : réalisation des examens périodiques, et décisions d'aptitude, ou restrictions à l'issue. Le niveau I correspond à une formation spécifique mais limitée en médecine subaquatique et hyperbare (25 h de théorie, 3 h de pratique).

- **Niveau II** : réalisation des visites initiales (avant première affectation³⁵) et des examens périodiques et décisions d'aptitude, ou restrictions subséquentes. Évaluation et aptitude à la

³⁴ <http://www.ecbm.eu>

³⁵ Voir p. 67.

reprise après accident du travail ou maladie professionnelle, ou après accident ou maladie non professionnelle avec arrêt de travail supérieur à 30 jours (théorie 55 h, pratique 13 h).

- **Niveau III** : expert de spécialité ou d'exercice requis dans certaines situations complexes d'aptitude ou de reprise, ou en cas de litige.

En pratique, les médecins du travail qui sont appelés à se prononcer sur l'aptitude de travailleurs exposés au risque hyperbare devraient recevoir au moins une formation de niveau I. Ils devraient alors adresser pour avis sapiteur à un confrère au moins de niveau II les salariés reçus en examen initial.

Des formations pour ces différents niveaux existent déjà, universitaires ou non.

Le diplôme interuniversitaire de médecine subaquatique et hyperbare (enseignement théorique 100 h. + 40 h. d'enseignement pratique), enseigné par 14 universités, donne le niveau II. C'est le seul enseignement accrédité en France par l'ECBM.

Le certificat d'études supérieures universitaires d'aptitude et de soutien sanitaire à la plongée, enseigné à Marseille (enseignement théorique 60 h. + 20 h. d'enseignement pratique), le DU de médecine de plongée et le DU de médecine hyperbare de l'université de Paris XIII (enseignements actuellement suspendus) correspondent également au niveau II.

Dans les armées (Robinet et coll. 2015), le niveau I est délivré à l'issue d'une formation de deux semaines avec enseignement théorique et pratique. Le niveau II est attribué par une formation complémentaire à la précédente comprenant des stages pratiques en milieu hospitalier et opérationnel de 10 semaines. Néanmoins, l'exécution des examens initiaux et périodiques approfondis (à 5 ans) est réservée aux médecins experts (niveau III), qui doivent cumuler la formation de niveau II, le DIU de médecine subaquatique et hyperbare, une expérience professionnelle conséquente et subir avec succès des épreuves théoriques (concours interne) et pratiques (qualification classe II en plongée subaquatique).

De manière générale, les niveaux de qualification indiqués ci-dessus ne devraient être considérés comme valides que sous réserve de faire état d'une formation continue ou d'un recyclage (par exemple présence aux journées scientifiques de MEDSUBHYP dans le cadre du DPC), sur une période de trois ans.

À l'étranger, la plupart des pays (voir p. 55 et suiv.) exigent une compétence particulière en médecine subaquatique et hyperbare (Royaume Uni, Belgique, USA sous la contrainte des compagnies d'assurance, Australie et Nouvelle Zélande, Afrique du Sud, Hong Kong). Un certain nombre demandent la qualification en médecine du travail (Royaume Uni, Belgique, Afrique du Sud pour les tunneliers seulement).

Au total, si cette proposition est retenue, la Société de Physiologie et de Médecine subaquatiques et hyperbares de langue française pourrait tenir à jour une liste des médecins qualifiés aux différents niveaux, qui serait publiée sur son site internet.

Recommandation 22

La Société de Physiologie et de Médecine subaquatiques et hyperbares de langue française recommande :

1/ que les médecins du travail chargés du suivi des salariés intervenant en conditions hyperbares reçoivent une formation complémentaire de nature à leur permettre de statuer sur l'aptitude de ces travailleurs ;

2/ de reconnaître trois niveaux de connaissances, donc de compétence, pour les médecins qui suivent des travailleurs hyperbares :

- **Niveau I** : réalisation des examens périodiques, et décisions d'aptitude ou restrictions à l'issue. Le niveau I correspond à une formation spécifique mais limitée en médecine subaquatique et hyperbare.

- **Niveau II** : réalisation des visites initiales (avant première affectation) et des examens périodiques et décisions d'aptitude ou restrictions subséquentes. Évaluation et aptitude à la reprise après accident du travail ou maladie.

- **Niveau III** : expert de spécialité ou d'exercice requis dans certaines situations complexes d'aptitude ou de reprise, ou en cas de litige.

3/ Les médecins qui ne possèderaient pas la qualification nécessaire devraient adresser pour avis le travailleur à un confrère la possédant.

Références

Desola J, Elliott D, Longobardi P, Pelaia P, Wattel F, Wendling J. Guidelines for medical training. *In*: Wendling J, Elliott D, Nome T, (eds). Medical assessment of working divers. Hyperbaric Editions, Biel-Bienne, 2004, 216 p.

Issindou M, Ploton C, Fantoni-Quinton S, Bensadon AC, Gosselin H. Rapport du groupe de travail « Aptitude et médecine du travail » n° 2014-142R. Ministère du travail, de l'emploi, de la formation professionnelle et du dialogue social, Paris, mai 2015. 112 p. Disponible sur : http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_du_groupe_de_travail_aptitude_medecine_du_travail_2014-142R_.pdf

Robinet C, Blatteau JE, Pény C, Pontier JM, Louge P, Gempp E, De Maistre S, Constantin P, Hugon M. Formation des médecins et des infirmiers en médecine de la plongée. *Médecine et armées* 2015, 43, 1 : 33-40.

LISTE DES RECOMMANDATIONS

Recommandation 1

L'examen médical d'aptitude du salarié exposé au risque hyperbare a pour objectif de rechercher et d'identifier les situations anatomiques, physiologiques ou pathologiques de nature à favoriser une majoration des risques professionnels. Il doit être l'occasion d'un rappel des règles de prévention primaire par le médecin.

L'évaluation des risques pour la santé du salarié doit se faire au regard du poste de travail effectivement détenu ou pour lequel il postule. Pour cela, le médecin du travail devra se faire délivrer la fiche de poste établie par l'employeur.

