

	
<p>Société de Physiologie et de Médecine Subaquatiques et Hyperbares de langue française</p>	<p>Société Française de Santé au Travail</p>

Recommandations de bonne pratique

PRISE EN CHARGE EN SANTÉ AU TRAVAIL DES TRAVAILLEURS EXPOSÉS AU RISQUE HYPERBARE

MISE À JOUR

2023

HISTORIQUE

	Validation CA Medsubhyp	Validation SFST
1 ^{ère} édition	03/06/2016	07/07/2016
Mise à jour du 31/03/2018	16/03/2018	13/11/2018
Révision 2023	22/11/2023	15/11/2023

© MEDSUBHYP 2016, 2018, 2023
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. 9
Chapitre I : Les dangers et les risques de l'exposition au milieu hyperbare	p. 10
I.- Les lois de la physique	p. 10
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. 13
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. 18
1) Les barotraumatismes	p. 22
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. 24
3) Les accidents toxiques	p. 25
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. 29
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. 36
6) Les effets au long cours de l'exposition à l'hyperbarie	p. 37
Chapitre II : État des pratiques en santé au travail en France	p. 45
I.- Évolution de l'aptitude médicale des travailleurs intervenant en milieu hyperbare à travers l'historique de la réglementation française.	p. 45
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. 49
A) Les médecins concernés	
B) Les niveaux de qualification médicale existants	
C) Les enquêtes nationales	
Chapitre III : État des pratiques à l'étranger	
I.- Les recommandations européennes	p. 56
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. 59
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. 69
I.- Les examens médicaux d'aptitude	p. 71
1) L'examen médical initial	
2) Périodicité des examens médicaux d'aptitude	
3) L'examen médical de reprise	
4) L'examen médical de mi-carrière	
5) La visite médicale de fin de carrière	
6) Contenu des examens médicaux	
II.- Les examens complémentaires recommandés	p. 78
1.- Le bilan paraclinique en pneumologie	p. 79
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. 99
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. 104
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. 120
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. 125
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. 131

- 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. 140**
- 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. 145**
- 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. 150**
- 9.1.- Rappel des risques
- 9.2.- Le diabète
- 9.3.- L'usage habituel de produits psychotropes

- 10.- Travail en milieu hyperbare et affections cutanées** **p. 156**
- 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. 159**
- 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. 168**
- 12.1.- Étude des risques de l'hyperbarie pour l'appareil digestif
- 12.2.- La démarche décisionnelle
- 12.3.- La décision d'aptitude

- 13.- Aptitude à l'hyperbarie et gynécologie** **p. 173**
- 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. 177
14.1.- Aptitude des jeunes travailleurs	
14.2.- Aptitude des travailleurs âgés	
15.- Visite médicale de fin de carrière	p. 183
15.1.- Le bilan des expositions	
15.2.- Le bilan de santé	
15.3.- Le suivi post-professionnel	
16.- Reprise des activités hyperbares après Covid-19	p. 186
17.- Tableaux récapitulatifs des examens cliniques et paracliniques recommandés pour la détermination de l'aptitude à l'exposition au risque hyperbare	p. 190
18.- Impact économique des recommandations	p. 194
18.1.- Examen médical initial	
18.2.- Examen périodique annuel	
18.3.- Examen périodique quinquennal	
18.4.- Tarif des examens complémentaires optionnels	
III.- Recommandations en fonction des postes et des conditions de travail	p. 197
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. 203
Annexe : Évaluation du nombre de salariés mention D	p. 208
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. 209
Liste des recommandations	p. 213
Annexes	p. 223
A. I : Exemple d'autoquestionnaire pour l'examen médical d'aptitude	p. 224
A. IIa : Questionnaire d'estimation de la V [•] O ₂ max de Huet-Leger	p. 225
A. IIb : Questionnaire d'activité physique de Ricci et Gagnon	p. 227
A. III : Fiche d'information à l'usage du médecin traitant pour la surveillance post-professionnelle des travailleurs ayant été exposés à des conditions hyperbares	p. 228

A. IV : Suivi et réactualisation des recommandations - Fiche RETEX	p. 230
A. V : Liste des contributeurs	p. 233
A. VI : Groupes de lecture	p. 238
A. VII : Groupes de travail de la conférence d'experts sur la TDMT (2021 - 2023)	p. 241
A. VIII : Liste des abréviations	p. 242

Liste des tableaux

Tableau I :	Gradation des recommandations	p. 7
Tableau II :	Pressions partielles maximales inhalées admissibles pour les gaz respiratoires	p. 15
Tableau III :	Risques spécifiques pour la santé lors des interventions hyperbares	p. 19-20
Tableau IV :	Facteurs favorisant des accidents de désaturation observés en plongée subaquatique.	p. 31
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. 36
Tableau VI :	Examens médicaux de la réglementation de 1974	p. 47
Tableau VII :	Examens médicaux de la réglementation de 1991	p. 48
Tableau VIII :	Différences de pratiques pour la visite initiale entre les centres hospitaliers et les médecins du travail	p. 51
Tableau IX :	Différences de pratique pour la visite annuelle entre les centres hospitaliers et les médecins du travail.	p. 52
Tableau X :	Examens systématiques pratiqués dans les différents pays interrogés.	p. 61
Tableau XI :	Résumé des réponses des spécialistes étrangers	p. 63-65
Tableau XII :	Niveaux de contrôle de l'asthme selon les recommandations de la SPLF	p. 87
Tableau XIII :	Stades de l'insuffisance rénale chronique en fonction du débit de filtration glomérulaire	p. 146
Tableau XIV :	Complications ou associations aiguës et chroniques connues dans le diabète et interactions potentielles avec le travail en conditions hyperbares.	p. 152
Tableau XV :	Traitements bucco-dentaires et restrictions temporaires de travail en milieu hyperbare.	p. 165
Tableau XVI :	Risques de l'hyperbarie en gastro-entérologie et aptitude	p. 169-170
Tableau XVII :	Tableau récapitulatif des expositions et éléments du bilan médical de fin de carrière	p. 184
Tableau XVIII :	Examens recommandés pour la détermination de l'aptitude initiale ou périodique à l'exposition hyperbare.	p. 191-192
Tableau XIX :	Examens recommandés pour la recherche des effets au long cours de l'exposition à l'hyperbarie	p. 193
Tableau XX :	Coût de l'examen médical initial au SST et hors SST	p. 194
Tableau XXI :	Coût de l'examen périodique annuel	p. 195
Tableau XXII :	Coût de l'examen quinquennal en fonction de l'âge du salarié	p. 195
Tableau XXIII :	Tarifs des examens complémentaires optionnels	p. 196
Tableau XXIV :	Risques d'accidents les plus probables en fonction de la mention et de la classe d'intervention	p. 202

INTRODUCTION

On entend par risque hyperbare l'ensemble des risques pour la santé ou la sécurité des travailleurs ou pour celles leurs collègues ou des tiers évoluant dans leur environnement immédiat de travail¹ 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, modifié par le décret n° 2020-1531 du 7 décembre 2020, introduit le risque hyperbare dans le code du travail (CdT, 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 secours et la sécurité (pompiers, police), les cultures marines et l'aquaculture et les interventions à caractère technique en sciences, pêche, aquaculture, médias et autres ;
- mention C : interventions sans immersion dans le domaine de la santé ;
- 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 travail²) 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 (art. D.4163-2),
- par le médecin du travail, par un suivi individuel renforcé comprenant un examen médical d'aptitude préalablement à l'affectation au poste de travail et dont la périodicité, qu'il détermine, ne peut être supérieure à quatre ans avec une visite intermédiaire à deux ans effectuée par un autre professionnel de santé (collaborateur médecin, interne en médecine du travail ou infirmier).

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. Bien que cette disposition figure dans le chapitre consacré à la surveillance individuelle

¹ Art. R.4624-22 du code du travail

² 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.

renforcée des agents des établissements de santé, on peut considérer qu'il s'agit d'un principe général.

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).

En outre, 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 précédentes (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), reprises sans modifications dans l'ouvrage *Physiologie et Médecine de la Plongée* (Broussolle et coll. 2006), ont été 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, Wilmshurst 1992). L'œdème pulmonaire d'immersion était à peine identifié et son étiologie était discutée (Wilmshurst 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 sages-mesures 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 au poste de travail 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. 184), 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. 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.4624-23 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° 2014-142R³.

Pour notre part, nous considérerons l'aptitude médicale comme l'absence des 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 ou se trouvent dans son environnement immédiat.

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 occupé.

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'exams 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 santé au travail sont les gardiennes de ces recommandations. Elles suivent en permanence l'évolution des connaissances chacune dans leur domaine et peuvent de ce fait en initier une révision. 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 IV du présent document (p. 216).

Références

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

³ 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

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.

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	Ancien chef du service de Médecine Hyperbare et Expertise Plongée – Hôpital Sainte Anne – Toulon Ancien 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.

Rédacteurs :

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 : recommandations

- | | |
|---|----------------------------------|
| 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 corrigée 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 première version (juillet 2016).

En novembre 2018, une deuxième édition a été publiée, tenant compte des modifications survenues dans le code du travail à la suite de la loi 3016-1088 du 8 août 2016 et de ses textes d'application.

Depuis cette date, des travaux ont fait l'objet de publications apportant des précisions sur l'œdème pulmonaire d'immersion, l'asthme, le pneumothorax.

Les valeurs de spirométrie sont dorénavant exprimées selon la norme de la Global Lung Initiative de 2012 (Z-score).

Révision 2021-2023

Une enquête a été menée en décembre 2020 par courrier électronique auprès des médecins, hors ministère de la défense, qui suivent des travailleurs hyperbares (médecins du travail et praticiens hospitaliers) pour recueillir leur retour d'expérience, quatre ans après la première publication des recommandations.

La révision prend en compte les réponses apportées à ces suggestions et les avis d'experts.

Par ailleurs, les dispositions issues :

- du décret n° 2015-629 du 18 juillet 2018 (exercice infirmier en pratique avancée) ;
- de la loi n° 2021-1018 du 2 août 2021 (prévention en santé au travail) ;
- du décret n° 2021-1065 du 9 août 2021 (visite médicale de départ à la retraite) ;
- du décret n° 2022-696 du 26 avril 2022 (surveillance médicale post-professionnelle) ;
- de la recommandation de la SFMT du 28 janvier 2022 concernant le rôle des SPST pour la traçabilité des expositions, le suivi post-exposition et le suivi post-professionnel.

ont été intégrées en ce qu'elles concernent la surveillance médicale des travailleurs hyperbares.

En outre, une recommandation concernant le dépistage des formations aériques intrathoracique a été introduite à la suite d'une consultation d'experts des différentes spécialités concernées.

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.

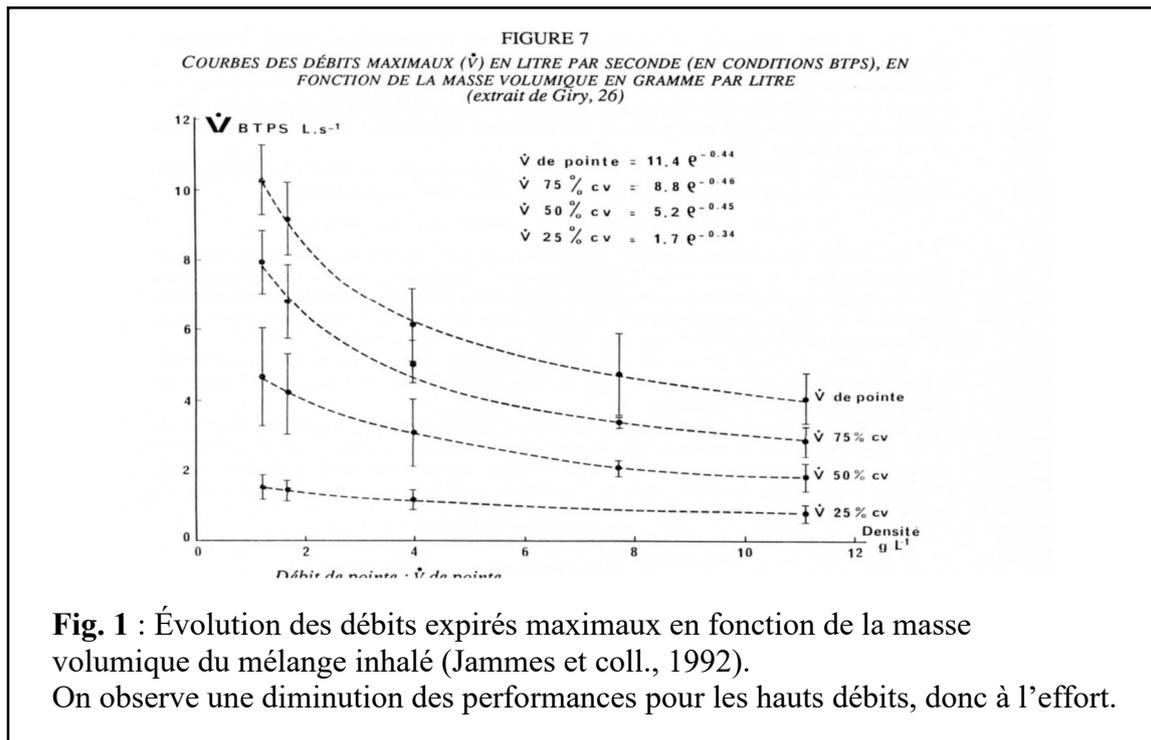


Fig. 1 : Évolution des débits expirés maximaux en fonction de la masse volumique du mélange inhalé (Jammes et coll., 1992).
On observe une diminution des performances pour les hauts débits, donc à l'effort.

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 PiO_2 .

Pour des expositions de longue durée (supérieures à 12 heures) à $PiO_2 > 500 \text{ hPa}$, 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 P_{iCO_2} élevée entraîne une élévation de la pression artérielle de CO_2 (P_{aCO_2}) avec hyperventilation, élévation des débits ventilatoires, dyspnée, hypoventilation alvéolaire. Les effets débutent pour $P_{iCO_2} = 20$ hPa ; une $P_{iCO_2} = 100$ 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 P_{iN_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 P_{iO_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-là¹.

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.

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,

¹ 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.

- 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 III 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 tomodensitométrie 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, héli 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

- **Toxicité pulmonaire**

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 Lambertsens, 1971). 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 1000 hPa (en surface),
- 15 heures à 1500 hPa ou 5 mètres de profondeur,
- 10 heures à 2000 hPa ou 10 mètres de profondeur,
- 6 heures à 3000 hPa 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.

Il a été montré qu'une exposition hyperoxique inférieure (en PiO_2 et durée) à celle indiquée par Clark et Lambertsens induit une inflammation bronchique progressive, antérieure à l'atteinte alvéolaire, tout en restant cliniquement asymptomatique (elle précède l'apparition de la gêne rétrosternale et de la toux). Ainsi, après 3 h sous $PiO_2 = 800$ hPa en normobarie, il a été observé le recrutement de polynucléaires dans la muqueuse bronchique, tandis que la réactivité bronchique non spécifique était augmentée (diminution majorée des débits expiratoires maximaux lors de la provocation par inhalation de méthacholine ou d'histamine) (Ferrer 1988, Regnard 1988).

Une méthode de prévention a été proposée par Bardin et Lambertsen (1970) reposant sur le calcul du nombre d'UPTD (*Unit of Pulmonary Toxicity Dose*) accumulées lors d'une exposition à l'hyperoxie :

$$nb (UPTD) = f(t, kP)$$

où t : temps d'exposition à l'oxygène, P : pression d'oxygène inhalé, k : coefficient établi d'après les courbes de réduction de la capacité vitale. En pratique, le nombre d'UPTD est donné par des tableaux ou des abaques (Wright 1972, Shilling et coll. 2013).

Wright a proposé comme limites acceptables :

- pour les plongées : $nb (UPTD) < 615$ (correspondant à une diminution de CV de 2 %)
- Pour l'OHB, $nb (UPTD) < 1425$ (diminution de CV de 10 %).

• **Toxicité oculaire**

Les modifications oculaires (cataracte) et de la vision (myopie) sont connues en oxygénothérapie hyperbare (revue : McMonnies 2015). En plongée de loisir, une myopie transitoire a été décrite après des plongées répétées avec recycleur sur des périodes de 8 à 18 jours (Butler et coll. 1999, Fock et coll. 2013).

b) 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. 15).

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 $50 \mu\text{bar}$) 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-myo-articulaires 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 hémipariés 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 piqûres 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 2013¹, 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 certaines études (absence de séquence IRM en FLAIR², 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

¹ <http://www.risquesprofessionnels.ameli.fr/statistiques-et-analyse/sinistralite-atmp/dossier/nos-statistiques-sur-les-maladies-professionnelles-par-ctn.html>

² *Fluid Attenuated Inversion Recovery*. C'est une séquence qui supprime le signal du liquide céphalo-rachidien. Les lésions de la substance blanche apparaissent hyperintenses.

