



**RECOMMANDATIONS DE BONNE PRATIQUE**

**POUR LE**

**SUIVI MÉDICAL DES PRATIQUANTS  
D'ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES  
SPORTIVES ET DE LOISIR**

*Première édition*

Juillet 2020

# **Recommandations de bonne pratique pour le suivi médical des pratiquants d'activités subaquatiques sportives et de loisir**

Ces recommandations ont été approuvées pour publication par le conseil d'administration de la société de physiologie et de médecine subaquatique et hyperbare de langue française le 29/07/2020

et par le conseil d'administration de la société française de médecine de l'exercice et du sport le 28/07/2020.

© Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française 2020

Association loi de 1901 fondée en 1969 (JORF du 11 janvier 1969)

CHU Sainte-Marguerite - *Service de Réanimation Médicale et de Médecine Hyperbare*

270 Boulevard de Sainte-Marguerite- 13274 MARSEILLE CEDEX 9

<http://www.medsubhyp.fr>

## TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I	
Introduction	1
CHAPITRE II	
Méthodologie	8
CHAPITRE III	
Les différentes activités subaquatiques sportives et de loisir	12
CHAPITRE IV	
Le médecin et la plongée subaquatique : aspects juridiques	18
CHAPITRE V	
Étude des risques	23
CHAPITRE VI	
État des pratiques	30
CHAPITRE VII	
Physiologie, physiopathologie et accidents des activités subaquatiques	37
CHAPITRE VIII	
La plongée en apnée : physiologie et physiopathologie	65
CHAPITRE IX	
Conduite de l'examen pour un avis médical avant une activité subaquatique de loisir	84
CHAPITRE X	
Appareil cardio-circulatoire	87
CHAPITRE XI	
Appareil respiratoire	99
CHAPITRE XII	
Oto-rhino-laryngologie	124
CHAPITRE XIII	
Appareil locomoteur	133
CHAPITRE XIV	
Affections dentaires	140
CHAPITRE XV	
Gynécologie et grossesse	152
CHAPITRE XVI	
Gastroentérologie	157
CHAPITRE XVII	
Neurologie et psychiatrie	163
CHAPITRE XVIII	
Dermatologie et allergologie	172
CHAPITRE XIX	
Hématologie	183

CHAPITRE XX		
Diabète		190
CHAPITRE XXI		
Fonction rénale et affections des reins		198
CHAPITRE XXII		
Ophtalmologie		206
CHAPITRE XXIII		
La plongée de loisir chez l'enfant et l'adolescent		215
CHAPITRE XXIV		
La plongée après cinquante ans		242
CHAPITRE XXV		
Orientation de l'examen médical en fonction de l'activité		253
CHAPITRE XXVI		
Handicap et plongée de loisir		256
CHAPITRE XXVII		
La plongée après l'épidémie COVID-19		291
CHAPITRE XXVIII		
Recommandations pour la formation des médecins		298
ANNEXES		
Annexe I	Tableau récapitulatif des examens médicaux recommandés	304
Annexe II	Les lois physiques régissant le milieu subaquatique et leurs conséquences physiologiques	306
Annexe III	Questionnaire de santé préalable à un examen médical pour la pratique d'activités subaquatiques	311
Annexe IV	Questionnaire de santé « QS-Sport »	313
Annexe V	Gille de lecture de l'ECG	314
Annexe VI	Notice d'information et questionnaire à l'adresse des chirurgiens-dentistes traitants	317
Annexe VII	Liste des contributeurs	320
Annexe VIII	Liste des relecteurs	323
Annexe IX	Table des abréviations	325
Annexe X	Fiche de retour d'expérience ou d'information	328

## CHAPITRE I

### INTRODUCTION

#### I – PRÉAMBULE

##### 1.- GÉNÉRALITÉS

La plongée subaquatique est ici définie comme l'ensemble des activités sportives ou de loisir ayant pour caractéristique commune de se dérouler sous la surface, avec ou sans utilisation d'un équipement permettant la respiration. Ces activités peuvent se dérouler à titre totalement privé, en dehors de toute structure ou encadrement, ou bien au sein d'établissements d'activités physiques et sportives (EAPS).

Une étude socio-économique publiée en 2005 (Ministère de la jeunesse, des sports et de la vie associative, 2005) et non renouvelée depuis, fait état de 340 000 plongeurs de nationalité française qui pratiquaient la plongée de loisir à cette date. Avec le développement international du tourisme sous-marin, ce nombre est sans doute plus important aujourd'hui. Malgré son ancienneté et ses insuffisances méthodologiques (seules les données issues de la fédération française d'études et de sports sous-marins étaient validées ; les autres données étaient des estimations d'experts) qui ne permettent pas d'en approcher la précision, c'est la seule à ce jour permettant d'évaluer dans l'ordre de grandeur la population des plongeurs. Elle compterait 47 % de licenciés fédéraux, 34 % de clients des moniteurs professionnels, 16 % de pratiquants hors structure et 3 % de clients de voyagistes spécialisés. Le nombre des plongeurs appartenant simultanément à plusieurs de ces catégories n'est pas connu.

##### 2.- APTITUDE ET CONTRE-INDICATIONS

Il n'existe pas de définition légale ou réglementaire de ces deux termes.

Pour le dictionnaire, l'aptitude est la capacité, naturelle ou acquise, à faire quelque chose. On peut donc distinguer :

- **l'aptitude technique** qui regroupe des connaissances théoriques et pratiques et leur mise en œuvre, un savoir-faire, enrichi éventuellement d'une expérience individuelle ;

- **l'aptitude médicale**, qui fait référence aux états de santé permettant de réaliser sans risque, ou avec un risque minimal, la ou les activités considérées.

L'aptitude médicale se définit différemment selon le champ d'activités à laquelle elle s'adresse :

- en médecine du travail, elle est définie par le code du même nom par rapport au poste de travail occupé (les tâches, les outils, les contraintes environnementales sont connus et définis) : le médecin vérifie la compatibilité de l'état de santé du travailleur avec le poste de travail, afin de prévenir tout risques grave d'atteinte à sa santé ou à sa sécurité ou à celles de ses collègues ou des tiers évoluant dans l'environnement immédiat de travail (art. R4626-24 du code du travail). L'aménagement du poste de travail doit être possible pour permettre au sujet de travailler malgré un état de santé altéré ; en l'absence de possibilité, l'employeur est tenu de proposer un autre poste de travail. Ce n'est qu'en cas d'impossibilité de ce

reclassement que le sujet peut être déclaré inapte au poste de travail. Dans cette procédure, le médecin est le conseiller de l'employeur, par lequel il est rémunéré ;

- en médecine militaire, l'aptitude est définie par rapport à un ensemble de missions (sous-marins, parachutisme, aéronautique, plongée, etc.) dont la nature, l'environnement et les contraintes sont variables. Le sujet ne choisit pas sa mission et il n'y a pas d'aménagement possible de la mission en fonction de son état de santé. Le médecin participe à une opération de sélection qui a pour résultat d'écarter les sujets dont l'état de santé ne permettrait pas de réaliser l'activité (les missions) ou qui présenterait un risque d'aggravation du fait de la mission ;

En médecine du sport, au sein d'une même discipline, il existe souvent une large gamme de pratiques dont les paramètres et l'environnement peuvent varier. Mais, comme le sujet choisit son activité, des aménagements sont souvent possibles en fonction de son état de santé. Le médecin intervient donc en prévention des risques comme conseiller à la fois pour l'organisateur de l'activité et pour le pratiquant lui-même, en indiquant ce qu'il peut ou ne peut pas faire. C'est en ce sens que la réglementation ne retient que la notion de contre-indication et d'absence de contre-indication (sous-entendue médicale).

Dans le cas particulier de la plongée de loisir, l'**aptitude** est définie par le code du sport comme les **capacités techniques** du plongeur à évoluer encadré, en autonomie, à utiliser un mélange nitrox ou trimix ou héliox dans différents espaces d'évolution (annexes III-14a, III-a et III-18a). Il relève de la responsabilité du directeur de plongée d'évaluer et de définir l'aptitude du plongeur (art. A 322-72 du code du sport) qui par ailleurs n'a pas de contre-indication médicale à l'activité (dans les situations où un certificat médical est requis).

On peut donc considérer qu'une **contre-indication médicale** est un état de santé qui fait courir des risques au sujet lors de la pratique d'une activité par ailleurs définie, en faisant l'hypothèse d'une réalisation technique satisfaisante. Deux niveaux de contre-indications peuvent être individualisés :

- les contre-indications absolues : l'activité n'est pas possible. Le risque pour la santé et la sécurité du pratiquant ou des personnes évoluant avec lui (autres personnes de la palanquée) est trop important ;

- les contre-indications relatives : l'activité doit être aménagée pour permettre une pratique sans risque ou avec un niveau de risque raisonnable pour le pratiquant ou ses coéquipiers.

Chacune des deux peut selon le cas, être temporaire ou définitive.

Ainsi l'absence de contre-indication à la plongée ne préjuge pas des capacités techniques (aptitudes) du pratiquant dans le cadre d'une pratique de loisir.

Cette notion est importante pour les personnes en situation de handicap pour lesquelles l'aptitude réelle est à évaluer en situation : la présence d'une déficience entraînant une situation de handicap en situation de vie « terrestre » n'entraîne pas nécessairement d'inaptitude technique en situation immergée (le législateur prévoit la possibilité d'une assistance adaptée en encadrement ou en matériel pour évoluer en plongée encadrée entre 0 et 40 mètres).

Au total, pour ce qui concerne les activités sportives (code du sport) :

- le concept **d'aptitude** est réservé à la pratique technique (104 articles y font référence) ;

- pour éviter toute confusion, le terme d'aptitude médicale est banni. Seul le terme de **contre-indication** (sous-entendue médicale) est utilisé : 30 articles y font référence.

### **3.- ASPECTS RÉGLEMENTAIRES CONCERNANT LE CERTIFICAT D'ABSENCE DE CONTRE-INDICATION**

Le code du sport prévoit que le *ministre chargé des sports, en liaison avec les autres ministres et organismes intéressés, engage et coordonne les actions de prévention, de surveillance médicale, de recherche et d'éducation mises en œuvre avec le concours, notamment, des fédérations sportives agréées [...] pour assurer la protection de la santé des sportifs et lutter contre le dopage* (art. L230-1).

Les médecins qui participent à cette mission de prévention sont *les médecins de santé scolaire, les médecins du travail, les médecins militaires et les médecins généralistes, en liaison avec les médecins spécialisés, et ayant reçu une formation initiale nécessaire à la pratique des examens médico-sportifs, contenue dans le deuxième cycle des études médicales et grâce à une formation continue adaptée* (art. L231-1).

L'examen médical, sanctionné par la délivrance du certificat médical d'absence de contre-indication (CACI), s'inscrit comme un moyen de réaliser cette action de prévention. Le CACI est exigé :

- pour l'obtention d'une licence pour la pratique d'une activité sportive. Il doit dater de moins d'un an et permet d'établir l'absence de contre-indication à la pratique du sport ou, le cas échéant, de la discipline concernée (art. L231-2) ;
- annuellement pour le renouvellement de la licence pour les « disciplines sportives à contraintes particulières » dont fait partie la plongée subaquatique<sup>1</sup> (art. R212-7) ;
- une fois tous les trois ans (art. D231-2-3) pour les autres disciplines (apnée horizontale en piscine, nage avec palmes, hockey subaquatique, tir sur cible). Dans l'intervalle, un questionnaire de santé, dont le modèle est fixé par le code du sport (v. annexe IV), doit être renseigné (art. D231-1-4). Toute réponse positive à l'une des questions impose un examen médical.

L'art. A231-1 précise en outre que pour les disciplines à contraintes particulières, l'examen médical est effectué par tout médecin ayant, le cas échéant, des compétences spécifiques.

Il faut toutefois observer que la prévention des accidents repose également sur la formation et l'apprentissage, l'entraînement, le respect des procédures et la connaissance et l'entretien du matériel.

---

<sup>1</sup> C'est-à-dire la plongée en scaphandre en tous lieux et en apnée en milieu naturel et en fosse de plongée à plus de 6 m.

#### 4.- SPÉCIFICITÉS EN FONCTION DU CADRE DANS LEQUEL L'ACTIVITÉ SE PRATIQUE

Il existe donc à ce jour en France trois situations distinctes de la pratique de la plongée dans les EAPS, au regard de l'intervention réglementée d'un médecin :

- Le plongeur pratique au sein d'un club, membre d'une fédération, et demande une licence sportive. Le certificat d'absence de contre-indication est obligatoire.
- La personne pratique au sein d'un club une activité de découverte de courte durée, qui ne nécessite pas de licence fédérale. Il lui est alors délivré un autre titre de participation (ATP) qui ne nécessite pas de présenter un certificat médical.
- Le plongeur pratique au sein d'un EAPS qui ne lui impose pas la prise d'une licence fédérale ; il n'y a là encore aucune obligation de certificat médical.

Les encadrants salariés relèvent du code du travail et sont soumis aux dispositions issues du décret 2011-45 du 11 janvier 2011 (mention B : activités physiques ou sportives). Des recommandations de bonne pratique ont été établies pour le suivi médical des professionnels (MEDSUBHYP 2018). Les encadrants chefs d'entreprise n'ont pas l'obligation de se soumettre à la visite médicale du travail, mais demeurent soumis, comme les encadrants bénévoles, aux obligations du code du sport et aux dispositions d'application prises par la fédération délégataire<sup>2</sup>. La plongée hors structure (à titre personnel) n'est pas concernée par le code du sport.

Il existe donc une différence de prise en compte de la santé du plongeur selon la structure où il plonge : le certificat médical d'absence de contre-indication n'est exigé que pour l'obtention ou le renouvellement d'une licence, qui permet entre autres choses de disposer systématiquement d'une assurance en responsabilité civile, de participer aux compétitions sportives et, sur option seulement, d'acquérir une assurance complémentaire individuelle. Seules les fédérations sportives (comme la fédération française d'études et de sports sous-marins — FFESSM — et la fédération sportive et gymnique du travail — FSGT) délivrent ces licences.

En 2018, la FFESSM a délivré environ 145 000 licences et 130 000 ATP. Les structures commerciales qui lui sont affiliées (c.-à-d. hors clubs associatifs) réaliseraient environ 50 % de l'activité plongée totale en France (source : FFESSM).

D'autres organisations proposent des plongées de loisir dans des établissements d'activités physiques et sportives (p. ex. : PADI *Professional Association of Diving Instructors*, ANMP association nationale des moniteurs professionnels, SNMP syndicat national des moniteurs de plongée, UCPA union nationale des centres sportifs de plein air, GNPU groupement national de plongée universitaire – [www.gnpu.net](http://www.gnpu.net)) sans délivrer de licence. Elles n'ont par conséquent aucune obligation d'exiger un certificat médical préalable de leurs plongeurs, et se contentent parfois, mais pas toujours, d'un questionnaire. Toutefois, pour couvrir leur responsabilité en cas d'accident, un certain nombre de prestataires exigent tout de même un certificat médical préalable.

Les clubs étrangers qui viennent plonger sur nos côtes ne sont pas concernés par la délivrance d'une licence.

---

<sup>2</sup> Fédération française d'études et de sports sous-marins (arrêté du 31 décembre 2016, J.O.R.F. du 11 janvier 2017).

Cette situation réglementaire implique que selon la structure dans laquelle on pratique la plongée en France, on peut être obligé de fournir un certificat médical, remplir un simple questionnaire ou n'avoir aucun document à présenter. À l'inverse, certains pratiquants non licenciés passent de leur propre initiative une visite médicale annuelle. De même, l'ANMP (association nationale des moniteurs de plongée) conseille à ses moniteurs de demander un certificat médical à leurs élèves.

Or, les conditions de plongée en EAPS sont identiques et imposées par les lois de la physique pour ce qui concerne les facteurs environnementaux et par le code du sport pour ce qui concerne le niveau technique du plongeur (profondeur, autonomie, encadrement, etc.). Les contraintes de l'activité sont donc les mêmes.

Au total, la FFESSM évalue à 35 % la proportion de pratiquants de la plongée subaquatique en France ayant bénéficié d'un examen médical adapté aux activités subaquatiques.

Par ailleurs, tout plongeur peut être amené à consulter un médecin pour une affection quelconque et à lui faire part de son état de plongeur. En cas d'affection chronique ou en présence de séquelles celui-ci sera amené à envisager les conséquences de l'état clinique sur les risques encourus lors de la pratique de la plongée subaquatique.

## II – ACCIDENTOLOGIE EN PLONGÉE SUBAQUATIQUE

Les données méthodologiquement validées font défaut dans la littérature (études épidémiologiques rétrospectives, méta-analyses). Une étude prospective sur l'accidentologie en plongée sous-marine est en cours de réalisation pour tenter de cerner les causes à l'origine des différents accidents en France métropolitaine et outre-mer et faire la part des états pathologiques préexistants en cause dans leur survenue.

Sur le plan épidémiologique rétrospectif, peu de données sont disponibles :

- les statistiques d'intervention des Centres régionaux opérationnels de surveillance et de sauvetage pour l'année 2015 font état de 24 décès liés à la plongée, dont 17 en plongée « avec bouteilles » (11 en métropole, 6 outre-mer) et 7 en apnée ou pêche sous-marine (3 en métropole, 4 outre-mer) ;
- dans une étude non publiée, Coulange (2017) a comptabilisé 86 décès en plongée en 8 ans (2008 – 2016) expertisés à Marseille. 43 % d'entre eux sont liés à une pathologie cardio-vasculaire ;
- le rapport du DAN (*Divers Alert Network*) de 2016 (Buzzacott 2016), portant sur les données de 2014, fait état de 200 décès déclarés chez ses adhérents, dont 64 en plongée en apnée. Le taux d'incidence est évalué à  $2.10^{-5}$  pour les États-Unis. Sur 68 dossiers exploitables, 69 % des femmes et 84 % des hommes avaient 40 ans et plus, 55 % avaient 50 ans et plus et 51 % avaient un IMC  $\geq 30$ . Une pathologie cardiaque est le facteur le plus souvent retrouvé parmi les causes (7 %).
- pour l'année 2015, le DAN rapporte (Buzzacott 2017) 127 décès en plongée autonome (dont 67 dossiers exploités). 75 % des hommes et 71 % des femmes avaient 50 ans ou plus. 37 % avaient un IMC  $\geq 30$ . 4 sur 67 (6 %) souffraient d'une pathologie cardiovasculaire avérée. 46 décès ont été notifiés en plongée en apnée, dont 25 avaient plus de 40 ans, et 17 plus de 50. 84 % étaient des hommes. 10 sur 46 (27 %) étaient physiquement inaptes et 9 présentaient des problèmes médicaux.

### III – ACTEURS DE LA PRÉVENTION MÉDICALE ET OBJECTIFS DES RBP

Se prononcer sur la contre-indication ou sur des restrictions de pratique pour des raisons de santé nécessite de la part du praticien un certain nombre de connaissances qui ne peuvent être acquises qu'en suivant des enseignements complémentaires aux études médicales de base.

Si l'on reprend la liste des médecins reconnus compétents par le code du sport (art. L231-1) :

- les médecins de santé scolaire ne reçoivent aucun enseignement spécifique,
- les médecins du travail n'ont que deux heures de cours consacrées dans le cadre du DES à l'hyperbarie professionnelle,
- les médecins généralistes n'ont pas d'autre formation que celle du deuxième cycle d'études médicales,

Les médecins du sport ne sont pas cités dans l'article L231-1. Ils ne bénéficient généralement que de deux heures d'enseignement sur le sujet dans le cadre de la capacité de médecine du sport.

Seuls ont des connaissances particulières en médecine de la plongée :

- certains médecins licenciés à la FFESSM, dits « fédéraux », quelle que soit leur spécialité, membres d'un club de plongée et eux-mêmes pratiquants, qui assistent régulièrement aux réunions médicales organisées au sein de la FFESSM au cours desquelles sont diffusées les actualités et l'avancement des connaissances en la matière (voir *Chapitre VI* État des pratiques). Ils peuvent être médecins du sport, membres de la société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française (dite MEDSUBHYP) ;
- certains médecins militaires dont la formation de base comporte deux semaines de connaissances théoriques dans le cadre des stages de formation aux aspects spécifiques des activités militaires. Le service de santé des armées a de plus institué une formation spécialisée de six ans, avec un cursus universitaire comportant le DIU et un master 2, ainsi qu'une formation pratique en plongée militaire, de classe 2 ou 3 selon les cas ;
- les médecins ayant validé un enseignement post-universitaire consacré à cette discipline, comme le diplôme interuniversitaire de médecine subaquatique et hyperbare<sup>3</sup>, ou les enseignements universitaires dispensés à Marseille ou Paris XIII.

Une étude auprès de 454 médecins français (médecins du sport et médecins fédéraux) menée en 2017 et 2018 (Attia et coll. 2018) a montré que les médecins ayant reçu une formation universitaire initiale et qui suivent une formation continue ont des réponses plus pertinentes sur les contre-indications médicales à la plongée de loisir que ceux qui n'en bénéficient pas. Elle conforte l'appréciation de MEDSUBHYP à qui était apparue la nécessité de mettre à la disposition du corps médical un ouvrage de référence exposant les éléments nécessaires à la décision médicale.

Comme cela a été fait pour le suivi médical des travailleurs hyperbares, cet ouvrage est établi à l'usage des médecins, qu'ils interviennent pour une demande de délivrance d'un certificat d'absence de contre-indication ou à l'occasion d'une consultation médicale, comme un guide de bonnes pratiques pour les aider dans leurs actions de prévention, de suivi médical et de conseil. Élaboré en partenariat avec la société française de médecine de l'exercice et du sport

---

<sup>3</sup> Angers (avec Brest), Besançon (avec Nancy et Strasbourg), Bordeaux, Lille, Lyon 1, Nice, la Réunion, Toulouse, Versailles. Pour le DESIU : Aix-Marseille, Antilles, Montpellier.

(SFMES) et en association avec la commission médicale et de prévention nationale (CMPN) de la FFESSM, il s'adresse non seulement aux médecins du sport et aux médecins fédéraux, mais également à tous les médecins généralistes ou spécialistes qui seraient amenés à recevoir des plongeurs ou candidats plongeurs de loisir, y compris des personnes en situation de handicap.

Dans une première partie, après avoir exposé la méthodologie adoptée pour son élaboration et leur adoption, nous dressons un état des lieux de la plongée de loisir, comprenant les aspects législatifs et réglementaires, les différentes catégories de pratiquants et d'activités subaquatiques, un rappel des risques auxquels ils sont exposés, l'état des pratiques à l'étranger, les données épidémiologiques disponibles.

Dans une deuxième partie, nous exposons les éléments d'une étude générale des risques des activités subaquatiques sportives et de loisir, puis, dans une troisième partie, après avoir rappelé les règles générales pour la conduite de l'examen médical appliquées à la plongée et aux activités subaquatiques, nous présentons les recommandations par appareils et spécialités médicales, assorties d'une gradation en fonction de leur niveau de preuve scientifique, et en fonction des différentes catégories d'activités pratiquées.

Les recommandations de bonne pratique reflètent l'état des connaissances avérées au moment de leur rédaction. Le document qui les présente se doit donc d'être évolutif. Une procédure de retour d'expérience est décrite dans un dernier chapitre, à l'aide d'un système de fiches à adresser au conseil scientifique de MEDSUBHYP qui en fera une revue et une synthèse annuelle.

Dans les annexes, sont exposés les rappels de physique permettant de comprendre les argumentaires présentés, la composition des groupes de travail ayant élaboré ce document et des documents dont l'usage peut s'avérer utile (questionnaires et fiches diverses, abréviations, etc.).

---

## Références

Attia C, Méliet JL, Pillet B, Morin J, De Maistre S, Henckes A, Coulange M, De Garambé N, Blatteau J-É. Évaluation des pratiques des médecins généralistes pour le certificat d'absence de contre-indication à la plongée de loisir. Bull. MEDSUBHYP, 2018, 28, (2): 43-53.

Buzzacott P (editor), DAN Annual Diving Report 2016 Edition - A report on 2014 data on diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2016; pp. 129.

Buzzacott P (editor). DAN Annual Diving Report 2017 Edition - A report on 2015 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2017; pp. 134.

Coulange M. Analyse de plus de 80 décès en plongée. Congrès ARESUB 1<sup>er</sup> juin 2017, La Réunion. <http://www.aresub.org/congres-30ans-aresub-1er-et-2-juin-2017/>

MEDSUBHYP. Recommandations de bonne pratique pour le suivi en santé au travail des travailleurs intervenant en conditions hyperbares. 2<sup>e</sup> édition 2018. Disponible sur : <https://www.medsubhyp.fr/fr/accueil/2-non-categorise/144-recommandations-de-bonne-pratique-pour-la-prise-en-charge-en-sante-au-travail-des-travailleurs-intervenant-en-conditions-hyperbares.html> [mai 2020].

Ministère de la jeunesse, des sports et de vie associative. Délégation à l'emploi et aux formations. Étude socio-économique relative à la plongée subaquatique de loisir en 2004-2005. Décembre 2005. 103 p.

## CHAPITRE II

### MÉTHODOLOGIE

L'élaboration de ces recommandations a été menée selon la même procédure que celle utilisée pour les recommandations pour le suivi en santé au travail des travailleurs hyperbares (2015-2016)<sup>1</sup> d'après les recommandations de la HAS.

S'agissant d'activités sportives, la fédération délégataire (fédération française d'études et de sports sous-mains, FFESSM), ainsi que la société française de médecine de l'exercice et du sport (SFMES) ont été associées dès le début à ce travail.

Un groupe de travail a été constitué, comprenant les membres du conseil scientifique de MEDSUBHYP, les représentants de la FFESSM et de la SFMES et des experts de différentes spécialités et origines, tous compétents en hyperbarie.

Composition du groupe de travail (GT) :

Au titre du conseil scientifique de MEDSUBHYP :

Nom Prénom	Qualité
Barberon Bruno <a href="mailto:bruno.barberon@ap-hm.fr">bruno.barberon@ap-hm.fr</a>	Praticien hospitalier (er) Service de médecine hyperbare – Hôpital Sainte Marguerite – Marseille
Blatteau Jean-Éric <a href="mailto:je.blatteau@infonie.fr">je.blatteau@infonie.fr</a>	Professeur agrégé du Val de Grâce Chef du service de Médecine Hyperbare et Expertise Plongée – Hôpital Sainte Anne – Toulon
Constantin Pascal <a href="mailto:pascalconstantin@free.fr">pascalconstantin@free.fr</a>	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) – Hôpital du Val de Grâce – Paris
D'Andréa Cyril <a href="mailto:cyril.dandrea@chu-reunion.fr">cyril.dandrea@chu-reunion.fr</a>	Praticien hospitalier Service d'urgence et de médecine hyperbare – CHU St-Pierre (Réunion)
Ducassé Jean-Louis <a href="mailto:ducasse.jl@chu-toulouse.fr">ducasse.jl@chu-toulouse.fr</a>	Praticien hospitalier (er) Ancien chef de service du SAMU de Toulouse Représentant la SFMES
Guerrero François <a href="mailto:francois.guerrero@univ-brest.fr">francois.guerrero@univ-brest.fr</a>	Université de Bretagne occidentale Université européenne de Bretagne UFR en Sciences du sport et de l'éducation – Brest EA 4324 – Optimisation des régulations physiologiques (ORPhy) Brest
Letellier Pierre <a href="mailto:piletellier@wanadoo.fr">piletellier@wanadoo.fr</a>	Professeur Émérite – Université Pierre et Marie Curie – Paris
Luis David <a href="mailto:davidluis.icu@gmail.com">davidluis.icu@gmail.com</a>	Praticien hospitalier Chef du service de réanimation polyvalente et USC CH Beauvais – 60000 Beauvais

<sup>1</sup> [www.medsubhyp.fr](http://www.medsubhyp.fr)

Méliet Jean-Louis <a href="mailto:jean-louis.meliet@orange.fr">jean-louis.meliet@orange.fr</a>	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
Regnard Jacques <a href="mailto:jacques.regnard@univ-fcomte.fr">jacques.regnard@univ-fcomte.fr</a>	PU – PH – Université de Franche-Comté – Besançon Président de la Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française
Rostain Jean-Claude <a href="mailto:jean-claude.rostain@univ-amu.fr">jean-claude.rostain@univ-amu.fr</a>	Directeur de Recherche UMR – MD2, P2COE Faculté de médecine Nord – Marseille
Wendling Jürg <a href="mailto:mail@wendling.ch">mail@wendling.ch</a>	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

Au titre des experts adjoints au conseil scientifique :

Nom Prénom	Qualité
Borgnetta Marc <a href="mailto:marc.borgnetta@wanaddo.fr">marc.borgnetta@wanaddo.fr</a>	Chef du service médical de l'Institut National de Plongée Professionnelle – Marseille
Coulange Mathieu <a href="mailto:Mathieu.COULANGE@ap-hm.fr">Mathieu.COULANGE@ap-hm.fr</a>	Chef du service de Médecine Hyperbare et Subaquatique Hôpital Sainte Marguerite – Marseille
Couraud Fabrice <a href="mailto:couraud.f@sdis16.fr">couraud.f@sdis16.fr</a>	SDIS 16 Angoulême
Di Meglio Frédéric <a href="mailto:fdimeglio@ffessm.fr">fdimeglio@ffessm.fr</a>	Médecin spécialiste ORL – Marseille Médecin du comité directeur national de la FFESSM (2017-2020) Représentant la commission nationale médicale et de prévention de la FFESSM
Hugon Michel <a href="mailto:hugonmichel@gmail.com">hugonmichel@gmail.com</a>	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) Ancien chef du service de Médecine Hyperbare et Expertise Plongée – Hôpital Sainte Anne – Toulon
Lafay Vincent <a href="mailto:vincent.lafay@medecins-saint-antoine.fr">vincent.lafay@medecins-saint-antoine.fr</a>	Cardiologue attaché au service de médecine hyperbare Hôpital Sainte Marguerite – Marseille
Lodde Brice <a href="mailto:brice.lodde@chu-brest.fr">brice.lodde@chu-brest.fr</a>	Médecin du travail MCU-PH Hôpital Morvan – Brest
Pontier Jean-Michel <a href="mailto:jm.pontier@free.fr">jm.pontier@free.fr</a>	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) – CEPHISMER Marine nationale – Toulon Médecin fédéral national de la FFESSM (2017-2020)
Thomas Emilie <a href="mailto:emilie.thomas23@gmail.com">emilie.thomas23@gmail.com</a>	Praticien hospitalier Service de médecine hyperbare – Hôpital Sainte Marguerite – Marseille

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

Le lancement du projet a eu lieu le 27 janvier 2017. Les chapitres de la première version du document ont été rédigés entre juillet 2017 et avril 2019, 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.

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. Seules ont fait l'objet d'une cotation conforme à la méthodologie de la HAS (tableau I) les recommandations à l'appui desquelles existent des études scientifiques. Celles qui ne sont pas cotées sont à considérer comme avis d'experts.

Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature		Grade des recommandations
<b>Niveau 1</b>	Essais comparatifs randomisés de forte puissance Méta-analyse d'essais comparatifs randomisés Analyse de décision fondée sur des études bien menées	<b>A</b> Preuve scientifique établie
<b>Niveau 2</b>	Essais comparatifs randomisés de faible puissance Études comparatives non randomisées bien menées	<b>B</b> Présomption scientifique
<b>Niveau 3</b>	Études cas-témoins Études de cohortes	<b>C</b> Faible niveau de preuve
<b>Niveau 4</b>	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, conformément à la procédure de la HAS, une déclaration publique d'intérêts, consultable sur [www.medsbhyp.fr](http://www.medsbhyp.fr).

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 constituent la version 1 du document et reflètent donc le consensus des experts du groupe de travail. Ce texte a été adressé en octobre 2019 à un groupe de lecture comprenant des représentants des différentes catégories professionnelles concernées (fédérations, clubs, médecins fédéraux, médecins du sport, spécialistes hospitaliers), les membres du conseil d'administration de MEDSUBHYP et du conseil scientifique de la SFMES. Ils ont été invités à se prononcer sur la justification scientifique des recommandations et leur applicabilité à l'aide d'une fiche d'évaluation conforme à la procédure de la HAS. La liste des personnes ayant participé à cette relecture est donnée en annexe VIII.

La version définitive a été établie (juillet 2020) en prenant en compte les observations formulées et après validation par les instances des sociétés promotrices, pour publication sur leur site internet respectif.

### Suivi des recommandations

Les connaissances scientifiques évoluent en permanence. La veille scientifique dans le domaine de la médecine subaquatique et hyperbare est exercée par le conseil scientifique de MEDSUBHYP et dans le domaine de la médecine de l'exercice et du sport, par celui de la SFMES.

Pour cela, il est prévu que le conseil scientifique effectue tous les deux ans une relecture critique des recommandations à la lumière de l'avancée des connaissances et après analyse des fiches d'information et de retour d'expérience reçues. Un modèle de fiche *ad hoc* figure en annexe X. Les conseils scientifiques des sociétés concernées seront également interrogés sur l'opportunité de modification ou d'évolution.

Les modifications retenues seront soumises à la validation des sociétés savantes.

## **ÉTAT DES LIEUX**

## CHAPITRE III

# LES DIFFÉRENTES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES SPORTIVES ET DE LOISIR

A côté de la plongée subaquatique d'exploration avec appareil respiratoire isolant autonome, il est possible de pratiquer en compétition des activités sportives reconnues par la CMAS (Confédération mondiale des activités subaquatiques) : nage avec palmes, hockey subaquatique, apnée, tir sur cible, orientation subaquatique, plongée sportive en piscine, photo-vidéo subaquatique. La nage en eau vive et la nage avec palmes ne sont pas à proprement parler des activités subaquatiques.

Au sein de la fédération délégataire (fédération française d'études et de sports sous-marins, FFESSM, [www.ffessm.fr](http://www.ffessm.fr)), les compétitions sont organisées par des commissions spécifiques. La pêche sous-marine ne se pratique plus en compétition au sein de la FFESSM depuis 2008 mais possède sa propre fédération (fédération nationale de pêche sportive en apnée, FNPSA, [www.fnpsa.net](http://www.fnpsa.net)) qui organise des compétitions.

À ces activités dites sportives, il faut ajouter :

- les différentes techniques de la plongée autonome : plongée à l'air comprimé et plongée dite *Tek* (plongée aux mélanges suroxygénés, aux mélanges ternaires, utilisation d'appareil recycleur de gaz),
- les disciplines dites culturelles : photo-vidéo subaquatique, environnement et biologie subaquatique,
- les disciplines dites culturelles à composante technique : plongée souterraine, archéologie subaquatique.

### 1.- ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES DONNANT LIEU À DES COMPÉTITIONS

#### 1.1.- La nage avec palmes (NAP)

Reconnue par le Comité international olympique depuis 1985, cette discipline possède auprès du ministère des sports le statut de sport de haut niveau. La NAP s'adresse à toutes les catégories d'âges. Elle se pratique avec des bipalmes ou plus généralement avec une monopalme, en loisir ou en compétition, en piscine ou en milieu naturel. C'est un sport de glisse spectaculaire, où les vitesses peuvent atteindre 12 à 14 km/h. Des épreuves spécifiques en compétition sont proposées : nage en surface (à l'aide d'un tuba frontal, du 50 au 1500 m), nage en immersion en scaphandre (distances de 100, 400 et 800 m), nage en apnée totale sur 50 m, nage longue distance en milieu naturel de 6 et 20 km.

#### 1.2.- Le hockey subaquatique

C'est un sport d'équipe qui se pratique en piscine (profondeur entre 2 m et 3,65 m) en apnée dès l'âge de 8 ans. Il oppose deux équipes masculines ou féminines de 6 joueurs dans l'eau et 4 remplaçants. Le jeu consiste à faire progresser à l'aide d'une crosse un palet jusqu'au but de l'équipe adverse. Un match est composé de 2 mi-temps de 15 min et est contrôlé par 3 arbitres. Chaque joueur ou joueuse est équipé de palmes, d'un masque, d'un tuba avec protégé-

bouche, d'un bonnet avec protège-oreilles, d'un gant et d'une crosse. C'est un sport à la fois technique et tactique.

La France est une nation phare au niveau mondial dans cette discipline.

### **1.3.- L'apnée**

Il existe différentes formes d'apnée :

- en piscine : statique, dynamique, avec ou sans palmes,
- en milieu naturel, à partir de 18 ans : descente à poids constant avec ou sans palmes. La descente en poids variable (descente aidée d'une gueuse largable ou freinée) n'est pas reconnue en compétition par la CMAS.

Les différentes compétitions en piscine sont accessibles à partir de 16 ans :

- apnée statique : demeurer en apnée, voies aériennes immergées, le plus longtemps possible ;
- apnée dynamique sans ou avec palmes (mono ou bipalmes) : parcourir la distance la plus longue.
- épreuves de 16 x 25 m et 16 x 50 m : parcours chronométré en bassin de 25 ou 50 m, avec phases de récupération en bout de ligne d'eau.
- épreuve de 100 m : parcours chronométré de 100 m en bassin de 50 m, avec récupération autorisée mais non obligatoire à 50 m.

Les performances (à la date de rédaction) vont jusqu'à 11 minutes 35 en statique (Stéphane Mifsud 2009), 300 m en dynamique, plus de 120 m en vertical poids constant. Le nombre de pratiquants est en constante augmentation et cette discipline a un impact médiatique de plus en plus important.

### **1.4.- La pêche sous-marine**

Activité sportive de loisir en mer, cette discipline est non compétitive au sein de la FFESSM. Elle se pratique en apnée et consiste à essayer de capturer des poissons et des crustacés à la main ou à l'aide d'une arbalète chargée à la force manuelle du pêcheur. La pratique de la pêche sous-marine de loisir avec une arbalète nécessite d'avoir 16 ans au moins, d'être titulaire d'une assurance responsabilité civile et de respecter la réglementation en vigueur. La licence fédérale permet cette assurance et correspond à l'ancien permis de pêche.