(Avis d'experts)

Recommandation 2

Un examen médical initial approfondi devra être pratiqué avant la première exposition aux conditions hyperbares. Le médecin devra tenir compte dans sa décision du risque accru d'accident chez les débutants.

Il devra être renouvelé dès lors que l'évolution professionnelle du salarié l'expose à un risque nouveau ou plus important.

(Avis d'experts)

Recommandation 3

L'état de santé des salariés exposés au risque hyperbare doit faire l'objet d'un examen médical annuel, orienté selon les risques occasionnés par le poste de travail et les éléments médicaux connus du salarié.

Cette périodicité ne peut être décalée par une visite intermédiaire par un personnel paramédical.

Un examen périodique approfondi est recommandé tous les cinq ans.

(Avis d'experts)

Recommandation 4

Tout travailleur exposé au risque hyperbare devrait bénéficier d'un examen médical après tout arrêt de travail pour accident ou maladie, d'origine professionnelle ou non, quelle que soit sa durée.

(Avis d'expert)

Recommandation 5

Tout examen médical d'aptitude à l'exposition au risque hyperbare doit comporter un examen clinique approfondi, éventuellement précédé d'un autoquestionnaire adapté aux risques du poste de travail. Des examens complémentaires peuvent être prescrits selon les présentes recommandations.

(Avis d'experts)

Recommandation 6

Lors de l'examen médical initial et périodique :

L'examen clinique de l'appareil respiratoire et les indicateurs issus de l'enregistrement des boucles débit-volume sont les examens sur lesquels le médecin doit s'appuyer.

L'enregistrement des boucles débit-volume doit être renouvelé tous les cinq ans au minimum.

La radiographie thoracique systématique n'est pas indiquée. L'examen d'imagerie thoracique de référence est la tomodensitométrie. Elle sera prescrite s'il existe des signes d'appel à l'interrogatoire, à l'examen clinique ou à l'exploration fonctionnelle.

En cas de doute, une exploration fonctionnelle respiratoire plus complète devra être envisagée sur avis du spécialiste : la mesure de la capacité de transfert alvéolo-capillaire au CO (TLCO) et les épreuves de réactivité bronchique ou de réponse respiratoire à l'exercice pourront être réalisées à la suite d'un premier examen clinique et paraclinique insuffisamment informatif.

(4 C)

Recommandation 7

L'examen otorhinolaryngologique doit avoir pour objectif de dépister les pathologies préexistantes qui majorent le risque hyperbare et de rechercher les altérations d'origine professionnelle.

L'examen clinique doit comprendre une otoscopie avec examen de la mobilité tympanique sous manœuvre de Valsalva et un examen vestibulaire.

L'audiométrie tonale est recommandée pour l'évaluation initiale et sera renouvelée au moins tous les 5 ans, ou avant en cas d'accident ORL ou d'exposition au bruit.

L'épreuve de compression en caisson n'a pas habituellement d'indication en otorhinolaryngologie.

La tympanométrie et la radiographie conventionnelle des sinus ne sont pas recommandées comme examens systématiques.

(Avis d'experts)

Recommandation 8

Un examen cardiologique et un ECG sont recommandés lors de l'examen d'aptitude initial. L'examen cardiologique, renouvelé chaque année, doit comprendre au moins un examen clinique approfondi avec mesure de la pression artérielle au repos. (Avis d'experts)

Un bilan biochimique sanguin à la recherche d'un diabète ou d'une dyslipidémie est recommandé tous les cinq ans. L'ECG sera renouvelé tous les cinq ans jusqu'à 40 ans, puis tous les ans. (Avis d'experts)

Considérant qu'il s'agit de sujets asymptomatiques avec un examen cardio-vasculaire normal, l'**épreuve d'effort** est indiquée :

- chez les sujets présentant des facteurs de risque péjoratifs : les obèses (IMC > 30), les hypertendus et les diabétiques ;
- chez les sujets présentant l'association d'au moins deux facteurs de risques parmi les suivants :
 - âge > 40 ans chez les hommes, > 50 ans chez les femmes,
 - tabagisme actif ou sevré depuis moins de 5 ans,
 - dyslipidémie (LDL-cholestérol > 1,5g.L⁻¹),
 - hérédité cardio-vasculaire chez un ascendant du premier degré. (4C)

Compte tenu des facteurs de risque individuels, elle pourra être couplée avec une épreuve d'effort ventilatoire.

La réalisation d'une **échocardiographie transthoracique** est réservée à certains sujets sur avis spécialisé. (Avis d'experts)

La recherche systématique d'un *foramen ovale* perméable n'est pas recommandée lors de l'examen médical initial. A l'inverse, il doit être recherché systématiquement au décours d'un accident de désaturation neurologique, vestibulaire ou cutané. (Avis d'experts)

Lors d'un examen de reprise :

- chaque cas devra être évalué en collaboration avec un avis spécialisé compétent en médecine hyperbare ;
- après accident de désaturation, la présence d'un *foramen ovale* perméable doit être prise en compte pour émettre des restrictions d'exposition et des aménagements du poste de travail (utilisation de mélanges suroxygénés, décompressions à l'oxygène, limitation de profondeur et/ou de durée d'exposition). (4C)

La fermeture du *foramen ovale* n'est pas une contre-indication à la reprise de l'activité hyperbare. Elle pourra être envisagée dans le cas où la responsabilité du FOP est fortement incriminée, après décision collégiale entre le médecin du travail, le médecin hyperbare et le cardiologue. La décision finale sera prise par le plongeur dûment informé des limites et des risques de la procédure. (3C)

Après fermeture d'un FOP, la reprise des activités hyperbares ne sera autorisée qu'après la durée du traitement antiagrégant plaquettaire préconisée en regard de la technique utilisée et vérification par échographie de contraste de l'étanchéité de la fermeture. (Avis d'experts)

Recommandation 9

La prévention de l'ostéonécrose dysbarique, maladie professionnelle du tableau n° 29 RG, repose sur le respect de règles hygiéno-diététiques et des protocoles de décompression.

Lors des examens initial et périodique, la radiographie conventionnelle systématique des grosses articulations (épaules, hanches, genoux) n'a pas d'indication dans la prévention ou le dépistage des ostéonécroses dysbariques.