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.

Dans une étude cas-témoins, 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.

Pour d'autres, 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 le doute persiste pour les SDG de haut grade pour Knauth et coll. (1997). De plus, plusieurs études récentes rétrospectives (essentiellement effectuées chez des plongeurs de loisir) mettent en évidence que le lien entre shunt droite-gauche et hypersignaux cérébraux n'est pas clairement établi et que des altérations neurocognitives peuvent exister indépendamment de shunts ou de présence de taches (Hemelryck et coll. 2013 ; Balestra et Gemonpré 2016b ; Balestra et Germonpré 2016a ; Berenji Ardestani et coll. 2019).

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 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 :

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.

Balestra C, Germonpré P (a). Correlation between Patent Foramen Ovale, Cerebral "Lesions" and Neuropsychometric Testing in Experienced Sports Divers: Does Diving Damage the Brain? *Front Psychol.* 2016; 7: 696.

Balestra C, Germonpre P. (b). Response: Commentary: Correlation between Patent Foramen Ovale, Cerebral "Lesions" and Neuropsychometric Testing in Experienced Sports Divers: Does Diving Damage the Brain? *Front Psychol* 2016; 7: 1586.

Bardin H, Lambertsen CJ. A Quantitative Method for Calculating Pulmonary Toxicity: Use of the "Unit Pulmonary Toxicity Dose" (UPTD). Institute For Environmental Medicine Report. University of Pennsylvania, Philadelphia. 1970.

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.

Berenji Ardestani S, Balestra C, Bouzinova EV, Loennechen O, Pedersen M. Evaluation of Divers' Neuropsychometric Effectiveness and High-Pressure Neurological Syndrome via Computerized Test Battery Package and Questionnaires in Operational Setting. *Front Physiol* 2019; 10: 1386.

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 Debaque 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).
- 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.
- Coulange 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. Coulange (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>
- Hemelryck W, Germonpré P, Papadopoulou V, Rozloznik M, Balestra C. Long term effects of recreational SCUBA diving on higher cognitive function. *Scand J Med Sci Sports*. 2014; 24(6): 928-34.
- 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 nosologique 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, Guillermin 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.

Wright WB. Use of the University of Pennsylvania Institute For Environmental Medicine Procedure for Calculation of Pulmonary Oxygen Toxicity. US Naval Experimental Diving Unit Report, Washington DC. 1972; 2-72.

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.

Shilling CW, Werts MF, Schandelmeier NR (eds). *The underwater handbook. A Guide to Physiology and Performance for the Engineer*. Springer Verlag. New York and London; 1976 - 2013. 912 p. Reprint March 29th 2012.

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 Ib	Mention D Ia	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) Les enquêtes nationales

a) L'enquête de 2013

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 (annexe A). 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 tomodensitométrie 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 existait en 2013 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 sont 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'accordaient 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_{IO₂} la réalisation d'un EEG paraissait 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, n'était que rarement pratiquée pour le diagnostic de l'ostéonécrose. La plupart des médecins l'avaient supprimée.

Le test de compression en chambre hyperbare, à une pression relative de 1,2 bar, était 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 conservaient ce test le faisaient 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'était plus pratiquée de manière systématique,
- les visites annuelles et quadriennales étaient conservées par tous.

b) L'enquête de 2020

En novembre et décembre 2020, une enquête de retour d'expérience a été menée auprès de 19 médecins de services hospitaliers de médecine hyperbare et de 15 services de santé au travail identifiés comme suivant des travailleurs hyperbares.

20 médecins du travail ont répondu, représentant 871 salariés mention A, 498 mentions B, 122 mentions C et 385 mentions D, auxquels il faut ajouter 158 mentions A, 393 mentions B, 21 mentions C et 20 mentions D suivis par les centres hyperbares hospitaliers.

19 médecins du travail sur 20 avaient connaissance des recommandations.

14 fois sur 20, l'examen médical était pratiqué au sein du SST et délégué 6 fois sur 20 à un service spécialisé. La même proportion est retrouvée pour la prise de décision médicale.

13 médecins du travail sur 20 déclaraient ressentir un besoin de formation initiale ou continue en la matière.

Les recommandations pour lesquelles des demandes d'amélioration (modification, précision ou complément) ont été formulées étaient les recommandations n^{os} 3 (périodicité des examens médicaux), 4 (examen médical de reprise), 6 (appareil respiratoire), 8 (cardiologie), 10 (examen visuel) et 22 (formation des médecins).

Annexe A

Fiche d'enquête (2013) : 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.*

	Examens périodiques			
	Examen initial	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				
Ophtalmologie				
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.

Annexe B

Enquête 2020 - Fiche de recueil du retour d'expérience

IDENTIFICATION DU MÉDECIN DU TRAVAIL, DU SERVICE DE SANTÉ AU TRAVAIL (SST) OU DU SERVICE HOSPITALIER

NOMBRE ET CATÉGORIES DES SALARIÉS SUIVIS ANNUELLEMENT :

Mention A :	
Mention B :	
Mention C :	
Mention D :	

AVEZ-VOUS CONNAISSANCE DES RECOMMANDATIONS MEDSUBHYP/SFMT ?

OUI

NON

LE BILAN D'APTITUDE

- est-il fait au sein de votre SST ?

- est-il délégué à un service spécialisé ?

LA DÉCISION D'APTITUDE / INAPTITUDE / AMÉNAGEMENT DU POSTE DE TRAVAIL (SELON LE CAS) :

- est-elle prise par vous-même ?

- ou vous reposez-vous sur l'avis d'un spécialiste ?

RESSENTEZ-VOUS, OU AVEZ-VOUS RESENTI UN BESOIN DE FORMATION DANS LE DOMAINE ?

OUI

NON

AVEZ-VOUS, POUR CHACUNE DES RECOMMANDATIONS FORMULÉES, DES OBSERVATIONS OU DES SUGGESTIONS CONCERNANT LES CRITÈRES SUIVANTS (texte libre) :

- pertinence
- applicabilité
- accessibilité des examens proposés
- difficultés liées à la prise de décision
- existence d'une information ou publication qui rendrait en tout ou partie la recommandation obsolète ou inadaptée.

Merci de vous référer au numéro que porte la recommandation en question dans le document complet.

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'EDTC¹ ont abouti en 2003 à un consensus, adopté par l'industrie offshore (représentée par l'IMCA² et son conseil médical le DMAC³) et dans plusieurs pays européens qui ne possédait pas de législation appropriée.

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'ECHM⁴ 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. Une version révisée et mise à jour de ces recommandations est sous presse pour 2023.

¹ 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.

² 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.

³ Diving Medical Advisory Committee, groupe d'experts qui sert de consultant à l'IMCA. Son domaine d'intérêt d'origine est la plongée *offshore*.

⁴ 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	-	-	-	-	-	✓	-	-	-
- getting copy of attest	✓	- 13) 14)	-	-	-	✓	-	-	✓
- accreditation of MEDs and quality control (CME)	✓	- 13) 14)	-	-	-	-	-	-	✓
- 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: fdti is same for all (except e, h) but ftda 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%20Educational%20and%20training%20standards%20(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.- LES 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 préalable à l'affectation au poste de travail tel que défini par le code du travail (art R.4624-24). 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.
- l'examen médical de reprise (ou de pré-reprise, selon les cas), effectué après accident ou maladie pour vérifier l'absence de séquelle ou les évaluer et 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 délivre un avis d'aptitude ou d'inaptitude conformément à l'art. R.4624-25 du code du travail 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.

La loi n° 2021-1018 du 2 août 2021 institue en outre pour tout travailleur, à partir du 1^{er} janvier 2023, une visite médicale de mi-carrière (ou à l'âge de 45 ans) dont l'objet est de faire le point sur l'état de santé de l'intéressé, d'évaluer les risques de désinsertion professionnelle et de le sensibiliser aux enjeux du vieillissement.

De plus, pour les travailleurs ayant bénéficié d'un suivi individuel renforcé, le décret n° 2021-1065 du 9 août 2021 fixe les dispositions réglementaires applicables à partir du 1^{er} octobre 2021 à la visite médicale de fin de carrière prévue par la loi n° 2018-217 du 29 mars 2018 (art. L.4624-2-1 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. En pratique, il ne relève du médecin du travail que lorsque le travailleur est dans l'entreprise. S'agissant d'un examen nécessaire avant même la formation, il doit être réalisé par un médecin compétent, libéral ou hospitalier, titulaire d'une formation de niveau II (voir troisième partie, page 209).

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'une évaluation annuelle de l'état de santé des travailleurs exposés au risque hyperbare est indispensable ; un examen médical approfondi doit de plus être régulièrement renouvelé.

En pratique, tenant compte des prescriptions du code de travail, le groupe d'experts formule les recommandations suivantes pour répondre aux objectifs de prévention :

- les travailleurs exposés à des conditions hyperbares doivent bénéficier d'un examen médical annuel ;
- tous les quatre ans, il sera pratiqué un examen approfondi reprenant l'exploration des grandes fonctions ;

L'examen d'embauche peut tenir lieu, selon sa position chronologique, de visite intermédiaire ou d'examen quadriennal approfondi.

L'examen initial et l'examen quadriennal approfondi devraient être pratiqués par un médecin ayant une formation de niveau II.

Les visites et examens intermédiaires peuvent être réalisés par un praticien de niveau I.

Lorsque le médecin du travail ne détient pas la formation adéquate, il est recommandé qu'il adresse l'intéressé pour avis à un médecin hyperbariste diplômé. Il en est de même pour les visites occasionnelles ou les visites de reprises.

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. Un examen périodique approfondi est recommandé tous les quatre ans.

Il est en outre recommandé que les visites et examens médicaux soient réalisés par des médecins ayant reçu la formation adéquate.

(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,
- après une absence d'au moins 60 jours pour accident ou maladie d'origine non professionnelle.

Toutefois, l'employeur est tenu d'informer le médecin du travail de tout arrêt de travail de moins de 30 jours consécutif à un accident du travail, de manière à lui permettre d'apprécier l'opportunité d'un examen de reprise (art. R.4624-33).

Il existe en effet 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, sans origine professionnelle, des voies aériennes par exemple, ou certains accidents de la vie courante peuvent laisser comme séquelle une altération sensible de la fonction ventilatoire. Des pathologies rénales ou cardiovasculaires peuvent également avoir des conséquences physiologiques sans pour autant nécessiter un arrêt de travail supérieur à 60 jours.

C'est la raison pour laquelle il apparaît légitime de recommander que tout salarié exposé au risque hyperbare bénéficie d'un examen ou avis médical avant de reprendre son poste. Lorsque les conditions du code du travail ne sont pas réunies, il est souhaitable que le médecin du travail soit consulté, éventuellement par téléphone, par le salarié, son médecin traitant ou l'employeur. Le contenu de l'entretien téléphonique sera porté au dossier médical de santé au travail.

4) L'EXAMEN MÉDICAL DE MI-CARRIÈRE

Comme le prévoit la loi, il est souhaitable que cet examen coïncide avec un examen médical programmé, idéalement avec l'examen périodique quinquennal approfondi évoqué plus haut, dans le cas où l'intéressé pratique toujours des activités professionnelles hyperbares.

En revanche, la délégation de cet examen à un infirmier en pratique avancée n'est pas souhaitable. En effet, cette délégation nécessiterait pour l'infirmier d'avoir bénéficié d'une formation spécifique reprenant le corpus de connaissances de la formation dispensée aux médecins, comme celle qui existe déjà dans les armées par exemple et dont le volume est de deux semaines. Or, les effectifs concernés et la fréquence prévisible de ces visites limitent la perspective de pouvoir former des infirmiers en pratique avancée pour les réaliser.

5) LA VISITE MÉDICALE DE FIN DE CARRIÈRE

Elle est destinée à faire le point des expositions subies et à transmettre le cas échéant au médecin indiqué par l'intéressé les éléments médicaux susceptibles de faire l'objet d'un suivi. Le chapitre 15, partie 2 des présentes recommandations détaille le contenu de la visite médicale de fin de carrière (p. 183).

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.

L'examen médical de mi-carrière devrait être effectué à l'occasion d'un examen périodique approfondi si l'intéressé pratique toujours des activités professionnelles hyperbares. Pour des raisons de gestion des ressources humaines des services de prévention et de santé au travail, la délégation de cet examen à un infirmier en pratique avancée n'apparaît pas appropriée.

La visite médicale de fin de carrière permet au médecin du travail de proposer s'il y a lieu un suivi au médecin indiqué par l'intéressé.

(Avis d'expert)

6) 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.

Toutefois, ce genre de document n'a qu'une faible valeur médicolegale et ne peut être opposé à l'intéressé. Cheung et coll. ont montré (2021) l'existence de plus de 15 % de difficultés de compréhension face à un questionnaire standardisé reconnu. Il est recommandé qu'il soit revu par le médecin en présence du sujet (Meehan et coll. 2010).

L'évaluation de la « forme physique » générale passe par la détermination de l'index de masse corporelle et de la capacité d'adaptation à l'effort. Celle-ci fait l'objet du chapitre « Évaluation de la capacité physique à l'effort », partie III, chapitre 3.7 (p. 198).

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.

Lorsque le médecin du travail est confronté à une difficulté, que ce soit dans le choix ou la réalisation d'un examen complémentaire, ou pour une décision d'aptitude, il lui est recommandé de rechercher l'avis d'un spécialiste ayant des compétences en médecine hyperbare, au sein des services de médecine hyperbare hospitaliers¹ ou des centres de pathologies professionnelles et environnementales des CHU.

¹ La liste des centres hyperbares hospitaliers de France métropolitaine et d'outre-mer et des médecins responsables figure sur le site www.medsubhyp.fr.

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 et une évaluation de sa condition physique générale et de son adaptation à l'effort. Des examens complémentaires peuvent être prescrits selon les présentes recommandations.

Le recours à un spécialiste compétent en médecine hyperbare est recommandé en cas de difficulté.

(Avis d'experts)

Références

Cheung TK, Meintjes WAJ. The usefulness of the RSTC medical questionnaire in pre-participation health risk assessment of recreational scuba divers in Hong Kong. *Diving Hyperb Med.* 2021; 51: 173–81.

Meehan CA, Bennett MH. Medical assessment of fitness to dive – comparing a questionnaire and a medical interview – based approach. *Diving Hyperb Med.* 2010; 40: 119–24.

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).

La mise à disposition des cabinets médicaux d'appareils de mesure simples des paramètres de base de la fonction ventilatoire et de nouvelles définitions des valeurs normales, les progrès de l'imagerie thoracique et de nouvelles recommandations pour la prise en charge et le suivi des patients asthmatiques rendent nécessaire une réactualisation de ces recommandations.

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 aiguë 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.

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 la recherche 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 décoller 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. 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, que ce soit par la persistance d'un FOP ou par malformation artério-veineuse pulmonaire dans la

maladie de Rendu-Osler¹ (McDonald 2021). Toutefois, comme exposé dans le chapitre cardiologie (p. 104 et suiv.), la recherche systématique du FOP n'est pas justifiée (Gempp et coll. 2017).

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 dépense métabolique, donc 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).

La radiographie thoracique est l'examen historique de l'exploration morpho-pathologique thoracique. En 2009, la HAS précisait que 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 (Conseil supérieur d'hygiène publique de France). 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. Ses capacités d'analyse limitées des structures interstitielles, bronchiques et médiastinales tendent à marginaliser cet examen et le rendent impropre à détecter les pathologies ou anomalies qui rendent un sujet inapte aux activités hyperbares (Wingelaar et coll. 2020).

La tomodensitométrie thoracique (TDMT) s'est imposée comme l'examen d'imagerie de référence du parenchyme pulmonaire, de ses structures bronchiques et interstitielles (Grillet 2020). Le développement de technologies de reconstruction numérique a permis, en amplifiant artificiellement le signal tout en réduisant drastiquement les artéfacts de développer l'imagerie à basse dose (Rampinelli et coll. 2012). La revue de Taekker et coll. (2021) montre que les performances de cette technique, outre une irradiation moindre, permettent de la recommander dans la recherche des contre-indications à l'hyperbarie.

La tomodensitométrie thoracique à basse dose (TDMT BD) est donc proposée 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). La TDMT ultra basse dose (TDMT UBD) peut, lorsqu'elle est accessible, rendre le même service.

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 éventuellement complétée par 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

¹ Voir le chapitre : Examens paracliniques en cardiologie. La maladie de Rendu-Osler est une contre-indication formelle à l'hyperbarie.

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).

Sans point d'appel, on peut remplacer l'EFR complète par l'enregistrement d'une boucle débit-volume comme méthode exploratoire.

Le test de provocation bronchique, non spécifique, n'est pas à réaliser de façon systématique et doit être discuté 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.

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 4 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.