La FNPSA (fédération nationale de pêche sous-marine en apnée) organise des compétitions au cours desquelles les prises doivent avoir un poids minimum et font l'objet d'un quota variable selon les groupes d'espèces. Elles entraînent l'attribution de points qui permettent de classer les compétiteurs. Les compétitions se déroulent en individuel (deux manches de cinq heures) ou en double (une seule manche). Les compétitions sont ouvertes dès l'âge de 16 ans aux licenciés des deux sexes. Les épreuves sont les mêmes mais le classement distingue les jeunes de moins de 18 ans, les féminines et les autres compétiteurs.

### **1.5.- Le tir sur cible**

Activité de self-control et de maîtrise gestuelle, le tireur doit surmonter les difficultés de l'apnée, maîtriser sa stabilité et gérer son tir.

L'indispensable arbalète est sécurisée pour les enfants, elle est standardisée pour le tir monotype à 3 m ou artisanale pour le tir à 4 m. Les cibles basculantes ou adhésives collées sur un plastron, sont fixées sur un support lesté. Fixé sur un pas de tir, le tireur se stabilise avec une gueuse au fond de la piscine.

Les épreuves en compétition sont au nombre de quatre :

- précision : 10 tirs sur cible à une distance de 4 m en moins de 10 minutes ;
- biathlon : 3 parcours chronométrés de 15 m en apnée avec tir sur cible à 4 m ;
- super biathlon : 5 parcours en apnée de 10 m avec tir sur cible à 4 m ;
- relais : par équipe de 4 avec parcours de 15 m et 2 tirs par compétiteur.

### **1.6.- L'orientation subaquatique**

Cette technique de navigation en plongée est un sport de compétition qui se pratique en milieu naturel. Les compétiteurs, constamment immergés et sans aucun contact avec la surface doivent atteindre ou contourner des points précis, à l'aide d'une boussole et d'un compteur de distance. Les appareils respiratoires utilisés doivent uniquement contenir de l'air comprimé.

L'orientation sportive s'adresse aux titulaires du niveau 1 de plongée ou de la qualification technique pour la pratique de l'orientation. Elle est accessible à partir de 15 ans (juniors). Divers parcours sont organisés pour des compétitions individuelles ou en équipe, avec des longueurs de 100 à 650 m.

### **1.7.- La plongée sportive en piscine (PSP)**

Activité sportive en bassin, la PSP est un ensemble de sept épreuves subaquatiques individuelles ou en équipes se déroulant dans une piscine. Développée en France sous l'impulsion de la FFESSM depuis 2011, cette discipline permet de faire rencontrer deux univers : la plongée en scaphandre et la pratique à caractère compétitif.

#### *Épreuves individuelles :*

- 100 m en immersion,
- scaphandre nocturne : ramasser le plus d'objets possible dans un diamètre de 4 m, masque de vision occulté ;
- 200 m décapelage : parcours de déplacement en immersion et en surface, alternant des phases avec appareil respiratoire et en apnée ;
- émergence d'un objet de 6 kg : parcourir 25 m en immersion et remonter un objet à l'aide d'un parachute.

#### *Épreuves en équipe :*

- l'octopus : parcourir en binôme une distance de 50 ou 100 m en immersion, un plongeur respirant sur le détendeur de secours de l'autre ;
- le combiné : réaliser un parcours de 100 m à deux plongeurs, le plus rapidement possible et en réalisant des exercices de sécurité (franchissement d'un tunnel capelé et décapelé, respirer sur le détendeur de secours de l'autre, vider son masque et tracter un mannequin à deux) ;
- le relais 4 x 50 ou 4 x 100 m : faire un relais à 4 avec passage de témoin.

### **1.8.- Photo et vidéo subaquatique**

En compétition, les compétiteurs regroupés sur un même site doivent réaliser en 2 manches de 3 heures une série de 6 images comportant plusieurs catégories (macro, poissons, thème et

ambiance) permettant d'évaluer les compétences des photographes<sup>1</sup>. L'utilisation d'appareils en circuit fermé, semi fermé et l'utilisation de mélange suroxygéné est possible à condition d'avoir l'accord de l'organisateur et de fournir la qualification nécessaire.

## **2.- ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES NE FAISANT PAS L'OBJET DE COMPÉTITION**

Elles reposent sur la formation de base et la maîtrise de la plongée autonome en scaphandre à l'air comprimé.

### **2.1.- La plongée en scaphandre**

Au sein de la fédération délégataire, la plongée en scaphandre à l'air comprimé est accessible à partir de 8 ans avec, à partir de 14 ans (12 ans sur dérogation médicale), possibilité d'accéder au premier niveau de plongeur en scaphandre. Le niveau 2 est accessible à partir de 16 ans.

La progression dans les différents niveaux de formation soit comme plongeur encadré, soit comme plongeur autonome, permet d'évoluer jusqu'à 60 m.

Des formations complémentaires permettent :

- d'acquérir les connaissances nécessaires à l'utilisation des mélanges suroxygénés en circuit ouvert (plongée dite Nitrox) :
- de permettre la plongée avec des appareils respiratoires à circuit fermé ou semi-fermé et l'utilisation de mélanges synthétiques ternaires (Trimix : hélium – azote – oxygène) ou binaires (Héliox : hélium – oxygène). Ces méthodes, réservées à un petit nombre de plongeurs, sont connues sous le nom de plongée *Tek*. Elles permettent d'atteindre en autonome des profondeurs importantes (plus de 200 m), au prix d'une durée considérable de la décompression (parfois supérieure à 12 heures). Toutefois, le code du sport fixe à 120 m la profondeur maximale d'évolution dans le cadre des activités fédérales.

D'autres conditions particulières de plongée ayant pour conséquences une augmentation des risques peuvent nécessiter une formation, un entraînement ou un matériel spécifique. Il en est ainsi :

- de la plongée sous plafond (impossibilité de retour direct en surface) : plongée en cavernes, en épaves, sous glace, sous coque, etc.,
- de la plongée en absence de lumière ou sans visibilité, en eaux froides, en eaux polluées, en altitude.

### **2.2.- Environnement et biologie subaquatique**

Cette activité a pour objet de faire découvrir au plus grand nombre la richesse et la diversité de la vie subaquatique, et de participer à la protection du monde subaquatique. Elle permet la collaboration avec des scientifiques, la participation à des actions de protection de l'environnement marin, à des actions de nettoyage des fonds ou de comptage d'espèces.

### **2.3.- Archéologie subaquatique**

Activité culturelle et scientifique consacrée aux opérations archéologiques autorisées par l'administration (Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines

---

<sup>1</sup> Les personnes jouant le rôle de modèles, en apnée comme en scaphandre autonome, peuvent, selon leur statut, relever de la réglementation applicable aux plongeurs professionnels mention B.

du ministère de la culture, DRASSM, [www.culture.gouv.fr/fr/archeosm/archeosom/drasm.htm](http://www.culture.gouv.fr/fr/archeosm/archeosom/drasm.htm)) en mer, ou les services régionaux d'archéologie pour les eaux intérieures. Elle fait l'objet de formations spécifiques (sous licence) de la part de la FFESSM.

Le décret 2011-45 du 11 janvier 2011 (JORF du 13 janvier 2011) introduit l'archéologie sous-marine et subaquatique dans les activités professionnelles (art. R.4461-28 du code du travail, mention B). La présentation des certificats d'aptitude à l'hyperbarie des plongeurs participants aux opérations est exigée par le DRASSM dans le dossier de demande d'autorisation. Le suivi médical de ces plongeurs relève donc des recommandations concernant les plongeurs professionnels (MEDSUBHYP – SFMT 2018).

## 2.4.- Plongée souterraine

Discipline hautement technique, cette activité consiste à visiter et explorer les galeries noyées du sous-sol, naturelles ou artificielles. Les contraintes particulières du milieu imposent une technique rigoureuse et des règles de sécurité spécifiques (règle des tiers, fil d'Ariane), nécessitant une formation adaptée. La plongée souterraine est liée à deux fédérations : fédération française de spéléologie et FFESSM, qui travaillent souvent en commun.

## 3.- LA PLONGÉE « EXTRÊME »

On entend par plongée extrême la recherche d'un exploit, physiologique ou/et technologique en termes de profondeur et de durée, soit en scaphandre multigaz, soit en apnée.

Chacun de ces exploits nécessite une logistique très importante en moyens techniques et humains.

Quelques exemples connus :

- plongée en scaphandre à plus de 330 mètres de profondeur avec mélanges synthétiques multiples : descente de 10 min, 15 h de remontée par paliers avec 60 bouteilles de gaz le long d'un fil de vie, dosés pour chaque phase ;
- plongée spéléo en scaphandre à moins 260 m et 800 m d'incursion avec 10 h de décompression ;
- apnée profonde en poids constant à près de 130 m ;
- apnée en poids variable « *no limit* » à plus de 200 m (descente à la gueuse et remontée en parachute).

Cette recherche d'exploit est le fait d'un petit nombre d'individus. Les records, de même que les accidents aux issues dramatiques, non exceptionnels, alimentent régulièrement les rubriques des médias.

## Référence

MEDSUBHYP - SFMT. Recommandations de bonne pratique pour la prise en charge en santé au travail des travailleurs intervenant en milieu hyperbare. 2<sup>e</sup> édition 2018. [https://www.medsubhyp.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=144:recommandations-de-bonne-pratique-pour-la-prise-en-charge-en-sante-au-travail-des-travailleurs-intervenant-en-conditions-hyperbares&catid=2&lang=fr&Itemid=101](https://www.medsubhyp.com/index.php?option=com_content&view=article&id=144:recommandations-de-bonne-pratique-pour-la-prise-en-charge-en-sante-au-travail-des-travailleurs-intervenant-en-conditions-hyperbares&catid=2&lang=fr&Itemid=101)

## CHAPITRE IV

### LE MÉDECIN ET LA PLONGÉE SUBAQUATIQUE : ASPECTS JURIDIQUES

*« Un grand pouvoir implique de grandes responsabilités »*

Qu'il s'agisse d'un plongeur et de son encadrant, ou de deux plongeurs pratiquants en autonomie, chacun convient sans peine que la notion de binôme est – pour d'évidentes raisons de sécurité – indissociable de la pratique de la plongée récréative ; au point que la jurisprudence a même posé le principe qu'il existe entre deux pratiquants de cette activité une convention certes implicite mais nécessaire d'assistance mutuelle<sup>1</sup>.

Pourtant, cette évidence sportive est incomplète du point de vue du juriste : la loi — expressément ou plus indirectement — impose que la plongée se pratique en trinôme... même si le troisième acteur ne s'immerge que rarement avec les deux premiers...

En effet, aux côtés des sportifs et des centres de formation<sup>2</sup>, le Code du Sport<sup>3</sup> rappelle autant qu'il impose la présence d'un troisième acteur : le Médecin<sup>4</sup>. Celui-ci se trouve en effet placé au cœur d'un dispositif législatif et réglementaire destiné à préserver la santé des plongeurs : le certificat médical de non contre-indication à la pratique de ce sport<sup>5</sup>.

Pourtant, bien que très précisément encadré par les textes, celui-ci n'est légalement pas toujours obligatoire (I). Est-ce à dire que l'on peut s'en dispenser, ou au contraire faut-il l'exiger même dans le silence des textes. Quelle est donc sa finalité (II) ? Reste que dans l'un comme dans l'autre cas, le médecin, qui, seul<sup>6</sup>, a le savoir et le pouvoir pour le délivrer engage sa responsabilité (III).

Ainsi, au-delà du savoir médical qu'il détient seul, le médecin ne peut faire l'économie de comprendre l'objet et la portée du certificat qu'il s'apprête à délivrer, pour mesurer l'étendue de sa responsabilité.

---

<sup>1</sup> Cour d'Appel de Paris 25 Janvier 1995 « S'agissant de la pratique d'un sport présentant des risques indiscutables (...), les membres de la palanquée de plongeurs s'engagent, implicitement, mais nécessairement, à se porter mutuellement un secours, dont l'obligation se fonde sur un devoir moral voire pénal s'il peut être porté sans danger, et à l'accepter comme gage réciproque de survie dans l'hypothèse même où les circonstances de l'accident rendraient impossible toute manifestation expresse de la volonté de confirmer cette acceptation ».

<sup>2</sup> Définis comme acteurs du sport au Livre II du Code du Sport

<sup>3</sup> Code du Sport, Partie Législative, Livre II, Titre III

<sup>4</sup> Article L 231-1 du Code du Sport : Les médecins de santé scolaire, les médecins du travail, les médecins militaires et les médecins généralistes contribuent, en liaison avec les médecins spécialisés, aux actions de prévention concernant la pratique des activités physiques et sportives grâce à une formation initiale nécessaire à la pratique des examens médico-sportifs, contenue dans le deuxième cycle des études médicales et grâce à une formation continue adaptée.

<sup>5</sup> Code du Sport, Partie Législative, Livre II, Titre III, Chapitre 1er, Section 1.

<sup>6</sup> Sous réserve des dispositions de l'article D231-1-4 du Code du Sport.

## 1.- La production d'un certificat médical : une obligation légale, mais limitée

Le rôle du médecin apparaît à ce point indissociable de la pratique du sport que la réglementation du certificat médical ne cesse d'être l'objet de modifications légales ou réglementaires. Imposée par loi du 23 mars 1999<sup>7</sup>, puis codifiée d'abord au Code de la Santé Publique à partir du 22 Juin 2000<sup>8</sup>, cette obligation est à ce jour codifiée à l'article L 231-2 du Code du Sport. Cet article, entré en vigueur le 1<sup>er</sup> février 2006<sup>9</sup>, a depuis lors été modifié à trois reprises<sup>10</sup>.

Dans le dernier état de ce texte<sup>11</sup>,

« L'obtention d'une licence d'une fédération sportive est subordonnée à la présentation d'un certificat médical datant de moins d'un an<sup>12</sup> et permettant d'établir l'absence de contre-indication à la pratique du sport ou, le cas échéant, de la discipline concernée. »<sup>13</sup>  
(...)

« Les modalités de renouvellement de la licence, et notamment la fréquence à laquelle un nouveau certificat est exigé, sont fixées par décret »<sup>14</sup>.

Le renouvellement de la licence est défini comme : « Le renouvellement d'une licence s'entend comme la délivrance d'une nouvelle licence, sans discontinuité dans le temps avec la précédente, au sein de la même fédération »<sup>15</sup>.

Si le certificat médical pour les sports non listés comme présentant des contraintes particulières n'est exigé que tous les trois ans<sup>16</sup>, « Pour les disciplines, énumérées par décret, qui présentent des contraintes particulières, la délivrance ou le renouvellement de la licence ainsi que la participation à des compétitions sont soumis à la production d'un certificat médical datant de moins d'un an établissant l'absence de contre-indication à la pratique de la discipline concernée. La délivrance de ce certificat est subordonnée à la réalisation d'un examen médical spécifique dont les caractéristiques sont fixées par arrêté des ministres chargés de la santé et des sports »<sup>17</sup>.

La plongée sous-marine — de par le fait qu'elle se pratique dans un environnement spécifique — fait naturellement partie des disciplines énumérées par ce décret comme présentant des contraintes particulières<sup>18</sup>.

Ainsi l'arrêté ministériel du 24 juillet 2017<sup>19</sup> précise-t-il que si l'examen médical peut être réalisé par tout médecin ayant, le cas échéant, des compétences spécifiques, selon les

<sup>7</sup> Article 5 al 1 de la loi 99-223 du 23 mars 1999.

<sup>8</sup> Article L 3622-1 du Code de la Santé Publique, en vigueur du 22 juin 2000 au 6 avril 2006.

<sup>9</sup> Ordonnance 2006-596 du 23 mai 2006 art. 11 : les dispositions des titres III et IV du livre II de la partie législative du code du sport entrent en vigueur à la date définie au I de l'article 25 de la loi n° 2006-405 du 5 avril 2006. Cette date est le 1<sup>er</sup> février 2006.

<sup>10</sup> Loi n° 2006-405 du 5 avril 2006 du 1<sup>er</sup> février 2006 au 17 avril 2010. Ordonnance 2010-379 du 14 avril 2010 du 17 avril 2010 au 28 janvier 2016 et depuis le 28 janvier 2016 par la loi 2016-41 du 26 janvier 2016 article 219

<sup>11</sup> Loi 2016-41 du 26 janvier 2016 article 219.

<sup>12</sup> Article D231-1-1 alinéa 2 du Code du Sport : la durée d'un an mentionnée aux articles L. 231-2 à L. 231-2-3 s'apprécie au jour de la demande de la licence ou de l'inscription à la compétition par le sportif.

<sup>13</sup> Article L 231-2 alinéa 1<sup>er</sup> du Code du Sport.

<sup>14</sup> Article L 231-2 alinéa 3 du Code du Sport.

<sup>15</sup> Article D 231-1-2 du Code du Sport.

<sup>16</sup> Article D 231-1-3 du Code du Sport

<sup>17</sup> Article L 131-2-3 alinéa 1 du Code du Sport

<sup>18</sup> Article D 231-1-5, 1<sup>o</sup> b, du Code du Sport.

recommandations de la société française de médecine de l'exercice et du sport<sup>20</sup> celui-ci s'agissant de la pratique de la plongée subaquatique, doit porter une attention particulière à l'examen ORL (tympons, équilibration/perméabilité tubaire, évaluation vestibulaire, acuité auditive) et à l'examen dentaire<sup>21</sup>.

Ainsi, s'agissant de la pratique de la plongée sous-marine, le certificat médical est légalement imposé :

- pour la délivrance d'une première licence,
- pour son renouvellement, tous les ans.

Quant à son contenu, il doit s'agir :

- d'un certificat de non contre-indication médicale à la pratique de la plongée sous-marine,
- qui impose préalablement à sa délivrance la réalisation d'un examen médical spécifique portant tout particulièrement sur l'examen ORL (tympons, équilibration/perméabilité tubaire, évaluation vestibulaire, acuité auditive) et l'examen dentaire<sup>30</sup>.

Ainsi si l'objet, la fréquence, et le contenu de l'examen permettant de délivrer le certificat sont précisément encadrés par la loi et les règlements, on ne peut en revanche manquer de relever que le champ d'application de ces textes est limité à la délivrance ou le renouvellement d'une licence d'une fédération sportive. Ce qui selon l'une des dernières études disponibles ne concernerait en réalité qu'un peu moins d'un plongeur sur deux<sup>22</sup>.

Hors le cas des fédérations sportives et de la pratique du sport en compétition, le certificat médical n'est donc pas légalement obligatoire. Cependant, la quasi-totalité des acteurs de la plongée sous-marine (en France) en font un préalable indispensable à toute immersion.

## **2.- L'exigence du certificat médical, au-delà des limites de la loi**

Ne pas exiger de certificat médical lorsque la loi l'impose est assurément un excellent moyen d'engager sa responsabilité civile voire pénale. Mais peut-on pour autant s'en dispenser, au seul motif qu'il n'est pas exigé par loi ? Ce serait méconnaître l'obligation générale de diligence et de prudence qui pèse sur chacun et qui conduit en pratique tous les acteurs avisés à exiger la production d'un certificat médical.

En effet celui qui organise ou simplement permet la réalisation de la plongée au cours de laquelle surviendrait un accident, engage sa responsabilité, assurément civile (qu'elle soit

---

<sup>19</sup> Arrêté du 24 juillet 2017 fixant les caractéristiques de l'examen médical spécifique relatif à la délivrance du certificat médical de non-contre-indication à la pratique des disciplines sportives à contraintes particulières, JO du 15 août 2017.

<sup>20</sup> Art. A. 231-1. du Code du Sport « La production du certificat médical mentionné à l'article L. 231-2-3 pour les disciplines dont la liste est fixée à l'article D. 231-1-5 est subordonnée à la réalisation d'un examen médical effectué par tout docteur en médecine ayant, le cas échéant, des compétences spécifiques, selon les recommandations de la Société française de médecine de l'exercice et du sport ».

<sup>21</sup> Art. A. 231-1. du Code du Sport « 2° Pour la pratique de la plongée subaquatique, une attention particulière est portée sur l'examen ORL (tympons, équilibration/perméabilité tubaire, évaluation vestibulaire, acuité auditive) et l'examen dentaire ; 3° Pour la pratique de la spéléologie, une attention particulière est portée sur l'examen de l'appareil cardiorespiratoire et pour la pratique de la plongée souterraine, sur l'examen ORL (tympons, équilibration/perméabilité tubaire, évaluation vestibulaire, acuité auditive) et l'examen dentaire.

<sup>22</sup> Étude socio-économique relative à la plongée subaquatique de loisir en 2004-2005. Ministère de la jeunesse, des sports et de vie associative, délégation à l'emploi et aux formations, déc. 2005.

contractuelle<sup>23</sup> ou extra-contractuelle<sup>24</sup>) parfois pénale (même par maladresse, imprudence, inattention, négligence ou manquement à une obligation de prudence ou de sécurité imposée par la loi ou le règlement)<sup>25</sup>.

Aussi au-delà de toute obligation légale le lui imposant, est-il naturel et légitime que chacun cherche à se préconstituer la preuve qu'il a agi avec prudence et discernement en s'assurant *a minima* que le plongeur ne présentait pas de contre-indication à la pratique de cette activité dont on sait qu'elle présente des « contraintes particulières », entendre par là des risques particuliers. C'est ainsi que la jurisprudence impose souvent — au-delà d'obligations légales ou réglementaires ponctuelles — d'agir en toute circonstance « en bon père de famille » ce que la loi traduit désormais par « raisonnablement »<sup>26</sup>.

Tel est donc — au-delà de la volonté du législateur de préserver la santé des sportifs — l'une des raisons qui conduit à généraliser l'exigence de production d'un certificat médical de non contre-indication à la pratique de la plongée sous-marine : la volonté, pour celui qui le remet, comme pour celui à qui il est remis, de se protéger quant à la mise en cause de sa propre responsabilité. Si l'accident survient, alors tant la victime blessée que l'organisateur de la plongée chercheront à se retourner contre le médecin qui avait certifié l'absence de contre-indication, lequel pris entre deux feux, mesurera toute l'ampleur de sa responsabilité.

### 3.- Responsabilité du médecin

Si lorsqu'il est requis par des textes législatifs ou réglementaires, le médecin est tenu d'établir un certificat médical<sup>27</sup>, *a contrario* il reste libre dans tous les autres cas d'accepter ou non d'établir un certificat médical. Mais, que ce soit par obligation légale ou réglementaire ou par choix, s'il établit un certificat médical, le médecin doit prendre conscience de la portée de celui-ci. Il s'agit juridiquement d'un témoignage, avec toutes les conséquences qui y sont attachées. Ainsi, au terme de l'article 202 du Code de Procédure Civile le médecin ne peut y relater que « des faits qu'il a personnellement constatés »<sup>28</sup>, ce que rappellent les dispositions de l'article R.4127-76 du Code de la Santé Publique qui font référence « aux constatations médicales qu'il (le médecin) est en mesure de faire ».

Ces obligations sont naturellement sanctionnées disciplinairement à l'article R.4127-28 du Code de la Santé Publique qui prohibe la délivrance d'un certificat de complaisance. De

---

<sup>23</sup> Articles 1217 et s. du Code Civil.

<sup>24</sup> Articles 1240 à 1242 du Code Civil.

<sup>25</sup> Voir par exemple les dispositions des articles 221-6 et 222-19 du Code Pénal.

<sup>26</sup> Loi 2014-873 du 4 août 2014, art. 26.

<sup>27</sup> Art. 76, al.1 du code de déontologie médicale, codifié à l'article R.4127-76 du Code de la Santé Publique : L'exercice de la médecine comporte normalement l'établissement par le médecin, conformément aux constatations médicales qu'il est en mesure de faire, des certificats, attestations et documents dont la production est prescrite par les textes législatifs et réglementaires. Tout certificat, ordonnance, attestation ou document délivré par un médecin doit être rédigé lisiblement en langue française et daté, permettre l'identification du praticien dont il émane et être signé par lui. Le médecin peut en remettre une traduction au patient dans la langue de celui-ci.

<sup>28</sup> Article 202 du Code de Procédure Civile : L'attestation contient la relation des faits auxquels son auteur a assisté ou qu'il a personnellement constatés. Elle mentionne les nom, prénoms, date et lieu de naissance, demeure et profession de son auteur ainsi que, s'il y a lieu, son lien de parenté ou d'alliance avec les parties, de subordination à leur égard, de collaboration ou de communauté d'intérêts avec elles. Elle indique en outre qu'elle est établie en vue de sa production en justice et que son auteur a connaissance qu'une fausse attestation de sa part l'expose à des sanctions pénales. L'attestation est écrite, datée et signée de la main de son auteur. Celui-ci doit lui annexer, en original ou en photocopie, tout document officiel justifiant de son identité et comportant sa signature.

même, le médecin peut se rendre coupable de l'infraction prévue et réprimée à l'article 441-7 du Code Pénal qui punit d'un an d'emprisonnement et de 15 000 € d'amende le fait d'établir une attestation ou un certificat faisant état de faits matériellement inexacts<sup>29</sup>.

Si la faute pénale suppose la démonstration d'une intention délibérée du médecin, hypothèse qui reste exceptionnelle, en revanche une légèreté ou une imprudence peut suffire à caractériser la faute civile ou disciplinaire. Outre les dommages et intérêts qui pourraient civilement être mis à sa charge, la légèreté avec laquelle il délivrerait un certificat médical exposerait donc le médecin à une sanction pouvant conduire jusqu'à sa radiation.

Le certificat médical ne doit dès lors aucunement être banalisé. Le juriste ne peut que s'associer aux recommandations établies par l'Ordre National des Médecins : « *Un certificat ne doit jamais être rédigé à la hâte, à la demande du patient en fin de consultation. Tous les termes doivent être choisis avec soin en se méfiant des interprétations auxquelles ils pourraient donner lieu* »<sup>30</sup>.

Le présent ouvrage a donc pour objet de guider le médecin à qui il est demandé d'établir un certificat médical de non contre-indication à la pratique de la plongée afin de contribuer à ce que son certificat revête bien la force probante que l'on attend d'un témoignage de l'Homme de l'Art, avec tous les effets qui y sont attachés.

---

<sup>29</sup> Répertoire de droit pénal et de procédure pénale, Médecine – Jean PENNEAU – octobre 2010 (actualisation : janvier 2013) : les dispositions générales, concernant les faux, de l'article 441-1 du code pénal sont bien évidemment applicables au médecin. Plus spécifiquement sont, bien sûr, applicables les dispositions de l'article 441-7-1° et 2°, punissant d'un an d'emprisonnement et de 15 000 € d'amende le fait : 1° d'établir une attestation ou un certificat faisant état de faits matériellement inexacts ; 2° de falsifier une attestation ou un certificat originellement sincère. De même pour les dispositions de l'article 441-8, alinéa 3, punissant de cinq ans d'emprisonnement et de 75 000 € d'amende les faits de corruption active ou passive tendant à obtenir une fausse attestation d'une personne exerçant une profession médicale, lorsque l'attestation faisant état de faits inexacts dissimule ou certifie faussement l'existence d'une maladie, d'une infirmité ou d'un état de grossesse, ou fournit des indications mensongères sur l'origine d'une maladie ou d'une infirmité ou sur la cause d'un décès.

<sup>30</sup> Ordre National des Médecins, Rapport adopté lors de la session du Conseil National de l'Ordre des médecins d'octobre 2006 « Les certificats Médicaux – Règles générales d'établissement. MM Boissin et Rougemont ».

## CHAPITRE V

### ÉTUDE DES RISQUES

L'eau est un milieu dense, irrespirable et froid. L'immersion et le séjour en profondeur soumettent l'organisme aux lois physiques qui les régissent, décrites dans l'annexe II. Elles sont la source de dangers auxquels les pratiquants sont exposés. Leurs conséquences physiopathologiques font l'objet du chapitre VII. D'autres dangers (faune et flore agressive, conditions météorologiques, courantologiques, etc.) s'ajoutent qui ne seront pas pris en considération ici.

#### 1.- LA DÉMARCHE DE PRÉVENTION DES RISQUES

Le risque dont on parle ici est défini comme la probabilité qu'un danger, lorsqu'il survient, provoque des effets néfastes sur la santé. Il convient de distinguer entre le risque brut (ou théorique) et le risque résiduel, lorsque des mesures de prévention ont été prises. Pour mettre en place une démarche de prévention, il est nécessaire de s'appuyer sur les neuf grands principes généraux<sup>1</sup> (rappelés dans l'article L.4121-2 du code du travail) qui régissent l'organisation de la prévention :

1. **Éviter les risques** : supprimer le danger ou l'exposition au danger.
2. **Évaluer les risques** : apprécier l'exposition au danger et l'importance du risque afin de prioriser les actions de prévention à mener.
3. **Combattre les risques à la source** : intégrer la prévention le plus en amont possible, notamment dès l'organisation de l'activité.
4. **Adapter l'activité à l'Homme**, en tenant compte des différences interindividuelles, dans le but de réduire les effets des dangers sur la santé.
5. **Tenir compte de l'évolution de la technique** : adapter la prévention aux évolutions techniques et organisationnelles.
6. **Remplacer ce qui est dangereux par ce qui l'est moins** : éviter l'utilisation de méthodes ou de procédures dangereuses lorsqu'un même résultat peut être obtenu avec une méthode présentant des dangers moindres.
7. **Planifier la prévention** en intégrant technique, organisation et conditions de l'activité, relations sociales et environnement.
8. **Donner la priorité aux mesures de protection collective** et n'utiliser les équipements de protection individuelle qu'en complément des protections collectives si elles se révèlent insuffisantes.
9. **Donner les instructions appropriées aux personnes concernées** : former et informer les pratiquants afin qu'ils connaissent les risques et les mesures de prévention.

Les étapes de cette démarche sont de la responsabilité du législateur, des organisateurs, des formateurs et encadrants mais également du médecin. La prévention passe par deux étapes :

- l'une est l'évaluation d'une aptitude individuelle suffisante pour faire face aux exigences fonctionnelles qualitatives et quantitatives qui seront rencontrées. Il

---

<sup>1</sup> <http://www.inrs.fr/demarche/principes-generaux/introduction.html>

convient là d'envisager les capacités fonctionnelles (parfois déséquilibrées d'un appareil à l'autre) disponibles en regard des objectifs d'activité c'est-à-dire des degrés de contraintes qui seront rencontrés. Cette évaluation individuelle est la seule qui permet d'estimer que les risques pour la santé restent faibles (absence de contre-indication pour un type d'activité), ou d'informer une personne donnée sur les limites de ses capacités et de l'orienter vers les types et intensités d'activités qui restreignent suffisamment les risques ;

- l'autre est le respect des règles techniques (signaux d'avertissement entre compagnons de plongée, vitesses de remontée, temps de paliers, consignes d'organisation pérennes ou circonstanciées), la connaissance du matériel et de ses règles d'utilisation : il appartient aux formateurs et aux encadrants d'y veiller jusqu'à ce que le pratiquant ait atteint l'autonomie technique (niveaux de qualification).

Dans ce contexte, le médecin joue un rôle spécifique : il lui revient d'identifier les facteurs de risque liés à l'état de santé de l'individu et de proposer des adaptations ou limitations dans l'activité sollicitée. Il doit pour cela bien connaître ces activités, les contraintes physiologiques qu'elles imposent et leurs risques, ainsi que les altérations de l'état de santé qu'il doit rechercher.

## 2.- LES RISQUES LIÉS À L'IMMERSION

Toutes les activités subaquatiques se caractérisent par un séjour en immersion complète. Le tableau I en résume les risques quelle que soit l'activité.

Facteurs de risque	Conséquences physiopathologiques	Risques pour la santé
Milieu non respirable	Inhalation d'eau	Noyade
Redistribution de la masse sanguine vers les vaisseaux du tronc (splanchniques et pulmonaires) Remaniement des volumes liquidiens extracellulaires (plasmatique et interstitiel) et intracellulaire	↗ des volumes sanguins intrathoracique et abdominal ↗ du travail cardiaque ↗ du travail ventilatoire ↗ débit urinaire (diurèse)	Déshydratation extra cellulaire Œdème pulmonaire d'immersion Arrêt cardiaque
Température de l'eau	Hypothermie par convection cutanée Hyperthermie le cas échéant	Troubles du rythme cardiaque Perte de connaissance
Contact de l'eau froide avec la face	Bradycardie réflexe	Troubles du rythme cardiaque Perte de connaissance
Émersion après immersion de longue durée (≈ 3 h et davantage) Perte de la compression hydrostatique veineuse des membres inférieurs	Déplacement brutal de la masse sanguine Réduction de perfusion tissulaire	Hypotension aiguë Défaillance circulatoire Amputation temporaire de l'aptitude à l'activité physique importante

**Tableau I : Risques liés à l'immersion**

### **3.- LES RISQUES LIÉS À LA PLONGÉE SUBAQUATIQUE**

Le tableau II liste les risques auxquels sont exposés les plongeurs munis d'un scaphandre autonome à circuit ouvert<sup>2</sup>. Ils s'ajoutent aux risques liés à l'immersion.

Le tableau III donne les risques liés à la plongée avec un appareil respiratoire à recyclage des gaz (circuit fermé ou semi-fermé). Ils s'ajoutent aux risques précédemment décrits.

Le tableau IV indique les risques encourus lors de la pratique de la plongée en apnée.

---

<sup>2</sup> Appareil respiratoire avec lequel la totalité des gaz inspirés vient d'une réserve de gaz comprimés dans un réservoir et où les gaz expirés sont rejetés en totalité dans le milieu ambiant.

Phases	Facteurs de risque	Conséquences physiopathologiques	Risques pour la santé
<b>Augmentation de la pression ambiante</b>	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 aiguë	Crise convulsive avec perte de connaissance
		Azote et gaz inertes : narcose : Erreurs de jugement Distorsion des perceptions	Panique – fautes de procédures Perte de connaissance
		CO, CO <sub>2</sub> et gaz polluants	Toxicité proportionnelle à la pression partielle des polluants. Perte de connaissance
	Variation de volume des cavités gazeuses à paroi souple de l'organisme	Réduction du volume gazeux dans l'oreille moyenne	Barotraumatismes de l'oreille moyenne et / ou interne
Cavités à paroi rigide sans communication avec l'ambiance	Cavité aérique sous obturation dentaire Ostium sinusien obturé	Odontalgies – fracture dentaire Inhalation des particules dentaires Sinusite barotraumatique	
<b>Séjour en pression</b>	Augmentation de la pression totale des gaz inhalés : augmentation de la masse volumique	↗ du travail ventilatoire ↘ des débits ventilatoires ↗ du travail cardiaque	Réduction des capacités d'effort physique Inefficacité ventilatoire aiguë : essoufflement – perte de connaissance
	Désorientation	Panique – remontée rapide	Barotraumatisme pulmonaire Accident de désaturation Cardiopathie de stress
<b>Retour à la pression atmosphérique (phase de décompression)</b>	Redistribution des masses gazeuses digestives	Barotraumatismes digestifs	Douleur Syndrome abdominal type Mallory-Weiss
	Présence de gaz inertes en sursaturation dans les tissus de l'organisme	Formation de bulles circulantes	Sursaturation de l'organisme : embolisation de bulles : accident de désaturation
	Obstacle mécanique ou physiologique (spasme) sur les voies respiratoires	Expiration impossible	Surpression pulmonaire (embolie gazeuse cérébrale)
	Quantité de gaz insuffisante pour l'exécution de la plongée et des paliers	Panique Remontée rapide Paliers non exécutés ou avortés	Noyade Barotraumatisme pulmonaire Accident de désaturation
<b>Émersion</b>	Hypovolémie soudaine Déshydratation extracellulaire	Réduction de la perfusion tissulaire	Malaise Accident de désaturation Réduction de l'aptitude à l'activité physique
<b>Période de 12 à 24 h après le retour à la pression atmosphérique</b>	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 plongée ou réduction de pression (vol en avion ou séjour en altitude)

**Tableau II :** Risques de la plongée subaquatique en scaphandre autonome en circuit ouvert. Ils s'ajoutent aux risques liés à l'immersion.

<b>Causes principales</b>	<b>Facteurs de risque</b>	<b>Conséquences physiopathologiques</b>	<b>Risques pour la santé</b>
Dysfonctionnements de l'appareil	Circuit fermé au lieu de semi-fermé	Pas de renouvellement des gaz ou renouvellement insuffisant	Hypoxie aiguë
	Fuite en circuit fermé	Renouvellement ou admission d'O <sub>2</sub> trop fréquent	Hyperoxie aiguë
	Dysfonctionnement du système de régulation de la PO <sub>2</sub>	PO <sub>2</sub> inadaptée à la profondeur	Hypoxie ou hyperoxie selon le cas
	Réglages inadaptés Dysfonctionnement des soupapes de circulation	Mauvaise épuration du CO <sub>2</sub> par la cartouche épuratrice Majoration de l'effort ventilatoire	Hypercapnie aiguë Œdème pulmonaire
Mauvaise utilisation de l'appareil	Mélanges respiratoires inadaptés à la profondeur	PO <sub>2</sub> inadaptée à la profondeur	Hypoxie ou hyperoxie selon le cas
	Cartouche épuratrice épuisée Mauvais remplissage de la cartouche épuratrice Mauvaise qualité du produit épurateur	Élévation de la concentration de CO <sub>2</sub> dans le circuit respiratoire	Hypercapnie aiguë
	Quantité de gaz respiratoire insuffisante	Hypoxie Asphyxie Remontée rapide	Perte de connaissance Accident de désaturation Accident barotraumatique

**Tableau III :** Risques spécifiques liés à la plongée en scaphandre à circuit fermé ou semi-fermé

<b>Phases</b>	<b>Facteurs de risque</b>	<b>Conséquences physiopathologiques</b>	<b>Risques pour la santé</b>
<b>Descente</b>	Augmentation rapide de la pression Dysperméabilité tubaire Dysperméabilité sinusienne	Impossibilité d'équilibrage de la caisse du tympan ou des sinus	Barotraumatismes auriculaires (oreille moyenne ou interne) ou sinusiens
<b>Séjour au fond</b>	Consommation de l'oxygène alvéolaire	Réduction de $P_{AO_2}$ et $PaO_2$	Hypoxie Perte de connaissance Noyade
	Production de $CO_2$	Inversion du gradient alvéolo-capillaire du $CO_2$	Hypercapnie Perte de connaissance Reprise inspiratoire Noyade
	Redistribution de la masse sanguine	Congestion de la circulation pulmonaire Distension des cavités cardiaques droites Augmentation de la pression capillaire pulmonaire	Extravasation sanguine pulmonaire : œdème aigu.
<b>Remontée</b>	Diminution de pression	Diminution de la pression partielle des gaz alvéolaires	Hypoxie Perte de connaissance brutale en cours de remontée Noyade
<b>Récupération en surface</b>	Durée insuffisante	Élimination insuffisante du $CO_2$ et de l'azote dissout au cours des plongées successives.	Hypercapnie Accident de décompression

**Tableau IV** : Risques particuliers liés à la plongée en apnée.

#### 4.- L'ÉVALUATION DES RISQUES

L'évaluation des risques fait intervenir pour chaque individu et pour chaque situation particulière un certain nombre de facteurs extrinsèques et intrinsèques :

- pour le risque brut :
  - la gravité potentielle des lésions ou troubles de santé induits,
  - la probabilité de survenue de l'accident, elle-même fonction :
    - de la fréquence et de la durée d'exposition au risque,
    - de l'état de santé préalable du pratiquant,
    - des conditions environnementales ;
- pour le risque résiduel :
  - les mesures de prévention collective,
  - l'application des mesures de prévention individuelle,
  - la formation et l'information du pratiquant,
  - son entraînement à affronter le risque et gérer les situations dangereuses ou dégradées.