En présence d'antécédents d'accident de désaturation articulaire ou de signes cliniques évocateurs, l'imagerie par résonance magnétique est l'examen de référence. Un suivi à distance par imagerie devra être institué, même en l'absence de manifestations cliniques.

Si l'IRM montre une ostéonécrose, une exploration par TDM entre 6 et 12 mois est nécessaire pour objectiver la survenue d'une maladie professionnelle n° 29 RG.

(3C)

Recommandation 10

L'examen visuel comporte au minimum la mesure de l'acuité visuelle avec correction en vision de loin et en vision de près.

L'examen de la vision des couleurs sera réalisé si le poste de travail le nécessite.

Sauf pathologie intercurrente ou affection évolutive, cet examen sera répété tous les cinq ans avant 40 ans, tous les ans ensuite.

(Avis d'experts)

Recommandation 11

Lors de l'examen initial, le médecin examinateur s'assurera du volontariat du travailleur pour les activités hyperbares. (Avis d'experts)

Le bilan clinique neurologique et psychiatrique initial s'attachera à prévenir les risques de crise convulsive hyperoxique et d'attaque de panique, par la recherche d'antécédents :

- de crises épileptiques,
- de pathologies ou traumatismes cérébraux,
- de troubles psychiatriques,
- de conduites addictives,

et par l'évaluation du niveau d'anxiété de fond. (4C)

L'EEG systématique n'est pas recommandé. Il pourra être pratiqué sur indication spécialisée dans le bilan initial, notamment en cas d'exposition prévisible à de fortes pressions partielles d'oxygène. Il ne sera pas renouvelé lors des examens périodiques. (Avis d'experts)

Un test de compression en caisson pourra être indiqué en cas de suspicion de risque de mauvaise gestion du stress. (Avis d'experts)

Lorsqu'un risque neurologique ou psychiatrique est identifié, ou qu'un trouble addictif est suspecté, le recours à l'avis d'un spécialiste expert est recommandé.

Les examens périodiques rechercheront des troubles neurologiques qui pourraient être la conséquence d'accidents de décompression infracliniques. Après 40 ans, il est indiqué de rechercher, chez les plongeurs ayant été soumis à des expositions répétées à des pressions supérieures à 5 bars, une altération des fonctions cognitives. Une imagerie à la recherche de lésions cérébrales latentes pourra être prescrite par le spécialiste. (3C)

Recommandation 12

Une numération formule sanguine est recommandée avant la première exposition au milieu hyperbare, à la recherche d'une anémie, d'une polyglobulie ou d'une thrombopénie.

Les hémopathies, les états hémorragiques ou thrombophiliques seront recherchés par l'anamnèse et l'examen clinique. Ils feront l'objet d'explorations complémentaires en cas d'éléments évocateurs.

(Avis d'experts)

Recommandation 13

Avant les premières activités hyperbares professionnelles, un dosage de la créatinine plasmatique avec calcul du DFG selon la formule CKD-EPI et une recherche de protéinurie par bandelettes sont les deux examens utiles, à des fins de dépistage systématique chez des personnes indemnes de pathologie rénale et d'antécédents à risque d'atteinte rénale. Un résultat positif de protéinurie sur bandelette peut justifier un dosage vrai sur recueil des 24 h.

En cas de rein unique (anatomique ou fonctionnel) chez un sujet jeune, le calcul du DFG (CKD-EPI) et la protéinurie dosée sur recueil urinaire des 24 h sont nécessaires.

Les antécédents significatifs de maladie rénale même silencieuse doivent faire demander un avis néphrologique spécialisé.

Lors des examens périodiques, le dosage de créatinine plasmatique avec calcul de DFG (CKD-EPI) et le dépistage de protéinurie (ou son dosage) doivent être répétés : ils permettent à peu de frais un suivi d'évolution de la fonction rénale, et éventuellement un dépistage d'altération. Ils sont indispensables en cas d'HTA ou de diabète.

(Avis d'experts)

Recommandation 14

Les examens biologiques effectués lors de l'examen initial et des examens périodiques doivent être orientés par l'anamnèse et la clinique.

Il est cependant recommandé de rechercher systématiquement un diabète par le dosage de la glycémie à jeun.

La pratique d'un bilan lipidique systématique est justifiée dans le cadre du dépistage des facteurs de risques cardiovasculaires.

Des examens biologiques sanguins ou urinaires recherchant une consommation abusive d'alcool ou l'usage de substances toxiques ou psychotropes peuvent être prescrits en présence d'éléments d'orientation cliniques ou anamnestiques.

(Avis d'experts)

Recommandation 15

En présence d'éléments d'orientation, l'avis d'un chirurgien dentiste est recommandé lors de l'examen initial et périodique quinquennal des salariés exposés au risque hyperbare.

Il devra s'appuyer sur un examen endobuccal complet, éventuellement complété par des examens radiographiques.

(Avis d'experts)

Recommandation 16

Pour le système digestif, la recherche des éléments d'aptitude est d'abord clinique. Aucun examen complémentaire systématique n'est recommandé.

(Avis d'experts)

Recommandation 17

L'exposition au risque hyperbare devrait être considérée comme un agent physique créant un risque de catégorie 1A pour la reproduction, en référence à l'annexe I du règlement (CE) 1272/2008 du 16 décembre 2008, et donc soumettre les employeurs aux dispositions des articles L.4152-2 et D.4152-29 du code du travail. (3C)

Toute femme en âge de procréer doit être informée des risques pour la grossesse et être invitée à déclarer son état à son employeur dès qu'elle en a connaissance, de manière à bénéficier des dispositions des articles L.1225-7 et L.1225-12 du code du travail.

En cas d'exposition hyperbare avant le diagnostic de grossesse, une surveillance échographique rapprochée doit être conduite, avec en particulier un examen morphologique précis à la 20^e semaine. (Avis d'experts)

Recommandation 18

L'exposition à l'hyperbarie en classe III n'est pas recommandée pour les jeunes travailleurs tels que définis par l'art. L.4153-8 du code du travail.

Pour délivrer l'aptitude à un poste de travail hyperbare, dans le cadre des dérogations prévues par le code du travail, le médecin devra prendre en compte :

- les spécificités du poste de travail,
- le développement staturo-pondéral du jeune,
- son équilibre psychologique. La recherche d'une consommation de substances psychoactives est recommandée.