Les infections pulmonaires récidivantes, sont définies comme la survenue d'au moins deux pneumonies au cours d'une année ou au moins trois épisodes d'atteinte infectieuse respiratoire basse au cours de la vie, avec entre ceux-ci un nettoyage des images radiologiques (Brouard et coll. 2021). Elles peuvent également laisser des séquelles fonctionnelles respiratoires.

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.

L'aptitude aux activités hyperbares après un épisode de Covid-19 fait l'objet d'un chapitre particulier (p. 185).

b) Maladies respiratoires chroniques

Les bronchopneumopathies chroniques obstructives (BPCO)

En France, elles concernent 7,5 % des personnes de plus de 40 ans et presque autant les femmes que les hommes, et sont fréquemment associées à plusieurs comorbidités (Inserm 2015). Elles sont caractérisées par un trouble ventilatoire obstructif (qui peut être objectivé sur une boucle débit-volume) et peuvent s'accompagner d'une distension caractérisée par l'augmentation du rapport VR/CPT et d'anomalies morphologiques emphysémateuses (GOLD 2020). L'asthme peut être associé à la BPCO (formes recouvrantes) avec réactivité bronchique augmentée. Les dilatations des bronches s'accompagnent fréquemment d'un trouble ventilatoire obstructif qui peut constituer une contre-indication à la plongée selon sa sévérité.

Même cliniquement asymptomatique, la BPCO s'accompagne 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.

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).

Les dilatations des bronches

Les dilatations des bronches (DDB) ou bronchectasies correspondent à des anomalies hypertrophiques localisées ou généralisées du calibre du tractus bronchique. Elles peuvent se présenter sous des formes cylindriques, fusiformes, variqueuses ou kystiques dont les origines diverses sont parfois intriquées. Les étiologies génétiques comme la mucoviscidose, le déficit en alpha-1-antitrypsine, les étiologies post-infectieuses comme faisant suite à une coqueluche, une tuberculose ou les séquelles de corps étrangers intra bronchiques dans l'enfance sont sans doute les plus connues (Bush et Floto 2019).

Les symptômes comme la dyspnée, la bronchorrhée (parfois extrêmement profuse pour les DDB sévères) et la toux sont les plus fréquents. Cependant, en cas de petits foyers localisés et hors surinfection, les personnes atteintes peuvent être totalement asymptomatiques (Hill et coll. 2017).

Le diagnostic repose sur les antécédents et la clinique, l'EFR et l'imagerie (TDM thoracique).

Deux questions relatives au milieu de travail hyperbare se posent chez les individus qui en présentent :

- les DDB ont-elles un retentissement sur la fonction respiratoire ?
- en cas de DDB altérant la fonction respiratoire, y-a-t-il une contre-indication médicale à émettre chez un travailleur hyperbare ?

À l'instar des BPCO, les DDB s'accompagnent en normobarie, de distension intra-thoracique et d'une moindre tolérance à l'exercice (Soumagne et coll. 2016). L'hyperbarie, notamment en immersion, majorant le travail respiratoire et facilitant la bronchoconstriction, les patients atteints de DDB sont susceptibles non seulement d'avoir des difficultés à ventiler mais aussi à éliminer les gaz inertes.

Outre les anomalies morphologiques que l'on constate dans ces atteintes respiratoires, les foyers infectieux qu'elles constituent et les troubles ventilatoires obstructifs qu'elles peuvent entraîner (avec les risques de surpression pulmonaire que cela comporte), vont contre-indiquer la grande majorité des travaux hyperbares. De plus, si les conditions d'exposition sont réunies, l'effet Lorrain-Smith va aggraver l'état de la muqueuse bronchique, déjà pathologique au niveau des zones atteintes (Jammes et coll. 2006, Held et Pendergast. 2013).

Aussi, seuls les patients atteints de DDB localisées, avec peu ou pas de décompensation infectieuse (entraînant alors une contre-indication temporaire), asymptomatiques, avec des EFR normales et des épreuves d'effort ne montrant pas de désaturation, pourront faire l'objet d'une aptitude médicale restrictive aux travaux hyperbares (à savoir des pressions relatives d'intervention modérées et des gaz respirés sans suroxygénation excessive). Dans les autres cas, il s'agira de contre-indications définitives à une exposition hyperbare professionnelle.

Concernant les travailleurs aptes atteints, la surveillance très régulière de leurs anomalies morphologiques et de leur EFR est, de surcroît, à prévoir.

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 devra donc rechercher par l'interrogatoire, la 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 (Haldar 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).

Après la révision récente des critères d'évaluation de l'asthme (Raheison et coll. 2016, GINA 2019), seuls les sujets porteurs d'un asthme contrôlé (tableau XII) confirmé par le pneumologue traitant peuvent éventuellement être déclarés aptes en fonction du traitement nécessaire au contrôle de la maladie. Un traitement de niveau 1 ou 2 (GINA 2019) semble compatible, en excluant les antagonistes des récepteurs des leucotriènes (Montelukast), connus pour leurs effets secondaires psychiatriques (ANSM 2020). La mesure de la fonction respiratoire à l'aide d'une courbe débit/volume avec étude de la réversibilité est dans ces cas recommandée une à trois fois par an : un test de réversibilité positif peut mettre en évidence un contrôle incomplet. L'épreuve de provocation à la recherche d'une hyperréactivité bronchique n'a pas d'intérêt.

Il n'y a pas de données permettant de dire s'il existe un risque pour les sujets suivant un traitement de niveau 3. Un traitement lourd au palier 5 de GINA indique un asthme dont la sévérité est *a priori* incompatible avec les activités hyperbares.

Critères d'évaluation sur les 4 dernières semaines	Asthme contrôlé	Asthme partiellement contrôlé	Asthme non contrôlé
Symptômes* diurnes	0 ou ≤ 2 / sem	> 2 / sem	Au moins 3 critères d'asthme partiellement contrôlé
Symptômes* ou réveils nocturnes	0	> 1 / sem	
Fréquence du traitement de secours	0 ou ≤ 2 / sem	> 2 / sem	
Retentissement sur les activités	0	Au moins une fois	
Exacerbations	0	Au moins une exacerbation	
VEMS ou DEP	Normal	< 80 % valeur théorique ou de la meilleure valeur personnelle si connu.	

* respiration sifflante, respiration superficielle, toux, oppression thoracique.

Tableau XII : Niveaux de contrôle de l'asthme selon les recommandations de la SPLF (d'après Raheison et coll. 2016).

Les formes recouvrantes

Des débats nosographiques au niveau international font émerger une maladie obstructive respiratoire à type de chevauchement entre l'asthme et les BPCO (emphysème pulmonaire, bronchite chronique obstructive...) : en langue anglaise, les ACO ou encore ACOS pour *Asthma-COPD overlap syndrom* (Park et coll. 2019). Certains auteurs avancent qu'il ne s'agit pas de syndromes mais de nouvelles entités nosologiques. Ces ACO sont caractérisés par des atteintes où l'on retrouve des syndromes obstructifs spirométriques persistants chez des patients ayant plusieurs manifestations généralement associées à l'asthme et plusieurs manifestations généralement associées aux BPCO.

L'atteinte obstructive pouvant être importante et difficilement endiguée par les thérapeutiques usuelles, ces pathologies constituent des contre-indications aux activités hyperbares.

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. Une épreuve d'effort avec mesure de la SaO₂ peut être indiquée. 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 considérés 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 Neumann (1999), Wendling et coll. (2004) et de 8 à 74 % selon Walker et coll. (2018). 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, de l'absence de kystes aériques et d'une parfaite cicatrisation attestée par une TDMT BD et même UBD (Taekker et coll. 2021).

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

a) Les explorations fonctionnelles respiratoires

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.

Les résultats des mesures des volumes et débits pulmonaires sont encore parfois exprimés selon les normes CECA 1993 (Quanjer et coll. 1993). Dans ce cadre, peuvent être considérées comme pathologiques les valeurs suivantes :

- 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.

Les normes actuelles sont celles de la *Global Lung Initiative* (Quanjer et coll. 2012). Pour chaque paramètre, le critère à prendre en compte est le Z-score qui indique l'écart à la moyenne quantifié en écart-type auquel se trouve la mesure, pour une population de référence de même ethnie appariée en sexe, âge et taille. Pour la spirométrie, le compte-rendu indique la limite inférieure de la normale (LIN), le Z-score et le pourcentage de la valeur de référence (Culver et coll. 2017).

Pour Wingelaar et coll. (2018) :

- Si Z-score > -1,64 et < 1,64 : les mesures sont dans les valeurs de 95 % de la population de référence considérée comme normale ; il n'y a pas de contre-indication.
- Si Z-score < -2 ou > 2 : (inférieur de plus de deux écart-types à la moyenne) : les mesures sont hors de l'intervalle [2 – 98 %] de la population de référence considérée comme normale : il existe une contre-indication aux activités hyperbares ;
- Si Z-score compris entre $\pm 1,64$ et ± 2 : les mesures sont dans l'intervalle $\pm [98 - 95 \%$] de la population de référence considérée comme normale : des investigations complémentaires sont nécessaires (fig. 1).

L'absence de recul dans l'application de ces propositions ne permet pas de les remettre en cause.

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 4 ans.

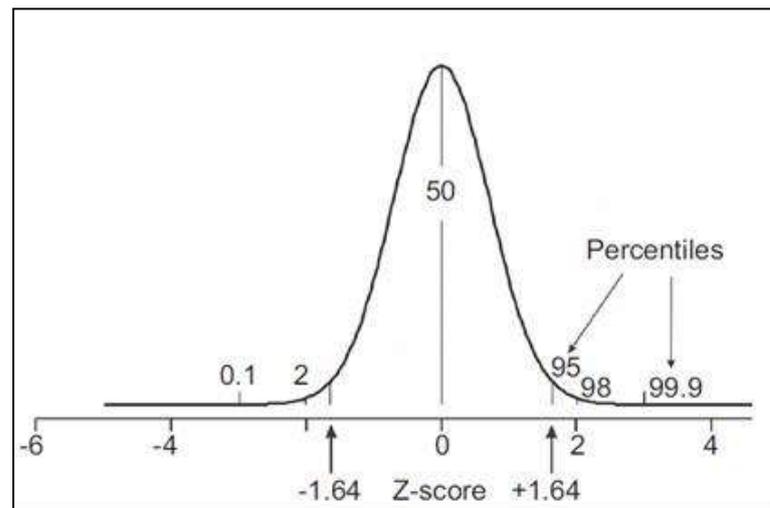


Figure 1 : Représentation de la distribution d'un paramètre de l'EFR au sein d'une population de référence (d'après Quanjer *et al.* 2012).

Ordonnées : effectifs de la population ; abscisses : Z-score exprimé en écart-type.

b) Les examens radiologiques

La radiographie thoracique standard n'a pas d'intérêt dans la détermination de l'aptitude aux activités hyperbares (Wingelaar *et al.* 2021). Si l'anamnèse ou l'examen clinique montrent la nécessité d'un examen morphologique, l'imagerie à privilégier en première intention est la tomodensitométrie basse dose (Grillet 2020).

La TDMT BD permet la détection de formations aériques intrathoraciques (FAI) : bulles, kystes pulmonaires ou bronchectasies, non décelables cliniquement et susceptibles de favoriser la survenue d'un barotraumatisme pulmonaire grave et parfois mortel. Toutefois, sa pratique systématique en visite initiale pour la recherche de ces lésions pourrait être à l'origine du rejet d'un nombre important de candidats en raison de la proportion de dystrophies bulleuses dans la population générale, allant selon les auteurs de 3,25 % chez le sujet jeune (Bonnemaison et coll. 2022) à environ 33 % après autopsie pour de Bakker et coll. (2020) tous âges confondus et 52 % après 40 ans. Elle pourrait également être source d'une irradiation inutile à une grande partie de la population des travailleurs hyperbares et des candidats à ces postes.

Cette question a été soumise à un comité d'experts des différentes sociétés savantes concernées (Société de pneumologie de langue française, société d'imagerie thoracique, société française de santé au travail, société de physiologie et de médecine subaquatique et hyperbare de langue française) selon une méthode GRADE adaptée. Les propositions des experts n'ont pas fait l'objet d'un consensus et ont été présentées aux suffrages d'un groupe d'experts hospitaliers en médecine hyperbare. Il en résulte que la pratique d'une TDMT systématique à l'entrée dans la profession n'a pas été retenue, principalement en raison du manque de données concernant l'évaluation du risque de survenue d'un barotraumatisme pulmonaire en présence d'une FAI.

En revanche, la pratique d'une TDMT basse dose ou ultra basse dose à la recherche, sur indications, de FAI a fait l'objet d'une recommandation forte (80 % d'opinions favorables).

Les indications retenues reposent sur les arguments suivants issus de la littérature récente :

- Pour Amjadi et coll. (2007) : l'association IMC < 20 kg/m² et tabac augmente la prévalence des bulles thoraciques de 31,6 % vs IMC > 22, fumeur ou non ;
 - les sujets avec FAI ont un IMC plus bas (20,7 vs 22,7) ;
 - chez les IMC bas (< 20), la prévalence des FAI est supérieure chez les fumeurs (31,6 % contre 3,8 % chez les non fumeurs).
- La HAS (2015) rapporte que 85 % des BPCO surviennent chez des fumeurs ou anciens fumeurs pour des consommations > 20 PA chez l'homme et > 15 PA chez la femme (bien que cette notion de paquets-années soit par ailleurs contestée).
- de Almeida et coll. (2015) trouvent 3 barotraumatismes spontanés et 2 sujets avec images de bulles au scanner chez 22 usagers de cocaïne présentant des pathologies pulmonaires, soit 23 %.
- Pour Underner et coll. (2019), la cocaïne est à l'origine de BT thoraciques : pneumothorax, pneumomédiastin, emphysème sous-cutané, emphysème bulleux. Les complications pulmonaires liées à l'usage de la cocaïne sont fréquentes avec des aspects tomodensitométriques nombreux et non spécifiques : opacités en verre dépoli, opacités alvéolaires, signe du halo, épaississement des septa, emphysème paraseptal, nodules centrolobulaires, épanchements gazeux, emphysème, infarctus pulmonaires, OAP cardiogénique, ... Tous ces éléments prèchent en faveur d'une exploration par TDM thoracique des sujets identifiés comme usagers de cocaïne.

Il n'existe cependant pas d'étude établissant la corrélation entre la consommation cumulative de cannabis ou de cocaïne et le risque de pneumothorax. Seule la notion de consommation régulière de cannabis est reconnue (> 52 occurrences en 12 mois, pour Pradère et coll. 2022). Il est toutefois de règle de considérer que la multi-exposition à plusieurs facteurs de risque augmente le risque global de manière au moins égale à la somme des risques liés à chaque toxique. Le tabac est réputé multiplier les risques de pathologie broncho-pulmonaire (il multiplie par 10 le risque de cancer broncho-pulmonaire chez les sujets exposés à l'amiante, par exemple : Capdeville et coll. 2022).

Au total, la tomodensitométrie thoracique à basse dose est indiquée lors d'un examen médical initial, d'embauche ou périodique, chez tous les travailleurs hyperbares et les candidats à un emploi exposant à des conditions hyperbares, lorsque l'anamnèse et l'examen médical révèlent l'un des éléments suivants :

- des antécédents évoquant un pneumothorax ou un traumatisme thoracique, une pneumopathie infectieuse récente ou des infections pulmonaires récidivantes,
- une dyspnée ou une douleur thoracique inexplicée,
- un examen clinique pulmonaire anormal,
- un IMC < 20 kg/m² associé à un tabagisme actif ou passé > 20 paquets-années chez l'homme ou 15 chez la femme, ou à une consommation régulière active ou passée de cannabis ou de cocaïne,
- des résultats d'exploration fonctionnelle (en spirométrie simple ou en pléthysmographie) au-delà de la limite inférieure de la normale (Z-score < -1,64 selon les normes GLI).

L'usage du tabac et l'avancement en âge étant des facteurs reconnus d'augmentation de la prévalence de l'emphysème et des FAI, il peut être indiqué pratiquer cette recherche chez les sujets de plus de 40 ans.

La TDMT ultra basse dose délivre une irradiation à peu près équivalente à celle d'une radiographie thoracique ($0,22 \pm 0,05$ mSv). Elle donne des résultats satisfaisants en coupes fines (≤ 1 mm) et reconstruction itérative chez les sujets d'IMC < 25 kg/m². Elle peut être utilisée dans cette indication en fonction de son accessibilité.

Conduite à tenir en fonction des images révélées par la TDMT

Les différentes images que l'on peut recueillir dans ces conditions se répartissent en images aériques et non aériques.

Les images non aériques sont constituées par les différentes catégories de nodules. Leur prévalence va de 3 à 51 % selon les études et la population étudiée (Bonnemaison et coll. 2022), avec une moyenne globale de l'ordre de 20 %. Leur diagnostic étiologique et leur suivi dans le temps relèvent du pneumologue. L'inaptitude est à envisager dans le cas d'un nodule évolutif.

On décrit comme images aériques les bulles, les blebs et les kystes.