Les mesures de prévention collectives relèvent de la responsabilité de l'organisateur de l'activité, qui demeure de plus chargé de vérifier l'application par les pratiquants des mesures de prévention individuelle. Les mesures de prévention liées à l'état de santé du pratiquant et son information dans ce domaine sont les prérogatives du médecin examinateur.

Le risque global des activités subaquatiques est mal connu. Il n'existe pas de statistique épidémiologique publiée. Les données disponibles (Hugon et coll. 2006) pour la plongée subaquatique en 2005 faisaient état d'un taux d'incidence dans la marine nationale allant de 1 accident pour 30 000 plongées (plongée à l'air jusqu'à 40 m) à 1/3 000 plongées (au-delà de 40 m, 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 et d'accidents confondues. Aux États-Unis, le risque de décès en plongée était estimé pour 2014 à 2 pour 100 000 plongeurs ou 2 pour 1 000 000 plongées (Buzzacott 2016).

---

#### Références des articles cités

Buzzacott P (editor), DAN Annual Diving Report 2016 Edition - A report on 2014 data on diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2016; pp. 129.

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<sup>e</sup> éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006. p 220-31.

## CHAPITRE VI

### ÉTAT DES PRATIQUES

#### I – EN FRANCE

Une enquête réalisée en 2011 en Normandie auprès de 35 médecins délivrant des certificats de non contre-indication à la plongée sous-marine (Beaurin, 2011) a relevé :

71 ± 13 % de médecins généralistes,  
20 % des médecins sans qualification particulière,  
49 ± 15 % de médecins fédéraux,  
43 ± 14 % de médecins du sport.  
23 % étaient titulaires d'un DU ou DIU (au moins de médecine subaquatique).

77 % pratiquaient ou avaient pratiqué la plongée sous-marine.

Les modes de formation continue privilégiés étaient :

- pour 73 % d'entre eux : le site internet de la FFESSM
- pour 68 %, les réunions médicales locales et la lecture des revues (non médicales) de plongée,
- pour 45 % seulement, une société savante.

Lors de l'examen médical :

- 71 % réalisent un test d'adaptation à l'effort (Ruffier-Dickson ou *step-test*)
- 66 % font pratiquer une manœuvre de Valsalva sous otoscopie.
- 83 % adressent leur consultant asthmatique à un pneumologue
- 50 % considèrent que la présence d'un FOP est une CI à la plongée. 23 % ne savent pas.
- 31 % considèrent qu'une cophose unilatérale n'est pas une CI à la plongée. 17 % ne savent pas.
- 54 % ne donnent pas de conseil de prévention.

La question de l'ECG n'a pas été posée.

En 2012, une enquête menée en Bretagne Pays de Loire (Griffo 2012) a obtenu les réponses de 128 médecins (fédéraux, médecins du sport, DU / DIU de médecine de la plongée et/ou hyperbare) de différentes spécialités à un questionnaire. 20 médecins fédéraux n'avaient pas de formation initiale en médecine de la plongée. 87 (soit 68 %) suivaient une formation continue en médecine de la plongée, essentiellement dans le cadre de la FFESSM. Il existe une grande variabilité entre les différentes catégories de médecins dans l'examen clinique et les examens complémentaires demandés.

Au total :

- tous les médecins ne sont pas formés de façon optimale à la visite de non contre-indication à la plongée ; en particulier le médecin fédéral, qui sert de référence pour les autres médecins dans les situations complexes ;
- presque la moitié des médecins n'actualisent pas leurs connaissances en médecine de plongée ;

- trop peu de médecins utilisent un questionnaire médical complet comme support de la consultation ;
- 20 % des médecins signent un certificat alors qu'ils devraient le refuser.

En 2017, pour un travail de thèse, C. Attia a comparé, à l'aide d'un questionnaire de 40 items, les réponses de 197 médecins généralistes possédant une qualification en médecine de la plongée (médecin fédéral, diplôme ou capacité universitaire : médecins « formés ») à celles de 257 médecins généralistes n'ayant pas de formation spécifique (médecins « non formés »), délivrant des certificats de non contre-indication à la plongée de loisir (Attia 2018).

Les médecins « formés » ont des réponses plus pertinentes que les médecins « non formés » à la fois pour la conduite de l'examen médical et pour la connaissance des contre-indications médicales. Les réponses les plus pertinentes sur les contre-indications médicales ont été fournies par les médecins fédéraux titulaires d'une formation universitaire qui suivent des formations continues régulières et qui utilisent plus souvent un auto-questionnaire pour optimiser la consultation médicale.

## **II – À L'ÉTRANGER**

### **1.- RÉGLEMENTATION**

Dans la grande majorité des pays de l'Europe et du reste du monde il n'existe pas de réglementation qui oblige les plongeurs sportifs à effectuer un examen médical de recherche de contre-indication avant de pratiquer la plongée de loisir. La gestion des risques dans cette activité est laissée à la responsabilité de l'individu, comme pour l'alpinisme et beaucoup d'autres sports à risques, et la conduite automobile par exemple.

Les informations obtenues de quelques pays représentatifs (États-Unis, Canada, Royaume Uni, Allemagne, Italie, Autriche, Suisse, Australie, Nouvelle-Zélande, Afrique du Sud, Malte et quelques destinations tropicales) n'indiquent que quatre pays (hors la France) dans lesquels un certificat médical d'aptitude (et donc un examen médical) est réglementairement nécessaire : la province de Queensland en Australie, le Portugal, la Norvège et Israël [Anonyme, Fitness to dive, Wikipedia]. Les prestataires de services de formation en plongée de loisir ou de sorties en mer ont pourtant dans tous les pays l'obligation d'exécuter une analyse de risques qui inclut les risques individuels par problèmes de santé ou ceux qui sont dus à une performance physique insuffisante. En réalité, cette procédure n'est pas prescrite de façon structurée, c'est-à-dire que l'on n'y fait référence qu'en cas d'accident ou de litige.

En Italie, le décret-loi Balduzzi (n° 158 du 13 septembre 2012) oblige les pratiquants d'un sport à risque cardiaque élevé, p. ex. la natation, à se faire examiner par un médecin du sport. Les pratiquants dans un cadre structuré (c'est-à-dire en activité encadrée ou organisée) doivent au moins être vus par un médecin et un examen cardiaque (ECG) doit être inclus à la visite médicale. C'est normalement le médecin de famille, mais quelques fois aussi un médecin hyperbare ou un médecin du sport qui réalisent ces examens pour la plongée. Les plongeurs qui pratiquent hors structure ne subissent généralement pas d'examen médical.

### **2.- AUTO DÉCLARATION DE SANTÉ**

Pour éviter les risques mentionnés dans le dernier alinéa, la grande majorité des organisations de formation ainsi que les prestataires de plongées de loisir ont adopté un système de clause de non responsabilité, qui consiste à faire signer par le plongeur une déclaration affirmant

qu'il ne présente pas de problème de santé (parmi ceux indiqués dans une liste) risquant d'engager sa sécurité en plongée.

- Le RSTC (*Recreational Scuba Training Council*) est une institution mondiale, initiée par l'organisation PADI (*Professional Association of Diving Instructors*) aux États-Unis qui a développé des standards pour les formations et l'organisation de la plongée de loisir et, en collaboration avec d'autres prestataires comme SSI (*Scuba Schools International*), pour la gestion des risques médicaux. Le formulaire à signer « Aptitude médicale - déclaration du candidat » [Anonyme, RSTC] contient une liste de 40 questions sur des antécédents ou la santé actuelle. Une seule réponse positive oblige le candidat à consulter un médecin. Le document donne des recommandations pour le médecin examinateur « *Guidelines for recreational Scuba divers physical examination* », qui décrit sur quatre pages les contre-indications relatives et absolues possibles. Établi par un groupe d'experts en médecine hyperbare de tous les continents cités *in fine*, il a été approuvé par le *Divers Alert Network* (DAN), et l'*Underwater and Hyperbaric Medical Society* (UHMS).
- l'UKDMC (*United Kingdom Diving Medical Council*), comité scientifique conjoint des trois fédérations britanniques de plongeurs, dont la plus importante, le *British Subaqua Club* (BSAC) a développé un système similaire au RSTC, dont la base est un questionnaire qui suffit pour toutes les activités en plongée (formation, exploration, instruction). Un examen auprès d'un médecin accrédité de l'UKDMC n'est imposé qu'en cas d'anamnèse positive [Anonyme, UKDMC 2016]. Plusieurs publications justifient cette attitude d'auto-responsabilité (Glenn et coll. 2000, Glenn 2004, Edge et Glenn 2005).
- La CMAS (Confédération mondiale des activités subaquatiques), qui réunit les fédérations nationales de plongeurs, a adopté la même attitude. Elle n'a cependant publié ni formulaires ni directives pour l'examen de recherche de contre-indication. Elle laisse l'initiative à chaque fédération nationale de la faire [Anonyme, CMAS 2012] : « *Medical history form completed by either the participant or by a medical practitioner* ».
- D'autres organisations commerciales comme NAUI (*National Association of Underwater Instructors*, États-Unis) et IANTD (*International Association of Nitrox and Technical Divers*, États-Unis) laissent le choix aux moniteurs ou fournisseurs de service.

### **3.- RECOMMANDATIONS OU CODES DE BONNE PRATIQUE ÉDITÉS PAR DES SOCIÉTÉS DE MÉDECINE SUBAQUATIQUE ET HYPERBARE**

Plusieurs sociétés savantes ont publié des guides de bonne pratique, directives, recommandations ou normes pour l'appréciation des risques médicaux chez les candidats plongeurs de loisir.

- La *South Pacific Underwater Medicine Society* (SPUMS, Australie et Nouvelle Zélande) a défini une norme pour l'évaluation des risques de santé pour l'examen et pour l'évaluation des plongeurs de loisir. Elle recommande à tout plongeur de loisir de se soumettre volontairement à un examen médical, bien qu'il ne soit pas prescrit, par un médecin ayant reçu la formation standardisée qu'elle organise et dont la liste est publiée sur son site internet [Anonyme, SPUMS 2010].
- UKDMC : le comité expert britannique prévoit un examen médical en cas de réponse positive sur le questionnaire qui doit obligatoirement être rempli. Cet examen médical est standardisé et doit être effectué par l'un des 60 médecins accrédités, eux-mêmes

supervisés par les médecins experts de l'UKDMC. Pour être accrédité, il faut avoir suivi une formation qui correspond plus ou moins au niveau 1 EDTC/ECHM.

- UHMS (*Undersea and Hyperbaric Medical Society, USA*) : partenaire du RSTC, cette société recommande en cas de problèmes de santé de consulter un médecin ayant suivi une formation appropriée. Elle a adopté le système de formation EDTC/ECHM.
- DAN (*Divers Alert Network*) : depuis 35 ans le DAN publie des conseils pour gérer les risques de santé dans des situations multiples, soit par téléconsultation, soit sur son site internet ([www.diversalertnetwork.org](http://www.diversalertnetwork.org)) ou par le journal *Alert Diver*, distribué publiquement. DAN a organisé de multiples *workshops* qui ont servi de conférence de consensus pour évaluer les risques médicaux spécifiques et pour donner des conseils de comportement adapté ou pour définir les contre-indications. Le DAN co-organise plusieurs cours de formation spécifique pour des médecins de plongée, mais cette organisation n'a pas publié de guide de bonnes pratiques au sens strict. Elle a coopéré à la production et approuvé les procédures du RSTC.
- Les GTÜM et ÖGTH (sociétés de médecine hyperbare d'Allemagne et d'Autriche) ont publié un guide commun de bonnes pratiques. Elles recommandent à tout plongeur de loisir de se faire examiner par un médecin ayant suivi une formation correspondant au niveau 1 des standards EDTC/ECHM<sup>1</sup>. Elles recommandent un examen médical annuel pour les plongeurs de moins de 18 ans et de plus de 40 ans, triennal dans les autres cas.
- La SUHMS (société suisse de médecine subaquatique et hyperbare) a publié un manuel qui contient un code de bonne pratique et recommande un examen chez un médecin ayant suivi formation appropriée conforme aux standards EDTC/ECHM depuis 1995 (Anonyme, SUHMS 1996).
- La société italienne de médecine subaquatique et hyperbare (SIMSI) n'a développé ni formation pour médecins examinateurs ni guide de bonne pratique. Les médecins du sport n'ont aucune formation en hyperbarie.

#### 4.- NORMES INTERNATIONALES ET STANDARDS DES ORGANISMES DE FORMATION

Depuis 2004 il existe des normes européennes éditées par le Comité européen de normalisation (CEN<sup>a,b,c</sup> 2004) et un peu plus tard des normes ISO (*International Organization for Standardization*) (ISO 2014) identiques à celles du CEN qui règlent la gestion d'un service de plongée de loisir depuis un navire, une institution ou une école de plongée et qui définissent également les niveaux de compétence des plongeurs jusqu'à l'instructeur (moniteur). Dans ce groupe de normes<sup>2</sup> (qui a été créé majoritairement par PADI et le RSTC) les fournisseurs de service de plongée de loisir doivent s'assurer, par la signature d'un questionnaire, que leurs clients n'ont pas de contre-indication. En cas de doute le client doit contacter un médecin. Un examen médical chez un médecin n'est nécessaire que pour suivre la formation d'enseignant (aide-moniteur, moniteur et plus) et guide de palanquée (*dive master*).

L'organisme de formation en plongée de loisir la plus importante (PADI, 80 % du marché mondial) oblige tout plongeur en formation à remplir les formulaires mentionnés ci-dessus, et n'oblige pas ses moniteurs à envoyer leurs élèves chez un médecin lorsque le questionnaire ne

---

<sup>1</sup> <https://www.gtuem.org/76/Tauchtauglichkeit>

<sup>2</sup> Non applicables en France.

comporte pas de réponse positive. Dans les autres cas, les candidats plongeurs peuvent aller chez un médecin de leur choix (aucune formation nécessaire, mais le formulaire PADI donne des recommandations pour l'examen). Pour les guides de palanquée et moniteurs, ainsi que pour suivre une formation en plongée dite « tek », PADI applique le standard ISO qui impose un examen chez un médecin<sup>3</sup>.

SSI, le second grand prestataire de formations au niveau international, a adopté le même système que PADI : questionnaire pour les élèves, éventuellement consultation chez un médecin. Les encadrants (guides et moniteurs) doivent passer un examen chez un médecin ou au moins lui faire signer le questionnaire<sup>4</sup>.

La fédération allemande de plongée (VDST: *Verband Deutscher Sporttaucher*, affiliée à la CMAS) impose à tout élève plongeur de consulter un médecin ayant une formation correspondant au niveau 1 EDTC/ECHM<sup>5</sup>.

La fédération suisse ([www.cmas.ch](http://www.cmas.ch)) a adopté le même système. Il est conseillé au plongeur de consulter un médecin formé niveau 1 EDTC/ECHM ou plus. À défaut, un médecin généraliste peut effectuer l'examen en utilisant les recommandations publiées dans le manuel et en utilisant les formulaires de la SUHMS.

En Australie les prestataires de formation en plongée de loisir ont publié un système différencié sur la base des recommandations de la SPUMS [Anonyme DiveMedicals] :

- pour les baptêmes de plongée et la plongée en centres de loisir, le questionnaire est appliqué. Certains prestataires exigent un examen médical pour les candidats plongeurs de plus de 55 ans ;
- l'examen médical, mené selon la norme AS 4005.1 par un médecin formé à cette norme, est obligatoire pour le premier cours de formation de plongeur. Pour les formations ultérieures, le questionnaire est appliqué ;
- un examen médical de moins d'un an est obligatoire pour les formations d'encadrants ;
- pour les plongées d'exploration sous la responsabilité d'opérateurs privés, le choix est laissé à l'opérateur entre exiger un questionnaire ou une simple décharge de responsabilité.

Les assureurs qui couvrent et prennent en charge les accidents de plongée sont plutôt tolérants et acceptent le questionnaire. L'assurance du DAN exige un examen médical pour les assurés de plus de 75 ans.

## 5.- QUELQUES OBSERVATIONS

- En pratique on peut constater que dans la plongée de loisir, surtout en mode plongée en vacances, l'auto-déclaration par questionnaire est devenue un standard accepté. Mais contrairement aux recommandations la pratique n'est pas toujours très rassurante : les plongeurs arrivent de l'avion, doivent signer les formulaires pour immédiatement préparer leur matériel et s'installer sur le bateau, selon le principe « pas de signature, pas de plongée ». Dans cette situation les clients comprennent vite quelles réponses cocher pour pouvoir plonger au plus tôt. Dans les cas où la visite chez un médecin s'impose, la qualité de l'évaluation médicale peut être largement insuffisante, soit parce que le touriste ne parle pas la langue du médecin, soit que le médecin n'est pas formé pour apprécier les risques de la plongée, soit que le touriste n'a pas en sa possession les informations

<sup>3</sup> <https://www.padi.com/padi-courses/tec-40-ccr-instructor>

<sup>4</sup> <https://my.divessi.com/standards>

<sup>5</sup> <https://www.vdst.de/>

médicales qui seraient nécessaires pour que le médecin puisse juger complètement la situation.

- Dans plusieurs pays européens, en Australie et Afrique du Sud, beaucoup d'écoles de plongée ainsi que des clubs de plongée, recommandent (dans quelques cas ils obligent) les plongeurs à consulter un médecin de plongée au moins pour les différentes étapes de la formation et surtout pour les moniteurs. En Allemagne et en Suisse, environ un tiers des plongeurs de loisir se font examiner par un médecin et environ un quart d'entre eux le font faire par un médecin ayant une formation en médecine de plongée alors que moins de 5 % des plongeurs actifs sont membres de clubs.
- Les autorités australiennes affirment que les statistiques dont elles disposent indiquent que l'incidence des décès est de 1/430 000 plongées dans le Queensland où s'applique scrupuleusement la norme AS 4005.1, alors qu'elle est de 1/120 000 dans le reste de l'Australie, 1/100 000 aux États-Unis et 6,5/100 000 au Japon [DiveMedicals.com]. Les détails de cette étude ne sont pas connus.
- En Italie la grande majorité des plongeurs a passé un examen médical. Le nombre de plongeurs autonomes n'est pas connu. Un certain nombre de bases ou écoles de plongée ne suivent pas la loi Balduzzi sous prétexte que la plongée ne serait pas expressément mentionnée dans le texte de la loi, mais seulement la natation. Au total, (estimation du Dr Pasquale Longobardi, président de la SIMSI) environ 55 % des plongeurs subiraient un examen chez un généraliste, 30 % un examen avec dépistage cardiaque (ECG) par un généraliste ou un hyperbariste, moins de 10 % par un médecin du sport.

---

## Références

Anonyme. CMAS. International Diver Training Standards and Procedures Manual 2012. <http://www.cmas.org/technique/cmas-international-diver-training-standards-alphabetical-order> [déc. 2018].

Anonyme. DiveMedicals. Dive Medical Requirements. Australian Standard AS4005.1. [www.DiveMedicals.com.au](http://www.DiveMedicals.com.au) [déc. 2018].

Anonyme. RSTC. Medical Statement and Guidelines for Examination. <http://wrstc.com/downloads/10%20-%20Medical%20Guidelines.pdf> [déc. 2018].

Anonyme. SPUMS. Guidelines on medical risk assessment for recreational diving. South Pacific Underwater Medicine Society 2010. <https://www.spums.org.au/content/spums-full-medical-0> [mai 2017].

Anonyme. SUHMS. Aptitude à la plongée - Manuel 1996. [www.suhms.org/publications.html](http://www.suhms.org/publications.html) [mai 2017].

Anonyme. UKDMC. Medical Self Declaration System Explanation 2016. <http://www.ukdmc.org/medical-self-declaration-system-explanation-2016/>

Anonyme. Wikipedia Free Encyclopedia. Fitness to dive. Wikimedia Foundation Inc. [https://en.wikipedia.org/wiki/Fitness\\_to\\_dive](https://en.wikipedia.org/wiki/Fitness_to_dive) [déc. 2018].

Attia C. Évaluation des pratiques des médecins généralistes pour le certificat d'absence de contre-indication à la plongée de loisir. Thèse médecine n° 77 : Université Paris 13; 2018.

Attia C, Méliet JL, Pillet P et coll. Évaluation des pratiques des médecins généralistes pour le certificat d'absence de contre-indication à la plongée de loisir. Bull. Medsubhyp 2018; 28(2): 43-53.

Beaurin M. Évaluation des pratiques professionnelles des médecins normands signant les certificats de non contre-indication à la plongée scaphandre loisir. Mémoire pour le diplôme inter-universitaire de médecine subaquatique et hyperbare. Université Claude Bernard – Lyon 1. 2011. 46 p.

CEN<sup>a</sup>. Norme EN 14467: 2004. Services relatifs à la plongée de loisir. Exigences relatives aux prestataires de service de plongée de loisir en scaphandre autonome. Comité européen de normalisation. Bruxelles, 2004.

CEN<sup>b</sup>. Norme EN 14153-1, -2, -3. Exigences minimales liées à la sécurité concernant la formation des plongeurs en scaphandre autonome pratiquant la plongée de loisir.

CEN<sup>c</sup>. Norme EN 14413-1, -2 : 2004. Exigences minimales liées à la formation des moniteurs de plongée subaquatique. Comité européen de normalisation. Bruxelles, 2004.

Edge C, Glenn S. Medical assessment of fitness to dive: recreational diving aspects. The ECHM Collection, 2005, 4: 17-19.

Glenn S. Three year follow up of a self certification system for the assessment of fitness to dive in Scotland. Br J Sport Med 2004; 38: 754-7.

Glenn S, White S, Douglas J. Medical supervision of sport diving Scotland: reassessing the need for routine medical examinations. Br J Sports Med 2000; 34: 375-8.

Griffo D. Visite de non contre indication à la plongée en scaphandre autonome de loisir : état des lieux auprès des médecins du sport et des médecins fédéraux de l'inter-région Bretagne/ Pays de Loire. Thèse méd. Université de Brest – Bretagne occidentale. 2012 ; 83 p.

ISO. Norme ISO 24801-2: 2014. Services relatifs à la plongée de loisir – Exigences concernant la formation des plongeurs pratiquant la plongée de loisir – Partie 2 : Niveau 2 – Plongeur autonome. Organisation internationale de normalisation. Genève, 2014. <https://www.iso.org/fr/standard/60461.html> [9 avril 2018].

## CHAPITRE VII

# PHYSIOLOGIE, PHYSIOPATHOLOGIE ET ACCIDENTS DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES

## I – CONSÉQUENCES PHYSIOLOGIQUES ET PATHOLOGIQUES DE L'IMMERSION

L'immersion est réalisée dès lors qu'un individu est plongé dans l'eau, en surface, que la tête soit dans ou hors de l'eau. On observe alors (Boussuges et Regnard 2006, Cochard et coll. 2013, Regnard 2017) :

- une pression artérielle systémique sensiblement conservée, mais parfois augmentée ;
- une élévation de la pression veineuse centrale, des diamètres des veines caves thoraciques, des volumes des cavités cardiaques droites et des pressions artérielle et capillaire pulmonaires, avec une augmentation du remplissage de la circulation pulmonaire (poumon « congestif ») ;
- une augmentation de précharge cardiaque droite et gauche qui induit une augmentation du travail cardiaque, majorée en cas de froid par augmentation de la postcharge gauche du fait de la vasoconstriction artériolaire périphérique ;
- de bonnes conditions de perfusion sanguine périphérique (tissulaire) sauf dans des territoires où se développe la vasoconstriction due au froid ;
- une diminution du volume gazeux pulmonaire (essentiellement de la capacité résiduelle fonctionnelle) ;
- une augmentation du travail ventilatoire ;
- une augmentation du débit urinaire (diurèse d'immersion) ;
- pour les longues durées d'immersion (supérieures à deux heures, en une seule session ou lors d'immersions successives), une perte d'eau globale, avec diminution du volume plasmatique ;
- au cours des efforts, une majoration de travail cardiaque plus accentuée que ce que requiert la seule augmentation du besoin énergétique

En vie aérienne (à terre) il existe en station debout un gradient de pression hydrostatique dans le réseau veineux, entre le haut et le bas du corps, essentiellement entre le thorax (système cave et système azygos) et le réseau veineux de l'abdomen et du bassin et des membres inférieurs. La pression oncotique au sein des vaisseaux maintient normalement l'eau dans le réseau capillaire. En périphérie basse (essentiellement dans les jambes et les pieds) la pression transmurale entre le sang du réseau veineux capillaire et la pression tissulaire, c'est-à-dire périvasculaire peut cependant être responsable d'œdèmes de stase des pieds ou des chevilles (longues stations assises). Le retour veineux (la précharge droite) est plus faible debout qu'en décubitus.

En immersion, la pression transmurale du sujet debout est annulée dans les capillaires de tout l'organisme (y compris ceux des membres inférieurs) par la pression hydrostatique (et le cas échéant celle d'un vêtement élastique en néoprène) qui est transmise à l'adventice des vaisseaux (comme à terre celle des bas de compression thérapeutique l'est sur les membres). En effet, la pression hydrostatique entre en opposition avec la pression engendrée par le poids de la colonne sanguine dont la masse volumique est proche de celle de l'eau. Cette disparition

du gradient transmural entraîne alors dans les muscles, tout particulièrement ceux des membres, une absorption plasmatique d'eau interstitielle, lente mais continue (Regnard 2017), responsable en grande partie de la diurèse d'immersion, et intracellulaire : en moyenne, le débit urinaire est 4 fois supérieur à celui de la vie aérienne pendant toute la durée de l'immersion.

Il existe donc une redistribution de la masse sanguine dans l'organisme en immersion, mais la pression veineuse centrale (atriale droite) est elle-même limitée par la pression médiastinale essentiellement conditionnée par la pression des voies aériennes que détermine en plongée l'appareil de protection respiratoire (détendeur ou équivalent). En effet, il existe dans le bassin, l'abdomen et le thorax des réseaux veineux plus compliants que ceux des muscles des membres (territoires pelvien et mésentérique, système azygos, système veineux lombaire ascendant et ses plexus lombaires). Dès l'entrée dans l'eau, une partie du volume sanguin du réseau veineux superficiel et des masses musculaires est transférée vers ces réseaux veineux profonds et le système cave, et au delà vers la circulation pulmonaire. Chez un adulte, tête hors de l'eau comme à toute profondeur avec un détendeur, 500 à 700 mL de sang sont ainsi transférés très rapidement des réseaux vasculaires périphériques (membres inférieurs essentiellement) vers les réseaux compliants du tronc, avec pour effet d'élever les pressions veineuses et capillaires thoraciques, et d'entraîner la mise en jeu de mécanismes régulateurs hémodynamiques aboutissant à la baisse des résistances périphériques et accentuant ainsi le mécanisme d'absorption d'eau tissulaire décrit ci-dessus. Cette redistribution sanguine peut être majorée par la vasoconstriction en cas de refroidissement cutané. En apnée, l'absence d'augmentation de masse gazeuse pulmonaire ne permet pas d'équilibrer la pression ambiante, et s'accompagne donc d'une augmentation beaucoup plus importante et progressive du volume sanguin thoracique avec l'augmentation de profondeur (le *bloodshift* de l'apnéiste).

Au total, les conditions circulatoires du travail cardiaque sont profondément modifiées. Les augmentations de la précharge et de la postcharge peuvent ne pas être symétriques, créant les conditions d'une extravasation alvéolaire et interstitielle dans les capillaires pulmonaires.

De plus, les efforts ventilatoires peuvent augmenter du fait de l'activité physique, des résistances ventilatoires (détendeur « dur », masse volumique des gaz) ou de la charge élastique positionnelle (*Static Lung Load*, Lundgren 1999). Les variations de pression thoraciques (dépression inspiratoire et surpression expiratoire) sont alors augmentées et compliquent le travail cardiaque, de manière différente selon le temps ventilatoire (inspiration ou expiration).

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

A l'émersion (retour en ambiance aérienne, et de façon plus prononcée en position verticale), les phénomènes s'inversent : le lit vasculaire périphérique des membres inférieurs est brutalement réoccupé, dévoilant une hypovolémie fonctionnelle dont le retentissement cardio-circulatoire est possible. La déshydratation extracellulaire observée au décours d'immersions de 6 et 12 h n'est pas encore résorbée 18 h après l'émersion (Regnard 2017).

### **I-1.- 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 correspond à l'apparition de symptômes respiratoires dans un contexte d'immersion ou de plongée sous-marine. Il

représente environ 15 % de l'ensemble des accidents survenant en plongée. Il est potentiellement récidivant (15 % des cas), et est classiquement observé à l'occasion d'effort physique de natation ou de palmage en surface (Gnadinger et coll. 2001, Bates et coll. 2011), de séances d'apnée ou de plongées subaquatiques à l'air comprimé ou avec un appareil à recyclage des gaz.

Son origine est liée d'une part aux conséquences des contraintes environnementales de l'immersion sur le système cardio-vasculaire et d'autre part aux contraintes ventilatoires présentes en plongée. Sa survenue est favorisée par l'existence de dysfonctions cardiovasculaires ignorées ou considérées comme mineures pour des activités physiques terrestres (Peacher et coll. 2015).

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. La ventilation à pression négative (avec dépressions inspiratoires) est également un facteur contributif important (Castagna et al. 2018). Cela s'observe aussi bien lors de la ventilation dans un tuba en surface qu'en plongée autonome (avec détendeur ou recycleur) en fonction de la position du plongeur (on parle de « déséquilibre hydrostatique » positionnel). En apnée, l'hypoxie, la dépression intrathoracique (encore appelée « squeeze pulmonaire ») à la descente, et les contractions diaphragmatiques en fin d'apnée sont des facteurs contributifs.

Cliniquement, l'OPI débute pendant le séjour dans l'eau avec une sensation de pénibilité ventilatoire, puis d'étouffement qui se majore progressivement en particulier lors de la remontée. En surface, le plongeur est dyspnéique, cyanosé avec toux, grésillement laryngé et parfois expectorations rosées ou hémoptysie franche. Dans la plupart des cas, le sujet est incapable de poursuivre les efforts de natation et doit être aidé pour surnager et sortir de l'eau. 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 avec dyskinésie du ventricule gauche de type *Tako-tsubo*), qu'il faut rechercher par une exploration 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).

## **I-2.- LES ÉCHANGES THERMIQUES – L'HYPOTHERMIE**

Les échanges thermiques entre l'eau et l'organisme sont liés aux caractéristiques physiques de ce milieu. Il s'agit essentiellement d'échanges par convection (entre un corps et un fluide) qui se produisent au niveau de deux échangeurs : 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. 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. Il est obligatoire en plongée professionnelle.

La non compensation des pertes thermiques amène un refroidissement d'abord localisé (périphérie, extrémités) qui peut ensuite gagner le tronc et les régions profondes du corps. L'hypothermie peut s'installer de manière insidieuse. On parle d'hypothermie lorsque la température centrale devient inférieure à 35° C.

La symptomatologie de l'hypothermie en fonction de la température rectale est résumée dans le tableau I.

Température rectale	Symptomatologie
37,5° C	Température « normale »
36,0° C	Augmentation du métabolisme (frisson) « engourdissement » psychique
35,5° C	Limite des hypothermies expérimentales volontaires
34° C	Limite des réponses « normales »
33° C	Limite de l'hypothermie sévère
32° C	Troubles de la conscience majeurs
31° C	Pression artérielle difficile à mesurer
30° C	PERTE DE CONSCIENCE Rigidité musculaire spastique (hypertonie permanente due au frisson) Arythmie cardiaque et ventilatoire
28° C	RISQUE DE FIBRILLATION VENTRICULAIRE
27° C	Aréflexie totale, inconscience totale Mort apparente
25° C	Fibrillation ventriculaire spontanée
24° C	Œdème pulmonaire
20° C	Arrêt cardiaque
18° C	Température la plus basse en hypothermie accidentelle avec récupération du malade
9° C	Température la plus basse en hypothermie thérapeutique

**Tableau I :** Symptomatologie de l'hypothermie (Regnard et Giry, 2006).

## II – CONSÉQUENCES DE L'ÉLEVATION DE LA PRESSION

### II-1.- LES VARIATIONS DE VOLUME ET LES BAROTRAUMATISMES

Lors de la modification de la pression, les cavités gazeuses de l'organisme sont soumises aux variations de volume liées à la loi de Boyle-Mariotte. Les cavités à parois souples (anses

intestinales par exemple) retrouveront au retour à la pression atmosphérique leur volume d'origine. 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 et sera exposé aux barotraumatismes.

Les barotraumatismes surviennent essentiellement entre la profondeur de 10 mètres et la surface, zone où les variations de volume sont les plus importantes pour une variation de pression de 1 atm (facteur 2).

### **II-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 actives (manœuvre de Valsalva ou de Frenzel), soit passive (béance tubaire volontaire).

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

Il ne faut pas confondre un vertige alterno-barique bénin et un barotraumatisme de l'oreille interne qui nécessite un traitement et une prise en charge spécifique. Un vertige fugace à la remontée avec disparition des signes en surface évoque en premier lieu un vertige alterno-barique. Le mécanisme est simple : la pression ambiante diminuant à la remontée, il existe une surpression relative dans la caisse du tympan qui normalement permet de chasser l'air de façon passive au travers de la trompe d'Eustache. Une obstruction unilatérale de la trompe d'Eustache (rhinite p. ex.) crée une surpression plus importante dans une des oreilles moyennes et engendrer un vertige par stimulation asymétrique des oreilles internes.

En présence de signes cochléo-vestibulaires qui apparaissent à la descente et qui persistent en surface, on évoque un barotraumatisme de l'oreille interne. Parfois, chez un débutant qui descend rapidement sans aucune manœuvre d'équilibration, ou à la suite d'un saut sur

l'oreille (effet de gifle), l'enfoncement de la membrane tympanique sous l'effet de la pression se transmet par la chaîne des osselets jusqu'à la fenêtre ovale. Mais le barotraumatisme de l'oreille interne est le plus souvent à rattacher à un forçage tubaire lors d'un Valsalva violent avec coup de piston transmis vers les fenêtres, par exemple lors d'exercices en formation (Di Meglio 1998, 2015 ; Kossowski et coll 2007), lors de descente rapide dans le bleu ou de tenue de palier dans la houle. Les signes à la sortie de l'eau (gêne auditive persistante, acouphènes) doivent alerter et faire pratiquer un audiogramme, en sachant qu'il peut exister un barotraumatisme mixte : un barotraumatisme de l'oreille moyenne peut en cacher un de l'oreille interne.

À l'extrême, 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.

Le traitement initial repose essentiellement sur la corticothérapie, à laquelle peuvent être associés des vasodilatateurs systémiques ou en inhalation (carbogène), l'hémodilution normovolémique ou l'OHB (Renon et coll. 2006). La recompression n'est pas indiquée mais peut s'envisager avec prudence si l'on a un doute sur l'existence d'un accident de désaturation de l'oreille interne chez un patient ayant une perméabilité tubaire préservée.

Dans certains cas, il peut exister une rupture de fenêtre, c'est la fistule péri-lymphatique. Elle est suspectée en cas de vertiges ou d'instabilité déclenchés par des changements de position, des variations de pression (plongée, étirements, toux, efforts), par des sons forts, ou bien en présence d'une surdité fluctuante. Dans ce cas, la recompression hyperbare doit être évitée ; le diagnostic de confirmation et le traitement reposent sur l'exploration chirurgicale (de Maistre et coll. 2015).

### **II-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. Une imagerie effectuée secondairement peut objectiver l'atteinte sinusienne.

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

### **II-1.4.- Les barotraumatismes pulmonaires**

La masse du gaz contenue dans les poumons est proportionnelle à la pression. Lors du retour à la pression atmosphérique normale, l'excédent de masse gazeuse, liée à son augmentation de volume (loi de Boyle et Mariotte) 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 ou bien à

l'occasion d'exercices spécifiques de remontées sans embout ou sur expiration (RSE). 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. Si la rupture alvéolaire a lieu près d'une bronchiole, l'air chemine le long des gaines péribrochovasculaires jusqu'au hile et au médiastin, et fait irruption dans les espaces sous-cutanés du cou.

Le tableau clinique complet, quasiment immédiat, associe :

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

En l'absence de traitement spécifique comme l'exsufflation à l'aiguille d'un pneumothorax compressif ou la recompression (oxygénothérapie hyperbare) en cas d'atteinte neurologique, l'évolution peut être 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).