Les restrictions d'exposition suivantes sont recommandées :

- limitation à la classe I,
- pas de décompression avec paliers, ou paliers effectués avec respiration d'oxygène pur à PiO_2 maximale de 1,6 bar.

Au moindre doute, l'avis d'un spécialiste devra être recherché.

(Avis d'experts)

Recommandation 19

Le bilan d'aptitude d'un travailleur hyperbare au-delà de 60 ans est le même que pour les sujets plus jeunes. Toutefois, les risques d'accidents de désaturation neurologiques et ostéo-articulaires, d'œdème pulmonaire d'immersion et de perte de connaissance sont plus élevés.

Au delà de 50 ans, et au delà des circonstances déjà envisagées (recommandations 6 et 8), toute perception subjective d'une gêne fonctionnelle (sensation de pénibilité) ou de son augmentation au cours des activités professionnelles ou de loisir doit faire approfondir les interrogatoires et déclencher auprès des spécialistes des investigations cardiaques et respiratoires au repos et à l'exercice. Une épreuve d'effort respiratoire et cardiologique apparaît comme un préalable indispensable pour juger des ressources fonctionnelles en regard des exigences du poste de travail.

Il en est de même lors d'un examen de reprise.

L'ensemble des résultats doit permettre d'écarter un risque de défaillance fonctionnelle compte tenu des contraintes rencontrées dans le poste de travail.

Des restrictions d'exposition pourront être prononcées, en termes d'activité physique, de durée ou de pression de séjour. Les expositions successives (au sens des procédures d'intervention annexées à l'arrêté du 30 octobre 2012) sont déconseillées.

(Avis d'experts)

Recommandation 20

L'examen médical d'aptitude à un poste de travail en milieu hyperbare devra être orienté, conjointement avec la surveillance médicale propre aux autres risques professionnels, en fonction des risques spécifiques de la classe et de la mention du salarié. Dans tous les cas, une attention particulière devra être portée sur :

- la perméabilité tubaire,
- la fonction ventilatoire,
- les capacités respiratoires et cardiovasculaires d'adaptation à l'effort,
- l'absence de risque de perte de connaissance brutale (épilepsie, diabète, troubles du rythme).

Pour les titulaires des mentions subaquatiques (A et B), l'accent sera mis sur la recherche et l'exploration d'une hypertension artérielle et la recherche de signes neurologiques déficitaires.

L'aptitude à la plongée en apnée, pour les activités où cette discipline est autorisée, ne nécessite pas d'autre examen que ceux nécessaires à la détermination de l'aptitude dans la classe dans laquelle le salarié est qualifié.

Les travailleurs des mentions C et D devront faire l'objet d'une surveillance particulière orientée vers l'appareil locomoteur (ostéonécrose dysbarique, troubles musculosquelettiques liés aux opérations de manutention lourde).

(Avis d'experts)

Recommandation 21

La réalisation d'une épreuve d'effort sous-maximale de type test d'Åstrand pour la détermination de l'aptitude à un poste de travail n'est pas recommandée. (Avis d'expert)

Pour vérifier si les capacités physiques du travailleur lui permettront de faire face aux besoins ou aux contraintes rencontrées dans le poste de travail, le médecin s'appuiera sur les données de la clinique et de l'anamnèse (dont des questionnaires spécialisés) et sur sa connaissance du poste de travail. (Avis d'expert)

Si le mode de vie et les contraintes du poste de travail ne permettent pas d'inférer la bonne tolérance des fonctions physiologiques aux activités en charge, une épreuve d'effort est indiquée. (3C)

S'il y a des raisons de penser (antécédents, altération des épreuves fonctionnelles de base) qu'il peut exister une altération de la fonction ventilatoire ou des échanges gazeux, il est indiqué de demander une épreuve d'effort respiratoire, avec éventuellement détermination des seuils métaboliques. (3C)

L'épreuve d'effort cardiologique est par ailleurs indiquée :

- selon les prescriptions de la société européenne de cardiologie (recommandation 8),
- au-delà de 50 ans selon les prescriptions de la recommandation 19.

Recommandation 22

La Société de Physiologie et de Médecine subaquatiques et hyperbares de langue française recommande :

1/ que les médecins du travail chargés du suivi des salariés intervenant en conditions hyperbares reçoivent une formation complémentaire de nature à leur permettre de statuer sur l'aptitude de ces salariés ;

2/ de reconnaître trois niveaux de connaissances, donc de compétence, pour les médecins qui suivent des salariés hyperbares :

- **Niveau I** : réalisation des examens périodiques, et décisions d'aptitude ou restrictions à l'issue. Le niveau I correspond à une formation spécifique mais limitée en médecine subaquatique et hyperbare.

- **Niveau II** : réalisation des visites initiales (avant première affectation) et des examens périodiques et décisions d'aptitude ou restrictions subséquentes. Évaluation et aptitude à la reprise après accident du travail ou maladie professionnelle, ou après accident ou maladie non professionnelle avec arrêt de travail supérieur à 30 jours.

- **Niveau III** : expert de spécialité ou d'exercice requis dans certaines situations complexes d'aptitude ou de reprise, ou en cas de litige.

3/ Les médecins qui ne possèderaient pas la qualification nécessaire devraient adresser pour avis le salarié à un confrère la possédant.