Les **bulles** sont des formations aériques à paroi très fine (< 1 mm) et de taille > 1 cm. Les principales étiologies sont :

- la bulle d'emphysème « idiopathique », volontiers chez le sujet jeune non fumeur,
- la bulle liée à un déficit en alpha-1 antitrypsine,
- la bulle d'emphysème dans le cadre d'une BPCO.

Les **blebs** sont des formations aériques à paroi très fine (< 1 mm), de petite taille (< 1 cm), de localisation sous- ou intrapleurale, souvent apicale. Elles se rattachent aux bulles.

Les **kystes** sont des formations aériques à paroi fine ($< 2-4$ mm), le plus souvent en rapport avec une pathologie. Il faut y ajouter les kystes bronchogéniques ou malformations congénitales kystiques adénomatoïdes. Plutôt de grande taille, ils sont considérés comme à risque élevé de complications barotraumatiques (Weeninck et coll. 2012). Les pneumatocèles résultent d'une petite effraction ou nécrose bronchiolaire survenant le plus souvent à l'occasion d'un épisode infectieux bactérien avec embolies septiques ou gangrène pulmonaire initiale. Des pneumatocèles ont été décrits au cours ou au décours des pneumopathies à SARS-CoV2 (Hampson et coll. 2021, Jamal et coll. 2022).

Les kystes sont considérés comme des contre-indications aux variations de pression rencontrées en aéronautique et en hyperbarie.

Les bulles d'emphysème doivent être mises en perspective avec les résultats de l'EFR. Une altération des débits expiratoires ou une diminution de la DLCO affirment la maladie et peuvent contre-indiquer, en fonction de la mention et du poste de travail, les activités hyperbares. Les bulles objectivées hors de tout contexte pathologique (cas des fumeurs), doivent faire l'objet du suivi annuel de leur évolution (Germonpré et coll. 2008).

Recommandation 6.1

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 quatre ans au minimum.

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 du 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)

L'asthme d'effort et l'asthme au froid sont incompatibles avec la plongée subaquatique. Les sujets porteurs d'un asthme contrôlé par un traitement de niveau 1 ou 2 (GINA 2019) peuvent être déclarés apte sous réserve d'une surveillance régulière et rapprochée. (3C)

En raison des risques élevés de récurrence, les antécédents de pneumothorax spontanés, même traités chirurgicalement, doivent être considérés comme des motifs d'inaptitude. Les antécédents de pneumothorax traumatiques ou iatrogène, ou de chirurgie thoracique devront faire l'objet d'une exploration approfondie par pléthysmographie et TDM basse ou ultra basse dose. La décision devra prendre en compte l'avis du pneumologue ou chirurgien traitant. (3C)

Recommandation 6.2

La pratique d'une tomodensitométrie thoracique basse dose à la recherche de formations aériques intrathoraciques **est fortement recommandée** lors d'un examen médical initial, d'embauche ou périodique, chez tous les travailleurs hyperbares et les candidats à un emploi exposant à des conditions hyperbares, lorsque l'anamnèse et l'examen médical révèlent l'un des éléments suivants :

- des antécédents évoquant un pneumothorax ou un traumatisme thoracique, une pneumopathie infectieuse récente ou des infections pulmonaires récurrentes,
- une dyspnée ou une douleur thoracique inexplicée,
- un examen clinique pulmonaire anormal,
- un IMC < 20 kg/m² associé à un tabagisme actif ou passé > 20 paquets-années chez l'homme ou 15 chez la femme, ou à une consommation régulière active ou passée (> 52 occurrences en 12 mois consécutifs) de cannabis ou de cocaïne,
- des résultats d'exploration fonctionnelle (en spirométrie simple ou en pléthysmographie) au-delà de la limite inférieure de la normale (Z-score < -1,64 selon les normes GLI).

Chaque fois que cela est possible, le recours à la TDMT ultra basse dose est recommandé.

La radiographie thoracique conventionnelle n'a pas d'indication dans cette recherche.

(3C)

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.
- Amjadi K, Alvarez GG, Vanderhelst E, Velkeniers B, Lam M, Noppen M. The prevalence of blebs or bullae among young healthy adults: a thoracoscopic investigation. *Chest* 2007;132(4):1140-5.
- 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.
- Bonnemaison B, Castagna O, de Maistre S, Blatteau JE. Chest CT scan for the screening of air anomalies at risk of pulmonary barotrauma for the initial medical assessment of fitness to dive in a military population. *Front Physiol.* 2022 Oct 7;13:1005698.
- 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.
- Brouard J, Vallet C, Marie J, Faucon C. Infection pulmonaire récidivante. *EMC Pédiatrie-Maladies infectieuses* (2021). [4-064-A-20] - Doi : 10.1016/S1637-5017(21)52253-4.
- Bush A, Floto RA. [Pathophysiology, causes and genetics of paediatric and adult bronchiectasis.](#) *Respirology.* 2019 Nov;24(11):1053-1062. doi: 10.1111/resp.13509. Epub 2019 Feb 25.
- Chim H, Soo KH, Low E, Chan G. Severe acute respiratory syndrome in a naval diver. *Mil Med* 2006, 171, 6: 491-3.
- Capdeville L, Blanchemain JF, Brochard P, Clément-Farhoud C, Lambert P. Amiante et polyexpositions. DREETS Nouvelle-Aquitaine, 2022. https://auvergne-rhone-alpes.dreets.gouv.fr/sites/auvergne-rhone-alpes.dreets.gouv.fr/IMG/pdf/02_amiante_et_polyexpositions.pdf
- 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.
- Culver BH, Graham BL, Coates AL, *et al.* Recommendations for a Standardized Pulmonary Function Report. An Official American Thoracic Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med.* 2017; 196: 1463-72.

de Almeida RR, Zanetti G, Souza AS Jr, et al. Cocaine-induced pulmonary changes: HRCT findings. *J Bras Pneumol* 2015;41(4):323-30.

de Bakker HM, Tijsterman M, de Bakker-Teunissen OJG, Soerdjbalie-Maikoe V, van Hulst RA, de Bakker BS. Prevalence of Pulmonary Bullae and Blebs in Postmortem CT Imaging With Potential Implications for Diving Medicine. *Chest*. 2020 Apr;157(4):916-923. doi: 10.1016/j.chest.2019.11.008. Epub 2019 Nov 22.

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.

Gempp E, Lyard M, Louge P. Reliability of right-to-left shunt screening in the prevention of scuba diving related-decompression sickness. *Int J Cardiol*. 2017; (248): 155-158.

Germonpré P, Balestra C, Pieters T. Influence of scuba diving on asymptomatic isolated pulmonary bullae. *Diving Hyperb Med*. 2008; 38(4): 206-11.

GINA. Global Initiative for Asthma. Pocket guide for asthma management and prevention. Updated 2022. <https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2022/07/GINA-2022-Pocket-Guide-WMS.pdf> [consulté le 1 juin 2023].

GOLD. Global initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global strategy for diagnosis, management and prevention of COPD. 2020 report. Disponible à : <https://www.guidelines.co.uk/respiratory/gold-copd-2020-strategy/455088.article> [consulté le 15 mars 2020].

Goldhahn RT Jr. Scuba diving deaths: a review and approach for the pathologist. *Leg Med Annu*. 1977, 1976: 109-32.

Grillet F. Pertinence de l'imagerie thoracique pour la recherche de contre-indications à la pratique de la plongée en 2020. *Bull. MEDSUBHYP* 2020, 30 (2): 47-52.

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.

Hampson F, Salih W, Helm J. Development of a Large Pneumatocele in a Patient Recovering from COVID-19 Pneumonitis. *Eur J Case Rep Intern Med*. 2021; 8(7): 002605.

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].

HAS. Référentiel Tabac. Dépistage du tabagisme et prévention des maladies liées au tabac. Janvier 2015. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2016-06/referentiel_tabac.pdf [31 juillet 2023].

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.

Hill AT, Haworth CS, Aliberti S, *et al.* Pulmonary exacerbation in adults with bronchiectasis: a consensus definition for clinical research. *Eur Respir J.* 2017 jun 8;49(6):1700051. Doi: 10.1183/13993003.00051-2017. Pmid: 28596426.

INSERM. Information en santé. BPCO. Inserm 2015. Disponible sur : <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/bronchopneumopathie-chronique-obstructive-bpco>. [12 mars 2020]

Jamal W, Sharif M, Sayeed A, Ur Rehman S, Nashwan AJ. Post-COVID-19 pneumonia pneumatoceles: a case report. *Eur Clin Respir J.* 2022; 9(1): 2028423.

Jammes Y, Giry P, Hyacinthe R. Physiologie respiratoire et plongée. *In* : Broussole 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.

McDonald J, Stevenson DA. Hereditary Hemorrhagic Telangiectasia. 2000 Jun 26 [updated 2021 Nov 24]. *In*: Adam MP, Mirzaa GM, Pagon RA, Wallace SE, Bean LJH, Gripp KW, Amemiya A, editors. *GeneReviews®* [Internet]. Seattle (WA): University of Washington, Seattle; 1993–2023. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK1351/> [1 mai 2023].

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.

Park SY, Jung H, Kim JH, *et al.* Longitudinal analysis to better characterize Asthma-COPD overlap syndrome: Findings from an adult asthma cohort in Korea (COREA). *Clin Exp Allergy.* 2019; 49(5): 603-14.

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.

Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J.* 1993; 16: 5-40.

Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, *et al.* Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J* 2012; 40: 1324-43.

Pradère P, Ruppert AM, Peiffer G, Perriot J, Adler M, Underner M. Cannabis inhalé et poumon, une liaison dangereuse ? *Rev Mal Resp* 2022; 39, (8), 657-730. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmr.2022.08.007> ([http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0761-8425\(22\)00282-0](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0761-8425(22)00282-0))

Raherison C, Bourdin A, Bonniaud P, *et al.* Mise à jour des recommandations (2015) pour la prise en charge et le suivi des patients asthmatiques adultes et adolescents (de 12 ans et plus) sous l'égide de la Société de pneumologie de langue française. *Rev Mal Resp* 2016; 33: 279-325.

Rampinelli C, Origgi D, Belloni M. Low-dose CT: technique, reading methods and image interpretation. *Cancer Imaging* 2012; 12(3): 548-56. DOI: 10.1102/1470-7330.2012.0049.

- 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, *et al.* 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.
- Tækker M, Kristjánssdóttir B, Graumann O, Laursen CB, Pietersen PI. Diagnostic accuracy of low-dose and ultra-low-dose CT in detection of chest pathology: a systematic review. *Clin Imaging*. 2021 Jun; 74:139-148. doi: 10.1016/j.clinimag.2020.12.041.
- 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.
- Walker SP, Bibby AC, Halford P, Staddon L, White P, Maskell NA. Recurrence rates in primary spontaneous pneumothorax: a systematic review and meta-analysis. *Eur Respir J*. 2018; 52: 1800864.
- Weenink RP, Hollmann MW, van Hulst RA. Acute neurological symptoms during hypobaric exposure: consider cerebral air embolism. *Aviat Space Environ Med*. 2012 Nov;83(11):1084-91.
- 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.

Wingelaar TT, Clarijs P, van Ooij PA, Koch DA, van Hulst RA. Modern assessment of pulmonary function in divers cannot rely on old reference values. *Diving Hyperb Med.* 2018; 48(1): 17-22.

Wingelaar TT, Bakker L, Nap FJ, van Ooij P-JAM, Endert EL, van Hulst RA. Routine Chest X-Rays Are Inaccurate in Detecting Relevant Intrapulmonary Anomalies During Medical Assessments of Fitness to Dive. *Front Physiol* 2021; 11:613398. doi: 10.3389/fphys. 2021. 613398.

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 platiné. 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-sinusal 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 polyposse 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, en particulier la notion d'épistaxis récidivantes évocatrices de la maladie de Rendu-Osler¹, l'existence de signes fonctionnels otologiques, rhino-sinusiens et laryngés ;

¹ Voir le chapitre : Examens paracliniques en cardiologie. La maladie de Rendu-Osler est une contre-indication formelle à l'hyperbarie en raison de l'existence fréquente de shunts circulatoires par malformations artério-veineuses pulmonaires.

- 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 apparus (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 quatre 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 leurs 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'est pas un examen médical. Elle peut cependant avoir un intérêt, notamment pour les travailleurs en ambiance hyperbare sèche. Intégrée dans la formation de base, elle permet au novice d'apprendre les manœuvres d'équilibration de l'oreille moyenne et de surmonter le stress éventuel lié à cette situation.

Elle permet de dépister des troubles de la perméabilité tubaire qui ne sont pas identifiés par l'otoscopie, ainsi que des troubles psychiques de type claustrophobie et d'évaluer une 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.

Il existe cependant un risque de faire effectuer cette épreuve avant toute formation à des personnes n'ayant jamais été confrontées à une élévation de pression barométrique : elle peut être à l'origine de barotraumatismes auriculaires qui pourraient avoir des conséquences irréversibles.

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. Les dysperméabilités sont explorées par la tympanométrie, éventuellement associée à une manœuvre de Valsalva puis de Toynbee.

L'audiométrie tonale est recommandée pour l'évaluation initiale et sera renouvelée au moins tous les 4 ans, ou avant en cas d'accident ORL ou d'exposition au bruit.

L'épreuve de compression en caisson n'est pas un examen médical, mais peut constituer dans certains cas une épreuve fonctionnelle de perméabilité tubaire. Il s'agit avant tout d'une épreuve d'apprentissage des manœuvres d'équilibration de l'oreille moyenne, souvent utilisée lors de la formation initiale, tant en plongée qu'en hyperbarie sèche. Dans les cas difficiles, elle peut se dérouler sous surveillance médicale, mais ne peut être recommandée comme examen systématique dans le bilan ORL.

La radiographie conventionnelle des sinus n'est pas recommandée comme examen systématique.

(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.
- Stammerger H. Secretion transportation. In: Stammerger 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 cardiovasculaires 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.

Le score calcique a été proposé en aéronautique comme examen de première intention chez le sujet asymptomatique ayant des facteurs de risque cardiovasculaires (Gray et coll. 2018). Cependant, la Société européenne de cardiologie ne retient pas cet examen comme méthode de dépistage chez les sujets asymptomatiques présentant des facteurs de risque (gradation SCORE, antécédents familiaux), même pour les personnes dont l'activité implique la sécurité du public

(Knuuti et coll. 2020). Sa valeur prédictive positive comme négative est faible et sa prescription, pour ce qui concerne la médecine du travail, relève du cardiologue.

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 de la pression hydrostatique ambiante (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). Là 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 Trans pulmonaire 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.

Le Foramen Ovale Perméable

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 procédure¹), il serait légitime de proposer l'indication d'une fermeture du FOP.

En effet, en l'absence d'étude prospective permettant d'assurer le bien-fondé de cette intervention, 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 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 (ce délai de cicatrisation a été revu à la baisse dans la pratique depuis quelques années et ramené le plus souvent à trois mois en 2021). 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 antiplaquettaire préventif par aspirine est acceptable (cf. chapitre hématologie).

La récurrence d'un ADD après fermeture d'un FOP signe l'échec différé de cette intervention et remet en cause l'aptitude en fonction des séquelles et du poste de travail.

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).

¹ Cf. décret n° 2011-45 du 11 janvier 2011 relatif à la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare.

Au total :

- Le dépistage systématique d'un shunt droite-gauche n'a pas d'intérêt et n'est donc pas recommandé lors de l'examen initial (Pristipino et coll. 2021).
- 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 bénéfique 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.

La maladie de Rendu-Osler

La maladie de Rendu-Osler, ou télangiectasies hémorragiques héréditaires (HHT en langue anglaise, pour *hereditary haemorrhagic telangiectasia*) est une maladie génétique qui atteint environ une personne sur 5 000 et qui s'accompagne de 15 à 60 % de malformations artério-veineuses pulmonaires (MAVP) qui peuvent être source d'embolie gazeuse et d'hémothorax. Cette maladie est considérée comme une contre-indication absolue à l'hyperbarie par les spécialistes qui la prennent en charge. Son diagnostic repose sur la notion d'épistaxis récidivantes, l'existence de télangiectasies à prédominance péribuccales et de la pulpe des doigts et un contexte familial (mêmes signes chez un des parents), la maladie étant autosomique dominante. Les MAVP sont parfaitement détectées sur un scanner non injecté basse dose (Carette et coll. 2020).

3.2.- L'EXAMEN MÉDICAL

a) Clinique

Pour l'appareil 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 mesure de la pression artérielle, 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'ECG² doit conduire à un avis spécialisé. Une attention particulière doit être portée sur la

² Grille de lecture de l'ECG en annexe du présent chapitre.

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 sevré 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 quatre 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 loisir³ 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.

La présence d'un traitement anticoagulant ou d'une double antiagrégation plaquettaire induit un surrisque hémorragique qu'il faudra prendre en compte dans la compatibilité avec le poste de travail et les conditions de l'environnement médical sur place.