### **II-1.5.- Les barotraumatismes digestifs**

Les barotraumatismes digestifs, liés à l'expansion des gaz dans l'appareil digestif lors de la remontée peuvent avoir plusieurs expressions :

- Les uns, liés à la dilatation des gaz dans l'estomac, ingérés lors de l'immersion bien souvent chez le débutant particulièrement anxieux, se manifestant le plus souvent par une simple dilatation douloureuse épigastrique soulagée par une évacuation sonore, plus rarement par des vomissements pouvant engendrer des déchirures au niveau du cardia responsables de vomissements hémorragiques (syndrome de Mallory-Weiss) et exceptionnellement par un syndrome douloureux aigu abdominal, conséquence d'un pneumopéritoine et d'une péritonite secondaires à la déchirure de la petite courbure gastrique. Le port d'un anneau gastrique pourrait favoriser ces accidents.
- Les autres, liés à la dilatation des gaz coliques, responsables de distension douloureuse de l'abdomen au retour à la pression ambiante et classiquement appelée « colique du scaphandrier ».

Si ces manifestations sont, sauf exception, pratiquement sans conséquence digestive, il n'en est pas de même chez les sujets ayant une hernie ou des séquelles d'affections inflammatoires

chroniques intestinales ou encore de chirurgie digestive, interventions pouvant avoir des conséquences directes sur l'évacuation des gaz comme un montage chirurgical anti reflux.

Enfin, la pression hydrostatique associée à la pression des vêtements élastiques de protection thermique (néoprène) provoque une augmentation de la pression intra-abdominale et, sans être directement à l'origine d'un barotraumatisme, peut être responsable d'un reflux gastro-œsophagien symptomatique exagéré par la position tête en bas.

### **II-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.

### **II-2.- AUGMENTATION DE LA MASSE VOLUMIQUE DES GAZ : LES ACCIDENTS VENTILATOIRES**

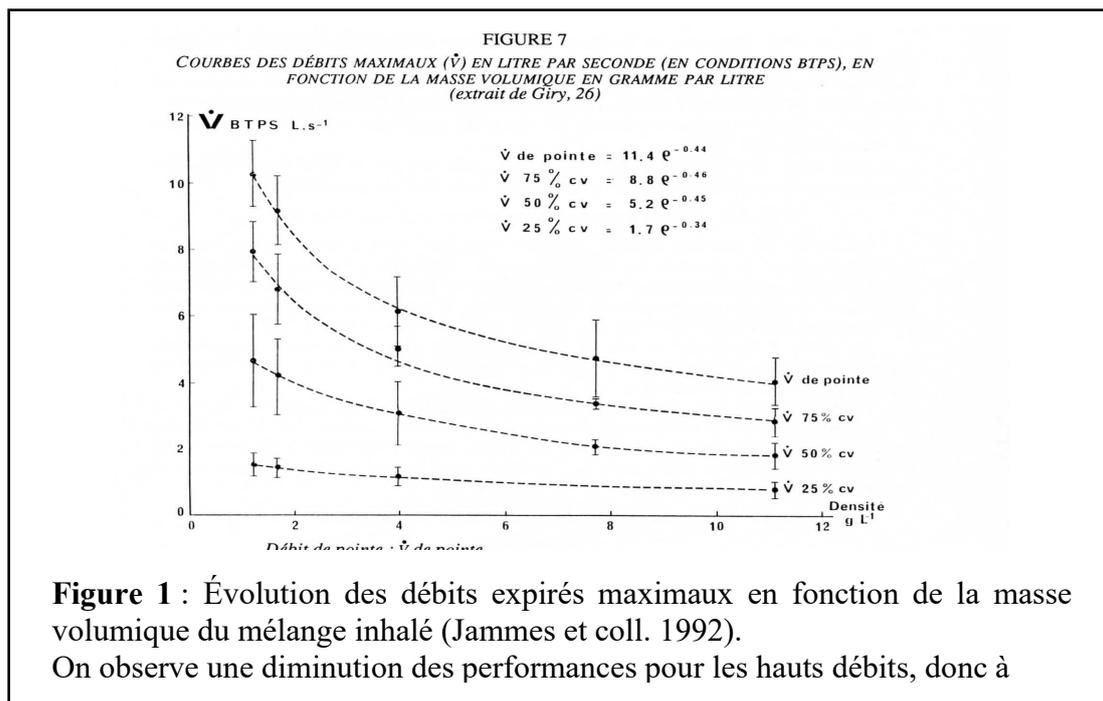
La mécanique ventilatoire est affectée par l'augmentation de masse volumique des gaz inhalés<sup>1</sup>. Les débits expiratoires les plus élevés (ceux qui sont sollicités à l'effort) sont réduits de manière significative (fig. 1). À cela s'ajoutent les résistances à l'écoulement des gaz dans l'appareil de protection respiratoire. L'augmentation du travail ventilatoire à l'effort doit donc être obtenue par l'augmentation du volume courant plutôt que par l'élévation de la fréquence respiratoire. Les sujets non entraînés privilégient l'élévation de la fréquence respiratoire, avec pour conséquence de ventiler l'espace mort et de réduire la ventilation alvéolaire, provoquant une rétention alvéolaire de dioxyde de carbone. L'élévation du CO<sub>2</sub> alvéolaire (hypercapnie) stimule encore plus la ventilation, conduisant à l'essoufflement.

Ces accidents se présentent sous la forme d'une hyperpnée survenant à l'effort. Les sensations liées au travail ventilatoire excessif et à l'hypercapnie peuvent devenir anxiogènes jusqu'à la panique. L'hyperpnée peut devenir insoutenable par fatigue des muscles ventilatoires. L'hypercapnie conduit parfois 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.

Par ailleurs, ces phénomènes d'essoufflement et de dyspnée peuvent être impliqués dans la genèse de l'œdème pulmonaire d'immersion (Castagna et coll. 2018a, b).

---

<sup>1</sup> Le code du travail limite à 9 g L<sup>-1</sup> la masse volumique des gaz inhalés.



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,
- l'utilisation d'appareils de protection respiratoire offrant peu de résistances à l'écoulement des gaz<sup>2</sup>.

### II-3.- ÉLEVATION DES PRESSIONS PARTIELLES DES GAZ INHALÉS

Au-delà d'une certaine valeur propre à chaque gaz, la pression de gaz inhalé déclenche des phénomènes de toxicité aiguë ou chronique, selon le temps d'exposition (ANSES 2014).

#### II-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 600 hPa<sup>3</sup>.

Entre 600 et 1600 hPa, le temps nécessaire pour l'apparition des phénomènes toxiques est long (plusieurs heures) : on parle de toxicité chronique.

Au-delà de 1700 hPa, 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 Lambertsen, 1971). Encore appelée effet Lorrain-Smith, du nom du

<sup>2</sup> Garantie par le marquage CE attestant la conformité aux normes européennes établies en référence au règlement UE 2016/425 du 9 mars 2016 (équipements de protection individuelle).

<sup>3</sup> Pour la définition des différentes unités, se reporter annexe I, p. 276.

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 Lambertsen 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. 1976).

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) La toxicité aiguë de l'oxygène**

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  $PiO_2$ .

Ce temps de latence, asymptomatique, varie selon les individus et les circonstances (travail physique, froid, hypercapnie, produits excitants le diminuent). Il est sensiblement plus court en immersion que dans un caisson (Donald 1947). On considère habituellement comme ordre de grandeur (Louge et Méliet 2006) :

- 7 heures pour  $PiO_2 = 1700$  hPa
- 3 heures pour 1800 hPa
- 50 min pour 2000 hPa
- 30 min pour 3000 hPa
- 10 min pour 3500 hPa.

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 en trois phases comme une crise de grand mal :

- 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.

### **II-3.2.- L'HYPOXIE**

Lorsque le mélange gazeux inhalé présente une fraction d'oxygène inférieure à 10 %, la  $PiO_2$  peut devenir inférieure au seuil de 100 hPa, induisant un risque de perte de connaissance hypoxique, qui survient sans prodrome.

L'hypoxie « exogène » peut s'observer en plongée de loisir en cas de consommation d'air élevée vidant le réservoir, de défaut ou d'erreur de gonflage des bouteilles d'air comprimé. En plongée « technique » à profondeur élevée, une gestion inadéquate des mélanges gazeux (choix du mélange, consommation excessive, au fond ou pendant la décompression) peut être à l'origine d'hypoxie.

L'utilisation d'appareils à recyclage des gaz peut également exposer à ce type d'accident en cas de dysfonctionnement.

L'hypoxie « endogène » survient en cas d'atteinte pulmonaire diffuse, comme dans le cas d'un OPI, avec une perte de connaissance constatée dans 15 % des OPI. Elle peut également se produire lors de la plongée en apnée : pendant la plongée, la consommation de l'oxygène emporté dans l'air des poumons et des voies aériennes fait baisser sa concentration, alors que la  $PAO_2$  reste acceptable. Lors de la remontée la réduction de la pression s'accompagne d'une diminution de la  $PAO_2$ . Il existe donc un risque de perte de connaissance ou syncope hypoxique dans l'eau, avec un risque majeur de noyade lors de la reprise inspiratoire. Celle-ci survient d'autant plus tard que l'apnéiste aura au préalable fait baisser son taux de dioxyde de carbone en hyperventilant. Le dioxyde de carbone est en effet un puissant stimulus ventilatoire qui permet au plongeur de prendre conscience de la nécessité d'interrompre son apnée.

La perte de connaissance peut parfois survenir après l'émersion et la reprise ventilatoire, car l'élévation de la  $PaO_2$  n'est pas instantanée.

### **II-3.3.- Les accidents liés au dioxyde de carbone**

L'inhalation de dioxyde de carbone à  $PiCO_2$  élevée entraîne une élévation de la pression artérielle de  $CO_2$  ( $PaCO_2$ ) avec hyperventilation, élévation des débits ventilatoire, dyspnée, hypoventilation alvéolaire.

L'hypercapnie peut être endogène, d'origine ventilatoire (essoufflement, incapacité à réaliser ou maintenir les débits expiratoires nécessaires pour éliminer le  $CO_2$ ) ou secondaire à une mauvaise épuration des gaz respirés en circuit fermé dans certains appareils isolants respiratoires ou exogène, due 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 ; une  $PiCO_2 = 100$  hPa conduit au décès.

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,
- la réduction de la masse volumique des gaz respirés, qui doit rester inférieure à  $9 \text{ gL}^{-1}$  à la pression d'utilisation,
- l'usage d'équipements de protection respiratoires conformes aux normes CE/AFNOR,
- l'entretien et la préparation du matériel (recycleurs en particulier),
- la maîtrise par le pratiquant de ses efforts physiques et de sa ventilation.

### **II-3.4.- L'intoxication au monoxyde de carbone**

Le monoxyde de carbone n'est normalement pas présent dans les gaz inhalés. Cependant, à la suite d'une pollution accidentelle (aspiration de gaz d'échappement par exemple), il peut être introduit dans le gaz respiratoire à l'occasion du gonflage des bouteilles, conduisant à une intoxication identique à celle décrite à la pression atmosphérique et proportionnelle à sa pression partielle et au temps d'exposition.

Le code du travail fixe à 0,05 hPa (5 Pa, soit 50 µbar) la pression partielle maximale admissible du CO inhalé. À la pression atmosphérique, le CO est toxique à partir de 70 ppm et une concentration supérieure ou égale à 1000 ppm peut entraîner un décès immédiat (Mathieu et coll. 2002, Testud 2005). Pour un gaz respiré sous une pression de 5 bar, les concentrations équivalentes respectives à la pression atmosphérique seraient de 14 et 200 ppm.

### **II-3.5.- La toxicité de l'azote et des gaz inertes : narcose aux gaz inertes**

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

D'autres gaz inertes possèdent des propriétés similaires : l'argon est utilisé dans les travaux de soudage et peut être retrouvé dans les enceintes. Le néon a été utilisé à des fins expérimentales. L'hydrogène montre des propriétés narcotiques à partir de 20 bar (Gardette et Comet 2006). Il n'a été utilisé qu'à titre expérimental et de démonstration.

L'azote induit des modifications psycho-comportementales décrites sous le terme de narcose dès 4 ATA (ou 30 m) à l'air comprimé chez les sujets les plus sensibles. Au-delà de 8 ATA (70 m) 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 de la pression partielle 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-O<sub>2</sub>, ou ternaire He-N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>, encore appelé « trimix ». La concentration en oxygène est calculée pour rester dans les limites tolérables à la profondeur d'intervention.

### **II-3.6.- Le syndrome nerveux des hautes pressions**

L'hélium constitue une exception parmi les gaz inertes : 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).

Bien avant cette pression, des effets neurologiques transitoires liés à la pression et à sa vitesse d'augmentation surviennent au moment et immédiatement après la compression, décrits sous le terme de syndrome nerveux des hautes pressions (SNHP, Brauer et coll. 1969, Rostain 2006). Il ne se manifeste chez l'Homme que pour les expositions au-delà de 15 bar de pression totale. Il s'agit le plus souvent d'expositions en caissons et tourelles (plongée profonde professionnelle) permettant à des plongeurs d'atteindre des profondeurs jusqu'à 300 m.

En plongée de loisir, les conditions d'apparition du SNHP ne concernent qu'un petit nombre de pratiquants atteignant des profondeurs de l'ordre de 150 à 200 m à l'aide d'appareils à recyclage de gaz utilisant de l'hélium.

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.

### **II-3.7.- Prévention des accidents toxiques**

Le code du sport régleme la pratique de la plongée à l'air et la limite à 60 m, ce qui correspond à une PO<sub>2</sub> de 1,47 bar et une PN<sub>2</sub> de 5,53 bar (art. A322-82). Les valeurs limites de PiO<sub>2</sub> sont fixées à 0,16 bar pour la valeur minimale et 1,6 bar pour valeur maximale, sans notion de durée (art. A322-92). Les pressions partielles admissibles des polluants (CO, CO<sub>2</sub>) ne sont pas fixées.

À titre de comparaison, le tableau II issu des prescriptions du code du travail donne des valeurs légèrement différentes pour les pressions partielles maximales admissibles.

Gaz respiré	Pression partielle maximale de gaz inhalé	Conditions d'exposition
CO <sub>2</sub>	10 hPa	
CO	5 Pa	
N <sub>2</sub>	5 600 hPa	
O <sub>2</sub> (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 admissibles pour les gaz respiratoires données par le code du travail (art R.4461-17 à 20).

### II-3.8.- Dissolution des gaz inertes dans l'organisme

La dissolution des gaz inertes dans les liquides de l'organisme liée à l'augmentation de pression 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 différence entre la pression partielle du gaz inerte inhalé et les tensions du gaz dans les différents compartiments de l'organisme, qui sont parfois assimilés à des « tissus ». On parle de « tissus courts » pour les compartiments qui s'échangent rapidement (constante de temps, ou période, courte : de quelques minutes à quelques dizaines de minutes) et de « tissus longs » pour les compartiments ayant des constantes de temps longues, comptées en heures.

La loi d'échange est telle que la désaturation complète d'un compartiment, après un séjour en pression s'effectue approximativement en 8 fois sa période. Si le retour à la pression atmosphérique s'effectue sans respecter cette loi d'échange, le gaz inerte contenu dans les solutions sursaturées risque de former des bulles dans les tissus : 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.

À la suite de ses travaux, des méthodes de calcul ont été développées, dont la plus connue est celle de Haldane (Boycott et coll. 1908) pour proposer des profils de remontée vers la surface protégeant contre ces accidents. Présentés à l'origine sous forme de tables, les profils sont depuis les années 80 calculés par des ordinateurs portés par les plongeurs.

À partir des années 70, la détection ultrasonore par effet Doppler des bulles circulantes (Spencer et Campbell 1968, Guillermin et coll. 1973, Le Chuiton 1979, Masurel 1987) a permis d'améliorer ces profils et a montré :

- qu'il existait des bulles après des décompressions sans accident, respectant les protocoles calculés ;
- que le dégazage pouvait se dérouler pendant plusieurs heures après la fin de la plongée, avec un maximum d'intensité entre 1 et 3 heures ;
- qu'il était lié, toujours en l'absence d'accident et pour des plongées identiques, à la vitesse de remontée, l'âge, la masse grasse, et l'effort physique consenti (Carturan 2002).

### III – CONSÉQUENCES DE LA RÉDUCTION DE LA PRESSION : LES ACCIDENTS DE DÉSATURATION

La fréquence de survenue des accidents de désaturation (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 services de médecine hyperbare. 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 50 ans et plongeant à plus de 40 mètres de profondeur constituent une population cible (Louge et coll. 2010). 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).

#### III-1.- PHYSIOPATHOLOGIE

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 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 (FOP) (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. Les bulles présentes dans le torrent vasculaire se comportent comme des corps étrangers vis-à-vis du contenu (plasma) et du contenant (l'endothélium vasculaire). Elles induisent une réaction biologique décrite sous le nom de *maladie de la décompression*. On distingue ainsi 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.

Un certain nombre de facteurs liés à la plongée ou au plongeur (tableau III), sont reconnus comme favorisant la survenue des accidents de désaturation (Gempp et coll. 2015).

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

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

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 de type I regroupent les formes ostéo-myocardiales ou *bends*, cutanées, et des symptômes non spécifiques appelés « manifestations générales ». Les ADD de type II regroupent les formes neurologiques (médullaires et cérébrales), cochléo-vestibulaires, et cardio-pulmonaires, appelées « *chokes* ».

La prévention des accidents de désaturation passe par :

- la formation du plongeur (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.

### III-2.- 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.

Les médiateurs libérés au cours de ces interactions peuvent être responsables d'un syndrome de fuite capillaire avec choc hypovolémique et œdèmes (Morin et coll. 2019, Gempp et coll. 2013c).

### III-3.- 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 :

#### III-3.1.- Les accidents médullaires

Ils débutent souvent par des fourmillements et des paresthésies dans les membres inférieurs, quelquefois par une douleur vertébrale d'intensité variable parfois en « coup de poignard », 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 après l'émersion) et d'autant plus que la plongée est profonde (plus ou moins de 40 mètres). Dans certains cas les premiers signes peuvent s'observer pendant les paliers.

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 ataxie proprioceptive par altération de la sensibilité profonde est fréquente,
- une abolition des réflexes ostéotendineux 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'apparition d'une symptomatologie déficitaire précoce, sa non résolution sous oxygène normobare pendant le transport et la constatation d'un globe vésical sont les critères principaux d'évolution péjorative, intégrés dans un score clinique de gravité (score Medsubhyp, Blatteau et coll. 2011).

L'IRM médullaire, réalisée dans les 48 h après l'ADD, permet de mettre en évidence, dans les formes graves, une atteinte ischémique et assez souvent l'existence de facteurs compressifs

anatomiques en regard de la lésion médullaire qu'il convient de rechercher (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.

### III-3.2.- 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 (AVC) avec de nombreuses formes cliniques possibles, parfois d'un accident ischémique transitoire. Le diagnostic différentiel avec un AVC est parfois difficile. Les formes sévères peuvent entraîner des troubles de conscience, des convulsions, des hémiplésies flasques, globales ou à prédominance brachio-faciale ou crurale, mais on observe plus souvent des atteintes focalisées des fonctions supérieures et des paires crâniennes, avec par exemple des troubles visuels (amaurose, altération du champ visuel), des troubles de la parole (aphasie, difficultés d'élocution), des troubles psychiques (prostration, agitation).

La symptomatologie cérébrale pose également le problème du diagnostic différentiel avec un barotraumatisme pulmonaire qui peut également entraîner un aéroembolisme cérébral en cas de brèche alvéolo-capillaire. Le scanner thoracique peut dans ce cas être contributif.

L'IRM cérébrale, parfois réalisée avant la recompression en cas de doute avec un AVC, peut mettre en évidence une atteinte ischémique focalisée, ou bien des atteintes punctiformes multiples disséminées de la substance blanche cérébrale. La recherche d'un shunt droite-gauche doit être systématique.

### III-3.3.- 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. Le rôle du FOP serait moins de créer l'ADD que d'apporter des microbulles d'azote dans une phase où les tissus de l'OI sont encore en sursaturation (Mitchell et Doolette 2015).

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

L'examen retrouve un syndrome vestibulaire harmonieux avec une déviation axiale (épreuves de Romberg, Babinski ou Fukuda) ou segmentaire dans le même sens que celle de la secousse lente du nystagmus de type périphérique. Un certain degré d'hypoacousie peut être observé.

Dans certains cas, le diagnostic différentiel avec un barotraumatisme de l'oreille interne n'est pas évident, d'autant que leur association n'est pas exclue. En cas de doute, la recompression reste indiquée, mais on doit s'assurer de la bonne perméabilité tubaire du patient afin de ne pas majorer un éventuel processus barotraumatique (de Maistre et coll. 2015).

La recherche d'un shunt droite-gauche doit être systématique. Un bilan ORL à distance avec audiogramme et vidéonystagmogramme est indispensable pour rechercher une atteinte

résiduelle de l'oreille interne, qui est fréquente malgré une compensation clinique qui intervient généralement dans la semaine après l'accident.

### III-3.4.- 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. Ces accidents sont en fait exceptionnels, et la présence d'une symptomatologie respiratoire au premier plan doit avant tout faire évoquer un OPI ou un barotraumatisme pulmonaire. Le scanner thoracique est dans ce cas contributif.
- **Cardiaques** : exceptionnelles. L'ischémie myocardique aiguë par obstruction de la circulation coronaire par des bulles est rapportée dans la littérature (Schneeweis et coll. 2012).

### III-4.- FORMES CLINIQUES DES ADD DE TYPE I

#### III-4.1.- 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, réticulées (livédo sur le tronc et les flancs) réalisant la *cutis marmorata*. Ils sont parfois favorisés par des strictions locales entraînant des ralentissements circulatoires superficiels. Ils sont fréquemment associés à un accident plus grave : il a été montré que ces accidents cutanés éruptifs étaient liés à la présence d'un shunt droite-gauche dans 80 % des cas, évoquant un mécanisme d'embolisation artériolaire de territoires cutanés spécifiques (Wilmshurst 2001, Gempp et coll. 2017). D'autres auteurs font l'hypothèse d'une participation neuro-végétative liée à l'embolisation cérébrale (Kemper et coll. 2015, Germonpré et coll. 2015).

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 ».

Quoi qu'il en soit, la recherche d'un shunt droite-gauche (SDG) doit être systématique en présence d'une éruption cutanée après plongée évocatrice d'un accident de désaturation. Une évaluation dermatologique et allergologique doit également compléter le bilan.

### III-4.2.- 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 et suivies en réalisant une IRM articulaire systématique après la survenue d'un *bend*.

### III-4.3.- 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, préludes à un ADD neurologique constitué.

### III-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. La prévention passe par le dépistage de ces facteurs de risque, le respect des procédures de décompression et le suivi médical (imagerie) des plongeurs victimes d'accidents de désaturation osseux (voir chapitre XIII – Appareil locomoteur).

## **IV – LES EFFETS AU LONG COURS DE LA PLONGÉE**

À côté de l'ostéonécrose dysbarique, maladie professionnelle n° 29, d'autres atteintes au long cours, non admises au régime des maladies professionnelles, ont été décrites (Ross et coll. 2004). Elles concernent le système nerveux central et le poumon.

### **IV-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 (Todnem et coll. 1990) et amateurs (Hemelrick et coll. 2014), 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.

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 ou choix aléatoire par les investigateurs) et leur qualité (plongeurs amateurs ou plongeurs professionnels), mais également à l'existence de biais méthodologiques dans certaines études qui faussent l'analyse critique des résultats. L'existence d'une possible corrélation entre le nombre et/ou la taille des lésions cérébrales et la présence de certains facteurs de risque comme l'âge, l'IMC, le profil lipidique, le tabac, l'expérience en plongée ou bien encore les paramètres de plongée ne sont également pas toujours établis, avec des résultats contradictoires entre les études. Gempp et coll. (2010) concluent, à la suite d'une étude cas-témoins que les sujets pratiquant depuis longtemps la plongée et se plaignant de symptômes cognitifs devraient bénéficier d'une investigation par IRM cérébrale, complétée par un bilan neuropsychologique et la recherche d'un shunt droite – gauche (SDG) en cas d'anomalies objectivables à l'IRM.

### **IV-2.- LES EFFETS AU LONG COURS SUR LE POUMON**

Les différentes études, menées chez des plongeurs semblent suggérer qu'il existe une diminution de la CVF, du VEMS, des débits expiratoires maximaux et du 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).

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). 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. Plus récemment (Pougnnet et coll. 2013) une étude longitudinale montrait une diminution des débits expiratoires et de la TLCO après 10 ans de plongée chez 33 professionnels. Les mécanismes de cette diminution ne sont pas encore clairement identifiés. La part respective du vieillissement, du tabac et de la plongée doit encore être précisée (Pougnnet et coll. 2014).

---

### Références des articles cités

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. Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Maisons-Alfort, sept. 2014. 352 p.

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.

Bates 2011 ML, Farrell ET, Eldridge MW. The curious question of exercise-induced pulmonary edema. *Pulm Med* 2011; 2011: 361931.

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. 5<sup>th</sup> ed. London; Saunders: 2003. p 300-22.

Blatteau JE, Boussuges A, Hugon M. L'accident bullaire initial. *In* : Broussolle B, Méliet JL eds. Physiologie et Médecine de la Plongée. Ellipses, Paris. 2<sup>e</sup> édition 2006: 385-93.

Blatteau JE, Gemppe E, Simon O, Coulange M, Delafosse B, Souday V, Cochard G, Arvieux J, Henckes A, Lafere P, Germonpre P, Lapoussiere JM, Hugon M, Constantin P, Barthelemy A. Prognostic factors of spinal cord decompression sickness in recreational diving: retrospective and multicentric analysis of 279 cases. *Neurocrit Care*. 2011; 15(1): 120-7.

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<sup>e</sup> éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006. p 115-39.

Bove AA. Pulmonary aspects of exercise and sports. *Methodist DeBakey 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. [Prévention de la maladie de décompression. Foret A (ed.). Théthys, Montpellier. 2008. 159 p.].

Brauer RW, Dimov S, Fructus X, Fructus P, Gosset A, Naquet R. Syndrome neurologique et électrographique des hautes pressions. *Rev Neurol (Paris)*. 1969; 121(3): 264-5.

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.

Butler FK Jr, White E, Twa M. Hyperoxic myopia in a closed-circuit mixed-gas scuba diver. *Undersea Hyperb Med*. 1999; 26(1): 41-5.

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 Physio* 93; 2002: 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.

Castagna O, de Maistre S, Schmid B, Caudal D, Regnard J. Immersion pulmonary edema in a healthy diver not exposed to cold or strenuous exercise. *Diving Hyperb Med*. 2018; 48: 40-44.

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): 43-48.

Coulangue M, Rossi P, Gargne O *et al.* Pulmonary oedema in healthy scuba divers: new physiological pathways. *Clin Physiol Funct Imaging* 2010, 30: 181-6.

de Maistre S, Gempp E Louge P, Hugon M, Blatteau JE. Conduite à tenir en présence de symptômes ORL au décours d'une plongée. *Médecine et Armées, spécial « Médecine de la plongée »* 2015; 43(1): 69-76.

Donald KW. Oxygen poisoning in man. *Br Med J*. 1947 May 17; 1(4506): 667-72.

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.

Ferrer P, Regnard J, Matran R, Dinh Xuan AT, Eustache JM, Lochart A. Oxygen breathing increases serum neutrophil chemotactic activity and bronchial response to histamine in healthy subjects. *Am Rev Respir Dis* 1988, 137: A300.

Fock A, Harris R, Slade M. Oxygen exposure and toxicity in recreational technical divers. *Diving Hyperb Med*. 2013; 43(2): 67-71.

Francis TJ, Pearson RR, Robertson AG, Hodgson M, Dutka AJ, Flynn ET. Central nervous system decompression sickness : latency of 1070 human cases. *Undersea Biomed Res* 1988, 15 (6): 403-17.

Fueredi GA, Czarnecky DJ, Kindwall EP. MR findings in the brains of compressed air tunnel workers: relationship to psychometric results. *Am J Neuroradiol* 1991, 12: 67-70.

Gardette B, Comet M. Les effets biologiques de l'hydrogène. *In* : B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulangue (eds). *Physiologie et médecine de la plongée* (2<sup>e</sup> 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, 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.

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<sup>(a)</sup>, Louge P. Inner ear decompression sickness in scuba divers: a review of 115 cases. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2013, 270, 6: 1831-7.

Gempp E<sup>(b)</sup>, 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<sup>(c)</sup>, Lacroix G, Cournac JM, Louge P. Severe capillary leak syndrome after inner ear decompression sickness in a recreational scuba diver. *J Emerg Med.* 2013; 45(1): 70-3. doi: 10.1016/j.jemermed.2012.11.101. Epub 2013 Apr 18.

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, Louge P, de Maistre S, Hugon M, Blatteau JE. Manifestations neurologiques après plongée sous-marine : attitude pratique. *Médecine et Armées, spécial « médecine de la plongée »* 2015. 43, 1: 61-8.

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 Dec 1; 248: 155-8.

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.

Germonpré P, Balestra C, Obeid G, Caers D. Cutis Marmorata skin decompression sickness is a manifestation of brainstem bubble embolization, not of local skin bubbles. *Med Hypotheses.* 2015; 85(6): 863-9.

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<sup>e</sup> éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006. p 411-16.

Guillerm R, Masurel G, Monjaret JL. Détection ultrasonore par effet Doppler des bulles intravasculaires lors de la décompression après exposition hyperbare du porc. *Bull Med Sub Hyp* 1973; 10: 19-28.

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.

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 Sport* 2014; 24(6): 928-34.

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 121-54.

Kemper TC, Rienks R, van Ooij PJ, van Hulst RA. Cutis marmorata in decompression illness may be cerebrally mediated: a novel hypothesis on the aetiology of cutis marmorata. *Diving Hyperb Med.* 2015; 45(2): 84-8.

Laborit H, Barthélémy L, Perrimond-Trouchet R. Action de l'héparine dans le traitement des accidents de décompression. *Agressologie* 1961, 2,3 : 229-36.

Le Chuiton J. Contribution à l'étude des phénomènes bullaires intravasculaires survenant en cours de décompression après plongée. Thèse (Physiologie). Université Claude-Bernard Lyon I. Lyon, 1987.

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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. p 282-94.

Louge P, Gempp E, Constantin P, Hugon M. Prise en charge des accidents de décompression médullaire en plongée sous-marine : actualités en 2010. *Presse Med* 2010, 39(7-8): 778-85.

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.

Lundgren CE. Immersion effects. *In* : Lundgren CE, Miller JN (eds). *The lung at depth*. New York, Dekker; 1999: p. 91-128.

Masurel G. Contribution à l'étude du rôle physiopathologique des bulles générées chez l'animal et chez l'homme par un séjour en atmosphère hyperbare. Thèse Sc. n° 17-87. Université Claude-Bernard Lyon I. 1987.

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.

McMonnies CW. Hyperbaric oxygen therapy and the possibility of ocular complications or contraindications. *Clin Exp Optom.* 2015; 98(2): 122-5.

Mitchell SJ, Doolette DJ. Pathophysiology of inner ear decompression sickness: potential role of the persistent foramen ovale. *Diving Hyperb Med.* 2015; 45(2): 105-10.

Morin J, Simon K, Chadelaud F, Delarbre D, Druelle A, Blatteau JE. [Capillary leak syndrome secondary to decompression sickness: A case report]. *Rev Med Interne.* 2019; 40(1): 38-42. French.

Peacher 2015 DF, Martina SD, Otteni CE, Wester TE, Potter JF, Moon RE. Immersion pulmonary edema and comorbidities: case series and updated review. *Med Sci Sports Exerc.* 2015; 47: 1128-34.

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.

Regnard J, Braccagni P, Eustache JM, Matran R, Le Pechon JC, Conso F, Lochart A. Usual diving hyperoxic breathing can induce airway hyperreactivity in normal subjects. *In* Corleo C (ed). *Proceedings of the XIIIth annual meeting of the European Underwater Baromedical Society (EUBS)*, Palermo, Italia, 1987.

- Regnard J. Physiologie cardiovasculaire en plongée. *In* Lafay V (ed). Cœur et plongée. Ellipses Editions Marketing. Paris, 2017. p. 77-111.
- Regnard J, Giry P. Échanges thermiques en plongée. *In* : Broussolle B, Méliet JL, Coulange M (eds). Physiologie et médecine de la plongée (2<sup>e</sup> éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. p 153-67.
- Renon P, Jacquin M, Bruzzo M, Bizeau A. Accidents barotraumatiques de l'Oreille et des sinus. *In*: B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulange (eds). Physiologie et médecine de la plongée (2<sup>e</sup> éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. p 247-55.
- 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.
- 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.
- Ross JAS, Macdiarmid JJ, Murray AD, *et coll.* Examination on the long term health impact of diving. *Eur J Underwater Hyperb Med* 2004; (5) 2: 24-5.
- Rostain JC. Le syndrome nerveux des hautes pressions. *In* : B. Broussolle, JL. Méliet et M. Coulange (eds). Physiologie et médecine de la plongée (2<sup>e</sup> éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. p 337-56.
- 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 (CO<sub>2</sub>) retention with inhaled CO<sub>2</sub> 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.
- Testud F. Monoxyde de carbone. *In*: Testud F. Pathologie toxique professionnelle et environnementale. Eska. Paris 2005. p 101-8.
- 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 FEV<sub>1</sub> in scuba divers. *Chest* 2006, 130: 238-43.
- Todnem K, Nyland H, Kambestad BK, Aarli JA. Influence of occupational diving upon the nervous system: an epidemiological study. *Brit J Ind Med* 1990; 47: 708-14.
- 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 CO<sub>2</sub> and breathing resistance while breathing oxygen. Communication à la réunion annuelle de l'EUBS, Wiesbaden septembre 2014.
- Wilmshurst IT, Nuri M, Crowther A, Betts JC Webb-Peploe MM. Recurrent pulmonary oedema in scuba divers; prodrome of hypertension: a new syndrome. *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.

Wilmshurst PT, Pearson MJ, Morrison WL, Bryson P. Relationship between right-to-left shunts and cutaneous decompression illness. *Clin Sci (Lond)*. 2001; 100(5): 539-42.

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**

Blatteau JE (ed). Médecine et Armées, numéro spécial « Médecine de la plongée » 2015. 43, 1. 125 p. Disponible sur <http://www.ecole-valdegrace.sante.defense.gouv.fr/mediatheque/la-revue-medecine-armees> [5 mars 2018].

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<sup>e</sup> éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. 880 p.

Brubakk A, Neuman TS (eds). Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving 5<sup>th</sup> 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 5<sup>th</sup> 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 VIII

### LA PLONGÉE EN APNÉE : PHYSIOLOGIE ET PHYSIOPATHOLOGIE

La plongée en apnée est une technique ancestrale dont les plus anciennes traces datent du premier millénaire. Cette pratique était à l'origine alimentaire ce qui est encore le cas en Corée ou aux Philippines pour ne prendre que ces deux exemples. Plus épisodiquement cette technique de plongée a été utilisée pour le pillage des épaves. La plongée en apnée concerne des centaines de milliers de pratiquants dans le monde et ne serait-ce qu'en France plusieurs dizaines de milliers d'adeptes de la pêche sous-marine utilisent régulièrement cette technique.

L'apnée sportive en tant que discipline à part entière n'a réellement vu son essor qu'assez récemment à l'échelle des pratiques sportives. Cet essor est lié à sa médiatisation à travers le film de Luc Besson *Le Grand Bleu* sorti sur le grand écran en 1988.

Cette médiatisation et la reconnaissance par le grand public de ces nouveaux sportifs de l'extrême dont Jacques Mayol a été le précurseur français ainsi que sa facilité d'accès comparativement à la plongée autonome avec appareil respiratoire isolant, ont permis une évolution conséquente du nombre de pratiquants aux compétitions. Cette évolution a engendré une augmentation des performances sportives qu'il s'agisse des durées d'apnée, des distances parcourues sous l'eau avec ou sans palmes ou encore des profondeurs atteintes avec ou sans dispositifs artificiels.

#### 1.- LES PRINCIPALES DISCIPLINES SPORTIVES

(Les meilleures performances mondiales sont reportées dans le tableau I).

**L'apnée statique** se pratique en piscine. L'athlète allongé en surface reste en apnée le plus longtemps possible en limitant tous les mouvements qui, en consommant de l'oxygène, pourraient abréger la durée de l'apnée. Il n'y a dans cette discipline aucune notion de distance ou de profondeur.

**L'apnée dynamique** avec ou sans palmes se déroule en piscine et il s'agit de parcourir sans reprise ventilatoire la plus grande distance possible.

**L'immersion libre** consiste à atteindre sans palmes la plus grande profondeur possible à la seule force des bras en se déhalant sur un filin.

**Le poids constant** comme son nom l'indique impose à l'apnéiste de descendre et de remonter par ses propres moyens en utilisant ou non des palmes.

**Le poids variable** permet à l'athlète d'utiliser pour la descente une gueuse lestée jusqu'à 30 kg tandis que la remontée se fait soit à la force des bras seule soit en utilisant les bras et les jambes avec ou sans palmes.

**L'apnée « no limit »** est la pratique la plus décriée car elle est à l'origine d'accidents dont certains avec décès. Les records mondiaux sont donc anciens puisque le masculin date de 2007 tandis que le féminin, encore plus ancien, date de 2002. Il s'agit de descendre à l'aide d'une gueuse et d'effectuer la remontée à l'aide d'un dispositif à flottabilité positive. Dans cette discipline la durée totale de l'apnée est relativement courte (moins de 4 minutes) l'activité musculaire est réduite mais les variations de pression sont considérables.