ANNEXES

Annexe I : Exemple d'autoquestionnaire pour l'examen médical d'aptitude

Annexe IIa : Questionnaire d'estimation de la $V\cdot O_2\text{max}$ de Huet-Leger

Annexe IIb : Questionnaire d'activité physique de Ricci et Gagnon

Annexe III : Suivi et réactualisation des recommandations

Annexe IV : Liste des contributeurs

Annexe V : Groupe de lecture

Annexe VI : Liste des abréviations

Annexe I

EXEMPLE D'AUTOQUESTIONNAIRE POUR L'EXAMEN MÉDICAL D'APTITUDE À L'HYPERBARIE

CONFIDENTIEL MÉDICAL		
Identification du service		
Identification du salarié		
Avez-vous déjà pratiqué la plongée (en apnée ou en scaphandre) ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Avez-vous déjà travaillé en atmosphère comprimée ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Dans l'affirmative, depuis quand ?	
à quel niveau (métier, classe, mention) ?	
nombre de plongées / d'expositions hyperbares ?	
Si oui, avez-vous déjà été victime d'accidents ou d'incidents ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Dans l'affirmative, détaillez :		
Souffrez-vous ou avez-vous souffert :		
- du dos, de douleurs articulaires	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
- d'allergies (urticaire, rhume des foins, conjonctivites, etc.)	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
- de maladies neurologiques (épilepsie, convulsions, etc.)	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
- des oreilles, du nez ou des sinus	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Avez-vous eu :		
- un traumatisme crânien, une perte de connaissance non expliquée	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
- des problèmes respiratoires (maladies pulmonaires, asthme, etc.)	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
- des problèmes cardiaques	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
- des troubles de la vue	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
- des vertiges ou des troubles de l'équilibre	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
- des bourdonnements ou sifflements d'oreille	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
- des fractures, entorses, luxations	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Si oui, précisez la nature, le siège des ces traumatismes et la date :		
Suivez-vous un traitement ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Dans l'affirmative, lequel ?		
Avez-vous été déjà hospitalisé ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Dans l'affirmative, indiquez la date et la raison ? --/--/----	
Vous sentez-vous en bonne forme physique et psychique ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Pratiquez-vous régulièrement un sport ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Si oui, lequel ?		
Faites-vous plus de 30 minutes d'activité physique chaque jour ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Êtes-vous fumeur ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Si oui : combien de cigarettes par jour ?		
Avez-vous déjà consommé des produits stupéfiants ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Si oui : lesquels ?		
Avez-vous subi un ou des examens complémentaires (p. ex. radiographie, prise de sang, électrocardiogramme, etc.)	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Portez vous un appareil dentaire ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Portez vous des lentilles de contacts ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Des problèmes de santé se sont-ils déclarés chez vos parents, grands-parents, frères, sœurs, oncles, tantes ou enfants ?	<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
Fait à :	le :	Signature :

Annexe IIa

QUESTIONNAIRE D'ESTIMATION DE LA V'O₂max DE HUET-LEGER*

Mis en Forme par Xavier Devillard

Laboratoire de Physiologie de l'Exercice
Université Jean Monnet - CHU de Saint Etienne

* Validé par Trivel et al. Validity and reliability of the Huet questionnaire to assess maximal oxygen uptake. Can J Appl Physiol 2004, 29, 5: 623-38.

Reporter dans la colonne H ou F (selon le sexe) la valeur de la réponse

		H	F
Quel est votre âge (en années rondes) ?			
1/ Votre emploi vous demande-t-il un effort physique ?			
Intense (maçon, déménageur, etc.)	2		
Moyennement intense (livreur, facteur, etc.)	1		
Peu intense (vendeur, etc.)	0,5		
Sédentaire (travail de bureau)	0		
2/ Quel genre d'activité physique avez-vous l'habitude de pratiquer ?			
Qui fait transpirer et augmenter le rythme cardiaque (jogging, ski de fond, etc.)	2		
Qui fait augmenter le rythme respiratoire (badminton, tennis, etc.)	1		
Qui fait augmenter légèrement le rythme respiratoire (marche, etc.)	0,5		
De précision (bowling, tir, etc.)	0		
3/ Combien de fois par mois pratiquez-vous vos activités physiques préférées ?			
0 à 4 fois par mois	0		
5 à 8 fois par mois	1		
9 à 12 fois par mois	2		
13 fois et plus par mois	3		
4/ Quelle est la durée moyenne de chacune de vos séances d'activité physique ?			
Note : Si vous avez répondu "0" à la question 2, inscrire 0 à cette question.			
Moins de 15 minutes	0		
16 à 30 minutes	1		
31 à 45 minutes	2,5		
46 à 60 minutes	3,2		
61 minutes et plus	3,5		
5/ Habituellement, comment percevez-vous votre effort pendant vos séances d'activité physique ?			
Note : Si vous avez répondu "0" à la question 2, inscrire 0 à cette question.			
Très facile	0		
Facile	1,5		
Moyennement difficile	2,5		
Difficile	3		
Très difficile	3,5		
6/ Entre 10 ans et 16 ans, aviez-vous l'habitude de pratiquer des activités physiques ?			
Régulièrement (plus de 4 fois/sem)	2		
Peu (moins de 3 fois/sem)	1		
Très peu (1 fois/sem)	0		
7/ Combien de cigarettes fumez-vous ?			
0 à 2	0		
3 à 15	-1		
16 et plus	-2		

8/ A combien estimez-vous votre surplus de poids ?

0 à 1 Kg	1		
1,5 à 3 Kg	0		
3,5 à 5 Kg	-1		
Plus de 5 Kg	-2		

9/ Avez-vous pratiqué en compétition une activité sportive ?

Non	0		
Oui, compétition départementale	3		
Oui, compétition régionale	4		
Oui, compétition nationale ou internationale	5		

10/ Souffrez-vous d'une des pathologies suivantes tout en ayant l'autorisation de votre médecin de pratiquer une activité physique régulière et intense :

Diabète, hypertension, problème cardiaque et respiratoire, asthme, obésité, arthrite, etc...

Oui	-5		
Non	0		

$$X1 = \Sigma(Q1-Q8)$$

$$X2 = \Sigma(Q9-Q10)$$

$$\text{Sujets masculins : } V \cdot O_2 \text{max estimée} = 45,334 - (0,322 \cdot \text{âge}) + (1,729 - 0,018 \cdot \text{âge}) \cdot X1 + X2$$

$$\text{Sujets féminins : } V \cdot O_2 \text{max estimée} = 37,145 - (0,316 \cdot \text{âge}) + (0,951 - 0,004 \cdot \text{âge}) \cdot X1 + X2$$

Annexe IIb

Questionnaire d'activité physique de Ricci et Gagnon

Pour chaque question, cocher la réponse correspondante

Calculer en additionnant le nombre de points correspondant à la case cochée à chaque question	1	2	3	4	5	SCORE
--	----------	----------	----------	----------	----------	--------------