³ <http://www.medical.ffessm.fr>. Onglet *Terrains particuliers* / *Cardiologie*.

Dans le cadre d'un accident de désaturation de forme neurologique, la recherche systématique d'un shunt droite-gauche fait partie du bilan étiologique. Par ailleurs, un antécédent d'accident vasculaire cérébral cryptogénique doit être considéré comme un dépistage secondaire et faire rechercher la présence d'un FOP (Smart et coll. 2015). Cet examen a d'ailleurs souvent déjà été réalisé dans ce contexte (étude *CLOSE*, Turc et coll. 2018). 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. Dans cette éventualité, il conviendra d'être vigilant vis-à-vis de l'apparition de troubles du rythme (essentiellement supra ventriculaires) plus fréquents après fermeture d'un FOP (étude *CLOSE*).

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 4 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 quatre 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.

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 quatre ans. L'ECG sera renouvelé tous les quatre 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. À l'inverse, il doit être recherché systématiquement au décours d'un accident de désaturation neurologique, vestibulaire ou cutané. Il en est de même en cas d'antécédent d'accident vasculaire cérébral cryptogénique. (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.
- Carette MF, Epaud R, Nouri Neuville M, Barral M, A Parrot, Khalil A. Malformations artérioveineuses pulmonaires : Diagnostic et étiologies. *EMC - Radiologie et imagerie médicale : cardiovasculaire - thoracique - cervicale* 2020:1-20 [Article 32-340-A-10].
- 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.

- Coulange 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, 1; 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.
- Gray G, Davenport ED, Bron D, et al. *Heart* 2019;105:s17–s24.
- 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.
- Knuuti J, Wijns W, Saraste A et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J* 2020; 41: 407-77.
- 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, 2; 329, 23: 1677-83.

Myerburg RJ, Vetter VL. Electrocardiograms should be included in preparticipation screening of athletes. *Circulation* 2007, 27, 16, 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.

Pecher 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.

Pristipino C, Germonpré P, Toni D, *et al.* European position paper on the management of patients with patent foramen ovale. Part II - Decompression sickness, migraine, arterial deoxygenation syndromes and select high-risk clinical conditions. *Eur Heart J*. 2021 Jan 28;ehaa1070. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa1070. Epub ahead of print. PMID: 33507260.

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, 1, 115, 17: 2358-68.

Turc G, Calvet D, Guérin P, Sroussi M, Chatellier G, Mas JL; CLOSE Investigators. Closure, Anticoagulation, or Antiplatelet Therapy for Cryptogenic Stroke With Patent Foramen Ovale: Systematic Review of Randomized Trials, Sequential Meta-Analysis, and New Insights From

the CLOSE Study. *J Am Heart Assoc.* 2018 Jun 17;7(12):e008356. doi: 10.1161/JAHA.117.008356.

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.

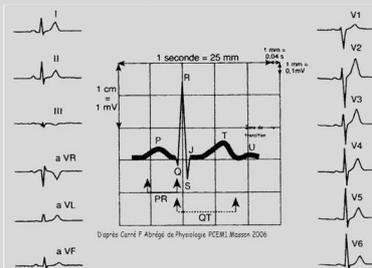
Wilmshurst P, Walsh K, Morrison L. Transcatheter occlusion of foramen ovale with a button device after neurological decompression illness in professional divers. *Lancet* 1996; 348, 9029: 752-3.

Annexe

Grille de lecture de l'ECG

L'ECG Normal du plongeur: interprétation rapide (en 25 mm/s)

1 petit carreau = 1 mm = 40 ms



Date :

Nom :

Prénom :

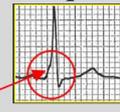
Examineur :

Patient symptomatique ou ATCD familiaux de mort subite < 55 ans → AVIS CARDIO

GRILLE DE LECTURE

- Fréquence cardiaque
- Absence d'arythmie
- Onde P
- Durée P-R
- Axe QRS
- Durée QRS
- Complexe QRS
- Onde Q
- Point J et S-T
- Ondes T
- Durée intervalle Q-T
- Onde U

*50 < fc < 80 (1 carreau = 300, 2 = 150, 3 = 100, 4 = 75, 5 = 60)
on tolère 1 ESSV (si arythmie penser HTA)
rythme sinusal (P devant chaque QRS & P positive en DI)
120 < d < 200 ms (3-5 mm)
Normal (positif en I & aVF)
< 120 ms (3 mm), pas d'onde delta,
tous identiques sur chaque dérivation, transition en V3-4
si BBDi : point J isoélectrique
NON ou de très faible amplitude (<5 mm, <1/3 onde R)
Isoélectrique (sus ST en lat : repol précoce fréquente chez le sportif)
Positives partout (sauf AVr et parfois V1) & asymétriques
320 < d < 440 ms (8 à 11 mm) à corriger avec la fréquence
NON ou de très faible amplitude*

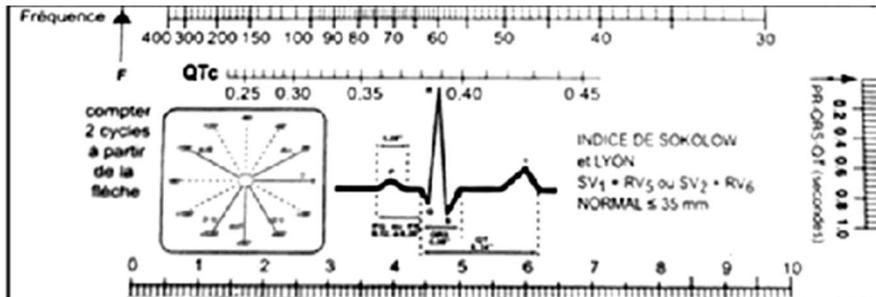


Toutes les cases cochées → ECG compatible avec les activités subaquatiques et hyperbares

1 case non cochée → RELECTURE ECG PAR CARDIOLOGUE, avec informations ci dessous

- Obésité
 - Tabac actif ou sevré < 3 ans
 - HTA
 - Dyslipidémie
 - Diabète
- Age : ATCD familiaux :
Traitement :

Plus d'1 case non cochée ou ESV → AVIS CARDIO



Hyperbarie, APHM

Étapes par étapes... "Chi va piano....."

1/ Tracé 12 dérivations 25 mm/s, de bonne qualité

2/ Les arythmies

Complexes fins = supra ventriculaires (penser HTA) : sur 1 tracé : 1 ça va, 2 c'est trop, 3 ...

Complexes larges = ventriculaires. À toujours considérer comme pathologique => avis cardiologue.

3/ Ondes P

Arythmie respiratoire sinusale possible chez jeune ou sportif entraîné.

Si dissociées des QRS (BAVIII) = DANGER. Si P bloquée : regarder espace PR : si normal (Mobitz 2) = DANGER. Si allongement progressif (Luciani-Wenckebach ou Mobitz 1) : possible en cas d'hypertonie, se normalise à l'effort.

Toujours positives en D1, sinon inversion électrode.

Si négatives en II, III et aVF = Rythme du sinus coronaire, non pathologique chez le sportif, entraîné et asymptomatique avec normalisation après 30 flexions.

En II : P bifide en dos de chameau : penser hypertrophie auriculaire gauche = HTA, rarement RM.

4/ Le P-R (ou P-Q)

Raccourci : penser pré-excitation (WPW) et rechercher des ondes delta. Allongé : penser bloc AV.

5/ Les QRS

Si un QRS différent et prématuré = **ESV**. Si zone de transition \neq de V3-4 : vérifier position électrode sinon **HVG**.

Si QRS > 3 mm = BB complet = DANGER, RsR' en V1 = BBD (HTAP ?), QS en V1 et R large en V6 : BBG.

Se méfier des BBD incomplet avec ATCD familiaux = Brugada (BBDi uniquement en ant.), Dysplasie VD, repolarisation précoce. Un vrai BBD incomplet doit revenir à la ligne isoélectrique en fin de R'. Aspect diffus.

Hémibloc ant G (aVF & II neg) : aspect Q1S3 + déviation axiale gauche.

Sokolow > 35 : danger chez obèse.

6/ Onde Q

Grandes ondes Q (> 5mm, > 1/3 onde R) ou rabetage R en V2-3 = DANGER, penser IDM. Onde Q marquée en latéral : penser HVG.

7/ Ondes T

Négatives en V2-V3 chez les enfants, parfois en III chez les obèses.

T négative du côté du BB complet - si ailleurs : ischémie ?

Pas de T négative avec BBDi.

Si ondes T plates partout = hypokaliémie ?

8/ Le ST

Repolarisation précoce (surtout si sus ST 2 mm en inférieur) + ATCD familial = DANGER. Repolarisation précoce : sus ST 1 mm, 2 dérivations dans même territoire (fréquente en latéral chez sportif)

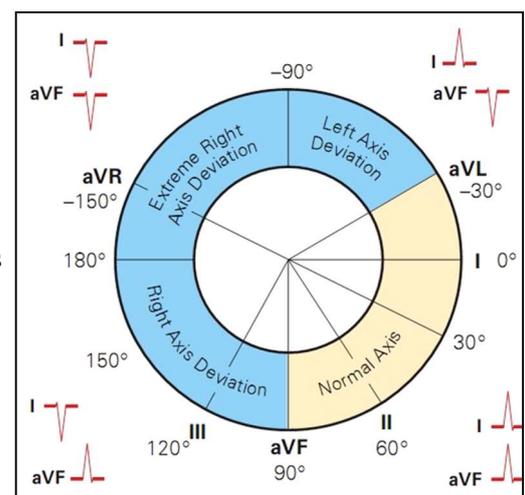
Sus ST en V1, V2, raide, en selle + BBDi + ATCD familiaux = DANGER = Brugada. Sus ST en « hamac », sans trouble repol, sans ATCD familiaux : RAS.

9/ Le QT

Du début du Q à la fin du T (ne comprend donc pas les ondes U).

10/ Onde U

Si présence d'ondes U bien visibles: penser famille, ionogramme, traitement en cours.



**UN ECG NE S'INTERPRÈTE JAMAIS ISOLÉMENT :
TOUJOURS PENSER "SYMPTOMES et FAMILLE"**

Abréviations et acronymes :

ant.	antérieur
ATCD	Antécédent(s)
AV	Auriculo-ventriculaire
BAV	Bloc auriculo-ventriculaire
BB	Bloc de branche
BBDi	Bloc de branche droit indirect
BBG	Bloc de branche gauche
ESSV	Extrasystole supraventriculaire
ESV	Extrasystole ventriculaire
HTA	Hypertension artérielle
HTAP	Hypertension de l'artère pulmonaire
HVG	Hypertrophie ventriculaire gauche
IDM	Infarctus du myocarde
RM	Rétrécissement mitral
WPW	(syndrome de) Wolf-Parkinson-White

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 peuvent durer, sans traitement, de plusieurs heures à quelques jours. Ces douleurs sont plutôt constantes et ne sont pas provoquées par des mouvements ou un effort. Typiquement elles vont céder rapidement durant une recompression thérapeutique. Cependant, une exacerbation de la douleur à la recompression ou lors de la remontée doit faire suspecter une atteinte osseuse (Gempp et coll. 2016).

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 infarctus d'origine bullaire, la compression des capillaires par les bulles, un relargage de substances vaso-actives et procoagulantes par les adipocytes lésés (Jones et coll. 1993). Elles restent

cliniquement silencieuses pendant des intervalles allant de quelques mois à quelques années. On en distingue deux formes : juxta-articulaire (épiphysaire), proche de la surface articulaire et susceptible de provoquer une symptomatologie, et médullaire, à distance des surfaces articulaires, sans manifestation clinique (Davidson 1972). Les lésions épiphysaires qui représentent un tiers des OND (Heard 1977) restent cliniquement silencieuses pendant des intervalles allant de quelques mois à quelques années avant de devenir symptomatiques.

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 ADD et OND chez les tubistes sont devenus beaucoup plus rares depuis l'adoption de la décompression à l'oxygène et des tables actuelles (Sharareh 2015).

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 par réduction des capacités fonctionnelles (déplacements, instabilité de la plateforme en mer, tenue des outils, escalades d'échelles, manutention, etc.).

En outre, les séquelles d'un ADD pourraient participer à l'aggravation de lésions préexistantes, et conduire à des impotences fonctionnelles permanentes.

C'est pourquoi on sera particulièrement attentif en présence :

- d'arthrose invalidante,
- de déficits fonctionnels post-traumatiques ou postopératoires (amputation, raideur, état douloureux, dysfonction musculotendineuse ou insuffisance ligamentaire, paralysie),
- de luxations récidivantes ou d'une instabilité articulaire habituelle,
- d'affections vertébrales dégénératives ou post-traumatiques (hernie discale),
- d'affections rhumatismales en phase aiguë.

4.3.- LE DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES CRÉÉES PAR L'HYPERBARIE

Des arthralgies du type *bends* survenant dans les premières heures après des plongées ou expositions à l'air comprimé doivent être considérées comme un ADD probable. Le traitement sera conduit en accord avec ce diagnostic, en général une recompression thérapeutique. Il faut pourtant prendre en considération les diagnostics différentiels et ne pas négliger de chercher d'autres étiologies qui pourraient expliquer les symptômes (effet de l'eau froide par protection inadéquate, traumatisme localisé par un équipement encombrant). Le plus souvent, les *bends* disparaissent, avec ou sans traitement hyperbare, sans laisser de séquelles.

Cependant, certains *bends*, dus à une lésion bullaire intraosseuse épiphysaire, peuvent évoluer vers une ostéonécrose dysbarique (OND). En général les OND ne sont qu'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 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, un délai de traitement supérieur à 6 heures et la persistance de la symptomatologie après traitement.

En raison de la probabilité élevée d'évolution vers l'OND, il a été proposé que toute manifestation de *bends* fasse l'objet d'une investigation diagnostique initiale par imagerie et, selon le résultat, d'un suivi de son évolution (McCallum 1994, Coulange et coll. 2006). L'imagerie par résonance magnétique est l'examen privilégié dans cette indication (Agrowal 2017, Bayle 2018, Joon 2019, Zhao 2020). Ce type de dépistage est surtout indiqué chez les plongeurs qui font des plongées très profondes, des décompressions extrêmement longues, ou bien après des accidents survenant après remontée incontrôlée à la suite d'une plongée très saturante.

Un certain nombre de facteurs pathologiques sont également associés à un risque élevé de développer une ostéonécrose avasculaire, dysbarique ou idiopathique :

- 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). Les lésions symptomatiques peuvent évoluer vers une arthrose ou guérir spontanément (Bayle 2018).

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, Awan 2015), avec une sensibilité de 90 % et une spécificité de 98 % (Puech et coll. 1989). Un résultat positif n'est pourtant pas pathognomonique d'une OND. Les conditions de pratique de ces examens (en particulier le cadrage sur les régions d'intérêt ont été précisées par Bayle et Coulange en 2018).

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 précoce (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.

Une reprise après un accident, opération ou maladie qui consolide avec des séquelles handicapantes doit faire l'objet d'une évaluation des capacités de travail restantes. Un changement de poste de travail sera souvent indiqué (p.ex. chef de plongée ou de sas) dans le cadre des actions de prévention de la désinsertion professionnelle.

Recommandation 9

La prévention de l'ostéonécrose dysbarique, maladie professionnelle du tableau n° 29 RG, repose sur le respect des 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.

Après un accident de désaturation articulaire ou en présence de signes cliniques évocateurs, l'imagerie par résonance magnétique précoce est l'examen de référence. Une image de nécrose à ce stade sera suivie à distance par TDM entre 6 et 12 mois, même en l'absence de manifestations cliniques.

(3C)

Références

- Agrawal K, Tripathi SK, Sen RK, *et al.* Nuclear medicine imaging in osteonecrosis of hip: Old and current concepts. *World J Orthop* 2017; 8 (10): 747-53.
- Awan O, *et al.* Imaging of Focal Sclerotic Bone Lesions. *CDR* 2015 (38): 5.
- 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.
- Bayle O, Coulange M. Accidents ostéo-arthro-musculaires de désaturation : bilan de 30 années d'exploration par IRM. *Bull. Medsubhyp* 2018; 28 (2): 29-36.
- 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.
- Coulange M, Bayle O, Barthélémy A. Ostéonécrose dysbarique. *In* : Broussole B, Méliet JL, Coulange 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.
- Heard JL, Schneider CS. Radiographic findings in commercial divers. *Clin Orthop Relat Res* 1978; (130): 129-38.
- 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.
- Zhao D, Zhang F, Wang B, *et al.* Guidelines for clinical diagnosis and treatment of osteonecrosis of the femoral head in adults (2019 version). *J Orthopaedic Translation* 2020; 21:100-10.

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 réglementation¹, 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 appliquées², comportant également la vision des couleurs. Elles sont rappelées en annexe.

¹ Voir tableau II, p. 15.

² Annexe de l'arrêté du 3 août 2017 relatif à la santé et à l'aptitude médicale des gens de mer (JORF du 24 août 2017).