Discipline	Sexe	Nom	Nationalité	Performance	Année du record
Poids constant avec palmes	F	Zecchini	Italie	107	2018
	M	Molchanov	Russie	130 m	2018
Poids constant sans palme	F	Zecchini	Italie	73 m	2018
	M	Trubridge	Nlle Zélande	102 m	2017
Poids variable	F	Van den Broek	Pays Bas	130 m	2015
	M	Kastrinakis	Grèce	146 m	2015
<i>No limit</i>	F	Streeter	USA	160 m	2002
	M	Nitsch	Autriche	214 m	2007
Apnée statique	F	Molchanova	Russie	9 min 2 s	2013
	M	Mifsud	France	11 min 35 s	2009
Dynamique avec palmes	F	Solich-Talanda	Pologne	257	2019
	M	Mateusz	Pologne	300 m	2016
		Panagiotakis	Grèce	300 m	2016
		Guérin-Boéri	France	300 m	2016
Dynamique sans palme	F	Solich-Talanda	Pologne	191	2017
	M	Mateusz	Pologne	244 m	2016
Immersion libre	F	Kinoshita	Japon	97 m	2018
	M	Molchanov	Russie	125 m	2018

**Tableau I :** Meilleures performances mondiales (au 31/12/2018) dans les différentes disciplines d'apnée sportive.

## 2.- PHYSIOLOGIE

Au cours de la plongée en apnée, l'organisme est soumis aux effets simultanés de l'immersion, de la suspension de la ventilation (apnée proprement dite), des variations de pression et de l'effort physique. Les effets propres de l'immersion sont décrits dans le chapitre « Physiologie, physiopathologie et accidents des activités subaquatiques ». L'importance relative de ces facteurs dépend de la discipline exercée.

L'étude expérimentale de l'apnée date de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Les premiers travaux sont l'œuvre du médecin et physiologiste Paul Bert retranscrits dans ses fameuses leçons de physiologie (Bert 1870).

La majorité des connaissances sur la physiologie de l'apnée est issue de travaux qui se sont intéressés aux ethnies connues pour plonger depuis des millénaires, comme les plongeurs Ama de Corée (Hong et coll. 1967) et aux oiseaux plongeurs et aux mammifères marins (Ponganis et Kooyman 2000, Ponganis 2011). Les travaux réalisés à partir de la moitié du XX<sup>e</sup> siècle (Elsner et coll. 1966, Craig 1963, Hong et coll. 1970) sont encore de nos jours d'actualité et ont permis de poser les bases des études plus récentes sur la physiologie de l'apnée.

## 2.1.- Les phases de l'apnée

Toute personne qui a déjà pratiqué cette discipline s'est aperçue que l'on pouvait schématiquement séparer la durée d'une apnée en deux périodes. La première qualifiée de période d'aisance pendant laquelle la personne trouve la situation agréable, suivie d'une seconde période où il est nécessaire de lutter contre l'envie de reprendre la ventilation, appelée phase de lutte. C'est l'apparition des contractions diaphragmatiques qui semble être le déclencheur faisant passer l'individu d'une phase à l'autre (Hentsch et Ulmer 1984). L'augmentation de durée de chacune de ces phases permet d'augmenter la durée totale de l'apnée, expliquant ainsi que les sportifs pratiquant des disciplines exigeantes comme le triathlon sont aptes à maintenir des apnées de plus longues durées que les sujets sédentaires (Joulia et coll. 2003). La survenue des contractions diaphragmatiques est principalement due à l'augmentation de la PaCO<sub>2</sub> mais elle semblerait aussi être dépendante de la libération de l'insuline (Dangmann 2015).

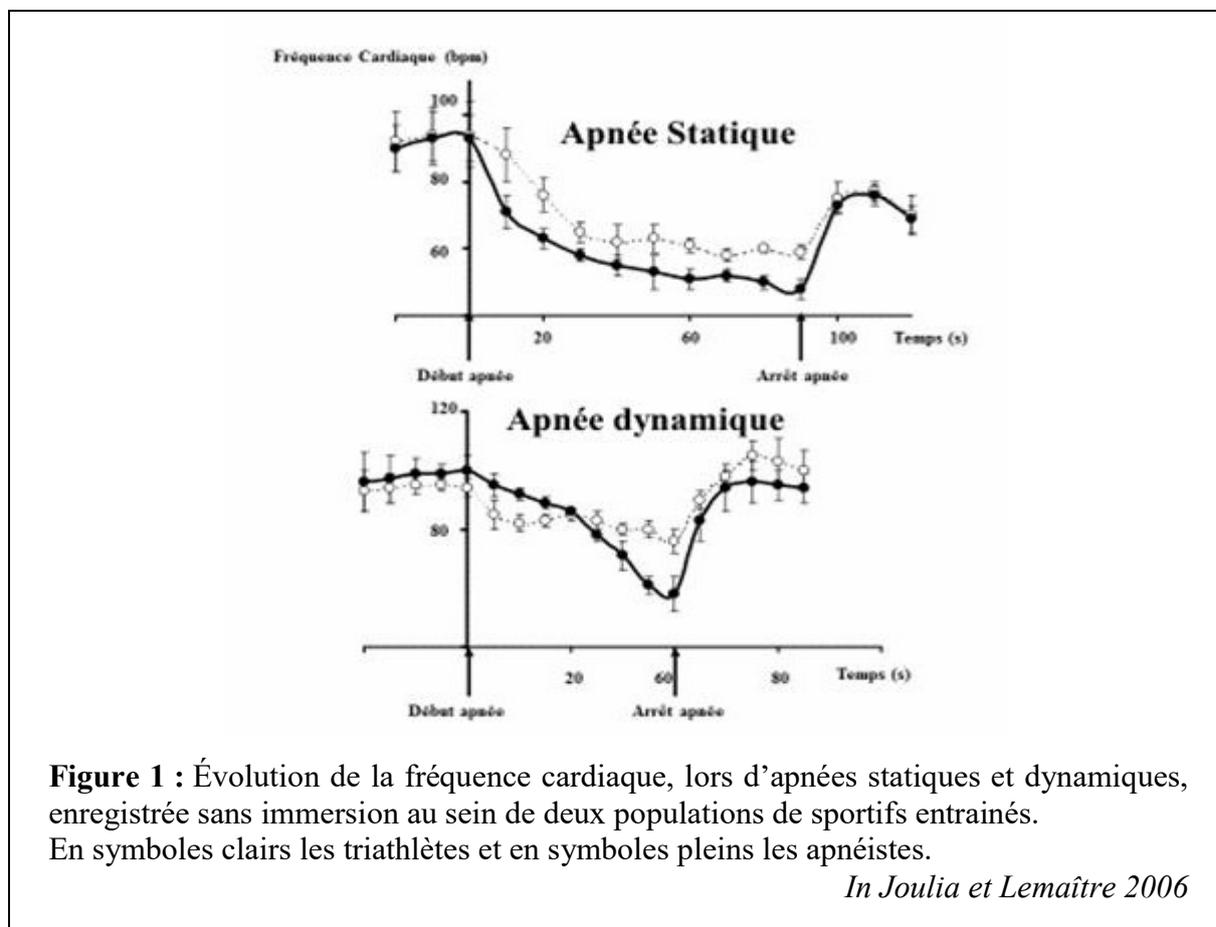
## 2.2.- Le réflexe de plongée

L'ensemble des réponses réflexes entraînées par l'apnée volontaire ont été regroupées et décrites dès 1870 sous le terme de réflexe de plongée (*diving reflex* des anglo-saxons). Les principales composantes de ce réflexe sont cardiocirculatoires. Leur effet est de minimiser l'hypoxie des organes oxygène-sensibles que sont le myocarde et le cerveau, en conservant pour eux les réserves d'oxygène, notamment en adaptant la répartition du débit sanguin. Ce réflexe regroupe une **bradycardie** et une **vasoconstriction périphérique** associées à une baisse du débit cardiaque et au phénomène de déplacement de masse sanguine (*blood shift*), une **contraction splénique** et une **vasodilatation cérébrale** (Espersen et coll. 2002) (Fitz-Clarke 2018). Des facteurs génétiques interviennent dans l'intensité de la bradycardie réflexe et de la contraction splénique (Baranova et coll. 2017, Ilardo et coll. 2018).

### a) La bradycardie

La réalisation d'une apnée entraîne une bradycardie réflexe. Elle permet de diminuer la consommation en oxygène de l'organisme. En effet, le tissu cardiaque est, comparativement à la masse qu'il représente, un des plus gros consommateurs d'oxygène de l'organisme. L'augmentation de la durée de la diastole, pendant laquelle la consommation d'oxygène est minimale, diminue la consommation en oxygène du myocarde tout en allongeant sa durée de perfusion. De la sorte, la bradycardie participe simultanément à préserver les réserves en oxygène de l'organisme et à protéger le myocarde contre l'hypoxie. Elle dépend des conditions environnementales et du niveau d'expertise du pratiquant.

Lors de l'immersion du visage on observe une majoration de la bradycardie d'autant plus marquée que la température de l'eau est basse (Andersson et coll. 2004). Lorsque le corps est immergé en totalité, l'effet est accentué. La réalisation simultanée d'une activité physique comme le palmage diminue la bradycardie par les effets antagonistes de l'exercice physique sur la fréquence cardiaque (fig. 1).



Les effets de l'augmentation de la pression au cours de la plongée s'ajoutent (cf. *infra*) et d'intenses bradycardies, parfois associées à des arythmies supraventriculaires peuvent apparaître (Konishi et coll. 2016). Cette majoration par l'immersion du visage semble être le fait des thermorécepteurs de la face, terminaisons des nerfs trijumeaux. Plus accessoirement il semble que la bradycardie, en réponse à une même stimulation, soit plus importante le matin qu'en fin de journée (Konishi et coll. 2016).

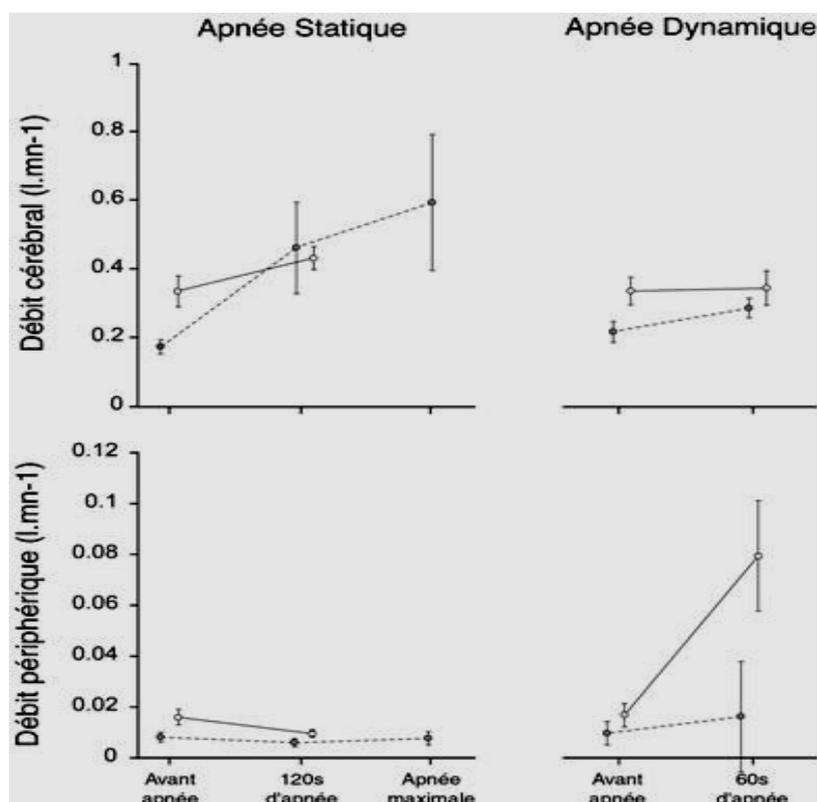
Un entraînement spécifique à l'apnée dynamique permet de majorer l'intensité de la bradycardie et sa vitesse de survenue. Ainsi, alors que chez les non pratiquants il faut parfois 30 secondes pour observer une diminution de la fréquence cardiaque de l'ordre de 20 %, cette bradycardie apparaît plus précocement (4 à 5 secondes) avec une plus forte intensité (- 30 à - 50 %) après une courte période d'entraînement (Engan et coll. 2013) et s'accompagne d'une diminution du stress oxydant et de la lactatémie lorsque cet entraînement est poursuivi pendant plusieurs mois (Joulia et coll. 2003).

### b) La vasoconstriction périphérique

Elle est d'origine sympathique et apparaît dès le début de l'apnée. Elle est modulée par l'activité des chémorécepteurs périphériques comme lors de l'exercice musculaire. L'augmentation de la PaCO<sub>2</sub> et la baisse du pH s'opposent à cette vasoconstriction.

Alors que l'hypoxie augmente l'activation sympathique et donc la vasoconstriction périphérique, l'hyperoxie l'inhibe (Leuenerberger et coll. 2001, Heffernan et Muller 2014) ce qui va à l'opposé des effets de l'activité physique. De même, la production de noradrénaline pendant l'apnée la majore (Eichhorn et coll. 2017).

Ces ajustements circulatoires présentent plusieurs avantages pendant l'apnée (fig. 2). La vasoconstriction concerne principalement les muscles striés squelettiques, les territoires cutanés et les viscères. Cette diminution de la perfusion de territoires gros consommateurs d'oxygène participe à la diminution de la V'O<sub>2</sub> de l'organisme entier et redirige préférentiellement le flux sanguin vers le cœur et le cerveau, non soumis à la vasoconstriction.



**Figure 2 :** Modifications comparative des débits circulatoires enregistrés pendant des apnées statiques et dynamiques chez des triathlètes (symboles vides) et des apnéistes (symboles pleins).

Comme pour la bradycardie, cette modification des perfusions est majorée par le froid et l'augmentation de la pression lors de la plongée (cf. *infra*). L'augmentation des résistances périphériques lors des apnées réalisées à grande profondeur peut ainsi entraîner une hypertension considérable (pression systolique mesurée à 290 mmHg par Ferrigno et coll. 1997) qui pourrait être à l'origine d'accidents de type vasculaire cérébral lorsque les variations de pression sont rapides comme lors de l'utilisation de gueuse pour la descente.

Enfin, il est à noter que cette vasoconstriction peut être particulièrement prononcée dans les artères rénales (Patel et coll. 2013).

Comme précédemment décrit pour la bradycardie un entraînement spécifique permet de potentialiser les effets de l'apnée sur la vasoconstriction au niveau des territoires musculaires. On pourrait penser *a priori* que cette intense vasoconstriction serait à l'origine d'une plus forte augmentation de la lactatémie lors d'apnées dynamiques chez les experts en apnée. Or il n'en est rien, confirmant les adaptations du métabolisme musculaire qui consistent en une utilisation plus importante et plus rapide des lipides afin de pallier les manques de glucose et d'oxygène inhérents à la vasoconstriction musculaire. Ce métabolisme musculaire est couramment décrit chez les mammifères marins et est un atout considérable pour la performance sportive car le muscle est ainsi moins sujet à la fatigue lors des phases ischémiques (Jouliat et coll. 2003).

### **c) Les modifications de la perfusion cérébrale**

Simultanément à la mise en place de la bradycardie et de la vasoconstriction périphérique on observe une augmentation de la perfusion cérébrale (Jouliat et coll. 2009). Elle permet même pour des apnées jusqu'à 5 minutes (Ratmanova et coll. 2016) de limiter suffisamment l'hypoxie pour qu'aucune modification de l'activité cérébrale ne soit détectée. Cette augmentation de la perfusion cérébrale est en partie réflexe mais peut être majorée par l'hypercapnie qui diminue également le métabolisme cérébral, offrant ainsi plus de résistance à l'hypoxie au tissu nerveux (Bain et coll. 2017).

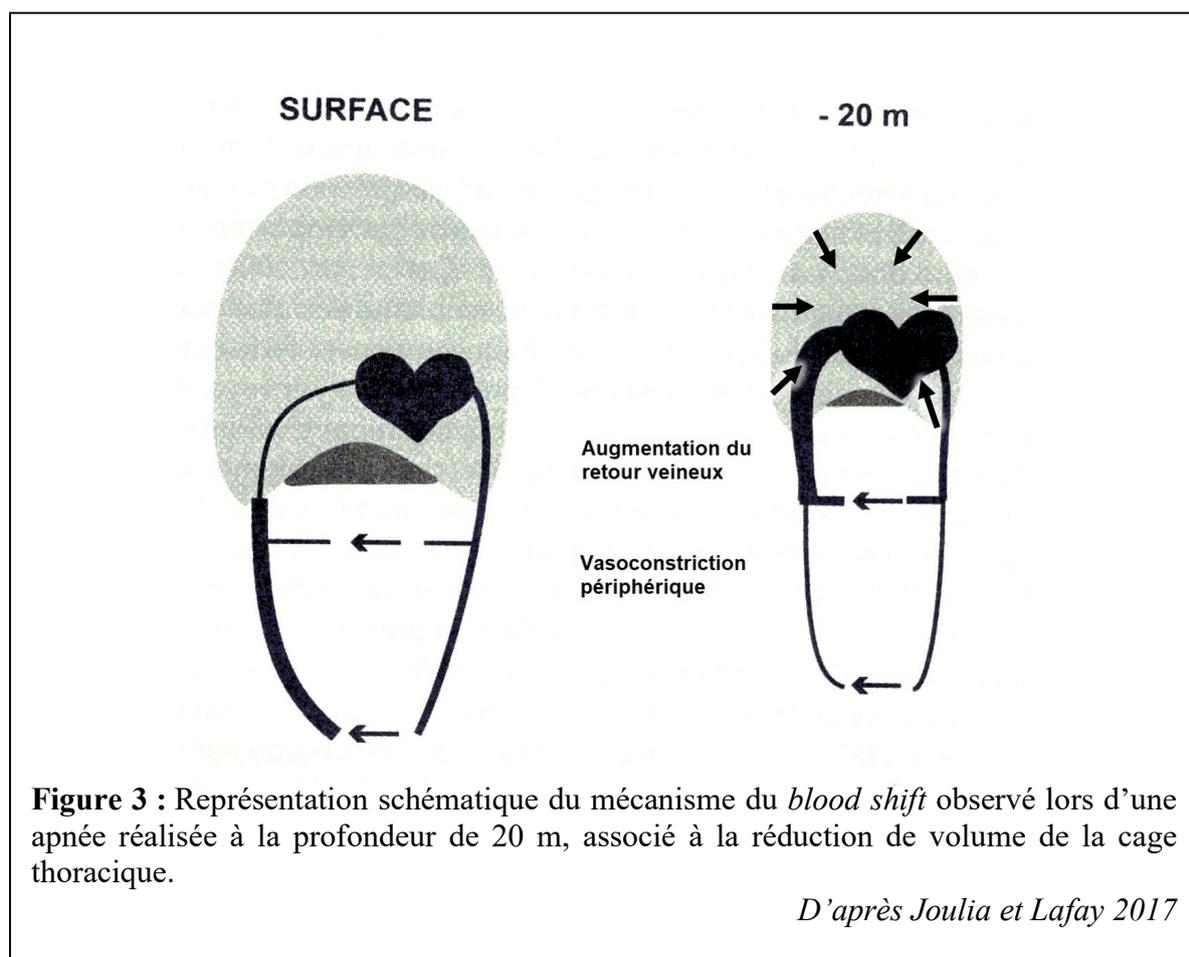
### **d) La contraction splénique**

La rate est un organe sollicité dans des situations aussi différentes que l'hémorragie, l'hypotension ou l'hypoxie hypobare. Certains auteurs considèrent qu'une contraction de la rate s'observe dans toutes les situations d'apnée. Toutefois il semblerait que cette splénocontraction soit surtout présente chez les sujets entraînés (Espersen et coll. 2002). Son rôle est d'augmenter le nombre de globules rouges circulants, donc la quantité d'oxygène transporté. Comme la vasodilatation cérébrale, elle est majorée pour les plus fortes hypoxies (Lodin-Sundström et Schagatay 2010).

## **2.3.- Effets de la pression**

Lors d'une plongée en apnée, la quantité d'air disponible est celle qui est contenue dans les poumons et les voies aériennes. Les paramètres anatomiques du pratiquant peuvent être un des facteurs limitant l'atteinte des profondeurs importantes tant pour la quantité d'oxygène que pour les gaz nécessaires aux compensations de volume des cavités aériennes. Le masque de plongée, les sinus, les voies aériennes supérieures, les caisses du tympan et la cage thoracique subissent les variations de pression. L'air qui y est contenu est soumis à la loi de Boyle-Mariotte. Les cavités à paroi rigide ne pouvant modifier leur volume, de l'air, pris dans les voies aériennes, devra être envoyé dans les sinus et les caisses pour compenser la dépression relative de ces cavités. Pour assurer l'équilibration de la pression entre les cavités ORL et les voies aériennes, différentes techniques sont utilisées comme la manœuvre de Valsalva, la technique de Frenzel ou la béance tubaire volontaire pour les plus courantes. L'anatomie des structures concernées est donc déterminante pour permettre l'atteinte de profondeurs importantes.

Le volume de la cage thoracique diminue dès le début de la plongée, proportionnellement à l'augmentation de la pression. Très rapidement, le sternum (absent chez les odontocètes<sup>1</sup>) va limiter cette réduction de volume. On a longtemps pensé que la profondeur maximale théorique serait celle où le volume résiduel serait atteint (Corriol 1996), soit environ 40 m. Les profondeurs effectivement atteintes étant considérablement plus importantes sans répercussions négatives irréversibles sur l'intégrité physique, il faut envisager qu'un mécanisme d'adaptation permet à la cage thoracique de résister aux contraintes mécaniques imposées par les fortes profondeurs. En langue anglaise le *blood shift* (fig. 3) désigne une redistribution sanguine de la périphérie (masses musculaires des membres essentiellement) vers les territoires vasculaires pulmonaires et abdomino-pelvien. La diminution de capacité veineuse due à la pression hydrostatique, la vasoconstriction périphérique liée à l'immersion et à l'apnée (éventuellement majorée par le froid), associées à la dépression intrathoracique qui se produit lorsque le volume gazeux pulmonaire devient inférieur au volume résiduel, provoquent un afflux de sang dans les circulations splanchnique et pulmonaire, via les veines caves et l'artère pulmonaire. La grande compliance du lit vasculaire pulmonaire permet au tissu pulmonaire d'occuper une très grande part du volume de la cage thoracique, au prix d'une augmentation de la pression capillaire et du risque d'extravasation plasmatique bronchique et alvéolaire.



<sup>1</sup> Cétacés possédant des dents

## 2.4.- Les gaz du sang

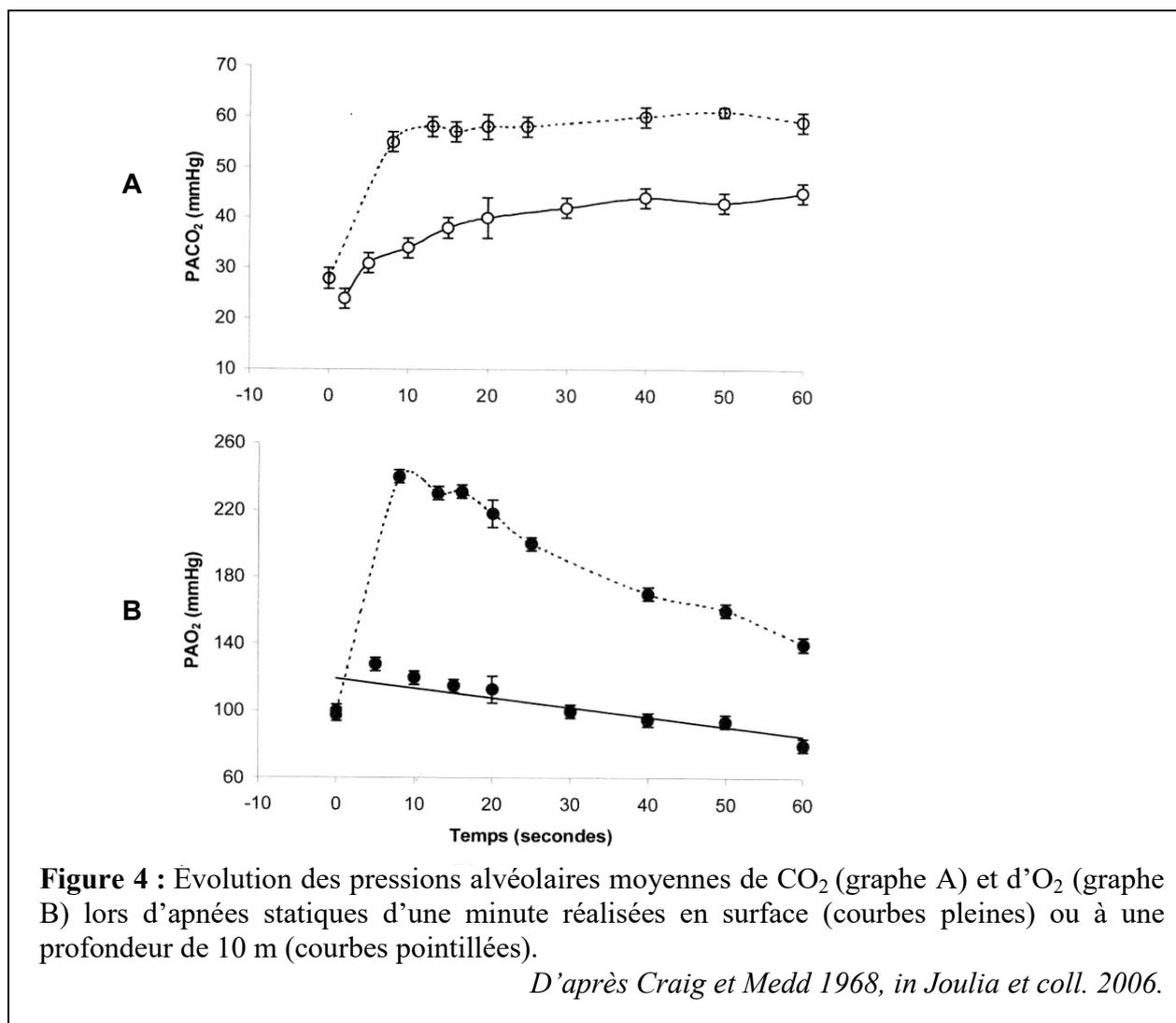
### a) L'azote

En plongée ventilée, l'augmentation de la pression partielle d'azote entraîne des troubles neurophysiologiques regroupés sous le terme de narcose à l'azote. En plongée en apnée, pour la grande majorité des pratiquants les faibles profondeurs atteintes et le court laps de temps passé à ces profondeurs ont peu de chance d'entraîner ce type de troubles. Toutefois, les grandes profondeurs atteintes par les meilleurs apnéistes (plus de 50 mètres) et les symptômes ressentis (sensation d'euphorie) corroborent l'hypothèse de l'existence d'une narcose à l'azote. Toutefois étant donné que le temps passé à ces profondeurs est bref et qu'il est techniquement difficile d'imaginer la passation de tests de vigilance et de performance intellectuelle au cours des apnées effectuées à ces profondeurs, il reste difficile d'objectiver l'existence d'une narcose en apnée.

En plongée autonome à l'air, l'azote est à l'origine d'accidents de décompression. Le risque dépend de la profondeur atteinte, de la durée d'immersion, de l'intensité des efforts au fond et du respect des paramètres de la décompression (vitesse de remontée et paliers). Lors de la plongée en apnée il semblait autrefois inconcevable, en raison des profondeurs atteintes, du temps passé au fond et surtout en raison du fait qu'il n'y a pas d'apport exogène d'azote pendant la plongée que des accidents de décompression surviennent. Cependant, des accidents observés en Polynésie chez des chasseurs sous-marins effectuant des plongées répétées en apnée dans la zone des 40 m, avec de courts intervalles en surface, dénommés *Taravana* dans le langage local, décrits dès 1956 (Truc 1956), ont été identifiés comme des accidents neurologiques de décompression par Cross (1965). Les symptômes étaient des vertiges, des nausées, des déficits sensitifs, une dysarthrie, une hémiparésie, une perte de conscience et même parfois une mort soudaine. De nombreux cas identiques ont été rapportés depuis (Grandjean et coll. 1995, Gempp et Blatteau 2006, Lemaitre et coll. 2009, Cortegiani et coll. 2013, Tetzlaff et coll. 2017), se présentant comme des accidents cérébraux à la suite de plongées profondes en apnée avec des intervalles en surface courts.

### b) Le dioxyde de carbone

L'apnée est une suspension de la ventilation. Ainsi, même si par abus de langage, beaucoup utilisent le terme d'arrêt de la respiration pour parler d'apnée, la respiration cellulaire (production d'énergie) et le métabolisme se poursuivent, avec consommation des réserves en oxygène et production de dioxyde de carbone (fig. 4). L'absence de renouvellement des gaz alvéolaires pendant l'apnée entraîne par conséquent une hypercapnie qui conduit au point de rupture de l'apnée : l'apparition de spasmes diaphragmatiques qui sépare la phase de bien-être de la phase de lutte est déterminée par la valeur de la  $\text{PaCO}_2$  située autour de 45 mmHg (Hentsch et Ulmer 1984). Toutefois, la sensibilité au  $\text{CO}_2$  varie en fonction du niveau de pratique des apnéistes : la sensibilité des chémorécepteurs au  $\text{CO}_2$  diminue avec la pratique de l'apnée à haut niveau (Walterspacher et coll. 2011). De plus, y compris pour des apnées de longue durée, l'hypercapnie semble modérée mais le relargage du  $\text{CO}_2$  apparaît alors tardivement démontrant ainsi la dimension du volume de stockage du  $\text{CO}_2$  dissous (liquides extracellulaires) et l'efficacité des systèmes tampons (Hyde et coll. 1968), qui augmente à la suite d'un entraînement hypoxique et hypercapnique (Woorons et coll. 2008).



### c) L'oxygène

L'apnée statique suffisamment longue, ou l'apnée dynamique avec une activité physique suffisante entraîne une hypoxie malgré la mise en œuvre des adaptations cardio-vasculaires qui limitent la consommation d'oxygène dans nombre de tissus. En altitude, en réponse à l'hypoxie, on observe une tachypnée associée aux ajustements cardiovasculaires (tachycardie et vasoconstriction périphérique). Lors de la réalisation d'une apnée, la réponse ventilatoire est absente et la vasoconstriction périphérique majeure l'hypoxie musculaire et réoriente l'oxygène sanguin vers les territoires oxygène-sensibles (myocarde, système nerveux). On observe alors une augmentation de la lactatémie qui apparaît minorée avec le niveau d'expertise des apnéistes (Joulia et al. 2003). Les effets des hypoxies répétées comme lors des entraînements à l'apnée, sont pour certains auteurs à l'origine de troubles psychomoteurs (Billaut et coll. 2018) alors que d'autres études y voient plutôt des effets bénéfiques sur la performance sportive (Schagatay et coll. 2000) ou même sur la protection d'organe très sensibles au manque d'oxygène comme le cerveau (Sharp et coll. 2004).

### 3.- RISQUES LIÉS AUX TECHNIQUES UTILISÉES

La durée d'apnée, la distance parcourue ou les profondeurs atteintes dépendent de plusieurs paramètres du domaine de la physiologie, de l'anatomie voire de la psychologie. De plus, certaines techniques associées ou non à des équipements spécifiques permettent d'augmenter les performances. Il convient toutefois de manière objective de préciser quelles sont ces techniques et les risques qui peuvent être associés à leur utilisation.

#### 3.1.- L'aide pharmacologique

L'utilisation de  $\beta$ 1-bloquants comme l'esmolol augmente significativement la durée de l'apnée (+ 10 %) chez les apnéistes de haut niveau sans modifier la baisse de la SaO<sub>2</sub>. Cette classe pharmacologique agit en diminuant la force contractile du myocarde, ce qui réduit le volume d'éjection systolique, et diminue donc la consommation d'oxygène myocardique. Ainsi à durée d'apnée équivalente on observe une baisse du débit cardiaque et de la consommation myocardique d'oxygène sans modification du débit sanguin cérébral (Hoiland et coll. 2016). S'agissant d'une aide exogène à l'augmentation de la performance ces molécules sont interdites et leur présence éventuelle contrôlée lors des compétitions.

#### 3.2.- La technique de la carpe

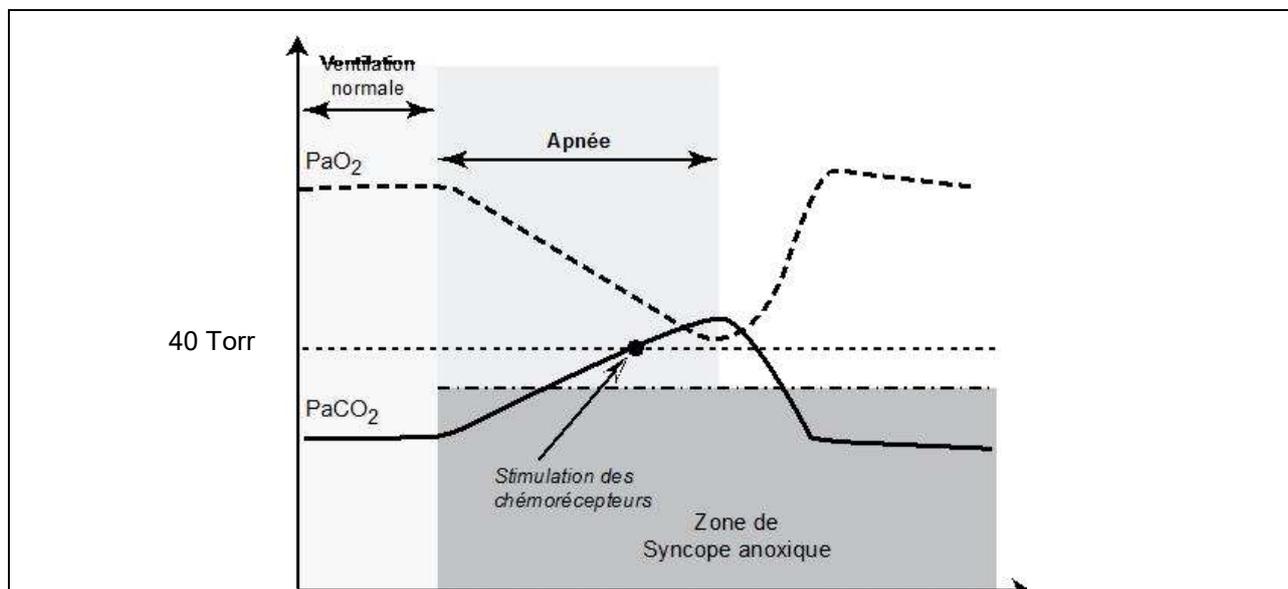
Appelée « *buccal pumping* » ou encore « *glossopharyngeal insufflation* » par les anglo-saxons, cette technique consiste à comprimer de l'air supplémentaire dans la cage thoracique en utilisant les joues, la langue et le blocage de l'épiglotte. Si cette technique augmente indiscutablement les profondeurs atteintes en permettant d'avoir plus d'air disponible pour compenser les augmentations de pressions, son utilisation pour des apnées en surface ou à « faibles » profondeurs (moins de 60-70 mètres) est très discutable en particulier en raison des risques encourus par le pratiquant. En effet, l'augmentation de volume ainsi réalisée (de 1 à 3 L environ) s'accompagne d'une augmentation de pression intra alvéolaire (4 kPa), induisant un risque avéré de pneumomédiastin (Jacobson et coll. 2006, Chung et coll. 2010) ou d'aéroembolie cérébrale (Linér et Andersson 2010).

Qui plus est, ce type de manœuvre facilite la survenue de syncope en accentuant la bradycardie et en diminuant le volume d'éjection systolique et le débit cardiaque par augmentation du tonus sympathique, avec vasoconstriction périphérique et hypertension artérielle (Heusser et coll. 2010, Dzamonja et coll. 2010). Ainsi, même si les effets à long terme de cette pratique sur la fonction pulmonaire ne sont pas actuellement connus, il convient de limiter au maximum l'utilisation de cette pratique et de la déconseiller en dehors de l'eau ainsi que pour des apnées réalisées à faibles profondeurs.

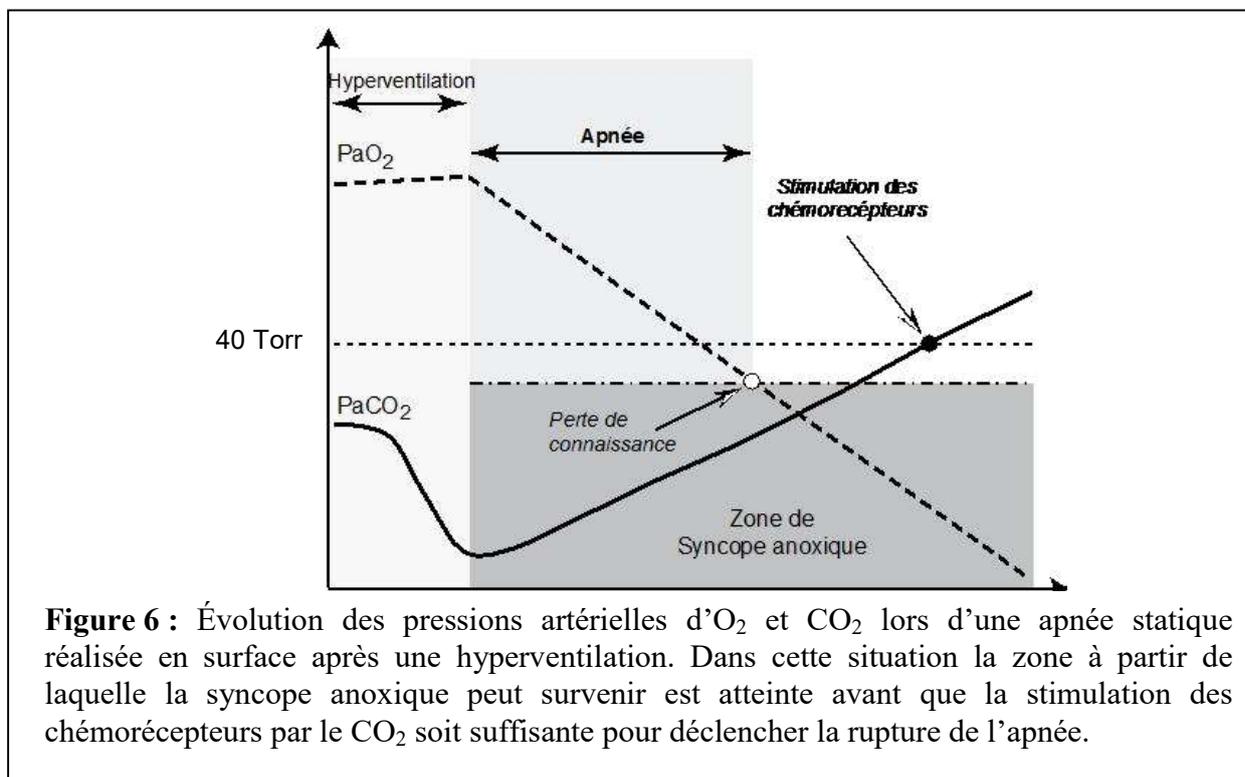
#### 3.3.- L'hyperventilation

C'est probablement la technique la plus ancienne et la plus pratiquée malgré les risques encourus. Pour la majorité des pratiquants occasionnels d'apnée voire de pêche sous-marine il s'agit d'une technique qui peut paraître intéressante. En effet, sans augmenter sensiblement le contenu en oxygène de l'organisme, l'augmentation volontaire du débit de ventilation augmente le rejet de CO<sub>2</sub>, diminue la PACO<sub>2</sub> et avec elle la PaCO<sub>2</sub>. Or PaCO<sub>2</sub> est le principal stimulus de la ventilation (fig. 5). Sa diminution initiale retarde la sensation du besoin de reprise inspiratoire qui survient à partir de PaCO<sub>2</sub> = 40 torr (5,3 kPa), allongeant ainsi la phase de bien-être et donnant une impression de facilité à la réalisation de l'apnée.