ACTIVITES QUOTIDIENNES

Quelle intensité d'activité physique votre travail requiert-il ?	Légère	Modéré	Moyenne	Intense	Très intense	
En dehors de votre travail régulier, combien d'heures consacrez-vous par semaine aux travaux légers : bricolage, jardinage, ménage, etc. ?	- de 2 h	3 à 4 h	5 à 6 h	7 à 9 h	10 h et plus	
Combien de minutes par jour consacrez-vous à la marche ?	- de 15	16 à 30	31 à 45	46 à 60	61 et plus	
Combien d'étages, en moyenne, montez-vous à pied chaque jour ?	- de 2	3 à 5	6 à 10	11 à 15	16 et plus	

Total A

ACTIVITES SPORTIVES ET RECREATIVES

Pratiquez-vous régulièrement une ou des activités sportives ou récréatives ?	Non				Oui	
A quelle fréquence pratiquez-vous l'ensemble de ces activités ?	1 à 2 /mois	1 /sem.	2 /sem.	3 /sem.	4 et + /sem.	
Combien de minutes consacrez-vous en moyenne à chaque séance d'activité physique ?	- de 15	16 à 30	31 à 45	46 à 60	61 et plus	
Habituellement, comment percevez-vous votre effort ? (Le chiffre 1 représente un effort très facile et 5 un effort difficile)	1	2	3	4	5	

Total B

Votre score : A + B

ANALYSE DE VOS RESULTATS

Moins de 16 : inactif(ve)

Entre 16 et 32 : actif(ve)

Plus de 32 : très actif(ve)

Annexe III

Suivi et réactualisation des recommandations

Bien que publiées après une large consultation de représentants des différentes catégories socio-professionnelles concernées (médecins du travail, employeurs, salariés), des difficultés pourraient apparaître pour l'application de certaines recommandations. Pour pouvoir les prendre en compte et y remédier dans la mesure du possible, il est nécessaire d'organiser un retour d'information à l'adresse d'un groupe d'experts chargé du suivi des recommandations.

Parallèlement, les connaissances scientifiques évoluent sans cesse, bien que de manière discontinue. Les recommandations, qui reflètent l'état des connaissances au moment de leur rédaction, deviennent donc obsolètes après un certain temps. C'est pourquoi il est nécessaire de vérifier à intervalles réguliers et suffisamment rapprochés l'adéquation entre l'apport des connaissances nouvelles et les recommandations, et de modifier ces dernières si nécessaire.

Le Conseil scientifique de MEDSUBHYP, aidé s'il l'estime nécessaire par des experts auxquels il peut faire appel, apparaît dans cette double optique comme la structure adéquate pour remplir ces deux missions.

Pour le suivi de l'application des recommandations, il sera créé sur le site www.medsubhyp.com un onglet « Recommandations de bonne pratique » à partir duquel les lecteurs ont librement accès aux documents complets, à des documents annexes tels que questionnaires, fiches emploi-nuisances, etc.), et peuvent s'adresser par courrier électronique au coordinateur du Conseil scientifique.

L'éventualité de la réactualisation des recommandations est étudiée chaque année par le Conseil scientifique en fonction des dernières données de la littérature. Il propose si nécessaire une mise à jour au Conseil d'administration lors de la réunion précédant l'assemblée générale annuelle. Le CA se prononce sur l'opportunité de la réactualisation. La ou les nouvelles recommandations ainsi élaborées ou modifiées sont soumises à la Société française de médecine du travail pour approbation, avant d'être publiées sur leurs sites internet respectifs.

Annexe IV

Liste des contributeurs

Groupe de travail

Nom Prénom	Qualité	Adresse
Barthélémy Alain abarthelemy13@orange.fr	Praticien hospitalier (er) Ancien président de la Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française	
Blatteau Jean-Éric je.blatteau@infonie.fr	Professeur agrégé du Val de Grâce Président de la Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française	Équipe Résidante de Recherche Subaquatique Opérationnelle (ERRSO) Institut de Recherches Biomédicales des Armées BP 20545 83041 Toulon Cedex 9
Borgnetta Marc marc.borgnetta@wanaddo.fr	Chef du service médical de l'Institut National de Plongée Professionnelle	INPP Entrée n° 3 port de la Pointe Rouge 13008 Marseille
Chalopin Jean-Marc jmchalopin@chu-besancon.fr	PU-PH en néphrologie	Néphrologie Université de Franche Comté et CHRU 25000 Besançon
Constantin Pascal pascalconstantin@free.fr	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée)	Unité fonctionnelle Hyperbarie Plongée Fédération anesthésie réanimation urgences hyperbarie bloc opératoire HIA du Val de Grâce 74 Bd de Port-Royal 75005 Paris
Coulanges Mathieu Mathieu.COULANGE@ap-hm.fr	Chef du service de Médecine Hyperbare et Subaquatique Médecin expert dans le domaine nautique, aquatique et subaquatique de la sécurité civile	Pôle RUSH (Réanimation Urgences SAMU Hyperbarie) CHU Sainte Marguerite 270 Bd de Ste Marguerite 13274 Marseille Cedex 9
Eusen Marie marie_eusen@yahoo.fr	Dermatologue	Service de dermatologie CHRU Morvan 2, avenue Foch 29609 Brest Cedex
Duvallet Alain duv6ala@club-internet.fr	Ancien responsable d'enseignement à l'Université Bobigny Paris XIII (DIU de médecine subaquatique et hyperbare)	Association PBERTH (Physiologie, Biologie, Évaluation, Recherche et Traitement en Hyperbarie)
Galland François Michel fm.galland@aist83.fr	Médecin du travail Ancien spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée)	AIST 83 Espace Athéna Impasse des Peupliers Quartier Quiez – BP 125 83192 Ollioules Cedex