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 quatre 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

Arrêté du 3 août 2017 relatif aux normes d'aptitude médicale à la navigation des gens de mer (extraits du JORF n° 0197 du 24 août 2017)

[...]

ANNEXE

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.

À 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 ; 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. 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 collègue 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 : SPC 1 : aucune erreur à la lecture des tables d'Ishihara ; 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) ; SPC 3 : erreurs aux deux épreuves (tables et feux). L'utilisation de lentilles de compensation de la déficience de la vision des couleurs n'est pas autorisée.</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. SPC 3 est également compatible avec les fonctions de mécanicien et de radio, sous réserve que les intéressés satisfassent au test de capacité chromatique professionnelle. Les normes I avec SPC 3 peuvent permettre d'exercer toutes les fonctions sur les navires de pêche et ceux armés à la conchyliculture, naviguant jusqu'à 5 milles d'un abri.</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 épiléptologique (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 épiléptique 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 de paliers en caisson à 2,2 bars sous oxygène pur pour certains plongeurs), 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 neuro-psychologique, 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 épiléptogène (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: Niedermeier 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 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 pourrait conduire à suspecter une thrombophilie à rechercher en milieu spécialisé. Toutefois, le bilan de thrombophilie n'a pas sa place dans la recherche des contre-indications à la plongée (Schved 2017).

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 HÉMATOLOGIQUES

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 anomalies qui pourraient avoir une incidence en termes de risques sont :

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.

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.

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.

Les maladies hémorragiques congénitales telle l'hémophilie ne sont pas des contre-indications (Schved 2012) mais l'aptitude devra être délivrée dans le cadre d'un consensus entre le médecin en charge du patient, le médecin hyperbariste référent et le médecin du travail.

En cas de suspicion de **drépanocytose**, le diagnostic repose sur l'électrophorèse de l'hémoglobine et diverses techniques complémentaires. La forme homozygote est une contre-indication aux activités sous-marines en apnée.

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 13 g/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).

Les thrombocytoses, même jusqu'à 1 000 000 / mm³ et plus sont asymptomatiques et ne sont pas des facteurs de risque thrombotique. Dans la thrombocytémie essentielle, où l'on rencontre les chiffres les plus élevés, les fortes thrombocytoses sont plus liées à un risque hémorragique que thrombotique, mais il faut, là, tenir compte de la maladie de fond. Dans ce cas, il est nécessaire de prendre l'avis d'un spécialiste qui tiennent compte des différents paramètres de la maladie et des traitements.

Chez les patients porteurs d'une anomalie hématologique préexistante et traitée, il peut être proposé une surveillance annuelle voire biannuelle pour vérifier si les seuils ci-dessus sont respectés.

d) Traitement anticoagulant :

Les anticoagulants oraux (antivitamines K, anticoagulants oraux directs) ne sont pas des contre-indications en soi. Ils peuvent avoir été prescrits pour des pathologies qui elles-mêmes contre-indiquent l'activité : coronaropathie, valvulopathie, fibrillation atriale. Ils incitent à la prudence en cas de risque de traumatisme ou de plaie et contre-indiquent les activités en des lieux où le recours rapide à une structure de soins n'est pas possible.

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.
- Schved JF, De Haro M, Drapeau M, Schved M. Scuba diving is possible and safe for patients with haemophilia. *Hemophilia* 2012; 18: 75-9.

Schved JF. Maladie thromboembolique veineuse. *In* : V Lafay (Ed). Coeur et plongée. Ellipses Editions Marketing, Paris 2017. 334 p.

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 définie 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 (tableau XIII) :

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 XIII : 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) 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 $2\text{-}3 \text{ g/24 h}$ est une contre-indication.
- Chez une personne à rein unique, il convient de vérifier la microalbuminurie qui doit être inférieure à $30 \text{ }\mu\text{g/24 h}$.
- 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 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-creatininemie-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. 13). 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, Gemppe 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 XIV).

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 XIV : 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 de l'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 aérienne¹, personnel navigant technique de l'aéronautique civile², marin professionnel³, personnel du réseau ferroviaire accomplissant des fonctions de sécurité⁴. Pour la conduite automobile⁵, le dépistage biologique est laissé à l'appréciation du médecin examinateur.

¹ 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.

² 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.

³ Décret n° 2015-1575 du 3 décembre 2015 relatif à la santé et à l'aptitude médicale des gens de mer.

⁴ 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.

⁵ 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 anamnestiques.

(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, Ugucioni 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, Ugucioni 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, Ugucioni 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 AFFECTIONS 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 livedos 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 érythermalgie 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 droite - 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 patentées 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 Venerol* 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.

Kalantzos 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 tétons (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 pulpaire (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 pulpaires 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 des examens initial et quadriennal sur l'avis d'un chirurgien dentiste.

a) Lors de l'examen initial et de l'examen périodique quadriennal

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 mordu (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 XV.

Recommandation 15

En présence d'éléments d'orientation, l'avis d'un chirurgien-dentiste est recommandé lors de l'examen initial et périodique quadriennal 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 XV : 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]. <https://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 prothetic 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 XVI.

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 aiguës nécessitent un arrêt temporaire, avec ou sans réévaluation de la contre-indication à la pratique de l'activité :

- Pathologies aiguës infectieuses (bactériennes – virales – parasitaires) ou non infectieuses,
- Poussée aiguë 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.

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	Suppression 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 aiguë 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 aiguë 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 XVI : Risques de l'hyperbarie en gastro-entérologie et aptitude.

e) Après chirurgie bariatrique

Si l'obésité initiale n'a pas conduit à une décision d'inaptitude définitive aux activités hyperbares, les conditions de reprise après chirurgie bariatrique peuvent être déduites des recommandations de la HAS (HAS^{b,c} 2009) :

- le patient doit être consolidé (ce qui peut demander jusqu'à 18 mois) et suivi au sein d'une équipe pluridisciplinaire ;
- il faut faire préciser :
 - le type d'intervention pratiquée, avec ou sans montage anti-reflux associé,
 - l'existence éventuelle d'un reflux (cf. tableau XVI),
 - l'existence éventuelle d'un *dumping syndrome*,
 - un traitement supplétif éventuel.

Les comorbidités (HTA, diabète, etc.) et la condition physique (aptitude à l'effort) devront dans tous les cas être évaluées avec les spécialistes concernés et conditionneront l'aptitude.

Le port d'un ballon intra-gastrique gonflé à l'air et l'absence d'éructation sont des contre-indications aux activités hyperbares en raison du risque de barotraumatisme.

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.

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.

Les pathologies aiguës nécessitent un arrêt temporaire de l'activité. Les pathologies chroniques seront évaluées en fonction du retentissement sur l'activité physique, le comportement, la gêne sociale, et le risque de barotraumatisme.

Après chirurgie bariatrique, la reprise des activités est possible un an après l'intervention si le sujet a un poids stable et est exempt de complication. Les comorbidités et la condition physique devront être évaluées. Le port d'un ballon intra-gastrique gonflé à l'air et l'absence d'éructation sont des contre-indications formelles aux activités hyperbares.

(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.
- HAS^a. 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.
- HAS^b. Chirurgie de l'obésité chez l'adulte Information pour le médecin traitant (juillet 2009). Disponible sur : https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-09/obesite_document_medecin_traitant_2009-09-25_16-41-5_784.pdf.
- HAS^c. Recommandations de bonne pratique. Obésité : prise en charge chirurgicale chez l'adulte. Argumentaire janvier 2009. Disponible sur : https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2010-11/obesite_-_prise_en_charge_chirurgicale_chez_ladulte_-_argumentaire.pdf.
- 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 rétro-lentale 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 pas¹.

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.

¹ 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.
- Ugucioni DM, Moon R, Taylor MB. DAN explores fitness and diving issues for women. *Alert Diver* 1999. Disponible sur : https://www.diversalertnetwork.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 statur 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 déclaraient 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'âge¹.

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 psychoactives 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.

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

¹ <http://www.ofdt.fr/produits-et-addictions/de-z/cannabis/>

significative des tissus longs² 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 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)

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

² Voir p. 15 et suiv.

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 conseillée³), 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.

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.

Après 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)

³ Annexes IIa et IIb, p. 195 et 197.

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, Ekenhoff 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.- VISITE MÉDICALE DE FIN DE CARRIÈRE

Le décret 2021-1065 du 9 août 2021 a institué à partir du 1^{er} octobre 2021 une visite médicale de fin de carrière, au moment du départ à la retraite, au bénéfice des travailleurs bénéficiant ou ayant bénéficié du suivi individuel renforcé ou de la surveillance médicale renforcée, du fait de leur exposition à un ou plusieurs risques professionnels mentionnés à l'article R.4624-23 du code du travail, dont fait partie le risque hyperbare.

Cette visite, à la charge du service de prévention et de santé au travail est effectuée par le médecin du travail et est destinée à établir le bilan des expositions aux risques professionnels de l'intéressé et à transmettre au médecin désigné par l'intéressé les éléments d'orientation du suivi post-professionnel qu'il convient le cas échéant de mettre en œuvre.

La surveillance post-professionnelle des affections secondaires à l'exposition au risque hyperbare ne figure pas dans la liste limitative des affections faisant l'objet d'une surveillance post-professionnelle réglementée (code de la sécurité sociale, art. D.461-23). Le code de la sécurité sociale ne s'oppose cependant pas à ce qu'elle soit prise en charge par l'assurance maladie.

En raison des effets à long terme identifiés de l'exposition au risque hyperbare et de la possibilité de séquelles d'accidents, la société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française et la société française de santé au travail recommandent, lorsque la visite médicale de fin de carrière fait apparaître des éléments pathologiques pouvant être reliés à l'exposition au risque hyperbare (tableau n° 29 RG des maladies professionnelles), l'instauration d'un suivi post-professionnel par le médecin indiqué comme traitant, sur les indications du médecin du travail. En cas de doute ou de difficulté, le recours à un spécialiste compétent en médecine hyperbare est conseillé.

15.1.- Le bilan des expositions

Il doit prendre en compte la ou les mentions (le cumul n'est pas exceptionnel), la classe (pressions ou profondeurs) les différentes formes et la durée de l'activité professionnelle. Ces différents éléments seront rassemblés à l'aide des déclarations de l'intéressé et des documents qu'il pourra produire (livret individuel, certificats de travail, etc.) ainsi que des éléments contenus dans le dossier médical du travail et le dossier médical personnel.

Le tableau XVII ci-après indique les renseignements qui devraient figurer dans ce bilan.

Le document récapitulatif est remis à l'intéressé. Si le médecin du travail juge qu'un suivi post-professionnel est indiqué, il le transmet, avec l'accord de l'intéressé, au médecin désigné, accompagné de la fiche d'information figurant en annexe¹ et de ses recommandations pour le suivi post-professionnel.

¹ Un exemplaire téléchargeable et imprimable de cette fiche est disponible sur le site www.medsubhyp.fr

Tableau récapitulatif des expositions au risque hyperbare

État-civil	Nom :		Prénom :		Date de naissance :	
Date d'admission à la retraite :						

Certificat d'aptitude à l'hyperbarie			Formations complémentaires	
Mention	Classe	Date	Nature	Date
...				
...				
...				

Emplois							
Du	Au	Employeur	Fonction	Nb ou fréquence des expositions	Gaz/mélange de gaz respirés	Pressions/ profondeurs	Durée (j, h, min)
jj/mm/aaaa	jj/mm/aaaa						
...							
...							
...							

Antécédents			
	Date	Forme clinique	Évolution
Accidents liés à l'hyperbarie :	...		
	...		
Accidents non liés à l'hyperbarie :	...		
	...		
Séquelles :			
Maladies chroniques :			

Fait à :

Le :

Par :

Tableau XVII : Tableau récapitulatif des expositions et éléments du bilan médical de fin de carrière

15.2.- Le bilan de santé

À côté d'un bilan de santé standard, il convient de rechercher les possibles effets à long terme de l'exposition au risque hyperbare et les séquelles d'éventuels accidents du travail. Ce bilan s'intéressera donc :

- à la sphère ORL (état fonctionnel cochléo-vestibulaire),
- à l'appareil respiratoire (exploration fonctionnelle et imagerie),
- à l'appareil locomoteur (recherche d'une éventuelle ostéonécrose dysbarique, maladie professionnelle n° 29 RG),
- au système nerveux (recherche d'éventuelles séquelles d'accidents emboliques, recherche de troubles neurocognitifs).

15.3.- Le suivi post-professionnel

Si le sujet exprime, au moment de cette visite de fin de carrière, une plainte qui pourrait être en relation avec ses expositions antérieures aux différents risques professionnels dont le risque hyperbare, ou bien si son dossier médical fait état d'antécédents, de séquelles ou d'une invalidité se rapportant à ces mêmes risques, le médecin du travail complètera, avec l'accord de l'intéressé, son dossier médical personnel et indiquera le cas échéant au médecin traitant le suivi médical qu'il préconise.

Le médecin du travail rapportera dans sa correspondance les éléments pathologiques relevés et proposera les consultations de spécialistes et les examens complémentaires qu'il estime nécessaires pour effectuer le bilan de santé et en suivre l'évolution. La périodicité de ce suivi dépend de l'appareil et de l'organe en cause et de la pathologie présentée. Sa détermination relève du spécialiste consulté (ORL, pneumologue, rhumatologue, neurologue...).

L'avis d'un spécialiste en médecine hyperbare peut s'avérer utile. La liste et les coordonnées des centres hyperbares de France métropolitaine et d'outre-mer sont disponibles sur www.medsubhyp.fr.

L'exposition au risque hyperbare n'ouvre cependant pas de manière automatique les droits à la prise en charge par l'assurance maladie de la surveillance post-professionnelle (même dans le cas de la MP n° 29), comme l'indique l'article D.461-23 du code de la sécurité sociale (décret n° 2022-696 du 26 avril 2022). À défaut de cette prise en charge au titre des maladies professionnelles, la prise en charge relèvera du régime général.

16.- REPRISE DES ACTIVITÉS HYPERBARES APRÈS COVID-19

L'infection à SARS-CoV2, décrite sous le nom de CoViD-19, est connue pour provoquer des atteintes pulmonaires, cardiaques (ischémie, myocardite) (Guzik et coll. 2020, Adao et coll. 2020), rénales (Huang et coll. 2020), digestives (Pan et coll. 2020, Redd et coll. 2020), neurologiques (Mao 2020). Le matériel génétique du virus a été retrouvé chez des sujets guéris jusqu'à 37 jours après le début de l'épisode aigu (Zhou F et coll. 2020). Des signes radiologiques pulmonaires ont été retrouvés à la tomodensitométrie chez des sujets porteurs asymptomatiques (Inui et coll. 2020, Zhou J et coll. 2020). Un syndrome prothrombotique en rapport avec l'atteinte virale directement endothéliale (Varga et coll. 2020) et vraisemblablement responsable de diverses atteintes viscérales (Klock et coll. 2020, Wichman et coll. 2020, Copin et coll. 2020, Oxley et coll. 2020) est habituel chez les patients hospitalisés pour forme sévère.

La maladie peut laisser des séquelles graves comme une fibrose pulmonaire (Spagnolo et coll. 2020). Si elles ne sont pas toutes connues, on peut toutefois noter que les patients guéris depuis plusieurs années de l'infection à SARS-CoV1 ont des séquelles cardiovasculaires et des anomalies des métabolismes glucidique et lipidique (Wu et coll. 2020). Les séquelles des formes moins sévères n'ont pas encore été décrites.

À l'issue de cette pandémie, l'éventualité de séquelles susceptibles de constituer des contre-indications à la pratique des activités hyperbares devra être recherchée. Une démarche médicale a été proposée par un groupe d'experts sous l'égide de Medsubhyp, en cohérence avec les propositions publiées par l'association internationale des centres hyperbares francophones (ICHF). Toutes deux sont accessibles sur le site www.medsbhyp.fr.

La démarche repose sur les réponses fournies par les intéressés au questionnaire n° 1 : dépistage des cas suspects ou asymptomatiques.

Dès lors, plusieurs cas sont à considérer :

1. Sujet indemne : sujet n'ayant pas présenté d'épisode infectieux, ORL, broncho-pulmonaire ou syndrome grippal depuis le 1^{er} janvier 2020 et n'ayant pas été en contact avec une personne infectée. La reprise ou le début des activités pourront se dérouler sans délai.

2. Sujet contact : la personne n'a pas présenté d'épisode infectieux mais a été en contact avec un cas probable ou confirmé de CoViD-19. Des altérations fonctionnelles à l'effort (dyspnée, palpitations, tachycardie) apparues récemment par rapport à l'état antérieur (avant l'épidémie) seront recherchées à l'aide du questionnaire n° 2 et par l'exécution d'un test d'effort simple combiné si possible à une oxymétrie de pouls (step-test de 3 minutes ou test de marche rapide de 6 minutes par exemple).