Or la consommation d'oxygène se poursuit, et les réserves en oxygène ( $PAO_2$  principalement) diminuent alors que le stimulus  $CO_2$  reste inférieur à 40 torr. À la remontée ou à l'arrivée en surface, des valeurs de  $PAO_2$ , donc de  $PaO_2$  hypoxique peuvent être atteintes (fig. 6).



**Figure 5 :** Évolution des pressions artérielles d'O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> lors d'une apnée statique réalisée en surface après une ventilation calme. En fin d'apnée le sujet ressent des sensations désagréables parfois associées à des contractions diaphragmatiques lorsque la pression artérielle de CO<sub>2</sub> en augmentant stimule les chémorécepteurs. Ces sensations apparaissent avant que l'hypoxie soit susceptible d'entraîner la syncope anoxique.



**Figure 6 :** Évolution des pressions artérielles d'O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> lors d'une apnée statique réalisée en surface après une hyperventilation. Dans cette situation la zone à partir de laquelle la syncope anoxique peut survenir est atteinte avant que la stimulation des chémorécepteurs par le CO<sub>2</sub> soit suffisante pour déclencher la rupture de l'apnée.

Au cours de la remontée, la  $PAO_2$  diminue comme la pression ambiante. Le risque de perte de connaissance hypoxique apparaît pour  $PAO_2 = 30$  torr (4 kPa). Elle se produit brutalement, sans prodrome, à l'approche de la surface ou après l'avoir atteinte, et expose donc au risque de noyade.

#### **4.- LES ACCIDENTS DE LA PLONGÉE EN APNÉE**

Liés aux mécanismes qui viennent d'être évoqués, il s'agit, par ordre de fréquence, des pertes de connaissances hypoxiques, des œdèmes pulmonaires, de la syncope d'origine cardiaque, des accidents de décompression et plus exceptionnellement du pneumomédiastin. Les voies aériennes des pratiquants n'étant pas protégées, le risque de complication par noyade est toujours présent.

##### **4.1.- La perte de connaissance hypoxique**

Elle survient brutalement, en fin de plongée, au cours de la remontée près de la surface ou à l'arrivée en surface. Elle peut également survenir lors d'épreuves d'apnée statique ou dynamique. Sans signe annonciateur, elle va de la simple obnubilation ou désorientation à la perte de conscience totale, à l'emporte-pièce et s'accompagne d'une hypotonie musculaire à l'origine d'une expiration passive. La perte de flottabilité du sujet est telle qu'il coule en l'absence de secours immédiat : c'est le signe du bouchon. La reprise inspiratoire qui suit provoque la noyade.

##### **4.2.- L'œdème pulmonaire et les accidents cardiaques**

Ils procèdent de mécanismes identiques et sont secondaires à l'augmentation de la pression capillaire pulmonaire, à l'élévation asymétrique des post-charges ventriculaires droite et gauche et à la dépression intrathoracique (Kiyon et coll. 2001).

Les manifestations vont du simple crachat hémoptoïque à l'arrivée en surface, parfois avec dyspnée (Boussuges et coll. 2014), au malaise général avec sensation d'étouffement, jusqu'à la syncope par défaillance fonctionnelle myocardique (Regnard 2017). Outre l'arrêt cardiaque, le risque est la noyade.

La survenue de ces pathologies nécessite dans tous les cas des investigations paracliniques en milieu spécialisé pour en rechercher les facteurs déterminants.

##### **4.3.- Les accidents de désaturation**

Comme les accidents du *Taravana*, ils prennent la forme d'accidents cérébraux, de bénins (vertiges, vomissements) aux plus graves (hémiparésies, syndromes psychiatriques aigus). Lemaître et coll. (2009) en recensent 447 cas dans la littérature. Des bulles circulantes ont été enregistrées, signant le dégazage vasculaire (Lemaître et coll. 2014, Cialoni et coll. 2016).

Ces accidents se produisent préférentiellement pour des plongées au-delà de 30 à 40 m, répétées, avec de courts intervalles de récupération en surface. Lanphier a proposé en 1965 une méthode de prévention, qui fait intervenir le rapport entre le temps passé en surface et le temps passé au fond, la durée totale de la séance de plongées et la profondeur atteinte. Selon les abaques donnés par ses calculs, pour des séances de plongées répétitives de 4 heures à des profondeurs entre 30 et 40 m, la durée de récupération en surface entre chaque plongée devrait être entre deux et trois fois la durée du séjour sur le fond.

#### **4.4.- Le pneumomédiastin**

Quelques cas ont été rapportés. Ils apparaissent principalement à la suite de la réalisation d'une manœuvre de la carpe de grande amplitude. Le diagnostic est cependant peu souvent posé car il est difficile à détecter (Jacobson et coll. 2006, Chung et coll. 2010). La tomodensitométrie thoracique peut être utilisée pour poser ce diagnostic.

#### **5.- LES EFFETS À LONG TERME DE LA PLONGÉE EN APNÉE**

La question des effets au long cours de la pratique de l'apnée sur le système nerveux peut se poser dans le contexte d'une pratique intensive et extrême avec hypoxie, hypercapnie et des variations de pression artérielle induites : un travail comparant 17 apnéistes expérimentés dont 13 compétiteurs à un groupe contrôle a mis en évidence une diminution des capacités d'autorégulation vasculaire cérébrale en réponse à un stimulus hypotensif (assis-debout) (Moir et coll. 2019).

Concernant le retentissement à long terme de ces hypoxies sur les performances cognitives, Ridgway et coll. (2006) n'ont pas retrouvé d'effets significatifs par rapport aux normes sur une batterie de tests neuropsychiques (vitesse de réponse motrice à un stimulus visuel, rapidité de compréhension de langage, attention visuelle et verbale, rappels) sur les 21 apnéistes expérimentés testés. À l'opposé, Billaut et coll. (2018) ont retrouvé dans un groupe d'apnéistes expérimentés (105 mois de pratique, temps d'apnée moyen 371 s) une altération des capacités de mémoire à court terme par rapport à un groupe d'apnéistes novices (8,75 mois de pratique, temps d'apnée moyen 243 s) et à un groupe contrôle de non pratiquants.

Sur le plan structurel, Doerner et coll. (2018) n'observent pas de modifications morphologiques sur les IRM cérébrales et cardiaques d'apnéistes confirmés suivis pendant un an par rapport à un groupe contrôle.

Les effets à long terme de la plongée en apnée mériteraient d'être étudiés de manière plus approfondie.

#### **6.- CONCLUSION**

Les contraintes qui s'exercent sur l'organisme lors de la plongée en apnée intéressent principalement l'appareil cardio-vasculaire, la fonction respiratoire et le système nerveux.

L'élévation importante du travail cardiaque, la redistribution du volume sanguin, l'élévation parfois considérable des pressions artérielles systémique et pulmonaire nécessitent l'intégrité de l'appareil cardio-vasculaire, dont l'adaptation à ces conditions devra être développée par un entraînement progressif, dans un cadre institutionnel.

Les contraintes sur la fonction respiratoire mettent en jeu l'élasticité de la cage thoracique, l'intégrité du parenchyme et de la circulation pulmonaire, la fonction de transfert alvéolo-capillaire, de transport et de stockage des gaz respiratoires. Toute altération de l'une de ces étapes constituera un facteur de risque d'accident.

Les variations de PaO<sub>2</sub> de l'hyperoxie à l'hypoxie, dans un contexte d'hypercapnie, peuvent altérer le fonctionnement du système nerveux central (perte de connaissance) et du myocarde déjà en surcharge (troubles du rythme, défaillance myocardique).

Le risque de perte de connaissance en submersion est par conséquent omniprésent. Il ne doit donc pas être augmenté par des pathologies intercurrentes intéressant les fonctions cibles ou associé à elles, comme le diabète ou l'épilepsie. Par ailleurs, le fœtus étant particulièrement sensible à l'hypoxie, la plongée en apnée à profondeur significative sera déconseillée aux femmes enceintes.

---

## Références

- Andersson JP, Linér MH, Fredsted A, Schagatay EK. Cardiovascular and respiratory responses to apneas with and without face immersion in exercising humans. *J Appl Physiol* 96: 2004 (3): 1005-10.
- Bain AR, Ainslie PN, Barak OF, Hoiland RL, Drvis I, Mijacika T, Bailey DM, Santoro A, DeMasi DK, Dujic Z, MacLeod DB. Hypercapnia is essential to reduce the cerebral oxidative metabolism during extreme apnea in humans. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2017; 37(9): 3231-42.
- Baranova TI, Berlov DN, Glotov OS, *et al.* Genetic determination of the vascular reactions in humans in response to the diving reflex. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2017; 312(3): H622-31.
- Bert P. Leçons sur la physiologie de la respiration. Librairie de l'académie impériale de médecine. Paris 1870.
- Billaut F, Gueit P, Faure S, Costalat G, Lemaître F. Do elite breath-hold divers suffer from mild short-term memory impairments? *Appl Physiol Nutr Metab.* 2018; 43(3): 247-51.
- Boussuges A, Ayme K, Gavarry O, Gil JM, Bourrilhon C, Duvallat A, Constantin P. Œdème pulmonaire et hémorragie alvéolaire chez un plongeur en apnée. *Bull. Medsubhyp.* 2014, 24 (1): 5-10.
- Chung SC, Seccombe LM, Jenkins CR, Frater CJ, Ridley LJ, Peters MJ. Glossopharyngeal insufflation causes lung injury in trained breath-hold divers. *Respirology.* 2010; 15(5): 813-7.
- Cialoni D, Pieri M, Giunchi G, Sponsiello N, Lanzone AM, Torcello L, Boaretto G, Marroni A. Detection of venous gas emboli after repetitive breath-hold dives: case report. *Undersea Hyperb Med.* 2016; 43(4): 449-55.
- Corriol JH. La plongée en apnée. Physiologie et médecine. 2<sup>e</sup> éd. Paris, Masson 1996. 154 p.
- Cortegiani A, Foresta G, Strano G, Strano MT, Montalto F, Garbo D, Raineri SM. An atypical case of taravana syndrome in a breath-hold underwater fishing champion: a case report. *Case Rep Med.* 2013; 2013: 939704. Epub 2013 Jul 22.
- Craig AB Jr. Heart rate responses to apneic underwater diving and to breath Holding in man. *J Appl Physiol* 1963; 18: 854-62.
- Craig AB Jr, Medd WL. Man's responses to breath-hold exercise in air and in water. *J Appl Physiol.* 1968 Jun; 24(6): 773-7.
- Cross ER. Taravana, diving syndrome in the Tuamotu divers. *In: Physiology of breath-holding and the ama of Japan. Nat Acad Sc / Nat Res Council, Pub 1341. Washington DC 1965. p. 207-20.*
- Dangmann R. An insulin based model to explain changes and interactions in human breath-holding. *Med Hypotheses.* 2015; 84(6): 532-8.
- Dzamonja G, Tank J, Heusser K, Palada I, Valic Z, Bakovic D, Obad A, Ivancev V, Breskovic T, Diedrich A, Luft FC, Dujic Z, Jordan J. Glossopharyngeal insufflation induces cardioinhibitory syncope in apnea divers. *Clin Auton Res.* 2010; 20(6): 381-4.

Eichhorn L, Erdfelder F, Kessler F, Dolscheid-Pommerich RC, Zur B, Hoffmann U, Ellerkmann RE, Meyer R. Influence of Apnea-induced Hypoxia on Catecholamine Release and Cardiovascular Dynamics. *Int J Sports Med.* 2017; 38(2): 85-91.

Elsner R, Kenney DW, Burgess K. Diving bradycardia in the trained dolphin. *Nature.* 1966 22; 212(5060): 407-8.

Engan H, Richardson M, Lodin-Sundström A, van Beekvelt M, Schagatay E. Effects of two weeks of daily apnea training on diving response, spleen contraction, and erythropoiesis in novel subjects. *Scand J Med Sci Sports.* 2013; 23(3): 340-8.

Espersen K, Frandsen H, Lorentzen T, Kanstrup IL, Christensen NJ. The human spleen as an erythrocyte reservoir in diving-related interventions. *J Appl Physiol* 92: 2002; 92(5): 2071-9.

Ferrigno M, Ferretti G, Ellis A, Warkander D, Costa M, Cerretelli P, Lundgren CE. Cardiovascular changes during deep breath-hold dives in a pressure chamber. *J Appl Physiol* (1985). 1997; 83(4): 1282-90.

Fitz-Clarke JR. Breath-Hold Diving. *Compr Physiol* 2018; 8: 585-630.

Gempp E, Blatteau JE. Neurological disorders after repetitive breath-hold diving. *Aviat Space Environ Med.* 2006; 77(9): 971-3.

Grandjean B, Fanton Y, Sobrepere G. Les accidents de décompression de type II en apnée. *Bull. Medsubhyp* 1995; 5: 13-6.

Heffernan MJ, Muller MD. Do peripheral and/or central chemoreflexes influence skin blood flow in humans? *Physiol Rep.* 2014 24; 2(10). pii: e12181.

Hentsch U, Ulmer HV. Trainability of underwater breath-holding time. *Int J Sports Med.* 1984; 5(6): 343-7.

Heusser K, Dzamonja G, Tank J, Palada I, Valic Z, Bakovic D, Obad A, Ivancev V, Breskovic T, Diedrich A, Joyner MJ, Luft FC, Jordan J, Dujic Z. Cardiovascular regulation during apnea in elite divers. *Hypertension.* 2009; 53(4): 719-24.

Hoiland RL, Ainslie PN, Bain AR, MacLeod DB, Stenbridge M, Drvis I, Madden D, Barak O, MacLeod DM, Dujic Z.  $\beta(1)$ -Blockade increases maximal apnea duration in elite breath-hold divers. *J Appl Physiol* (1985). 2017; 122(4): 899-906.

Hong SK, Song SH, Kim PK, Suh CS. Seasonal observations on the cardiac rhythm during diving in the Korean ama. *J Appl Physiol.* 1967; 23(1): 18-22.

Hong SK, Moore TO, Seto G, Park HK, Hiatt WR, Bernauer EM. Lung volumes and apneic bradycardia in divers. *J Appl Physiol* 1970; 29(2): 172-6.

Hyde RW, Puy RJ, Raub WF, Forster RE. Rate of disappearance of labeled carbon dioxide from the lungs of humans during breath holding: a method for studying the dynamics of pulmonary CO<sub>2</sub> exchange. *Clin Invest.* 1968; 47(7): 1535-52.

Ilardo MA, Moltke I, Korneliussen TS, *et al.* Physiological and Genetic Adaptations to Diving in Sea Nomads. *Cell.* 2018; 173(3): 569-80.

Jacobson FL, Loring SH, Ferrigno M. Pneumomediastinum after lung packing. *Undersea Hyperb Med.* 2006; 33(5): 313-6.

Joulia F, Steinberg JG, Faucher M, Jamin T, Ulmer C, Kipson N, Jammes Y. Breath-hold training of humans reduces oxidative stress and blood acidosis after static and dynamic apnea. *Respir Physiol Neurobiol.* 2003 14; 137(1): 19-27.

Joulia F, Lemaître F, Jammes Y. Aspects respiratoire et métabolique de l'apnée. *In* : Broussolle B, Méliet JL (eds). *Physiologie et médecine de la plongée.* Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006, p. 645-51.

- Joulia F, Lemaître F. Adaptations cardio-circulatoires lors de l'apnée. *In* : Broussolle B, Méliet JL (eds). Physiologie et médecine de la plongée. Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006, p. 652-8.
- Joulia F, Lemaitre F, Fontanari P, Mille ML, Barthelemy P. Circulatory effects of apnoea in elite breath-hold divers. *Acta Physiol (Oxf)*. 2009; 197(1): 75-82.
- Joulia F, Lafay V. Coeur et apnée. *In*: Lafay V (ed). Coeur et plongée. Ellipses Edition Marketing, Paris 2017; p. 255-69.
- Kiyan E, Aktas S, Toklu AS. Hemoptysis provoked by voluntary diaphragmatic contractions in breath-hold divers. *Chest*. 2001; 120(6): 2098-100.
- Konishi M, Kawano H, Xiang M, Kim HK, Ando K, Tabata H, Nishimaki M, Sakamoto S. Diurnal variation in the diving bradycardia response in young men. *Clin Auton Res*. 2016; 26(2): 135-40.
- Lanphier EH. Application of decompression tables to repeated breath-hold dives. *In*: Physiology of breath-holding and the ama of Japan. Nat. Acad. Sc. / Nat. Res. Council pub. 1341. Washington DC 1965. p. 227-36.
- Lemaitre F, Fahlman A, Gardette B, Kohshi K. Decompression sickness in breath-hold divers: a review. *J Sports Sci*. 2009; 27(14): 1519-34.
- Lemaître F, Kohshi K, Tamaki H, Nakayasu K, Harada M, Okayama M, Satou Y, Hoshiko M, Ishitake T, Costalat G, Gardette B. Doppler detection in Ama divers of Japan. *Wilderness Environ Med*. 2014; 25(3): 258-62.
- Leuenberger UA, Hardy JC, Herr MD, Gray KS, Sinoway LI. Hypoxia augments apnea-induced peripheral vasoconstriction in humans. *J Appl Physiol (1985)*. 2001; 90(4): 1516-22.
- Linér MH, Andersson JP. Suspected arterial gas embolism after glossopharyngeal insufflation in a breath-hold diver. *Aviat Space Environ Med*. 2010; 81(1): 74-6.
- Lodin-Sundström A, Schagatay E. Spleen contraction during 20 min normobaric hypoxia and 2 min apnea in humans. *Aviat Space Environ Med*. 2010; 81(6): 545-9.
- Moir ME, Klassen SA, Al-Khazraji BK, et coll.
- Patel HM, Mast JL, Sinoway LI, Muller MD. Effect of healthy aging on renal vascular responses to local cooling and apnea. *J Appl Physiol (1985)*. 2013; 115(1): 90-6.
- Ponganis PJ, Kooyman GL. Diving physiology of birds: a history of studies on polar species. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2000; 126(2): 143-51.
- Ponganis PJ. Diving mammals. *Compr Physiol*. 2011; 1(1): 447-65.
- Ratmanova P, Semenyuk R, Popov D, Kuznetsov S, Zelenkova I, Napalkov D, Vinogradova O. Prolonged dry apnoea: effects on brain activity and physiological functions in breath-hold divers and non-divers. *Eur J Appl Physiol*. 2016; 116(7): 1367-77.
- Regnard J. Physiologie cardiovasculaire en plongée. *In* : V. Lafay (ed.). Coeur et plongée. Ellipses Éditions Marketing. Paris; 2017. p. 77-111.
- Schagatay E, van Kampen M, Emanuelsson S, Holm B. Effects of physical and apnea training on apneic time and the diving response in humans. *Eur J Appl Physiol*. 2000; 82(3): 161-9.
- Sharp FR, Ran R, Lu A, Tang Y, Strauss KI, Glass T, Ardizzone T, Bernaudin M. Hypoxic preconditioning protects against ischemic brain injury. *NeuroRx*. 2004 Jan;1(1):26-35. Review.
- Tetzlaff K, Schöppenthau H, Schipke JD. Risk of Neurological Insult in Competitive Deep Breath-Hold Diving. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017; 12(2): 268-271.
- Truc I. Le Taravana et les maladies des plongeurs aux Tuamotu. *In* : Rapport sur la plongée et les maladies professionnelles des plongeurs. Archives du service de santé de la Polynésie Française, 1956.

Walterspacher S, Scholz T, Tetzlaff K, Sorichter S. Breath-hold diving: respiratory function on the longer term. *Med Sci Sports Exerc.* 2011; 43(7): 1214-9.

Woorons X, Mollard P, Pichon A, Duvallet A, Richalet JP, Lamberto C. Effects of a 4-week training with voluntary hypoventilation carried out at low pulmonary volumes. *Respir Physiol Neurobiol.* 2008, 1; 160(2): 123-30.

## **RECOMMANDATIONS MÉDICALES**

## CHAPITRE IX

# CONDUITE DE L'EXAMEN POUR UN AVIS MÉDICAL AVANT UNE ACTIVITÉ SUBAQUATIQUE DE LOISIR

### 1.- RÈGLES GÉNÉRALES

L'examen médical préalable à la délivrance du certificat de non contre-indication à la plongée ou aux autres activités subaquatique s'inscrit dans une démarche de prévention des risques inhérents à ces pratiques. Elle revêt deux aspects : la prévention des pathologies causées par la plongée et de leur retentissement sur l'état de santé futur du pratiquant et la prévention des accidents pouvant survenir en plongée du fait de défaillances fonctionnelles liées à des pathologies diverses.

L'examen médical peut avoir lieu à l'occasion d'une demande d'obtention ou de renouvellement de licence, lors d'un passage de brevet de plongée ou dans le cadre d'un conseil recherché à la suite d'un épisode pathologique ou accidentel lié ou non à la plongée. De manière générale, les éléments recueillis devront être reportés dans la fiche médicale d'observation de l'intéressé, établie et détenue par le médecin conformément à l'art. R4127-45 du code de la santé publique.

Dans le cas où une contre-indication ou une limitation d'activité sont difficiles à déterminer pour un médecin n'ayant pas de connaissance particulière des techniques de plongée subaquatique, il est recommandé de se rapprocher d'un médecin titulaire d'une formation spécifique (DU, DIU ou équivalent) ou à un médecin fédéral.

A l'occasion d'une première consultation, il est recommandé de demander au candidat de remplir un questionnaire de santé et de le signer pour en assurer l'authentification. Il est souhaitable qu'il soit revu par le médecin en présence du plongeur (Meehan et Bennett 2010). Un exemple en est proposé en annexe III, établi à partir d'un document de travail de la FFESSM de 2016. Le ministère chargé des sports a publié<sup>1</sup> un questionnaire de santé applicable au renouvellement de la licence sportive dans les cas où le CACI n'est pas exigé (questionnaire « QS-Sport », annexe IV), mais qui ne présente pas de spécificité vis-à-vis des activités subaquatiques.

#### 1.1.- Obtention ou renouvellement d'une licence

L'arrêté du 24 juillet 2017 du ministère des sports et du ministère de la santé (JORF du 15/08/2017) fixe les caractéristiques de l'examen médical pour la pratique des disciplines sportives à contraintes particulières, qui doit être conforme aux recommandations de la SFMES. Pour la plongée subaquatique, il se limite à une attention particulière portée sur l'examen ORL et l'examen dentaire.

---

<sup>1</sup> Arrêté du 20 avril 2017.

Or, l'examen médical pour la pratique des activités subaquatiques se doit d'être particulièrement complet et minutieux. Il comporte :

**a) Un interrogatoire** détaillé sur les antécédents pathologiques familiaux et personnels (prise médicaments, allergies), sur l'habitus (alcool, tabac, boissons caféinées, autres toxiques, pratique d'une activité physique) et sur le niveau et l'expérience du candidat, sur les traitements en cours ou les substances médicamenteuses habituellement utilisées (vaso-constricteurs nasaux par exemple).

**b) Un examen clinique** complet et minutieux comportant le calcul de l'index de masse corporelle et l'examen des appareils :

- **ORL** : examen de la cavité buccale, des dents, de la gorge, des fosses nasales, otoscopie et manœuvre de Valsalva, palpation cervicale, recherche de troubles de l'équilibration et de l'audition (voix chuchotée en champ libre à 3 mètres ou acoumétrie au diapason) ;
- **respiratoire** (auscultation minutieuse) en respiration normale et respiration ample, en étant particulièrement attentif aux bruits des bases ;
- **cardiovasculaire** : auscultation précordiale, recherche des pouls périphériques et de souffles carotidien, abdominal et fémoral, mesure de la pression artérielle de repos en position semi-assise ;
- **locomoteur** : mobilité articulaire, examen du rachis, de l'équilibre du bassin, de la démarche ;
- **neurologique** : examen des paires crâniennes, de la motricité, de la coordination, de la sensibilité à tous les métamères, des réflexes ostéotendineux à tous les étages et des réflexes cutanés plantaires.
- La palpation abdominale (foie, rate), des fosses lombaires et des aires ganglionnaires ne sera pas négligée.
- L'équilibre psychique sera évalué par le dialogue, au regard du comportement et de la cohérence des réponses du sujet.

Un tel examen clinique est long et justifie une consultation d'une durée supérieure à la pratique courante.

### **c) Des examens complémentaires**

Tout élément pathologique, s'il ne peut être expliqué simplement, devra faire l'objet d'examens complémentaires ou d'une demande d'avis auprès d'un spécialiste. Le matériel numérique moderne permet aux médecins généralistes de réaliser rapidement des examens de dépistage à son cabinet : ECG<sup>2</sup>, spirométrie, audiométrie tonale.

## **1.2.- Consultation à l'occasion ou dans les suites d'un état pathologique**

Sauf si le sujet n'est pas connu du médecin, l'examen sera centré sur la pathologie en cause à la recherche de séquelles anatomiques ou fonctionnelles qui pourraient altérer les capacités d'adaptation aux variations de pression, à l'effort, à l'immersion ou à la décompression.

Pour prendre sa décision, le praticien devra recueillir les éléments nécessaires par un interrogatoire et un examen clinique approfondis. Il devra avoir en sa possession les résultats

---

<sup>2</sup> Une grille de lecture de l'ECG est donnée en annexe IV.

des examens complémentaires appropriés, l'avis du spécialiste de la pathologie en cause et éventuellement l'avis du médecin hyperbariste. Il devra prendre en compte le niveau de formation du sujet et son niveau de pratique.

La reprise des activités subaquatiques pourra être autorisée sans restriction ou être assortie de mesures tenant compte de l'état de santé et visant à réduire les risques d'accident.

Il est recommandé que le médecin, généraliste ou spécialiste, n'ayant pas de connaissance particulière des techniques de plongée subaquatique adresse son patient avec tous les éléments nécessaires à un médecin titulaire d'une formation spécifique (voir chapitre XXV).

## **2.- CAS PARTICULIER DU HANDICAP**

Constitue un handicap toute limitation d'activité ou restriction de participation à la vie en société subie dans son environnement par une personne en raison d'une altération substantielle, durable ou définitive d'une ou plusieurs fonctions physiques, sensorielles, mentales, cognitives ou psychiques, d'un polyhandicap ou d'un trouble de santé invalidant<sup>3</sup>.

Devant tout handicap, le médecin examinateur devra faire un bilan précis et complet du retentissement fonctionnel en ayant recours si nécessaire à l'avis d'un spécialiste<sup>4</sup>.

## **3.- LA DÉCISION MÉDICALE**

Elle tient compte :

- de la nature de l'activité subaquatique pratiquée ou postulée,
- de l'expérience du postulant dans ces activités,
- de l'état de santé objectivé par l'interrogatoire, l'examen clinique et les éventuels examens complémentaires.

Pour prévenir tout litige ou recours ultérieur, il est recommandé de faire figurer sur le certificat médical de manière la plus précise possible l'activité pratiquée ou postulée en vertu de laquelle le médecin se prononce (par exemple PA20 ou plongeur autonome à 20 m, PE40 ou plongeur encadré à 40 m, etc.), l'absence de contre-indication à la pratique sans restriction ou d'indiquer précisément la ou les restrictions préconisées telles que (liste non limitative) :

- restriction de la profondeur et/ou de la durée de séjour en pression,
- restriction des conditions de plongée (température de l'eau, courant, effort physique, etc.),
- restriction des conditions de décompression (plongée sans palier par exemple),
- aménagement des conditions techniques de la plongée (utilisation de mélanges suroxygénés, paliers à l'oxygène, équipement et déséquipement dans l'eau p. ex.).

La conclusion médicale devra dans tous les cas faire l'objet des explications nécessaires auprès du postulant. Il pourra lui être conseillé, s'il plonge dans des contrées éloignées, de s'assurer qu'un centre médical hyperbare est accessible dans des délais raisonnables.

---

<sup>3</sup> Art. L.114, code de l'action sociale et des familles.

<sup>4</sup> Pour plus de détails, se reporter au chapitre XXVI, p. 232.

### **Recommandation n° 1**

L'examen médical pour la pratique des activités subaquatiques doit être particulièrement complet et minutieux. Il comprend un questionnaire de santé adapté, un interrogatoire approfondi, un examen clinique complet et si nécessaire des examens complémentaires.

Le certificat médical d'absence de contre-indication devra mentionner pour quelle activité et dans quelles limites il est délivré et préciser s'il y a lieu les restrictions recommandées.

Dans le cas où une contre-indication ou une limitation d'activité sont difficiles à déterminer pour un médecin n'ayant pas de connaissance particulière des techniques de plongée subaquatique, il est recommandé de se rapprocher d'un médecin titulaire d'une formation spécifique reconnue (DU, DIU ou équivalent).

---

### **Référence**

Meehan C, Bennett M. Medical assessment of fitness to dive - comparing a questionnaire and a medical interview-based approach. *Diving Hyperb Med.* 2010; 40(3): 119-24.

## CHAPITRE X

### APPAREIL CARDIO-CIRCULATOIRE

#### 1.- LES RISQUES CARDIO-VASCULAIRES DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES

Les risques cardio-vasculaires liés à la pratique des activités subaquatiques sont majeurs : les rares études épidémiologiques disponibles placent les causes cardio-vasculaires en tout premier plan des accidents mortels de la plongée en scaphandre autonome (Buzzacott 2016, 2017).

Les œdèmes pulmonaires d'immersion, dont l'étiologie plurifactorielle implique étroitement les adaptations hémodynamiques en plongée, sont de mieux en mieux identifiés et ils représentent aujourd'hui la première cause d'accident respiratoire chez le plongeur en scaphandre autonome (Henckes, 2008). Les accidents classiquement diagnostiqués comme « noyades » sont maintenant de plus en plus souvent reconnus comme de réels œdèmes pulmonaires ou accidents cardio-vasculaires compliqués d'un œdème pulmonaire (Coulange, 2017).

Pour schématiser, on peut écrire que les risques cardio-vasculaires dans les activités subaquatiques sont liés :

- **à l'immersion elle-même** : avec une double conséquence d'augmentation du retour veineux vers le thorax et de vasoconstriction périphérique. La précharge et la postcharge augmentent en même temps ce qui place le cœur dans une situation paradoxale.
- **aux autres contraintes environnementales** :
  - *La pression* : c'est une contrainte majeure chez l'apnéiste avec la création d'un déplacement de masse sanguine vers le thorax, le *blood shift* (congestion de la circulation pulmonaire). La séquestration sanguine pulmonaire à la descente et sa vidange à la remontée sont des contraintes hémodynamiques d'autant plus intenses que les vitesses de progression sont rapides. Cette contrainte est moindre pour le scaphandrier : les vitesses de descente, et surtout de remontée, sont plus lentes qu'en apnée, et la ventilation se fait en équipression (aux variations de pressions inspiratoires et expiratoires près) avec le milieu ambiant. Néanmoins, il existe une augmentation du travail ventilatoire liée à la respiration de gaz denses : augmentation des résistances des voies aériennes, résistances de l'appareil de protection respiratoire, à l'origine d'un déséquilibre fonctionnel cardiaque droit/gauche (Coulange et coll. 2010, Castagna et coll. 2018).
  - *Le froid* : il est une contrainte majeure, mais souvent négligée, de tous les sports subaquatiques. Il renforce de manière très significative la vasoconstriction périphérique et donc la postcharge. Il crée une stimulation vagale intense, surtout à l'exposition du visage qui est très sensible et réactif. Cette stimulation vagale est susceptible d'entraîner des troubles du rythme ou de la conduction aux conséquences potentiellement dramatiques. Enfin l'exposition au froid est très coûteuse en énergie.
  - *Augmentation de la pression partielle des gaz* : celle des gaz dits « neutres » (azote, hélium, hydrogène...) a peu de conséquences cardio-vasculaires. En revanche l'hyperoxie potentialise la vasoconstriction non seulement périphérique, mais aussi

coronarienne, de même que la bradycardie. Chez le sujet pathologique (HTA par exemple), elle est un des éléments susceptible de favoriser une décompensation hémodynamique.

- *La décompression* : elle est susceptible d'augmenter les pressions droites par embolisation du filtre pulmonaire, voire d'occasionner des accidents de décompression sur des shunts droite-gauche existants ou favorisés par la décompression ou l'effort.
- **aux efforts physiques** : ceux-ci sont majeurs dans certaines activités subaquatiques (hockey, apnée dynamique) mais peuvent être aussi intenses dans les autres activités en particulier la plongée en scaphandre. Il en est de même pour les encadrants qui sont responsables de la sécurité et du sauvetage de ceux qu'ils accompagnent. Des efforts modestes en termes de besoin métabolique (consommation d'O<sub>2</sub> et rejet de CO<sub>2</sub>) peuvent imposer des efforts ventilatoires majorés par l'immersion et la plongée qui sont susceptibles d'impacter fortement la fonction cardiaque.
- **au profil du plongeur** et plus largement à l'évolution de la pratique et des populations de plongeur. Traditionnellement on pense aux adultes au-delà de la quarantaine. Cela est tout à fait justifié d'autant plus que les populations, en particuliers des plongeurs en scaphandre, vieillissent et sont de moins en moins entraînées à l'effort. Mais il ne faut surtout pas négliger les jeunes avec leurs risques de cardiomyopathie, de dysplasies arythmogènes, de canalopathies (anomalies diverses du QT), voire de coronaropathies. L'anxiété, l'inconfort, l'émotion peuvent majorer rapidement la contrainte cardiaque (Cochard et coll 2016).
- **enfin au milieu** par lui même qui rend toute intervention thérapeutique très difficile (« malaise » et « mort subite » sont très rapidement synonymes chez un plongeur), mais aussi très risquée pour les intervenants.

## 2.- RECHERCHE D'UNE PATHOLOGIE PRÉEXISTANTE

Le dépistage d'une pathologie cardio-vasculaire est un des éléments clefs de la visite médicale chez tout pratiquant ou un futur pratiquant de quelque activité subaquatique que ce soit. Il doit être efficace, simple et faire appel à un minimum d'explorations complémentaires si l'on veut qu'il soit correctement réalisé.

Les valvulopathies significatives ou sévères, les cardiomyopathies évoluées en général et surtout les cardiomyopathies hypertrophiques sarcomériques ne sont pas compatibles avec les activités subaquatiques. De même, il faut absolument insister sur l'hypertension artérielle qui est le premier facteur de risque associé retrouvée dans les séries de décès en plongée (Buzzacott et coll. 2015, Buzzacott 2016, 2017).

### 2.1.- L'examen clinique

Il est souvent pauvre dans ce domaine. La phase principale d'une visite sera *l'interrogatoire*, sur lequel il est important d'insister, à la recherche :

- des éléments médicaux du sportif lui-même :
  - motivation, antériorité et connaissances techniques pour le sport considéré. Modes de pratique, mode et fréquence d'entraînement ;
  - capacités à l'effort : il s'agit là d'un point fondamental qui représente un des facteurs les plus prédictifs d'un éventuel accident cardio-vasculaire ;
  - de ses antécédents médicaux ;

- du traitement en cours ;
  - de toute symptomatologie particulièrement à l'effort ou en plongée mais aussi au repos,
  - des facteurs de risque cardio-vasculaire afin d'évaluer le risque coronarien (âge, HTA, IMC, hyperlipidémie, sédentarité, alcool, tabac).
- Des antécédents familiaux : cet aspect est fondamental, en particulier chez le jeune pour qui la plupart des pathologies cardio-vasculaires sont familiales.

Les conséquences médico-légales de l'acte de certification sont devenues telles que la réalisation d'un auto-questionnaire rédigé et signé par le sportif est une pratique à encourager.

L'examen physique est classique et doit insister sur le dépistage d'un souffle cardiaque et la prise tensionnelle. Il est fondamental mais insuffisant.

## 2.2.- Examens paracliniques recommandés et optionnels

Si un seul examen paraclinique devait être considéré comme « systématique et indispensable », ce serait l'électrocardiogramme (ECG) : **tout pratiquant d'une activité subaquatique devrait avoir eu au moins un ECG initial.**

Contrairement aux idées reçues, cet examen est de moins en moins contributif au delà de 40 ans. En effet, la prise en charge médicale des coronaropathies est aujourd'hui devenue si efficace que la plupart des coronariens ont un ECG normal. Néanmoins, il est logique de conserver cet examen de dépistage à ces âges, et un ECG annuel devrait être pratiqué dès l'association d'un autre facteur de risque (tabac, dyslipidémie, diabète, hérédité, HTA, ou âge au delà de 50-55 ans). Dans les autres cas un ECG pourrait être réalisé tous les 2 à 5 ans, en fonction de la clinique, de l'entraînement du plongeur et du type de plongée pratiquée.