Gunepin Mathieu mgunepin@yahoo.fr	Chirurgien dentiste	Équipe Résidante de Recherche Subaquatique Opérationnelle (ERRSO) Institut de Recherches Biomédicales des Armées BP 20545 83041 Toulon Cedex 9
Henckes Anne anne.henckes@chu-brest.fr	Praticien hospitalier	Unité de médecine hyperbare CHRU de Brest Hôpital La Cavale Blanche Boulevard Tanguy Prigent 29609 Brest Cedex
Hugon Michel hugonmichel@gmail.com	Chef du service de Médecine Hyperbare et Expertise Plongée – SMHEP Consultant national pour la médecine de la plongée dans les armées	HIA Sainte Anne BP 600 83800 Toulon Cedex 9
Lafay Vincent vincent.lafay@medecins-saint-antoine.fr	Cardiologue	Service de Médecine Hyperbare CHU Sainte Marguerite 270, Bd de Ste Marguerite 13274 Marseille Cedex 9
Letellier Pierre piletellier@wanadoo.fr	Professeur Émérite	Laboratoire Interfaces et Systèmes Electrochimiques (LISE, UPR 15) Université Pierre et Marie Curie Case 133 4 place Jussieu 75252 Paris Cedex 05
Lodde Brice brice.lodde@chu-brest.fr	Médecin du travail MCU-PH Représentant de la SFMT	Centre de Consultations de Pathologies Environnementales, Maritimes et Professionnelles CHRU Morvan 2 avenue Foch 29609 Brest Cedex
Méliet Jean-Louis jean-louis.meliet@orange.fr	Médecin du travail (er) Ancien spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) Président honoraire et coordinateur du conseil scientifique de la Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française	120 chemin de Bellevue 83136 Sainte Anastasie sur Issole
Meller Renaud rmeller@free.fr	Praticien hospitalier	Service D'ORL et chirurgie cervico-faciale CHU Nord Chemin des Bourrely 13915 Marseille Cedex 20
Michel Véronique veronique.michel@chu-bordeaux.fr	Neurologue et neurophysiologiste	Service d'explorations fonctionnelles du système nerveux CHU de Bordeaux Place Amélie Raba-Léon 33076 Bordeaux
Micoulaud Franchi Jean Arthur jarthur.micoulaud@gmail.com	Psychiatre, neurophysiologiste et médecin hyperbare	Service d'explorations fonctionnelles du système nerveux Clinique du sommeil CHU de Bordeaux Place Amélie Raba-Léon 33076 Bordeaux

Orsini Frédéric orsini.frederic@neuf.fr	Ophthalmologue	Clinique Monticelli 88 rue du Commandant Rolland 13008 Marseille
Pillet Bernard bernard.pillet@gmail.com	Praticien attaché au service d'hépatogastro-entérologie Association PBERTH (Physiologie, Biologie, Évaluation, Recherche et Traitement en Hyperbarie)	AP-HP Hôpital Saint-Louis
Poncin Valérie ev.poncin@wanadoo.fr	Praticien hospitalier Chef du service d'ophtalmologie	Centre hospitalier de Dax Côte d'Argent Bd Yves du Manoir 40100 Dax
Pontier Jean-Michel jm.pontier@free.fr	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée)	Service de Médecine Hyperbare et Expertise Plongée HIA Sainte Anne BP 600 83800 Toulon Cedex 09
Regnard Jacques jacques.regnard@univ-fcomte.fr	PU-PH en physiologie	Physiologie – Explorations fonctionnelles Université de Franche Comté et CHRU 25000 Besançon
Rostain Jean-Claude jean-claude.rostain@univ-amu.fr	Directeur de Recherche UMR – MD2, P2COE	Faculté de Médecine Nord CS80011 13344 Marseille Cedex 15
Schved Jean-François schvedjf@aol.com	PU-PH en hématologie	CHU Montpellier 80, avenue A. Fliche 34295 Montpellier Cedex 5
Thomas Emilie emilie.thomas23@gmail.com	Interne	Service de Médecine Hyperbare CHU Sainte Marguerite 270, Bd de Ste Marguerite 13274 Marseille Cedex 9
Wendling Jürg mail@wendling.ch	Médecin d'entreprise (Société suisse de médecine du travail) Spécialiste santé et sécurité en hyperbarie (Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail) Vice-président de l'EDTC Clinique de chirurgie de la main, Bienne (Suisse)	Seevorstadt 67 Faubourg du Lac CH-2502 Biel-Bienne Suisse

Annexe V

Groupe de lecture

Les membres du groupe de travail remercient vivement les personnes sollicitées pour faire partie du groupe de lecture qui ont apporté, par leur relecture attentive et leurs observations pertinentes, leur contribution à l'établissement de ces recommandations.

Nom	Prénom	Qualité
Au titre du Conseil d'Administration de MEDSUBHYP		
Delafosse	Bertrand	Praticien hospitalier CHU Lyon
Grandjean	Bruno	Praticien hospitalier Ancien président de la commission médicale nationale de la FFESSM Ancien président de MEDSUBHYP
Mathieu	Daniel	PU-PH (Réanimation) CHRU Lille Ancien président de MEDSUBHYP
Louge	Pierre	Spécialiste du service de santé des armées HIA Sainte Anne – Toulon
Souday	Vincent	Praticien hospitalier (Réanimation) CHU Angers
Au titre de la Société Française de Médecine du Travail		
Conso	Françoise	PU-PH (Médecine du travail) Paris
Dewitte	Jean-Dominique	PU-PH (Pneumologie) CHRU Brest
Au titre de personnalité médicale compétente		
Aublin	Blandine	Médecin du travail – Lyon
Barré	Philippe	Médecin du travail – Paris – Marseille
Beigbeder	Juliette	Médecin de prévention Université Aix Marseille
Brion	Richard	Professeur agrégé – cardiologue Villeurbanne
Esquirol	Yolande	PH (Médecine du travail) CHU Toulouse
Grousset	André	Médecin fédéral (FFESSM)
Lachaize	Anne	Médecin du travail – la Seyne / Mer
Longhi	Jean-Noël	Médecin Sapeurs Pompiers – SDIS Savoie
Magnan	Bernard	Médecin du travail – Marseille
Portal	Emma	Médecin du travail – Marseille
Rossi-Maitenaz	Catherine	Médecin de prévention CNRS-INSERM Marseille
Sauvage	Thierry	Médecin du travail Directeur du Service de Santé des Gens de Mer Paris
Vasseur	Arnauld	Médecin du travail Coordonnateur national de la médecine de prévention CNRS Paris