En présence d'éléments d'orientation au questionnaire ou d'une désaturation à l'effort (diminution de la SpO₂ d'effort de plus de 5 % par rapport à la SpO₂ de repos) des investigations complémentaires spécialisées devront être menées, parmi lesquelles ECG, EFR, TLCO, TDM thoracique, au repos et s'il y a lieu à l'effort, en tenant compte des recommandations spécifiques publiées par les différentes sociétés savantes et par la HAS. La reprise des activités hyperbares ne pourra intervenir qu'après normalisation du bilan.

3. Symptomatologie bénigne : le sujet a présenté un épisode infectieux probable ou confirmé de CoViD-19 sans recours à l'oxygénothérapie. Il est recommandé de respecter une période de convalescence de 1 mois minimum, jusqu'à 3 mois en fonction de l'évaluation médicale.

En fonction des données de l'examen clinique, du questionnaire et du résultat de l'oxymétrie de pouls à l'effort, un bilan complémentaire pourra être prescrit (ECG, échocardiographie, EFR avec TLCO, TDM thoracique), au repos et s'il y a lieu à l'effort (cf. *supra*). La reprise sera autorisée après normalisation du bilan.

4. Forme aggravée avec recours à l'oxygénothérapie.

Il est recommandé de respecter une période de convalescence de 6 mois.

Le bilan pour la reprise pourra comprendre, en tenant compte des recommandations des sociétés savantes concernées et de la HAS :

- un examen tomodensitométrie thoracique,
- une exploration fonctionnelle pulmonaire avec mesure de la TLCO,
- un ECG, une échocardiographie,
- un bilan biologique avec dosage de la créatinine plasmatique et calcul du DFG,
- une évaluation des fonctions cognitives (mémoire, humeur) et du sommeil.

Une épreuve d'effort cardio-respiratoire peut être indiquée si le sujet se déclare gêné à l'exercice.

Questionnaire n° 1			
DÉPISTAGE DES CAS SUSPECTS OU SYMPATOMATIQUES			
	OUI	NON	COMMENTAIRE
Depuis le 1^{er} janvier 2020, avez-vous ou quelqu'un de votre entourage a-t-il eu ou ressenti :			
De la température > 38° C			
Des frissons			
Des courbatures			
Une fatigue importante			
Des maux de tête inhabituels			
Des maux de gorge			
Le nez qui coule, des crachats			
Une perte de goût et/ou de l'odorat			
Une perte d'appétit			
Des douleurs thoraciques			
Une toux			
Un essoufflement inhabituel			
Des douleurs abdominales et/ou une diarrhée			
D'autres signes			
Avez-vous été :			
Testé positif pour le Covid 19 ?			
En contact étroit ¹ avec une personne positive pour le COVID-19 ou ayant eu certains des signes précédents ?			
<i>¹ Un contact étroit est une personne qui, à partir de 24 h précédant l'apparition des symptômes d'un cas confirmé, a partagé le même lieu de vie ou a eu un contact direct avec lui, en face à face, à moins d'1 mètre du cas ou pendant plus de 15 minutes.</i>			
Observation :			

Questionnaire n° 2 :			
DÉPISTAGE D'UNE SYMPTOMATOLOGIE À L'EFFORT			
<i>(ce questionnaire n'est valable que pour les pratiquants actifs ou très actifs. Dans le cas contraire, rechercher une symptomatologie similaire lors d'un exercice physique modéré ou demander un avis spécialisé)</i>			
	OUI	NON	Commentaires ou description
Avez-vous effectué des activités physiques récemment / exercices habituels (entraînement courant) ?			
Dans ce cadre avez-vous ressenti une fatigue inhabituelle ?			
Avez-vous ressenti une gêne respiratoire ou un essoufflement inhabituel ?			
• Au repos			
• À l'effort modéré (marche)			
• À l'effort soutenu (course)			
Pouvez-vous courir 50 mètres ?			
Pouvez-vous monter un étage en courant ?			
Avez-vous eu une impression de fatigue musculaire inhabituelle ?			
Si vous avez un traitement médical régulier, avez-vous eu l'impression qu'il ne suffisait plus, qu'il faudrait peut-être consulter le médecin qui vous suit ?			

Références

- Adao R, Guzik TJ. Inside the Heart of COVID-19. *CardiovascRes.* 2020 May 1;116(6):e59-e61.
- Copin MC, Parmentier E, Duburcq T, Poissy J, Mathieu D. Time to Consider Histologic Pattern of Lung Injury to Treat Critically Ill Patients With COVID-19 Infection. *Intensive Care Med,* 2020. Apr 23;1-3. doi: 10.1007/s00134-020-06057-8.
- Guzik TJ, Mohiddin SA, Dimarco A, et al. COVID-19 and the cardiovascular system: implications for risk assessment, diagnosis, and treatment options. *Cardiovasc Res.* 2020 Apr 30: cvaal06.
- Huang C, Wang Y, Li X, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet* 2020; 395: 497-506.
- Inui S, Fujikawa A, Jitsu M, et al. Chest CT Findings in Cases from the Cruise Ship "Diamond Princess" with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Radiology: Cardiothoracic imaging.* 2020. In press.
- Klok FA, Kruip MJHA, van der Meer NJM, et al. Confirmation of the high cumulative incidence of thrombotic complications in critically ill ICU patients with COVID-19: An

- updated analysis. *Thromb Res.* 2020 Apr 30:S0049-3848(20)30157-2. doi: 10.1016/j.thromres.2020.04.041 [Epub ahead of print].
- Mao L, Jin H, Wang M et al. Neurologic Manifestations of Hospitalized Patients With Coronavirus Disease 2019 in Wuhan, China. *JAMA Neurol.* 2020 Apr 10:e201127. doi: 10.1001/jamaneurol.2020.1127. Online ahead of print.
- Oxley TJ, J Mocco J, Majidi S, et al. Large-Vessel Stroke as a Presenting Feature of Covid-19 in the Young. *N Engl J Med.* 2020 May 14; 382(20): e60. doi: 10.1056/NEJMc2009787.
- Pan L, Mu M, Yang P, et al. Clinical Characteristics of COVID-19 Patients With Digestive Symptoms in Hubei, China: A Descriptive, Cross-Sectional, Multicenter Study. *Am J Gastroenterol.* 2020; 115(5): 766-73.
- Redd WD, Zou JC, Hathorn KE, McCarty TR, et al. Prevalence and Characteristics of Gastrointestinal Symptoms in Patients With SARS-CoV-2 Infection in the United States: A Multicenter Cohort Study. *Gastroenterology.* 2020 Apr 22; S0016-5085(20)30564-3.
- Spagnolo P, Balestro E, Aliberti S, et al. Pulmonary fibrosis secondary to COVID-19: a call to arms? [published online ahead of print, 2020 May 15]. *Lancet Respir Med.* 2020;S2213-2600(20)30222-8. doi:10.1016/S2213-2600(20)30222-8
- Varga Z, Flammer AJ, Steiger P, et al. Endothelial cell infection and endotheliitis in COVID-19. *Lancet.* 2020; 395(10234): 1417-1418. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30937-5. Epub 2020 Apr 21.
- Wichmann D, Sperhake JP, Lütgehetmann M, et al. Autopsy Findings and Venous Thromboembolism in Patients With COVID-19: A Prospective Cohort Study. *Ann Intern Med.* 2020 May 6. doi: 10.7326/M20-2003.
- Wu Q, Zhou L, Sun X, Yan Z, et al. Altered Lipid Metabolism in Recovered SARS Patients Twelve Years after Infection. *Sci Rep.* 2017 Aug 22; 7(1): 9110.
- Zhou F, Yu T, Du R, et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study [published correction appears in *Lancet.* 2020 Mar 28; 395(10229): 1038]. *Lancet.* 2020; 395(10229): 1054-1062.
- Zhou J, Tan Y, Li D, He X, Yan T, Long Y. Observation and analysis of 26 cases of asymptomatic SARS-COV2 infection. *J Infection.* 2020. March 18. doi.org/10.1016/j.jinf.2020.03.028.

17.- 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 quadriennal	
Autoquestionnaire	X	X	X	
Examen clinique approfondi	X	X	X	
IMC	X	X	X	
Pneumologie				TDM thoracique basse dose
Examen clinique	X	X	X	EFR complète
Enregistrement des courbes débit-volume	X	après 40 ans	X	(volumes non mobilisables, TLCO, réactivité bronchique ¹ , épreuve d'effort)
ORL				Explorations vestibulaires complémentaires
Otoscopie avec manœuvre de Valsalva	X	X	X	
Audiométrie tonale	X	si exposition au bruit	X	
Cardiologie				MAPA
Examen clinique approfondi avec mesure de la PA au repos	X	X	X	Épreuve d'effort chez les sujets à risques (voir p. 97)
ECG de repos	X	après 40 ans	X	Échographie
Évaluation de l'adaptabilité à l'effort	X	X	X	Épreuve d'effort maximale avec recherche éventuelle des seuils ventilatoire et métabolique
	interrogatoire / questionnaire	interrogatoire / questionnaire	interrogatoire / questionnaire	
Appareil locomoteur				IRM des articulations
Examen clinique approfondi	X	X	X	
Ophtalmologie				Champ visuel
Acuité visuelle avec et sans correction	X	X	X	Examen des milieux transparents

¹ Épreuve de provocation à la métacholine ou test de réversibilité aux aérosols de béta-2-mimétiques.

Tableaux récapitulatifs des examens

Neurologie et psychiatrie Interrogatoire adapté (recherche d'antécédents) Examen clinique approfondi	X	X	X	Test d'anxiété EEG IRM cérébrale et bilan neuropsychologique après 40 ans
Hématologie 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	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	Bilan hépatique Recherche de psychotropes dans les urines ou le sang

Tableau XVIII : 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 XIX).

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 neuropsychologique.
Appareil ostéoarticulaire	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 XIX : 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/>

18.- 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 interentreprises¹, 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 (tableaux XX à XXIII) 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 €.

18.1.- 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 €
Ophthalmologie		
- 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 psychoactives (non systématique).	26,00 €	26,00 €
TOTAL :	148,27 €	448,47 €

Tableau XX : Coût de l'examen médical initial au SST et hors SST (2016)

¹ Art. R.4624-36 C.T.

Impact économique des recommandations

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 €).

18.2.- 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 psychoactives.	26,00 €	26,00 €
TOTAL :	129,50 €	183,18 €

Tableau XXI : Coût de l'examen périodique annuel (2016)

18.3.- EXAMEN PÉRIODIQUE QUADRIENNAL

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 psychoactives.	5,40 €	26,00 €	26,00 €	26,00 €
TOTAL :	131,45 €	371,04 €	152,05 €	724,31 €

Tableau XXII : Coût de l'examen quinquennal en fonction de l'âge du salarié (2016)

18.4.- 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 €	
Échographie transthoracique	96,00 €	
Électroencéphalogramme	57,60 €	
Radiographie panoramique dentaire	21,28 €	
Radiographie du thorax	21,28 €	
Radiographie des 2 épaules	33,69 €	
Radiographie des 2 genoux	33,69 €	
Radiographie des 2 hanches	29,73 €	
	Forfait technique	Honoraires
Scanner thoracique	32 à 93 €*	25,27 €
IRM des grosses articulations		
- épaules	192 €	60 €
- hanches		
- genoux		
IRM cérébrale	192 €	69 €
Dosage des transaminases	2,97 €	
Dosage de l'homocystéine (non remboursé S.S.)	32,00 €	

* selon le type de scanner, son âge (amortissement) et son activité.

Tableau XXIII : Tarifs des examens complémentaires optionnels (2019)

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 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'ANSES¹. 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 1000²

Mention B :

- activités physiques et sportives (moniteurs de plongée) 3 029³
- archéologie : 300
- arts, spectacles, médias 200
- défense : 2 200
- sécurité civile : 3 000
- scientifiques : 400⁴
- pêche et aquaculture 200

Mention C : 400

Mention D (voir annexe) : 200

Total 10 429 à 10 929

¹ 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>

² 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.

³ 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>.

⁴ Source : Association française des plongeurs scientifiques.

3.- LES RISQUES EN FONCTION DES POSTES

Le tableau XXIV 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. Il n'exclut pas l'éventualité de survenue d'un risque peu probable.

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 recommandations⁵.

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

⁵ Voir le site www.medsubhyp.fr

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 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 trimix⁶, 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 FFESSM⁷ 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.

⁶ voir p. 27.

⁷ <http://www.medical.ffessm.fr> – onglet « Documentation / Enquête accidents de plongée »

	Barotraumatismes		Accidents de désaturation (1)		Hyperoxie (2)	Hypoxie (3)	Hypercapnie	Narcose (4)	Noyade	Hypo thermie	Hyper thermie	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
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 4 bar (classes II et III)

(5) Débutants en formation

Tableau XXIV : 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. Toutefois, elle garde un caractère optionnel si le

médecin du travail doit apprécier, nonobstant les données cliniques dont il dispose, les capacités d'effort du sujet nécessaires pour lui permettre d'occuper son poste de travail.

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 adaptés¹ 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)

¹ 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.fr.

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 : <http://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.

Pérès 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/ducapacitemedecinedusport/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 simultanément², 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 fournies 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.

² <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)¹.

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 affectation²) et des examens périodiques et décisions d'aptitude, ou restrictions subséquentes. Évaluation et aptitude à la

¹ <http://www.ecbm.eu>

² Voir p. 67.

Formation des médecins chargés de la surveillance médicale des travailleurs exposés au risque hyperbare

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.

La pratique de cet examen par un professionnel de santé autre que médecin n'est pas recommandée.

Un examen périodique approfondi est recommandé tous les quatre 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.

L'examen médical de mi-carrière devrait être effectué à l'occasion d'un examen périodique approfondi si l'intéressé pratique toujours des activités professionnelles hyperbares. Pour des raisons de gestion des ressources humaines des services de prévention et de santé au travail, la délégation de cet examen à un infirmier en pratique avancée n'apparaît pas appropriée.

La visite médicale de fin de carrière permet au médecin du travail de proposer s'il y a lieu un suivi au médecin indiqué par l'intéressé.

(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 et une évaluation de sa condition physique générale et de son adaptation à l'effort. Des examens complémentaires peuvent être prescrits selon les présentes recommandations.

Le recours à un spécialiste compétent en médecine hyperbare est recommandé en cas de difficulté.

(Avis d'experts)

Recommandation 6.1

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 quatre ans au minimum.

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 du 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)

L'asthme d'effort et l'asthme au froid sont incompatibles avec la plongée subaquatique. Les sujets porteurs d'un asthme contrôlé par un traitement de niveau 1 ou 2 (GINA 2019) peuvent être déclarés apte sous réserve d'une surveillance régulière et rapprochée. (3C)

En raison des risques élevés de récurrence, les antécédents de pneumothorax spontanés, même traités chirurgicalement, doivent être considérés comme des motifs d'inaptitude. Les antécédents de pneumothorax traumatiques ou iatrogène, ou de chirurgie thoracique devront faire l'objet d'une exploration approfondie par pléthysmographie et TDM basse ou ultra basse dose. La décision devra prendre en compte l'avis du pneumologue ou chirurgien traitant. (3C)

Recommandation 6.2

La pratique d'une tomodensitométrie thoracique basse dose à la recherche de formations aériques intrathoraciques **est fortement recommandée** lors d'un examen médical initial, d'embauche ou périodique, chez tous les travailleurs hyperbares et les candidats à un emploi exposant à des conditions hyperbares, lorsque l'anamnèse et l'examen médical révèlent l'un des éléments suivants :

- des antécédents évoquant un pneumothorax ou un traumatisme thoracique, une pneumopathie infectieuse récente ou des infections pulmonaires récidivantes,
- une dyspnée ou une douleur thoracique inexpliquée,
- un examen clinique pulmonaire anormal,
- un IMC < 20 kg/m² associé à un tabagisme actif ou passé > 20 paquets-années chez l'homme ou 15 chez la femme, ou à une consommation régulière active ou passée (> 52 occurrences en 12 mois consécutifs) de cannabis ou de cocaïne,
- des résultats d'exploration fonctionnelle (en spirométrie simple ou en pléthysmographie) au-delà de la limite inférieure de la normale (Z-score < -1,64 selon les normes GLI).

Chaque fois que cela est possible, le recours à la TDMT ultra basse dose est recommandé.

La radiographie thoracique conventionnelle n'a pas d'indication dans cette recherche.

(3C)

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. Les dysperméabilités sont explorées par la tympanométrie, éventuellement associée à une manœuvre de Valsalva puis de Toynbee.

L'audiométrie tonale est recommandée pour l'évaluation initiale et sera renouvelée au moins tous les 4 ans, ou avant en cas d'accident ORL ou d'exposition au bruit.