Si l'ECG est moins contributif chez l'adulte, il est en revanche très utile dans le dépistage des cardiopathies de l'enfant et du jeune adulte (cardiomyopathies, dysplasies, canalopathies...). Les recommandations de la Société Française de Cardiologie pour les sports de compétitions semblent tout à fait transposables à toutes les activités subaquatiques. Elles préconisent un ECG initial à renouveler tous les 3 ans entre 12 et 20 ans, puis tous les 5 ans jusqu'à 35 ans (Carré et coll. 2009), puis tous les 2 à 5 ans en fonction des facteurs de risque associés.

Les autres examens paracliniques sont à discuter au cas par cas pour le cardiologue.

Un **bilan biologique** est nécessaire pour la détection ou le contrôle des facteurs de risque cardio-vasculaires (diabète, dyslipidémie) à partir de 40 ans chez les hommes et 50 chez les femmes (cf. infra).

L'**épreuve d'effort** n'est pas systématique. Elle est nécessaire dans certains groupes à risque :

- chez tous les sujets symptomatiques ;
- chez tous les sujets porteurs d'une cardiopathie connue, traitée ou non ;
- chez les sujets présentant des facteurs de risque particulièrement péjoratifs pour les activités subaquatiques : les hypertendus et les diabétiques ;
- chez les sujets présentant un risque cardio-vasculaire modéré ou important suivant la classification Score de la Société Européenne de Cardiologie (Score Risk Charts). Ce groupe peut être schématisé par l'association d'au moins deux facteurs de risque 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 > 1,5 g L<sup>-1</sup>),
- obésité (IMC > 30),
- hérédité.

La réalisation d'une épreuve d'effort avec analyse des gaz expirés en routine n'est d'aucun intérêt chez des sujets sains et asymptomatiques à l'effort.

Une **échocardiographie** transthoracique avec étude de la fonction diastolique est nécessaire :

- chez tous les sujets symptomatiques,
- chez les patients hypertendus.

Le dépistage systématique d'un *foramen ovale* perméable (FOP) n'est pas justifié en raison de sa grande prévalence dans la population (20 à 25 %) et du risque absolu minime qu'il induit (Bove 1998, Germonpré et coll. 1998, Germonpré 1999, Lairez et coll. 2009, Gempp et coll. 2017).

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

### **2.3.- Examen pour avis après une maladie ou un accident**

Il sera orienté en fonction de la pathologie considérée. Le bilan cardiovasculaire devra évaluer, à l'aide des explorations appropriées, le risque lié aux séquelles éventuelles.

Dans le cadre d'un accident de désaturation de forme neurologique ou cutanée la recherche systématique d'un shunt droite-gauche fait partie du bilan étiologique. La présence d'un FOP doit faire préconiser l'arrêt de la plongée en scaphandre ou au moins des restrictions sévères d'exposition en termes de pression maximale admissible, de temps, de gaz utilisé, tenant compte du grade du *foramen ovale* et des méthodes d'intervention utilisées (matériel et procédures de décompression), accompagnées des explications et des recommandations nécessaires à leur bonne application par le plongeur (exclusion des surpressions thoraciques en particulier : manœuvre de Valsalva, efforts avec blocage thoracique...).

La fermeture d'un FOP par voie transcutanée n'a pas sa place en plongée sportive. Si elle peut être justifiée par des arguments scientifiques, elle ne l'est aucunement sur ses aspects éthiques, économiques et même médicaux : les complications d'un tel geste ne sont pas anodines : obturation incomplète, migration de l'implant, tamponnade, fibrillation auriculaire (Turc et coll. 2018) et feraient courir des risques inacceptables. Il est important de rappeler que cette procédure n'a aucune AMM en France dans ce contexte.

Dans toutes ses démarches, le médecin devra s'appuyer sur l'expertise d'un médecin de la plongée ou d'un cardiologue compétent en médecine de la plongée.

## **3.- LES CONTRE-INDICATIONS**

### **3.1.- Contre-indications formelles**

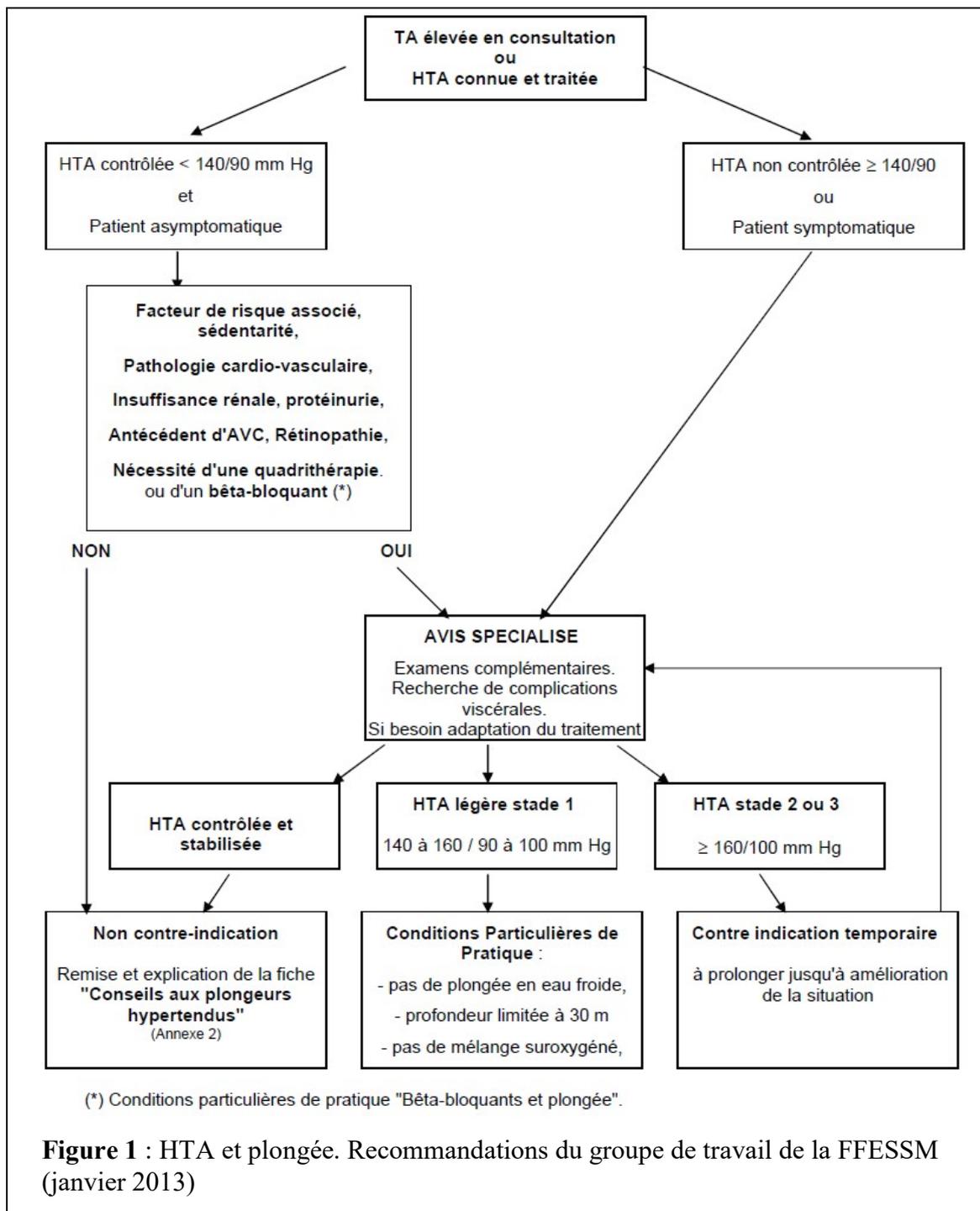
Elles varient en fonction des activités considérées.

Retenons le principe que toute activité en apnée nécessite une absence de pathologie cardiovasculaire.

Pour les autres activités, on peut retenir une liste de contre-indications formelles dont certaines ne sont que temporaires :

- toute symptomatologie cardio-vasculaire,
- coronaropathie spastique,
- hypertension artérielle modérée ou sévère ( $\geq 160/100$  mmHg). La figure 1 (Lafay et coll. 2014) donne un arbre décisionnel adopté par la commission médicale nationale de la FFESSM,
- troubles du rythme non évalués,
- péricardite ou myocardite,
- cardiomyopathie hypertrophique sarcomérique,
- valvulopathies sévères,
- anticoagulation avec INR  $> 3$  (valeur cible prescrite pour les prothèses valvulaires mécaniques, ANSM 2012),
- porteurs de défibrillateurs implantables,
- hypertension artérielle pulmonaire pré ou postcapillaire,
- large shunt droite - gauche c'est-à-dire plus de 20 signaux de bulles à l'échographie transoesophagienne, transthoracique ou transcrânienne (Germonpré et coll. 1998, Wilmshurst et Bryson 2000, Cantais et coll. 2003, Lairez et coll. 2009).

La FFESSM publie sur le site de sa commission médicale nationale ([http://medical.ffessm.fr/?page\\_id=25](http://medical.ffessm.fr/?page_id=25)) des contre-indications et conduites à tenir établies par un groupe d'experts concernant l'HTA, les shunts droite-gauche, les bêta-bloquants, les coronaropathies, les troubles du rythme et les valvulopathies. Il existe également des recommandations concernant les cardiopathies congénitales (Schleich 2016).



### 3.2.- Cas demandant un avis spécialisé (selon le niveau de compétence du praticien)

De nombreux cas permettent les activités subaquatiques, éventuellement avec restrictions et font donc appel à un avis spécialisé ou à une décision collégiale. Cet avis spécialisé doit impliquer un cardiologue compétent en médecine de la plongée.

Retenons le principe général que toute pathologie cardio-vasculaire connue nécessite un avis spécialisé et plus précisément :

- risque cardio-vasculaire modéré ou important (cf. supra),
- hypertension artérielle compliquée,
- coronaropathies,
- valvulopathies modérées ou minimes,
- troubles du rythme ou de la conduction,
- antécédents familiaux de mort subite,
- porteurs de pacemaker,
- antécédent d'accident ventilatoire en immersion,
- cardiopathie congénitale,
- maladie thrombo-embolique,
- traitement cardio-vasculaire en cours.

### 3.4.- Limitations préconisées

Elles seront prescrites, après avis spécialisé si nécessaire, en fonction :

- des pathologies,
- des activités,
- de l'âge.

En matière de pathologie cardio-vasculaire les conditions de restrictions ne pourront être étudiées qu'au cas par cas, et en fonction d'un avis spécialisé. Pour plus de précisions, on pourra utilement se reporter à l'ouvrage collectif *Cœur et Plongée* (Lafay 2017).

### 4.- EN CONCLUSION (RECOMMANDATION DE SYNTHÈSE)

Les pathologies cardio-vasculaires sont la première cause des décès en plongée.

L'hypertension artérielle est la première comorbidité retrouvée dans les décès en plongée.

Toute symptomatologie cardio-vasculaire est une contre indication temporaire aux activités subaquatiques.

Toute pathologie cardio-vasculaire est une contre indication aux activités en apnée.

*Autres contre-indications formelles* : coronaropathie spastique, hypertension artérielle modérée ou sévère ( $\geq 160/100$  mmHg), troubles du rythme non évalués, péricardite ou myocardite, cardiomyopathie obstructive, valvulopathie sévère, anticoagulation avec INR  $> 3$ , porteur de défibrillateur implantable, hypertension artérielle pulmonaire, large shunt droite - gauche.

*Examen initial* : examen clinique approfondi avec mesure de la pression artérielle au repos, ECG (y compris chez l'enfant) et, chez l'adulte, un bilan biologique sanguin à la recherche d'une anémie, d'une insuffisance rénale, d'un diabète ou d'une dyslipidémie.

Tous les ans : examen clinique approfondi avec mesure de la pression artérielle au repos.

ECG tous les 3 à 5 ans, biennal ou annuel après 50 ans si facteur de risque associé.

Les autres examens paracliniques dépendent du contexte et des facteurs de risque associés.

Toute pathologie cardio-vasculaire nécessite un avis spécialisé.

La recherche systématique d'un foramen ovale perméable n'est pas recommandée.

Le foramen ovale perméable doit être recherché systématiquement au décours d'un accident de désaturation neurologique, vestibulaire ou cutané de type *cutis marmorata*.

La fermeture du foramen ovale n'a pas d'indication en plongée sportive ou de loisir.

Lors d'un examen de reprise après pathologie cardio-vasculaire ou accident, chaque cas devra être évalué en collaboration avec un avis spécialisé compétent en médecine subaquatique.

## Recommandation n° 2

Le dépistage d'une pathologie cardio-vasculaire est un élément clef de la visite médicale de non contre-indication aux activités subaquatiques. L'approche clinique repose sur la recherche d'antécédents personnels ou familiaux, des facteurs de risque et d'une éventuelle symptomatologie, sur la prise tensionnelle rigoureuse et sur l'évaluation de la tolérance à l'effort.

Tout pratiquant d'une activité subaquatique sportive ou de loisir devrait bénéficier d'un **électrocardiogramme initial**, renouvelé tous les trois ans entre 12 et 20 ans, puis tous les cinq ans jusqu'à 35 ans au moins, puis au-delà (tous les 1 à 5 ans) en fonction de l'évolution des éléments cliniques, thérapeutiques et des facteurs de risque. (3C)

Un **bilan biologique** est nécessaire pour la détection ou le contrôle des facteurs de risque cardio-vasculaires (diabète, dyslipidémie, insuffisance rénale) à partir de 40 ans (hommes) ou 50 ans (femmes).

L'**épreuve d'effort** n'est pas systématique. Elle est nécessaire pour les sujets à risque :

- les sujets symptomatiques ou porteurs d'une cardiopathie connue, traitée ou non ;
- les hypertendus et les diabétiques ;
- les sujets présentant un risque cardio-vasculaire modéré ou important selon la classification Score de la Société Européenne de Cardiologie (Score Risk Charts) présentant l'association d'au moins deux facteurs de risque :
  - âge (> 40 ans chez les hommes, > 50 ans chez les femmes),
  - tabagisme (actif ou sevré depuis moins de 5 ans),
  - dyslipidémie (LDL-cholestérol > 1,5 g L<sup>-1</sup>),
  - obésité (IMC > 30),
  - hérédité.

Ces examens paracliniques seront renouvelés tous les deux à cinq ans en fonction des éléments cliniques et fonctionnels et de l'évolution des facteurs de risque.

L'**échocardiographie** transthoracique avec étude de la fonction diastolique est nécessaire chez les sujets symptomatiques et chez les patients hypertendus.

Ni le dépistage systématique d'un *foramen ovale* perméable (FOP), ni sa fermeture percutanée ne sont justifiés en prévention primaire. (3 C)

En revanche, le FOP doit être recherché après tout accident de désaturation neurologique ou cutané de type *cutis marmorata*. (3C)

En cas de découverte :

- sa fermeture percutanée n'est pas recommandée et n'a pas d'indication pour l'exercice de la plongée subaquatique sportive ou de loisir ;
- la reprise des activités de plongée, après avis d'un praticien compétent en médecine de la plongée, devra s'accompagner de restrictions sévères et d'une information détaillée du plongeur sur les conditions et les risques d'ouverture du FOP.

De manière générale, toute pathologie cardio-vasculaire nécessite l'avis spécialisé d'un cardiologue compétent en médecine subaquatique.

## Références

ANSM. Bon usage des médicaments antivitamine K (AVK). Rapport. Actualisation juillet 2012.

<https://www.ansm.sante.fr/content/download/6187/59989/version/12/file/Bon+usage+AVK+actualis%C3%A9+juillet+2012.pdf> [consulté 27/03/2020]

Bove AA. Risk of decompression sickness with patent foramen ovale. *Undersea Hyperb Med* 1998, 25 3: 175-8.

Buzzacott P, Trout BM, Caruso JL *et al.* DAN Annual Diving Report 2012-2015 Edition. Durham, NC. Divers Alert Network, 2015. 127 p. Accessible par :

<https://www.diversalertnetwork.org/medical/report/index.asp> [4 mars 2018]

Buzzacott P (ed). DAN Annual Diving Report 2016 Edition - A report on 2014 data on diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2016; pp. 129.

Buzzacott P (ed). DAN Annual Diving Report 2017 Edition - A report on 2015 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2017; pp. 134.

Cantais E, Louge P, Suppini A, Foster PP, Palmier B. Right-to-left shunt and risk of decompression illness with cochleovestibular and cerebral symptoms in divers: case control study in 101 consecutive dive accidents. *Crit Care Med* 2003;31(1):84-8.

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.

Castagna O, Regnard J, Gempp E, Louge P, Brocq FX, Schmid B, Desruelle AV, Crunel V, Maurin A, Chopard R, MacIver DH. The key roles of negative pressure breathing and exercise in the development of interstitial pulmonary edema in professional male scuba divers. *Sports Medicine-open*. 2018, 4 (1). DOI 10.1186/s40798-017-0116x.

Cochard G, Henckes A. Rôle du stress psychologique dans l'œdème pulmonaire d'immersion. *Bull Medsubhyp* 2016, 26 : 25-31.

Coulangue M, Rossi P, Gargne O *et al.* Pulmonary oedema in healthy scuba divers: new physiological pathways. *Clin Physiol Funct Imaging* 2010, 30: 181-6.

Coulangue M. Analyse de plus de 80 décès en plongée. Congrès ARESUB, Juin 2017, La Réunion. Disponible sur :

<https://drive.google.com/file/d/0B-4Ug0Jb3JpDSUxzc1dvRkJHVlk/view> [4 mars 2018].

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: 155-8.

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.

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.

Henckes A, Lion F, Cochard G, Arvieux J, Arvieux CC. Pulmonary oedema in scuba-diving: frequency and seriousness about a series of 19 cases. *Ann Fr Anesth Reanim*, 2008; 27(9): 694-9.

Lafay V, Brouant B, Coulangue M, Phan G, Krafft R, Finet G, Roche F, Grandjean B. Pratique de la plongée et des sports subaquatiques par les patients ayant une hypertension artérielle systémique. *Bull. Medsubhyp*. 2014, 24 (1) : 19 – 27 et <http://medical.ffessm.fr/wp-content/uploads/HTA-Reco.pdf> [3 février 2018].

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

Lairez O, Cournot M, Minville V, Roncalli J, Austruy J, Elbaz M, Galinier M, Carrié D. Risk of neurological decompression sickness in the diver with a right-to-left shunt: literature review and meta-analysis. *Clin J Sport Med.* 2009; 19(3): 231-5.

Schleich JM, Schnell F, Brouant B, Phan G, Lafay V, Bonnemains L, Bédossa M. Recreational scuba diving in patients with congenital heart disease: Time for new guidelines. *Arch Cardiovasc Dis.* 2016; 109(8-9): 504-10.

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](http://www.escardio.org/static_file/Escardio/Subspecialty/EACPR/Documents/score-charts.pdf) [décembre 2017].

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; 7(12).

Wilmshurst P, Bryson P. Relationship between the clinical features of neurological decompression illness and its causes. *Clin Sci* 2000;99(1):65-75.

## CHAPITRE XI

# APPAREIL RESPIRATOIRE

### 1. RAPPEL DES RISQUES DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES POUR L'APPAREIL RESPIRATOIRE

Le métabolisme lié à une activité physique chez l'être humain consomme de l'oxygène prélevé dans un milieu ambiant gazeux et produit du CO<sub>2</sub> rejeté dans l'environnement. Les besoins en oxygène varient de 0,5 L à plus de 4 L min<sup>-1</sup> selon la corpulence de l'individu, le travail physique effectué et les conditions environnementales dans lesquelles il se trouve. Les rejets en CO<sub>2</sub> sont équivalents et assortis d'un facteur 0,8 (0,4 à > 3,2 L min<sup>-1</sup>) appelé quotient respiratoire.

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. L'élévation de la consommation d'oxygène fait du système cardio-respiratoire un ensemble physiologique devant être capable de fonctionner de manière optimale (Held et Pendergast 2013).

#### 1.1.- La noyade

L'eau est un milieu irrespirable pour les mammifères. Toute activité subaquatique humaine va par conséquent nécessiter :

- soit de bloquer sa respiration sous l'eau (l'apnée), mais sera limitée en temps par la consommation du stock d'oxygène présent dans l'organisme : dans les gaz des voies aériennes (trachée, bronches et poumons), dissous dans le sang et les liquides interstitiels et lié à l'hémoglobine et à la myoglobine tissulaire (ce stock est très inférieur chez l'Homme à ceux dont disposent les mammifères plongeurs phoques et cétacés),
- soit de rendre disponible de manière artificielle, par le truchement d'un appareil, de l'oxygène gazeux au moment des inspirations avec la particularité que, plus l'homme s'éloignera de la surface, plus il sera soumis aux effets des variations de la pression des gaz et de la pression hydrostatique.

La noyade est due à l'inondation brutale des alvéoles pulmonaires rendue possible au cours de différentes circonstances :

- en surface, l'irruption d'eau dans les voies aériennes peut être liée à un épuisement du sujet, à un essoufflement, à une perte de la protection apportée par le dispositif de protection respiratoire (tuba, détendeur) ;
- en plongée en apnée, la reprise inspiratoire<sup>1</sup> peut se produire sous la surface ;

---

<sup>1</sup> Voir chapitre VIII : La plongée en apnée - Physiologie et physiopathologie.

- en plongée avec appareil de protection respiratoire, une perte d'étanchéité entre l'appareil de distribution des gaz et les voies aériennes, le plus souvent consécutive à une perte de connaissance du sujet, mais pouvant être lié à un dysfonctionnement du matériel.

La prévention passe par la formation, l'entraînement et le bon état du matériel.

## 1.2.- Les barotraumatismes

Lors de l'augmentation de pression barométrique, les volumes gazeux sont soumis à la loi de Boyle-Mariotte. Les cavités closes à parois souples voient leur volume varier.

Les cavités à parois rigides doivent impérativement communiquer avec l'ambiance gazeuse pour recevoir (ou libérer, lorsque la pression diminue) une masse de gaz compensant la variation de volume. 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.

### a) 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 le flux des gaz expirés, le volume pulmonaire augmente jusqu'à la limite d'élasticité de la cage thoracique et surtout des alvéoles. Au-delà, la pression intrathoracique augmente, conduisant à la surpression pulmonaire.

- **Facteurs de risque**

Cet accident gravissime se produit essentiellement lors de remontées rapides à glotte fermée ou incontrôlées en plongée subaquatique (environ 1 cas pour 20 000 à 35 000 plongées), le plus souvent chez des débutants qui maîtrisent mal leur respiration ou dans un contexte de stress (sauvetage, épreuves d'examen). Il peut également survenir lors de décompression explosive d'enceintes pressurisées.

Différents facteurs de risques ont été proposés pour les barotraumatismes : présence de bulles sous pleurales (*blebs*), péri bronchiques ou parenchymateuses (Russi 1998, Van Hulst et coll. 2011), baisse des débits médians et distaux (Tetzlaff et coll. 1997, Russi 1998). Une diminution de la compliance pulmonaire a également été observée (Colebatch et coll. 1976).

- **Physiopathologie et clinique**

A l'occasion de l'élévation brutale de la pression intra-alvéolaire liée à l'obstacle expiratoire, les parois des alvéoles se rompent. La rupture alvéolaire survient pour une différence de pression transmurale de 0,15 bar, soit une profondeur de 1,5 m. Des accidents ont été décrits pour cette profondeur (Frosing et coll. 1997), voire moins (Oskar 2001).

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, expectorations hémoptoïques, arrêt respiratoire. Un pneumothorax peut également survenir. 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, hémi ou tétraplégie, coma ;
- un emphysème sous-cutané dans les cas typiques, siégeant au niveau du cou et pouvant intéresser la face, signant l'extériorisation des masses de gaz médiastinales.

Le traitement spécifique de l'embolie gazeuse cérébrale est la recompression en caisson hyperbare thérapeutique sous oxygénothérapie, après exsufflation éventuelle d'un pneumothorax.

### **b) Les accidents ventilatoires**

Souvent décrits sous le terme générique d'essoufflement, il peut s'agir d'une hyperpnée hypercapnique conduisant à l'inconfort d'une forte stimulation ventilatoire s'associant à la fatigue des muscles ventilateurs. Cette dernière peut aboutir à une polypnée superficielle à l'effort, entraînant une hypoventilation alvéolaire avec aggravation de l'hypercapnie et de la stimulation ventilatoire, tandis que l'hypoxie alvéolaire associée peut parfois conduire à la perte de connaissance, brutale. La symptomatologie peut alors inclure des sensations d'origine cardiovasculaire en rapport avec un déséquilibre fonctionnel cardiaque droit/gauche corollaire de la grande stimulation ventilatoire. Dans la plupart des cas, les symptômes sont résolutifs à l'arrêt de l'effort et au 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 du gaz inerte respiratoire naturel (l'azote) par un gaz plus léger, l'hélium.

## **1.3.- Les atteintes respiratoires d'origine biochimique**

### **a) 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 600 hPa. Entre 600 et 1600 hPa, le temps nécessaire pour l'apparition des phénomènes toxiques est long (plusieurs heures) : on parle de toxicité chronique. Au-delà de 1700 hPa, le temps de latence diminue très rapidement : on parle de toxicité aiguë.

La toxicité chronique de l'oxygène sur la muqueuse respiratoire est décrite sous le nom d'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.

Le temps de tolérance varie en fonction de la pression d'oxygène inhalé et du temps d'exposition :

- 24 heures à  $PiO_2 = 1000$  hPa (oxygène pur en surface),
- 15 heures à  $PiO_2 = 1500$  hPa (oxygène pur à 5 m),
- 10 heures à  $PiO_2 = 2000$  hPa (oxygène pur à 10 m).

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'inflammation de la muqueuse bronchique se développe plus précocément que l'atteinte alvéolaire. Elle précède l'apparition de la gêne rétrosternale et de la toux tout en restant cliniquement asymptomatique. Ainsi, après 3 h sous  $PiO_2 = 800$  hPa en normobarie, observe-t-on le recrutement de polynucléaires dans la muqueuse bronchique, tandis que la réactivité bronchique non spécifique est augmentée (diminution des débits expiratoires maximaux lors de la provocation par inhalation de méthacholine ou d'histamine) mais sans réduction de la capacité vitale ni de la diffusion alvéolo-capillaire (TLCO) (Regnard et coll. 1987, Ferrer et coll. 1988).

Après 3 h de  $PiO_2 = 2600$  hPa (2,5 bar en  $O_2$  pur) l'exploration fonctionnelle fait apparaître une diminution de 5 % de la capacité vitale et de la capacité de diffusion alvéolo-capillaire (TLCO) (Clark et coll. 1999). La radiographie montre des images d'alvéolite diffuse.

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

### **b) Les accidents liés au dioxyde de carbone**

L'hypercapnie peut être d'origine ventilatoire (essoufflement à l'effort), ou bien 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 la fréquence ventilatoire ou du volume courant 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 (correspondant à 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 ou par défaillance circulatoire (chute du débit cardiaque par déséquilibre cardiaque droit/gauche). En immersion, cette perte de connaissance peut être fatale.

## **1.4.- Les accidents respiratoires de désaturation**

Les accidents de désaturation (ADD) sont liés à la formation excessive de bulles tissulaires et vasculaires (essentiellement veineuses) dans l'organisme qui survient lors du retour à la surface, après un temps de séjour en pression suffisant, le plus souvent lorsque la procédure de remontée (vitesse de remontée, paliers) n'a pas été respectée.

Le poumon se comporte comme un filtre pour les bulles provenant de la circulation cave et du système azygos. Sa capacité d'épuration est cependant limitée et une production importante de bulles se traduit par un engorgement de la circulation pulmonaire, avec ralentissement circulatoire et élévation de la pression de l'artère pulmonaire.

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

### **1.5.- Les œdèmes pulmonaires d'immersion**

La physiopathologie de l'œdème pulmonaire d'immersion (OPI) est complexe car elle fait intervenir de nombreux facteurs souvent intriqués : modifications hémodynamiques liées à l'immersion, effort physique (Bove 2016, Boussuges et coll. 2017, Henckes et coll. 2019), froid, stress psychologique et ventilation en charge. En apnée, l'hypoxie, la diminution de la pression intrathoracique à la remontée alors que la circulation pulmonaire est fortement congestive et les contractions diaphragmatiques en fin d'apnée sont des facteurs contributifs.

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 (rôle déterminant de l'effort inspiratoire). On évoque aussi la possibilité d'altération de la perméabilité alvéolo-capillaire et un défaut de drainage lymphatique interstitiel. L'apparition d'un déséquilibre fonctionnel cardiaque droit/gauche semble en précipiter le développement. (Coulange et coll. 2010, Castagna et coll. 2018).

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 la TDM à la phase d'état qui objective l'atteinte interstitielle caractéristique.

Généralement, les signes s'améliorent rapidement sous oxygène normobare. En revanche, cet OPI s'accompagne dans 30 % des cas d'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 une fois sur deux, doit être effectuée dans tous les cas, car il s'agit d'un facteur de survenue et de récurrence des OPI (Gempp et coll. 2014).

### **1.6.- Les effets au long cours sur le poumon**

Plusieurs études objectivent une diminution du DEM 25 et du DEM 25-50, proportionnelle à l'ancienneté en 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. D'autres études (Louge 2006) semblent suggérer qu'il existe une diminution de la CVF, du VEMS, des

débats expiratoires maximaux et de la DLCO. L'âge semble être le facteur déterminant de la variation du VEMS (Burrows et coll. 1986, Gulsvick et coll. 1994). Cependant l'analyse récente des modifications en 10 et 25 ans de la CVF, du VEMS et du débit de pointe expiratoire pour un effectif de plongeurs nettement plus grand que celui de toutes les études précédentes ne met pas en évidence d'altération cliniquement significative distincte de l'évolution naturelle avec l'avancée en âge (Sames et coll. 2018).

## **2.- LA RECHERCHE DE PATHOLOGIES PRÉEXISTANTES QUI AUGMENTENT LES RISQUES**

De nombreuses atteintes de l'appareil respiratoire majorent les risques précédemment décrits. Elles sont par conséquent à investiguer avec attention.

L'anamnèse et l'examen clinique auront ainsi pour objectif de rechercher un antécédent respiratoire, une anomalie clinique respiratoire qui pourraient s'avérer rédhibitoires pour une activité subaquatique. Le recours à un examen paraclinique est bien souvent orienté par ces deux éléments et n'est contributif que si l'on sait ce que l'on cherche. En effet, il faut privilégier une attitude pragmatique à une attitude systématique dans ces indications.

Lors d'une première visite, il est utile de rechercher tous les antécédents respiratoires décrits ci-après, de rechercher si une thérapeutique particulière est en cours et de se poser la question de l'état physique du sujet (sédentaire, actif, sportif...). La recherche de facteurs de risque respiratoires comme le tabagisme fait partie de cette démarche.

### **2.1.- 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 considérer avec sérieux (Chim et coll. 2006). Il faudra s'assurer de leur guérison pour autoriser la plongée : les risques de surpression pulmonaire ou une altération des échanges gazeux sont à craindre dans le cadre des pathologies créant une obstruction bronchique et/ou une atteinte alvéolaire fonctionnelle.

Pour les pleurésies infectieuses, c'est le risque de pneumothorax qu'il faudra envisager en raison de la fragilisation de la plèvre.

Une grande attention doit également être portée aux abcès pulmonaires et aux séquelles de piégeage aérien que cela entraîne.

### **2.2.- Maladies respiratoires chroniques**

Les maladies obstructives exposent particulièrement à la diminution de débit bronchique avec piégeage gazeux distal (donc au risque de barotraumatisme pulmonaire) et hypoventilation alvéolaire malgré un travail ventilatoire augmenté à l'effort. La définition, le diagnostic et la prise en charge (thérapeutique et suivi) de ces maladies ont été renouvelés et sont actualisés régulièrement par les groupes de travail internationaux du GOLD COPD (*Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease*) et GINA (*Global Initiative for Asthma*).

#### **a) La bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO)**

En France, elle concerne 7,5 % des personnes de plus de 40 ans et presque autant les femmes que les hommes, et est fréquemment associée à plusieurs comorbidités (Inserm 2015). Elle est caractérisée par un trouble ventilatoire obstructif (qui peut être objectivé sur une boucle débit-

volume) et peut 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 à terre et en normobarie de distension dynamique et d'une altération de la ventilation alvéolaire lors de l'activité physique (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 plongée 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).

Lorsque l'anamnèse, l'interrogatoire et les éléments cliniques font évoquer une possible BPCO, il est indispensable de quantifier l'atteinte fonctionnelle par une EFR. L'enregistrement d'une courbe débit-volume d'expiration forcée est alors un minimum, éventuellement répété après aérosol bronchodilatateur (épreuve de réversibilité) et complété par une mesure pléthysmographique du volume résiduel et du rapport VR/CPT. Avec les éléments cliniques, les résultats de l'EFR permettent d'estimer l'impact fonctionnel et de discuter avec le candidat plongeur les conditions particulières des activités qu'il envisage. En effet, la littérature contient très peu de données d'accidents de plongée en rapport avec une BPCO. Cependant, si la plongée de loisir est effectuée dans des conditions qui limitent l'effort et les contraintes (eau tempérée, peu de courant, profondeur et durée limitées), des BPCO en stade 1 GOLD ou dans une frange de stade 2 proche du 1 pourraient la pratiquer. Un VEMS inférieur à 70 % de la théorique constituait une limite selon les recommandations de la *British Thoracic Society* (2003). La définition de limite inférieure de la normale (LIN) selon le Z-score des références GLI est plus appropriée pour des sujets d'âge différents que la seule limite de 70 % de la valeur théorique (Guillien 2018).

### **b) L'asthme**

La maladie asthmatique est sans doute la plus retrouvée dans les discussions au sujet des contre-indications à l'hyperbarie en général et à la plongée en particulier. En effet, de nombreux asthmatiques ne déclarent pas leur maladie et plongent dans le cadre du loisir. Interrogés, et bon nombre de ces derniers déclarent n'avoir eu 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 ne le démontrent pas (Lynch et Bove 2009, Adir et Bove 2016, Coop et coll. 2016, Muller et Rochoy 2018).

L'examen médical devra donc rechercher par l'interrogatoire, l'examen clinique et l'enregistrement des courbes débit-volume, les antécédents et les signes évocateurs d'un

syndrome obstructif expiratoire occasionnel. La suspicion d'une maladie asthmatique justifiera un approfondissement anamnestique et paraclinique : 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). Eu égard aux contraintes ventilatoires rencontrées en hyperbarie immergée, une appréciation qualitative et quantitative spécialisée doit être recherchée en cas de doute.

Le diagnostic ne peut pas être simplement « asthme » sans autre qualification et sans prise en compte du type de traitement requis pour obtenir la stabilisation symptomatique et fonctionnelle. De faux diagnostics positifs en particulier chez l'enfant, comme l'obstruction laryngée inductible<sup>2</sup> (Halvorsen et coll. 2017), brouillent encore les décisions de contre-indication des activités physiques et trop de prises en charge d'asthmes vrais sont encore incomplètes à tout âge (suivi allergologique seul sans données d'EFR...). En 2019 beaucoup de patients n'ont pas encore un traitement adapté et l'observance n'est bonne que pour une moitié d'entre eux environ. Sans les éléments actuellement requis pour la classification phénotypique et la stabilité clinique (GINA 2019), il ne semble pas possible de discuter le CACI pour la plongée de sujets déclarés ou soupçonnés asthmatiques. Même chez les patients stabilisés, le passage en asthme aigu reste possible (Inserm, 2015). En plongée, le froid (ambiant ou inhalation de gaz froid et sec), l'effort (augmentation du débit inhalé), l'anxiété peuvent déstabiliser et déclencher une obstruction bronchique aiguë. **L'asthme au froid** et **l'asthme d'effort** sont donc considérés comme des **contre-indications** pour les activités subaquatiques.

Dans l'état actuel des connaissances, trois aspects de l'asthme doivent être pris en compte pour envisager la possibilité de plonger en loisir : le diagnostic qualitatif et quantitatif, la symptomatologie actuelle et au cours des mois et semaines précédents et le traitement en cours. Les éléments de diagnostic doivent permettre de situer la personne dans la classification GINA (antécédents personnels et familiaux, état fonctionnel documenté : EFR et allergologie...). La situation symptomatologique doit distinguer entre asthme contrôlé, asthme partiellement contrôlé et asthme non contrôlé (tableau I) selon les recommandations de la Société de pneumologie de langue française (SPLF) (Raheison et coll. 2016). Le traitement suivi apporte un autre critère de jugement (GINA 2019).

Il est globalement admis en plongée de loisir qu'un asthme sous traitement de palier 1 à 2 (asthme intermittent léger) sans crise récente, avec un examen clinique normal, des explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) normales, y compris avec test pharmacodynamique, n'est pas une contre-indication à la plongée.

Un asthme permanent, modéré ou sévère (aux paliers thérapeutiques 3 ou 4) est une contre-indication stricte à la plongée autonome pour Tetzlaff et coll. 1998 et 2002, Coëtmeur et coll. 2001, Ong et coll. 2009, Coop et coll. 2016, Muller et Rochoy 2018. Dans une revue récente, Gore et coll. (2019) considèrent comme contre-indications :

- l'âge < 16 ans
- des variations quotidiennes de plus de 15 % du débit expiratoire de pointe (DEP) malgré un traitement adéquat,
- des débits abaissés (VEMS et DEP < 80 %, VEMS/CVF < 70 % des valeurs prédites),
- des variations de plus de 15 % du VEMS ou du DEP après effort.

---

<sup>2</sup> Voir chapitre XII ORL

Selon les référentiels les plus récents (SPLF 2016 et GINA 2019), seuls les sujets porteurs d'un asthme contrôlé confirmé par le pneumologue traitant peuvent éventuellement être autorisés à plonger 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 la plongée.

Critères	Asthme contrôlé	Asthme partiellement contrôlé	Asthme non contrôlé
Symptômes* diurnes	0 ou $\leq 2$ / 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 $\leq 2$ / 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 I :** Niveaux de contrôle de l'asthme selon les recommandations de la SPLF (d'après Raheison et coll. 2016).

En cas de survenue d'une crise (peu sévère) il est recommandé d'attendre au moins deux jours avant de plonger, en tous cas après normalisation du débit de pointe ou du VEMS.