Au titre de la branche professionnelle : salariés

Coisy	Guy	Responsable du « Groupe sports » de la CGT (Fédération de l'éducation et de culture)
Couté	Alain	Professeur Emérite Association Française des Plongeurs Scientifiques Muséum National d'Histoire Naturelle – Paris
Lamarzelle	Patrice	Secrétaire général de l'Association Nationale des Moniteurs de Plongée Antibes
Le Quiniat	Frédéric	Infirmier hyperbariste – Délégué du personnel Hôpital Sainte Marguerite – Marseille
Poinard	Benoit	Syndicat SCAPHMOTION

Au titre de la branche professionnelle : employeurs

Albier	Eric	Directeur de l'Institut National de Plongée Professionnelle Marseille
Blanchard	Jean-Louis	Président de la Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-marins Marseille
Breton	Patricia	Référente plongée subaquatique Union des Centres de Plein Air – Paris
Doll	Thierry	Président de la Fédération Nationale des Entreprises des Activités Physiques de Loisirs Sisco
Greck	Sandra	MF1 – BEES1 Chargée de mission archéologie et xylologie DRASM – Marseille
Le Maître	Eric	Office Professionnel de Prévention du BTP Saint-Brieuc
Le Péchon	Jean Claude	Ingénieur sécurité hyperbare – Paris
Lelièvre	Jean	Président du Syndicat National des Entreprises de Travaux Immergés Sassenage
L'Hour	Michel	Directeur du Département de Recherches et d'Archéologie Scientifique Sous-marine – Marseille
Rubino	Luciana	Directrice de l'Association Interprofessionnelle de Santé au Travail du Var – Ollioules

Annexe VI

Liste des abréviations

ADAM	Algie et dysfonctionnement de l'appareil manducateur
ADD	Accident de désaturation
AFNOR	Association française de normalisation
AINS	Anti-inflammatoire non stéroïdien
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ATA	Atmosphère absolue
ATM	Articulation temporo-mandibulaire
AP-HM	Assistance publique – Hôpitaux de Marseille
BEES	Brevet d'état d'éducateur sportif
BPCO	Broncho-pneumopathie chronique obstructive
BPJEPS	Brevet professionnel de la jeunesse, de l'éducation populaire et du sport
BTP	Bâtiments et travaux publics
BW	Réaction de Bordet et Wassermann
CAH	Certificat d'aptitude à l'hyperbarie
CDT	<i>Carboxy deficient transferrin</i>
CE	Communauté européenne
CHRU	Centre hospitalier régional universitaire
CISME	Centre interservices de santé et de médecine du travail en entreprise
CKD-EPI (équation)	<i>Chronic kidney disease – Epidemiology collaboration</i>
CMR (agent)	Cancérogène, mutagène, toxique pour la reproduction
CP	Capacité pulmonaire
CS	Consultation d'un spécialiste
CV	Capacité vitale
DEJEPS	Diplôme d'État de la jeunesse, de l'éducation populaire et du sport
DEM	Débit expiratoire maximal
DESJEPS	Diplôme d'État supérieur de la jeunesse, de l'éducation populaire et du sport
DFG	Débit de filtration glomérulaire
DIU	Diplôme interuniversitaire
DMAC	<i>Diving medical advisory committee</i>
DPC	Développement professionnel continu
DU	Diplôme universitaire
ECBM	<i>European college of baromedicine</i>
ECG	Électrocardiogramme
ECHM	<i>European committee for hyperbaric medicine</i>
EDF	Électricité de France
EDTC	<i>European diving technological committee</i>
EEG	Électroencéphalogramme
EFR	Exploration fonctionnelle respiratoire
EPP	Évaluation des pratiques professionnelles
ETT	Entreprise de travail temporaire
EU	Entreprise utilisatrice
FFESSM	Fédération française d'études et de sports sous-marins
FOP	<i>Foramen ovale perméable</i>
GA	Grosses articulations
γGT	Gamma glutamyl transférase
GT	Groupe de travail
HAS	Haute autorité de santé

HDL	<i>High density lipoprotein</i>
HPN	Hyperpnée
HTA	Hypertension artérielle
IMC	Indice de masse corporelle
IMCA	<i>International marine contractors association</i>
INPP	Institut national de la plongée professionnelle
INRS	Institut national de recherche et de sécurité
IRM	Imagerie par résonance magnétique
JOEU	Journal officiel de l'Union européenne
JORF	Journal officiel de la République française
LDL	<i>Low density lipoprotein.</i>
MAPA	Mesure ambulatoire de la pression artérielle
MEDSUBHYP	Société de médecine et physiologie subaquatiques et hyperbares de langue française
MET	<i>Metabolic equivalent of the task</i> (1 MET représente la valeur du métabolisme basal).
MICI	Maladie inflammatoire chronique intestinale
MSA	Mutualité sociale agricole
NFS	Numération formule sanguine
OHB	Oxygénothérapie hyperbare
OND	Ostéonécrose dysbarique
OPI	Œdème pulmonaire d'immersion
ORL	Oto-rhino-laryngologie
PA	Pression artérielle
PAO ₂	Pression alvéolaire d'oxygène
PaO ₂	Pression artérielle d'oxygène
PiO ₂	Pression d'oxygène inhalée
RG	Régime général (de la sécurité sociale)
ROC	Réflexe oculo-cardiaque
RSI	Régime social des travailleurs indépendants
SA	Semaines d'aménorrhée
SFMT	Société française de médecine du travail
SLI	Stimulation lumineuse intermittente
SNHP	Syndrome nerveux des hautes pressions
SPUMS	<i>South Pacific undersea medical society</i>
SST	Service de santé au travail
SSTI	Service de santé au travail interentreprises
TC	Temps de coagulation
TLCO	Capacité de transfert pulmonaire pour le monoxyde de carbone
TDM	Tomodensitométrie
TMS	Trouble musculosquelettique
TS	Temps de saignement
UHMS	<i>Undersea and hyperbaric medical society</i>
UMR	Unité mixte de recherche
VEMS	Volume expiratoire maximum en une seconde
VLEP	Valeur limite d'exposition professionnelle
VMA	Vitesse maximale aérobie
V•O ₂ max	Consommation maximale d'oxygène
VR	Volume résiduel