L'épreuve de compression en caisson n'est pas un examen médical, mais peut constituer dans certains cas une épreuve fonctionnelle de perméabilité tubaire. Il s'agit avant tout d'une épreuve d'apprentissage des manœuvres d'équilibration de l'oreille moyenne, souvent utilisée lors de la formation initiale, tant en plongée qu'en hyperbarie sèche. Dans les cas difficiles, elle peut se dérouler sous surveillance médicale, mais ne peut être recommandée comme examen systématique dans le bilan ORL.

La radiographie conventionnelle des sinus n'est pas recommandée comme examen systématique.

(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 quatre ans. L'ECG sera renouvelé tous les quatre 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. Il en est de même en cas d'antécédent d'accident vasculaire cérébral cryptogénique. (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.

Après un accident de désaturation articulaire ou en présence de signes cliniques évocateurs, l'imagerie par résonance magnétique précoce est l'examen de référence. Une image de nécrose à ce stade sera suivie à distance par TDM entre 6 et 12 mois, même en l'absence de manifestations cliniques.

(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 quatre 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.

Les pathologies aiguës nécessitent un arrêt temporaire de l'activité. Les pathologies chroniques seront évaluées en fonction du retentissement sur l'activité physique, le comportement, la gêne sociale, et le risque de barotraumatisme.

Après chirurgie bariatrique, la reprise des activités est possible un an après l'intervention si le sujet a un poids stable et est exempt de complication. Les comorbidités et la condition physique devront être évaluées. Le port d'un ballon intragastrique gonflé à l'air et l'absence d'éructation sont des contre-indications formelles aux activités hyperbares.

(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 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)

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.

Après 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 la 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 : Fiche d'information à l'usage du médecin traitant pour la surveillance post-professionnelle des travailleurs ayant été exposés à des conditions hyperbares.

Annexe IV : Suivi et réactualisation des recommandations. Fiche de retour d'expérience

Annexe V : Liste des contributeurs

Annexe VI : Groupe de lecture

Annexe VII : Groupes de travail de la conférence d'expert sur le TDMT

Annexe VIII : 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, Covid-19)	<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 de 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, veuillez en indiquer 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 Ila

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	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1,5 à 3 Kg	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3,5 à 5 Kg	-1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Plus de 5 Kg	-2	<input type="text"/>	<input type="text"/>

9/ Avez-vous pratiqué en compétition une activité sportive ?

Non	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Oui, compétition départementale	3	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Oui, compétition régionale	4	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Oui, compétition nationale ou internationale	5	<input type="text"/>	<input type="text"/>

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	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Non	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>

$$X1 = \Sigma(Q1-Q8)$$

$$X2 = \Sigma(Q9-Q10)$$

$$\text{Sujets masculins : } V \cdot O_2 \text{max estimée} = 45,334 - (0,322 \cdot \text{âge}) + (1,729 - 0,018 \cdot \text{âge}) \cdot X1 + X2$$

$$\text{Sujets féminins : } V \cdot O_2 \text{max estimée} = 37,145 - (0,316 \cdot \text{âge}) + (0,951 - 0,004 \cdot \text{âge}) \cdot X1 + X2$$

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

Fiche d'information

à l'usage du médecin traitant pour la surveillance post-professionnelle des travailleurs ayant été exposés à des conditions hyperbares

Référence : Code du travail – article R.4624-28-3 (décret n° 2021-1065 du 9 août 2021 relatif à la visite médicale des travailleurs avant leur départ à la retraite)

Les conditions hyperbares sont constituées dès que la pression du lieu de travail est supérieure de 0,1 bar à la pression atmosphérique locale. C'est le cas pour la plongée subaquatique et pour le travail en atmosphère d'air comprimé. Les personnes qui travaillent dans ces conditions font l'objet d'une surveillance individuelle renforcée par le médecin du travail. Au moment de leur départ à la retraite, ils bénéficient d'une visite de fin de carrière destinée à faire le bilan des expositions subies, des maladies professionnelles ou accidents de travail et de leurs séquelles éventuelles, et de donner le cas échéant au médecin traitant les indications nécessaires au suivi post-professionnel.

La présente fiche rappelle les éléments pathologiques chroniques qui sont susceptibles d'être observés après expositions hyperbares et les examens qu'il convient de mettre en œuvre pour les rechercher et suivre leur évolution.

1.- LES EFFETS À LONG TERME DE L'EXPOSITION À DES CONDITIONS HYPERBARES

Les différentes études menées sur des travailleurs hyperbares (plongeurs et ouvriers en air comprimé) ayant une carrière de nombreuses années ont montré des altérations de la fonction ventilatoire, du système nerveux central et de l'appareil locomoteur.

1.1.- Les effets au long cours sur le poumon

Les études semblent suggérer qu'il existe une diminution de la CVF, du VEMS, des débits expiratoires maximaux et de la TLCO. 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. Les mécanismes de cette diminution ne sont pas clairement identifiés. La part respective du vieillissement, du tabac et de la plongée doit encore être précisée.

1.2.- Les effets au long cours sur le système nerveux central

Des altérations des fonctions supérieures, des troubles de la mémoire ou de la concentration ont été décrits chez des plongeurs professionnels et amateurs, même en l'absence d'antécédent d'accident de décompression. L'exploration par IRM cérébrale montre dans un certain nombre de cas une prévalence plus élevée de signaux hyperintenses de la substance blanche (lésions asymptomatiques) dans certains groupes de plongeurs par rapport aux témoins, parfois associés à la présence d'un shunt circulatoire droite-gauche favorisant l'embolisation cérébrale de micro-bulles.

Des altérations neurocognitives peuvent cependant exister indépendamment de shunt ou de présence d'images denses de la substance blanche chez des plongeurs ayant à leur actif un nombre important de plongées à saturation à grande profondeur.

1.3.- Les effets au long cours sur l'appareil locomoteur

Ils font l'objet du tableau n° 29 RG des maladies professionnelles. Il s'agit essentiellement de l'ostéonécrose dysbarique (OND) qui peut atteindre l'épaule, la hanche ou le genou, et qui survient souvent, mais pas nécessairement, après un accident de décompression ostéo-articulaire.

L'OND peut évoluer sur plusieurs années et se manifester, lorsqu'elle atteint les zones sous-corticales juxta-articulaires, par un syndrome douloureux et une impotence fonctionnelle qui nécessitent une prise en charge médicale voire chirurgicale.

1.4.- Les séquelles d'accidents liés au travail en conditions hyperbares

Les activités hyperbares sont susceptibles d'être à l'origine d'accidents

- barotraumatiques de l'oreille moyenne ou interne,
- emboliques cochléaires, vestibulaires ou cochléo-vestibulaires, laissant des altérations de l'audition et/ou de l'équilibration,
- de l'appareil respiratoire (œdème aigu d'immersion, pneumothorax, pneumomédiastin),
- d'embolies gazeuses cérébrales,
- d'atteintes du système nerveux central pouvant laisser des hémipariés, des paraplégies ou des troubles moteurs, sensitifs ou sphinctériens isolés.

Prises en charge au titre de la réglementation des accidents du travail, les séquelles de ces accidents doivent faire l'objet d'un suivi post-professionnel spécialisé.

2.- LES EXAMENS DU SUIVI POST-PROFESSIONNEL

En fonction des plaintes exprimées par l'intéressé et des éléments rapportés par le médecin du travail à l'occasion de la visite médicale de fin de carrière (antécédents d'accidents, modalité des expositions hyperbares, conditions de travail) le suivi post-professionnel spécifique aux activités hyperbares pourra faire appel :

- au suivi et aux méthodes d'investigation ORL dans le cas de séquelles auditives, vestibulaires ou sinusiennes ;
- à l'exploration fonctionnelle respiratoire, au repos comme à l'effort si nécessaire et à la tomodensitométrie thoracique pour les affections de l'appareil respiratoire ;
- à une évaluation neuro-psychologique et/ou radiologique (IRM cérébrale) en cas d'apparition de symptômes neuro-cognitifs, en l'absence d'autre diagnostic évident.
- à la tomodensitométrie des articulations concernées dans le cadre du suivi des accidents de décompression ostéo-articulaire, à 6 et 12 mois si une IRM précoce a montré une nécrose ou en l'absence d'IRM initiale.

La prédisposition à l'HTA ayant été fréquemment associée à la survenue d'un œdème pulmonaire d'immersion, cette affection doit être recherchée dans le cas d'un tel antécédent.

Pour le choix et la réalisation des examens à prescrire, le médecin traitant pourra faire appel à un médecin spécialisé en hyperbarie. La liste et les coordonnées des centres hyperbares de France métropolitaine et d'outre-mer sont accessibles sur www.medsubhyp.fr.

ANNEXE IV

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 existe sur le site www.medsuhyp.fr un onglet « Recommandations de bonne pratique » à partir duquel les lecteurs ont librement accès aux documents complets, à des documents annexes et peuvent s'adresser par courrier électronique au conseil scientifique.

Parmi les documents annexes, se trouve une fiche de retour d'expérience (fiche RETEX figurant ci-après) qui permet de proposer au conseil scientifique une modification ou amélioration d'une recommandation, ou de signaler une difficulté survenue dans son application.

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 santé du travail pour validation, avant d'être publiées sur leurs sites internet respectifs.

FICHE DE RETOUR D'EXPÉRIENCE / D'INFORMATION

Recommandations de bonne pratique pour la prise en charge en santé au travail des travailleurs intervenant en conditions hyperbares

Cette fiche concerne :

- Une **proposition de modification** ou de mise à jour des recommandations
- Le **retour d'expérience** (applicabilité, faisabilité, mise en œuvre) des recommandations

Cocher (copier-coller) la case appropriée – 1 seule proposition par fiche.

N° de la recommandation concernée (1 à 22) :

Propositions / informations :

(Écrivez ici votre texte)

Argumentaire :

Références bibliographiques :	
1.-	
2.-	
3.-	
...	
Rédacteur	
Nom Prénom :	Adresse :
Fonction :	
Affiliation :	
	Tél :
	e-mail :
Date d'établissement de la fiche :	

Cette fiche est à retourner par courrier électronique à conseilscientifique@medsubhyp.fr

Les propositions seront étudiées par le conseil scientifique de Medsubhyp et pourront faire l'objet d'une révision des recommandations qui sera rendue publique à l'Assemblée Générale Annuelle.

Annexe V

Liste des contributeurs

Groupe de travail de la première édition (2016 - 2018)

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	Ophtalmologue	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

Groupe de travail de la deuxième édition (2021 - 2023)

Aublin Blandine b.aublin@btpst.fr	Médecin du travail Consultante pour l'OPPBTB	BTP santé au travail 5 rue Jean-Marie Chavant 69007 Lyon
Barberon Bruno bruno.barberon@ap-hm.fr	Praticien hospitalier	Service de médecine hyperbare, subaquatique et maritime Hôpital Sainte Marguerite, 270 Bd Ste Marguerite 13274 Marseille Cedex 09
Barré Philippe	Médecin du travail	
Blatteau Jean-Éric blatteauje@gmail.com	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
Boet Sylvain sboet@toh.ca	Professeur Université d'Ottawa	Unité de Médecine Hyperbare Hôpital d'Ottawa, Canada
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
Coulange 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
Couraud Fabrice COURAUD.F@sdis16.fr	Médecin chef du SDIS 16 Consultant national de la Sécurité civile pour la plongée	SDIS 16 - Angoulême
De Maistre Sébastien sebastien.de-maistre@laposte.net	Spécialiste de médecine de la plongée (service de santé des armées)	CEPHISMER - Marine Nationale Toulon Armées
Ducassé Jean-Louis ducasse.jl@live.fr	Praticien hospitalier	Ancien chef du SMU 31 et du centre hyperbare - Hôpital Purpan - Toulouse
Gerrero François francois.guerrero@univ-brest.fr	UFR sciences du sport et de l'éducation	Université de Bretagne Occidentale Brest
Lachaize Anne lachaizea@yahoo.fr	Médecin du travail	CNRS Marseille
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 Électrochimiques (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
Luis David davidluis.icu@gmail.com	PH réanimateur	Centre hospitalier 02400 Château-Thierry
Méliet Jean-Louis jean-louis.meliet@orange.fr	Médecin du travail (er)	Ancien spécialiste de médecine de la plongée (service de santé des armées) Président honoraire et coordinateur du conseil scientifique de Medsubhyp
Regnard Jacques jacregnard@free.fr	PU-PH en physiologie (er)	Université de Franche Comté 25000 Besançon Ancien président de Medsubhyp
Wending Jürg mail@wending.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
Willem Carl carl.willem@gmail.com	Praticien hospitalier	Service de médecine hyperbare Hôpital Pasteur Nice

Annexe VI

Groupes de lecture 2016 - 2018

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 xylogie 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

Groupe de lecture de l'édition 2023

Société française de santé au travail

Esquirol	Yolande	MCU – PH Centre de pathologies professionnelles et environnementales Hôpital Purpan - CHU Toulouse
Fantoni- Quinton	Sophie	PU – PH UF Pathologies professionnelles et maintien dans l'emploi - CHRU Lille Présidente de la Société française de santé au travail
Gislard	Antoine	PH – Responsable du service de consultations des maladies professionnelles Hôpital Jacques Monod – Le Havre
Pairon	Jean-Claude	PU – PH Service de pathologies professionnelles et de l'environnement CHI Créteil Président du conseil scientifique de la Société française de santé au travail

Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française

Albertini	Jean-Jacques	Responsable du Centre d'oxygénothérapie hyperbare – Polyclinique Urbain V - Avignon
D'Andréa	Cyril	PH – Service de médecine hyperbare, plaies et cicatrisation CHU de la Réunion Sud – 97448 Saint-Pierre
Joffre	Thierry	PH – Directeur médical du centre de médecine hyperbare CHU Edouard Herriot – Hospices civils de Lyon
Louge	Pierre	Unité de médecine subaquatique et hyperbare – Hôpitaux universitaires de Genève et service de médecine hyperbare et expertise plongée – Hôpital d'instruction des armées Sainte-Anne – Toulon
Parmentier- Decrucq	Erika	PH - Responsable du centre hyperbare Pôle de médecine intensive et réanimation – CHRU Lille
Pignel	Rodrigue	Responsable de l'unité de médecine subaquatique et hyperbare – Service des urgences - Hôpitaux Universitaires de Genève
Poussard	Jérôme	PH - Pôle Réanimation Urgences SAMU Hyperbarie CHU Sainte Marguerite – Marseille
Riu-Poulenc	Béatrice	PH – Responsable du centre de médecine hyperbare CHU Toulouse Purpan – Toulouse
Vilette	Nathalie	Infirmière coordinatrice de la commission des techniciens et paramédicaux hyperbaristes Centre de médecine hyperbare Hôpital Sainte-Marguerite - Marseille

Annexe VII

Groupes de travail de la conférence d'experts sur la TDMT (2021 - 2023)

Comité de pilotage

Dr E. Gempp (Toulon)
Dr P. Louge (Genève)

Direction

Pr J.E. Blatteau (Toulon)
Dr M. Coulange (Marseille)
Dr J.L. Méliet (Medsubhyp)
Pr J. Regnard (Besançon)

Bibliographie

Dr F. Grillet¹ (Besançon)
Dr V. Souday (Angers)
Dr B. Lemmens³ (Blois)
Dr C. D'Andréa (Saint-Pierre)
Dr S. De Maistre (Toulon)

Pneumologie

Dr H. Etienne² (Tenon Paris)
Pr S. Jouneau³ (Rennes)
Pr B. Maitre³ (CHI Créteil)
Pr C. Marquette³ (Nice)

Radiologie

Pr M.F. Carette⁴ (Paris)
Dr F. Cornelis³ (New York)

Médecine du travail

Dr B. Aublin (Lyon) Dr A. Lachaize (Marseille)
Dr P. Barré (Marseille) Dr S. Hulo⁵ (Lille)
Dr Y. Esquirol⁵ (Toulouse) Dr B. Loddé⁴ (Brest)
Dr A. Gislard⁵ (Le Havre)

Médecine hyperbare

Pr D. Annane (Garches)
Dr E. Parmentier-Decrucq (Lille)
Dr J.E. Herbrecht (Strasbourg)
Dr M. Coulange (Marseille)
Dr B. Riu-Poulenc (Toulouse)
Dr A. Kauert (Nice)

Dr A. Henckes (Brest)
Dr M. Borgnetta (Marseille)
Dr R. Pignel (Genève)
Dr T. Joffre (Lyon)
Dr L. Durand (Tahiti)
Dr V. Simon (Tahiti)

¹ Société française de radiologie

² Société française de chirurgie thoracique

³ Société de pneumologie de langue française

⁴ Société d'imagerie thoracique

⁵ Société française de santé au travail

Les auteurs non référencés sont membres de Medsubhyp.

Annexe VIII

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
COVID	<i>Coronavirus disease</i>
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
γ GT	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
SSPT	Service de santé et de prévention 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
TDMT	Tomodensitométrie thoracique
TDMT BD	Tomodensitométrie thoracique basse dose
TDMT UBD	Tomodensitométrie thoracique ultra basse dose
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