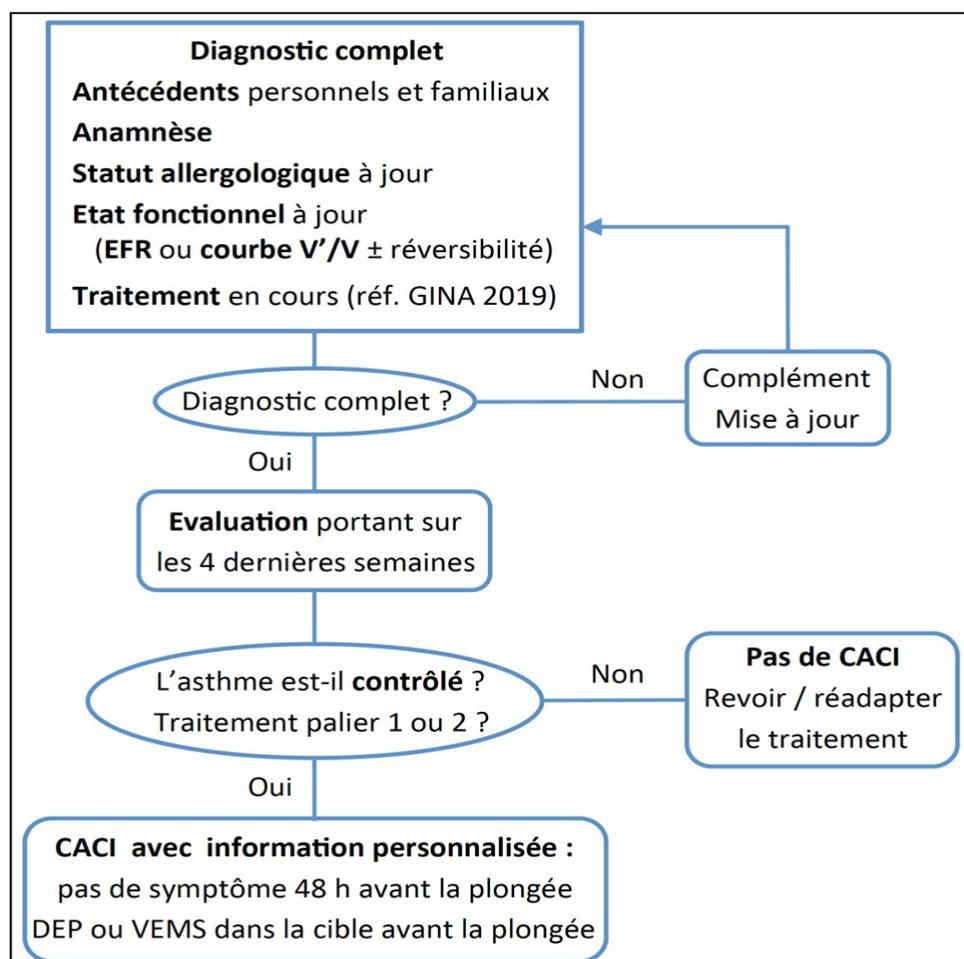
Pour les activités en piscine, il conviendra de s'assurer lors d'expositions préalables que les conditions locales (taux de chlore et de chloramines atmosphériques) ne provoquent pas une gêne respiratoire.

Par ailleurs, l'action pro-inflammatoire des  $PiO_2$  élevées augmente la réponse bronchoconstrictrice. Il est donc souhaitable de ne pas y exposer des muqueuses bronchiques en condition inflammatoire instable (asthme non ou mal contrôlé, BPCO, bronchopneumopathies intercurrentes) (Regnard 1987).

Chez les personnes asthmatiques autorisées à plonger, le suivi régulier de la fonction respiratoire est vivement recommandé : suivi personnel avec carnet de symptomatologie et enregistrement des débits de pointe et suivi médical avec enregistrement de la courbe débit/volume (voire étude de la réversibilité) une fois par an ou davantage selon avis du

spécialiste et évolution symptomatique. Chez les sujets cliniquement stabilisés, cet examen peut dater de plusieurs mois et n'est pas nécessairement répété au moment de l'établissement du CACI.

La démarche décisionnelle en présence d'un asthme est résumée dans la figure 1.



**Figure 1 :** Démarche décisionnelle pour l'attribution du CACI devant un asthme

### c) Les états frontières : chevauchement asthme-BPCO (*Asthma-COPD overlap*)

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...) : 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 entités constituent des contre-indications à la plongée.

#### **d) 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 une pratique subaquatique. Des études à large échelle manquent dans ce sens. Néanmoins si l'atteinte interstitielle altère la barrière alvéolo-capillaire au point d'avoir un impact sur l'hématose, cette atteinte constituera une contre-indication à la plongée (Neumann 1999, Wendling et coll. 2004).

À l'inverse, des patients atteints de sarcoïdose non fibrosante, asymptomatiques lors d'efforts modérés, avec un bilan fonctionnel normal (spirométrie complète, TLCO) peuvent être autorisés à plonger.

Le médecin devra le plus souvent s'en remettre au cas par cas et demander l'avis d'un spécialiste en cas de doute. Une épreuve d'effort avec mesure de la SaO<sub>2</sub> peut être indiquée.

#### **e) Les pathologies séquellaires**

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

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 permettre les activités exposant à un risque élevé de production de bulles circulantes.

Enfin, les séquelles de pneumopathies virales (SARS-CoV-2 en particulier) feront l'objet d'une évaluation approfondie décrite chapitre XXVII, p. 285.

#### **f) Les antécédents de pneumothorax**

Les pneumothorax sont classés selon leur étiologie (Noppen et De Keukelere 2008) en :

Pneumothorax spontanés :

Primaires : pas de cause apparente. Ils sont cependant associés à des anomalies diffuses et souvent bilatérales de la plèvre (Haynes et Baumann 2011), et pas seulement provoqués par la rupture de bulles sous pleurales (Grundy et coll. 2012), retrouvées dans 77 à 90 % des cas (Villela et coll. 2018).

Secondaires : présence d'une maladie sous-jacente apparente (p. ex. BPCO, mucoviscidose, syndrome de Marfan, maladie de Delher-Danlos, syndrome de Birt-Hogg-Dubé).

Cataménial : forme particulière d'endométriase.

Pneumothorax traumatiques :

Iatrogènes : secondaires à une biopsie transthoracique, transbronchique ou pleurale, à une cathétérisation veineuse centrale, à une thoracocentèse.

Non iatrogènes : secondaires à une blessure par plaie ou contusion thoracique.

Le pneumothorax et le pneumomédiastin sont des complications rares des activités sportives (Partridge et coll. 1997). Ils surviennent essentiellement à la suite de contusions thoraciques.

Les pneumothorax sont traités par différentes méthodes : drainage, aspiration, pleurodèse (par pleurectomie partielle, électrocautérisation, abrasion pleurale ou talcage sous endoscopie ou thoracotomie) et résection chirurgicale endoscopique de bulles sous-pleurales. Les éléments pathologiques proches de l'emphysème (blebs ou bulles) sont présents chez 59 à 89 % des récidivistes (contre 0 à 15 % des témoins), et dans 100 % des cas ayant bénéficié d'un examen histologique (Casali et coll. 2013).

- **Pneumothorax spontané**

En plongée, le pneumothorax est observé dans 1,2 % des barotraumatismes, soit 18 % des barotraumatismes pulmonaires (Pollock et coll. 2010) dont ils constituent une complication.

Les récurrences après traitement d'un pneumothorax spontané peuvent se produire jusqu'à 107 mois après l'intervention (avec une majorité dans la première année) et vont de 4 ( $\pm$  4) % après pleurodèse chirurgicale (Villela et coll. 2018, méta-analyse sur 3904 patients) à 9,4 % à 90 jours, indépendamment de la méthode (Cattoni et coll. 2019, étude multicentrique sur 843 cas).

Une méta-analyse de 2018 (Walker et coll. 2018) fait même état (sur 29 études et 13548 patients) de 32 % de récurrences avec une très grande dispersion de 8 à 74 %, après pneumothorax primaire, essentiellement dans la première année, avec un risque un peu plus grand chez les femmes, les personnes de faible indice de masse corporelle et des éléments radiographiques de dystrophie pulmonaire. Le taux de récurrence est du même ordre chez le jeune (Han Ng et coll. 2020). Par ailleurs, les fumeurs de cannabis présentent un risque accru de récurrence (Stefani et coll. 2020).

Les meilleurs résultats thérapeutiques sont obtenus après un premier épisode par les méthodes de chirurgie endoscopiques, alors qu'après une récurrence, la thoracotomie avec pleurodèse par abrasion ou pleurectomie a les meilleurs scores (Vuong et coll. 2018) avec 0 à 7 % de récurrences selon les séries. C'est pourquoi la reprise de la plongée subaquatique après traitement chirurgical d'un pneumothorax spontané ne pourrait s'envisager qu'après l'avis motivé et écrit du chirurgien ayant pratiqué l'intervention.

En définitive, quel que soit le traitement dont ils ont fait l'objet, et malgré les bons scores obtenus par les méthodes chirurgicales, **les antécédents de pneumothorax spontanés** laissent subsister un taux de récurrence non négligeable qui constitue un risque d'accident barotraumatique inacceptable. Ils doivent donc être considérés comme une **contre-indication** aux variations de pression rencontrées en plongée subaquatique : la survenue d'un pneumothorax en profondeur serait gravissime en raison de l'expansion volumique à la remontée, occasionnant un pneumothorax suffocant et une embolie gazeuse cérébrale.

Le dépistage systématique des facteurs de risque de pneumothorax spontané est basé sur la recherche d'antécédents et la clinique : les sujets de faible indice de masse corporelle (IMC < 22), fumeurs (Amjadi et coll. 2007) ou possédant de « gros poumons » (mesures spirométriques au-delà de 120 % des valeurs prédites, van Hulst et coll. 2011) seraient plus à risque. La recherche systématique de dystrophie bullaire pourrait être faite par tomodensitométrie haute définition, mais un tiers de la population générale en serait porteur (de Bakker et coll. 2019). Il n'est donc pas possible de la recommander.

- **Pneumothorax iatrogène ou traumatique**

Il n'existe pas de données épidémiologiques significatives concernant les accidents barotraumatiques liés à des antécédents de pneumothorax iatrogènes ou post-traumatiques ou de traumatismes thoraciques. Les centres hyperbares français, interrogés dans le cadre de la préparation de ces recommandations, ne rapportent pas de tels accidents.

La *British Thoracic Society* (BTS 2003) propose qu'un antécédent de pneumothorax traumatique ne soit pas une contre-indication s'il est cicatrisé et guéri, avec une fonction pulmonaire normale, incluant boucle débit-volume et TDM thoracique. La *South Pacific Undersea Medical Society* (SPUMS 2010) considère que tout antécédent de pneumothorax spontané, de plaie thoracique pénétrante ou de chirurgie à thorax ouvert constitue un risque excessif de barotraumatisme.

En suisse, Héritier et Russi (1993) considèrent le pneumothorax spontané primaire ou secondaire comme une contre-indication absolue, et le pneumothorax traumatique ou iatrogène comme une contre-indication relative, à juger d'après l'aspect radiologique.

En France, la commission médicale de prévention nationale de la FFESSM, à la suite d'une étude interne non référencée, indique depuis 2010 sur son site internet ([http://medical.ffessm.fr/?page\\_id=460](http://medical.ffessm.fr/?page_id=460)) que le pneumothorax ou pneumomédiastin traumatique doit faire l'objet d'une contre-indication temporaire pendant trois mois, sous réserve de l'absence d'anomalies morphologiques sous-jacentes. L'application de ces conditions ne semble pas avoir eu de conséquences sur l'accidentologie en France.

En aéronautique, la plupart des sociétés savantes considèrent que les patients ayant subi un pneumothorax doivent respecter un délai de 14 jours après résolution radiographique avant de prendre l'avion. Cependant, une revue de la littérature effectuée par Bunch et coll. (2013) ne retrouve pas de support scientifique à ce délai. Pour l'évacuation sanitaire des blessés, Sacco et Calero (2014) ne trouvent pas de justification à ces 14 jours. Zonies et coll. (2018) affirment même que le délai peut être réduit à 72 heures. Pour le personnel navigant, la *décision d'aptitude à la suite de la guérison complète d'un pneumothorax traumatique résultant d'un accident ou d'une blessure peut être acceptable si la résorption totale du pneumothorax a été démontrée* (Agence européenne de sécurité aérienne 2019).

Cependant les conditions ventilatoires et de variation de pression en aéronautique sont sensiblement différentes de celles rencontrées en plongée.

Au total :

- **Un antécédent de pneumothorax spontané, primaire ou secondaire, constitue une contre-indication absolue à la plongée subaquatique en raison du risque gravissime que serait la survenue en profondeur d'un nouveau pneumothorax spontané.**

- En présence d'un **antécédent de pneumothorax traumatique, iatrogène** ou de chirurgie thoracique chez un plongeur qui souhaite reprendre ses activités, il s'agit d'une **contre-indication relative** qui pour être levée nécessite de respecter un délai de cicatrisation de trois mois après résolution et de n'autoriser éventuellement la plongée qu'après une exploration fonctionnelle et un examen tomodensitométrique thoracique haute résolution. La reprise de la plongée est possible avec une fonction ventilatoire satisfaisante et en l'absence de lésions résiduelles ou sous-jacentes.
- Dans le cadre d'une surpression pulmonaire survenue en plongée avec pneumothorax ou pneumomédiastin, il conviendra de prendre également en compte l'état neurologique du plongeur avant d'autoriser la reprise de la plongée.

Il est recommandé de demander les avis du pneumologue ou du chirurgien thoracique ou du médecin hyperbariste pour asseoir la décision.

De plus, une information sur le risque de survenue en profondeur d'un éventuel pneumothorax devra être donnée au candidat plongeur ayant un tel antécédent.

### **g) L'insuffisance respiratoire**

Il semble difficile d'envisager qu'un insuffisant respiratoire chronique désire participer à des activités subaquatiques. Il est fort probable que le médecin prenant connaissance de cette insuffisance respiratoire la considère comme une contre-indication à cet exercice.

## **3.- LE DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES CRÉÉES PAR L'ACTIVITÉ SUBAQUATIQUE PRATIQUÉE**

Les atteintes respiratoires directement liées à l'activité subaquatique sont avant tout des atteintes aiguës (surpression pulmonaire, OPI, noyade partielle). Il s'agit d'accidents dont la clinique est bruyante. On ne parle alors pas de dépistage mais de diagnostic et d'urgence médicale à traiter rapidement. Leurs facteurs étiologiques (FOP, HTA, dystrophie bulleuse...) peuvent selon les cas constituer des contre-indications aux activités subaquatiques. Leurs séquelles (neurologiques, respiratoires) doivent être recherchées.

Concernant les effets à long terme, les modifications de la fonction ventilatoire observées avec l'âge sont plurifactorielles et ne reflètent pas nécessairement ou complètement une altération due aux activités subaquatiques. Il semble néanmoins possible de faire le diagnostic précoce de l'apparition de syndromes obstructifs périphériques et d'altération de la diffusion alvéolo-capillaire après 40 ans. En effet, dans de nombreuses études, il a été rapporté l'apparition de tels syndromes 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 (Thorsen et coll. 1990, Pougnet et coll. 2013). Ces altérations ne sont cependant pas retrouvées par tous les auteurs : en l'absence d'altération fonctionnelle initiale ou d'épisode pathologique intercurrent, les seules activités en ambiance hyperbare n'auraient pour d'autres (Tetzlaff et Thomas, 2017, Sames et coll. 2018) pas d'effet spécifique à long terme cliniquement significatif sur la fonction respiratoire.

L'interprétation des résultats du bilan fonctionnel respiratoire effectué chez les plongeurs comptant plusieurs centaines ou plusieurs milliers de plongées devra prendre en compte ces éléments (voir chapitre XXIV, La plongée après cinquante ans, p. 239). En effet, les EFR comprenant une boucle débit-volume, une pléthysmographie corps entier et une DLCO permettent des diagnostics d'altérations pouvant être liées à des épisodes pathologiques ou à des caractéristiques individuelles d'évolution avec l'âge (susceptibilité génétique ou

épigénétique, tabagisme ou maladie métabolique et autres facteurs de risques...). La reconnaissance causale de facteurs spécifiques comme l'inhalation hyperoxique répétée, la fréquence et les conséquences cumulées des expositions hyperbares est très difficile et reste non objectivement étayée. La ré-indication des explorations respiratoires aura surtout pour objectif de vérifier si l'état fonctionnel qui pourrait évoluer pour des raisons non subaquatiques, est encore compatible avec la bonne adaptation aux contraintes spécifiques.

#### **4.- LES EXAMENS RECOMMANDÉS (CLINIQUES ET PARACLIQUES)**

##### **4.1.- Pour un premier accès à l'activité**

Outre la recherche des caractéristiques de l'activité proposée, le médecin examinateur recueille, dans la mesure du possible, les données descriptives de l'activité postulée et les consigne dans la fiche médicale de l'intéressé.

L'interrogatoire s'intéressera aux antécédents respiratoires, à l'habitus (addictions, tabac, pratique d'activité physique) et aux prises médicamenteuses éventuelles. L'autoquestionnaire permet une première approche.

La démarche particulière à suivre dans les suites de l'épidémie CoViD-19, à la recherche de séquelles éventuelles qui pourraient majorer les risques liés à l'immersion et à la plongée, fait l'objet du chapitre XXVII page 284.

L'examen clinique est ciblé : 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. Un examen clinique normal n'est pas forcément gage d'absence de contre-indication. 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 pratiquant. Néanmoins si des examens paracliniques récents de bonne qualité, voire anciens, ont été réalisés et permettent d'évaluer l'état respiratoire de ce dernier, il n'est pas indiqué de les faire effectuer de nouveau.

De nombreux examens complémentaires sont à la disposition du praticien pour explorer l'appareil respiratoire. Cependant parce qu'ils sont trop invasifs, irradiants, difficilement accessibles, encore à l'état de recherche, en cours d'évaluation, n'explorant que trop peu de problèmes respiratoires, ou peu discriminants, certains d'entre eux ne peuvent être utilisés pour la recherche systématique d'une atteinte non compatible avec une activité subaquatique. 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 pratiquant 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 ou une distension pulmonaire dynamique à l'effort et permettre l'inhalation de gaz plus dense qu'en normobarie. Les maladies respiratoires obstructives doivent donc être recherchées.

La plèvre viscérale ne doit pas risquer de se dé-symphyser 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.

Trois examens sont souvent cités par les comités d'experts comme prescrits dans le cadre des bilans de recherche des contre-indications : la radiographie thoracique, l'exploration fonctionnelle respiratoire (EFR) et les tests d'hyperréactivité bronchique (Wendling 1996, EDTC 2003, Barès 2006).

Le meilleur moyen de connaître les capacités respiratoires du candidat à un instant donné est d'effectuer une EFR de repos et, en cas de doute sur les capacités d'effort ou de gêne fonctionnelle rapportée, une exploration respiratoire d'effort (le minimum étant une saturométrie d'effort). En effet, des EFR initiales ont plusieurs avantages : elles ne sont pas invasives, renseignent sur les capacités ventilatoires du sujet, 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 au regard d'autres examens et sont une base pour des comparaisons ultérieures.

**En première visite** et sans point d'appel (sujet de moins de 40 ans, absence d'antécédents et de symptomatologie lors d'activités physiques d'intensité significative, examen clinique strictement normal), l'EFR n'est pas nécessaire.

À l'inverse, chez des sujets non sportifs ou sédentaires de plus de 40 ans, fumeurs ou ayant eu des épisodes pathologiques non documentés, l'analyse d'une courbe ou boucle débit-volume de l'expiration forcée (BDV) permet un premier dépistage. Il existe sur le marché de nombreux spiromètres numériques de faible encombrement et d'un prix raisonnable rendant cet examen de dépistage possible au cabinet du médecin généraliste. En cas de découverte de syndrome obstructif l'épreuve de réversibilité aux  $\beta$ 2-mimétiques peut être réalisée immédiatement.

Lorsqu'une anomalie dépistée par la courbe débit-volume doit être mieux qualifiée, une EFR plus complète (pléthysmographie) apporte d'autres informations : volume résiduel, qualification d'une distension statique, mesure de résistances des voies aériennes, etc.

Il est préférable d'exprimer les résultats des mesures de volumes et débits pulmonaires conformément aux normes internationales GLI (*Global Lung Initiative*) qui cernent mieux les valeurs atypiques individuelles et minimisent le risque de faux diagnostic d'anormalité (Quanjer et coll. 2012<sup>a,b</sup>, Guillien 2018, Wingelaar 2018).

L'épreuve de provocation bronchique, non spécifique, n'est pas à réaliser de façon systématique et doit être discutée selon le cas, sur indication du spécialiste, si l'anamnèse, l'examen clinique et les EFR déjà réalisés ne lui ont pas permis de se déterminer.

La radiographie thoracique systématique n'est pas recommandée. Elle n'est admise par la HAS que pour certaines activités professionnelles dans des cas très particuliers définis par la réglementation. Dans tous les autres cas, la radiographie thoracique n'est prescrite que sur des indications précises (HAS 2009, Société Française de Radiologie et Société Française de Médecine Nucléaire 2013). L'exploration radiologique de première intention, lorsqu'elle est rendue nécessaire par la présence d'éléments objectifs, est la tomodensitométrie faible dose (Société Française de Radiologie et Société Française de Médecine Nucléaire 2013).

La recherche systématique de *blebs* ou de bulles intrapulmonaires n'apparaît pas justifiée. Une étude *post-mortem* récente (de Bakker et coll. 2019) montre en effet une prévalence de plus de 30 % de ces anomalies dans la population générale (étude sur 130 cas), hors pathologie pleuro-pulmonaire identifiée, avec un score plus élevé dans la tranche 41 - 50 ans (50 %) sans qu'il soit possible d'en donner une explication. Les auteurs concluent qu'il n'y a pas d'indication à pratiquer un examen tomodensitométrique systématique chez les plongeurs de loisir, en dehors d'antécédents pulmonaires sérieux.

En revanche, tout antécédent de pneumothorax (spontané, traumatique ou iatrogène) justifie la prescription d'une tomodensitométrie haute résolution.

L'exploration cardio-pulmonaire d'effort n'a d'indication qu'en cas de gêne symptomatique pendant l'activité physique.

#### **4.2.- Examens périodiques et périodicité recommandée**

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

Les explorations complémentaires seront orientées par l'état clinique, la survenue éventuelle d'affection intercurrente et les changements cliniques ou symptomatiques intervenus depuis le bilan précédent. Chez les sujets de plus de 40 ans une BDV semble intéressante à répéter tous les 5 ans si les antécédents, la clinique et la précédente BDV sont sans particularité. Dans le cadre d'une suspicion clinique, la BDV pourra être répétée tous les 2 ans, en particulier si la personne rapporte un changement de tolérance à l'activité physique, des modifications d'habitus ou la survenue d'épisode pathologique.

#### **4.3.- Après maladie ou accident**

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

- l'accident de santé ne laisse pas de séquelles : il y aura alors retour à cette activité et des restrictions ou des adaptations de pratique ne seront émises qu'en fonction de l'origine et de la nature de l'accident de santé (crise d'asthme, pneumothorax par exemple), le but étant d'éviter une récurrence du fait de l'activité subaquatique ;
- l'accident de santé laisse des séquelles respiratoires. Elles devront alors être évaluées et pourront aboutir à une restriction partielle ou totale des activités subaquatiques.

Il faut donc préciser quelles séquelles sont à risque pour l'activité en question. Il est vrai que des altérations pleurales, des séquelles de piégeage 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 envisagée.

Or, le médecin 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 placés auprès de centres hyperbares hospitaliers, doivent pouvoir être interrogés en cas de décision difficile à prendre.

## **5.- LES RESTRICTIONS ET LES ACTIVITÉS AUTORISÉES EN FONCTION DES RÉSULTATS DES EXPLORATIONS**

Toute atteinte broncho-pleuro-pulmonaire ou des voies aériennes supérieures, qu'elle soit aiguë ou chronique et qui entraîne un déficit non améliorabile de la fonction respiratoire, même léger, doit être considérée comme une contre-indication à l'apnée subaquatique de compétition.

Concernant les activités subaquatiques avec appareil de protection respiratoire, les pratiquants ne doivent pas présenter d'antécédents respiratoires, de facteurs de risque respiratoire (tabagisme chronique actif, thérapeutiques à visée respiratoire, sédentarité...) ou d'anomalie clinique respiratoire associés à des déficits fonctionnels respiratoires fixés.

La fonction respiratoire du candidat devra être d'autant plus proche de la normalité que l'activité subaquatique

- nécessitera des efforts physiques,
- se déroulera en eaux froides,
- sera profonde, fréquente, effectuée avec des mélanges gazeux entraînant des fortes résistances respiratoires,

Peuvent être considérées comme pathologiques ou requérant un approfondissement d'évaluation (demande d'avis spécialisé) les valeurs suivantes :

### **• En référence aux normes CECA (Quanjer et coll. 1993) :**

- volumes mobilisables < 80 % de la valeur théorique,
- VEMS < 90 % de la valeur théorique,
- coefficient de Tiffeneau < 75 %.

Une valeur du DEM 25-75 inférieure à 80 % de la valeur prédite pourra faire proposer des investigations complémentaires. Toutefois, elle n'est plus considérée comme une variable déterminante à elle seule (Quanjer et coll. 2014).

### **• En référence aux normes GLI 2012 :**

Pour chaque paramètre, le critère à prendre en compte est le Z-score qui indique l'écart à la moyenne, quantifié par l'écart-type, auquel se trouve la mesure, pour une population de référence de même ethnie appariée en sexe, âge et taille (Guillien et coll. 2014). 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 (inférieur de moins d'un écart-type à la moyenne) : pas de contre-indication à la plongée.
- Si Z-score < -1,96 (inférieur de plus de deux écart-types à la moyenne) : contre-indication à la plongée.
- Si Z-score compris entre -1,64 et -1,96 : des investigations complémentaires sont nécessaires.

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

Nous avons vu par ailleurs que certaines affections étaient rédhibitoires pour les activités subaquatiques et que les EFR seules ne permettaient pas de prendre une décision (par exemple les pneumothorax spontanés, l'asthme non contrôlé ou les piégeages aériens des dystrophies bulleuses).

### **Recommandation n° 3**

Lors d'une première visite, il faut rechercher les antécédents d'affections respiratoires aiguës et chroniques, les thérapeutiques en cours et les facteurs de risque respiratoires (allergies, tabagisme).

Lors de la visite initiale, l'interrogatoire détaillé et l'examen clinique approfondi seront complétés, en cas de doute sur un élément fonctionnel au repos comme à l'effort, par une analyse de la courbe débit-volume, quel que soit l'âge du sujet. En cas d'anomalie, une EFR complète peut être indiquée, au repos et éventuellement à l'effort.

Pour les visites ultérieures, la courbe débit-volume ou l'EFR seront renouvelées en fonction du contexte initial et lorsque le sujet rapporte un changement de tolérance à l'activité physique, des modifications d'habitus ou la survenue d'épisode pathologique. Au delà de 40 ans, elle peut être répétée tous les 5 ans.

Aucun examen radiologique n'est indiqué à titre systématique. Si le contexte clinique l'impose, la tomodensitométrie à faible dose doit être privilégiée. Toutefois, les antécédents de pneumothorax seront explorés par tomodensitométrie thoracique haute résolution à la recherche d'anomalies morphologiques fines. (3C)

Une exploration approfondie, éventuellement par un pneumologue, est nécessaire en cas de modification de l'état initial ou après un accident de santé intéressant l'appareil respiratoire.

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 autorisés à plonger. (3C)

Les traitements par antagonistes des récepteurs des leucotriènes ne sont pas souhaitables en raison des risques que leurs effets secondaires peuvent faire courir en plongée.

En raison des risques élevés de récurrence, les antécédents de pneumothorax spontanés, même traités chirurgicalement, doivent être considérés comme contre-indication à la plongée, en scaphandre ou en apnée. Les antécédents de pneumothorax traumatiques ou iatrogène, ou de chirurgie thoracique devront faire l'objet d'une exploration approfondie par pléthysmographie et TDM HD. La décision devra prendre en compte l'avis du pneumologue ou chirurgien traitant. (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.
- Agence européenne de sécurité aérienne. European Union Aviation Safety Agency. Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Part-MED Medical Requirements for air crew. Issue 2. 28 January 2019. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/aptitude-aeromedicale-des-personnels-navigants> [juin 2020]
- 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. Epub 2007 Sep 21.
- ANSM. Montélukast (Singulair® et génériques) : risque de survenue d'effets indésirables neuropsychiatriques, renforcement des mises en garde. Lettre aux professionnels de santé. Février 2020. <https://www.ansm.sante.fr/S-informer/Actualite/Montelukast-Singulair-et-generiques-indique-dans-le-traitement-de-l-asthme-l-ANSM-rappelle-les-risques-de-survenue-d-effets-indesirables-neuropsychiatriques-Point-d-information>
- 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.
- Boussuges A, Ayme K, Chaumet G, Albier E, Borgnetta M, Gavarry O. Observational study of potential risk factors of immersion pulmonary edema in healthy divers: exercise intensity is the main contributor. *Sports Med Open.* 2017; 3(1): 35. doi: 10.1186/s40798-017-0104-1.
- Bove AA. Medical aspects of sport diving. *Med Sci Sports Exerc.* 1996, 28, 5: 591-5.
- Bove AA. Pulmonary Aspects of Exercise and Sports. *Methodist DeBakey Cardiovasc J.* 2016 Apr-Jun;12(2): 93-7.
- BTS. British Thoracic Society Fitness to Dive Group. Subgroup of the British Thoracic Society Standards of Care Committee. British Thoracic Society guidelines on respiratory aspects of fitness for diving. *Thorax.* 2003; 58: 3-13.
- Bunch A, Duchateau FX, Verner L, et al. Commercial air travel after pneumothorax : a review of the literature. *Air Med J.* 2013; 32 (5): 268-74.
- 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.
- Casali C, Stefani A, Ligabue G, *et al.* Role of Blebs and Bullae Detected by High-Resolution Computed Tomography and Recurrent Spontaneous Pneumothorax. *Ann Thoracurg* 2013; 95: 249-56.
- 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.
- Cattoni M, Rotolo N, Mastromarino MG, *et al.* Analysis of pneumothorax recurrence risk factors in 843 patients who underwent videothoracoscopy for primary spontaneous pneumothorax: results of a multicentric study. *Interact CardioVasc Thorac Surg* 2020; 1-7. doi:10.1093/icvts/ivaa064.
- Chim H, Soo KH, Low E, Chan G. Severe acute respiratory syndrome in a naval diver. *Mil Med* 2006; 171(6): 491-3.

- Clark JM, Lambertsen CJ, Gelfand R, Flores ND, Pisarello JB, Rossman MD, Elias JA. Effects of prolonged oxygen exposure at 1.5, 2.0, or 2.5 ATA on pulmonary function in men (predictive studies V). *J Appl Physiol* (1985). 1999;86: 243-59.
- 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.
- Colebatch HJ, Smith MM, Ng CK. Increased elastic recoil as a determinant of pulmonary barotrauma in divers. *Respir Physiol*. 1976; 26(1): 55-64.
- Coop CA, Adams KE, Webb CN. SCUBA Diving and Asthma: Clinical Recommendations and Safety. *Clin Rev Allergy Immunol*. 2016; 50:18-22.
- 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.
- 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.
- Culver BH, Graham BL, Coates AL, Wanger J, Berry CE, Clarke PK, Hallstrand TS, Hankinson JL, Kaminsky DA, MacIntyre NR, McCormack MC, Rosenfeld M, Stanojevic S, Weiner DJ. [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 Bakker HM, Tijsterman M, de Bakker-Teunissen OJG, *et al.* Prevalence of Pulmonary Bullae and Blebs in Postmortem CT Imaging With Potential Implications for Diving Medicine. *Chest*. 2020; 157(4): 916-23. doi:10.1016/j.chest.2019.11.008.
- EDTC. Fitness to dive standards. 2003. 34 p.
- Faltot J. Volumes pulmonaires et débits maximaux chez le plongeur sportif. Thèse de médecine. Bordeaux II. 1989, n°199.
- Ferrer P, Regnard J, Matran R, Dinh Xuan AT, Eustache JM, Lochart A. Oxygen breathing increases serum neutrophil chemotactic activity and bronchial response to histamine in healthy subjects. *Am Rev Respir Dis* 1988; 137: A300.
- Frosing R, Arnell P, Tjarnstrom J. The role of pulmonary x-ray in "fitness-to-dive" examinations of recreational divers: pulmonary rupture after shallow "bounce-diving", a case report. Undersea and Hyperbaric Medical Society, UHMS Annual Meeting abstracts 1997. <http://archive.rubicon-foundation.org/xmlui/handle/123456789/285>
- 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.
- Gempp E, Demaistre S, Louge P. Hypertension is predictive of recurrent immersion pulmonary edema in scuba divers. *Int J Cardiol*. 2014;172: 528-9.
- GINA. Global Initiative for Asthma. Pocket guide for asthma management and prevention. Updated 2019. Disponible sur [www.ginasthma.org](http://www.ginasthma.org) [consulté le 3 juin 2019].
- 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].
- Gore MD, Dixon G, Stanton AE. Is it safe to SCUBA dive with asthma? *Expert Rev Respir Med*. 2019; 13(11):1069-1077.

Grundy S, Bentley A, Tschopp JM. Primary Spontaneous Pneumothorax: A Diffuse Disease of the Pleura. *Respiration* 2012; 83: 185-9.

Guillien A, Soumagne T, Regnard J, Degano B, Groupe Fonction de la SPLF. Les nouvelles équations de référence du Global Lung Function Initiative (GLI) pour les explorations fonctionnelles respiratoires. *Rev Mal Respir*. 2018; 35(10): 1020-7.

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.

Haldar P, Pavord ID, Shaw DE, *et al.* Cluster Analysis and Clinical Asthma Phenotypes. *Am J Respir Crit Care Med* 2008, 178, 3: 218–24.

Halvorsen T, Walsted ES, Bucca C, *et al.* [Inducible laryngeal obstruction: an official joint European Respiratory Society and European Laryngological Society statement.](#) *Eur Respir J*. 2017; 50: 1602221.

Han Ng GY, Nah SA, Teoh OH, Ong LY. Primary spontaneous pneumothorax in children: factors predicting recurrence and contralateral occurrence. *Pediatric Surgery International*. Published on line: 28 January 2020. <https://doi.org/10.1007/s00383-020-04619-x>.

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.

Haute Autorité de Santé. Principales indications et non-indications de la radiographie du thorax – Rapport d'évaluation technologique. HAS, Saint-Denis La Plaine. 2009. 169 p.

Haynes D, Baumann MH. Pleural controversy: Aetiology of pneumothorax. *Respirology* 2011; 16; 604-10. doi: 10.1111/j.1440-1843.2011.01968.x

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.

Henckes A, Cochard G, Gatineau F, Louge P, Gempp E, Demaistre S, Nowak E, Ozier Y. Risk factors for immersion pulmonary edema in recreational scuba divers: a case-control study. *Undersea Hyperb Med*. 2019; 46(5): 611-8.

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]

INSERM. Informations en santé. Asthme. Inserm 2015. Disponible sur : <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/asthme>. [16 mars 2020]

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.

Lippmann J, McD Taylor D, Stevenson C, Williams J, Mitchell SJ. Diving with pre-existing medical condition. *Diving Hyperb Med*. 2017; 47: 180-90.

Louge P. Effets au long cours de la plongée sous-marine sur le poumon. *In : B. Broussole, JL. Méliet et M. Coulange* (eds). Physiologie et médecine de la plongée (2<sup>e</sup> éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. p 487-92.

Lynch JH, Bove AA. Diving medicine: a review of current evidence. *J Am Board Fam Med*. 2009, 22, 4 : 399-407.

Muller A, Rochoy M. Asthme et plongée : revue de la littérature. *Rev Pneumol Clin*. 2018; 74(6): 416-26.

- Neumann TS. Pulmonary fitness for diving. *In* : Lundgren CEG, Miller JN. *The lung at depth*. Marcel Dekker, New York. 1999, 75-90.
- Noppen M, De Keukelere T. Pneumothorax. *Respiration* 2008; 76: 121–7.
- Ong LM, Bennett MH, Thomas PS. Pulmonary dysanapsis and diving assessments. *Undersea Hyperb Med*. 2009, 36, 5: 375-80.
- Oskar FE. Pulmonary barotrauma: Reflections on its causes. *Eur J Underw Hyper Med* 2001; 2(1): 4-7. [www.eubs.org/documents/EJUHMVol2No1.pdf](http://www.eubs.org/documents/EJUHMVol2No1.pdf)
- 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.
- Partridge RA, Coley A, Bowie R, Woolard RH. Sports-related pneumothorax. *Ann Emerg Med*. 1997 Oct;30(4):539-41.
- Pollock NW, Denoble PJ, Chimiak JM, *et al*. DAN Annual Diving Report – 2010 Edition. Durham, NC: Divers Alert Network, 107 p.
- 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 ventilatoru 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<sup>a</sup>, 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.
- Quanjer PH<sup>b</sup>, Stanojevic S, Cole TJ, Stocks J. GLI-2012 Desktop Software for Individual Calculations. Global Lung Function Initiative. Accessible sur : <https://www.ers-education.org/guidelines/global-lung-function-initiative/spirometry-tools/desktop-individual-calculator.aspx>
- Quanjer PH, Weiner DJ, Pretto JJ, Brazzale DJ, Boros PW. Measurement of FEF25-75% and FEF75% does not contribute to clinical decision making. *Eur Respir J*. 2014; 43(4): 1051-8.
- Raherison C, Bourdin A, Bonniaud P, Deslée G, Garcia G, Leroyer C, Taillé C, De Blic J, Dubus JC, Tillié-Leblond I, Chanez P. Updated guidelines (2015) for management and monitoring of adult and adolescent asthmatic patients (from 12 years and older) of the Société de Pneumologie de Langue Française (SPLF) (Full length text). [*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 (SPLF) (Texte long)*]. *Rev Mal Respir*. 2016; 33(4): 279-325.
- Regnard J, Braccagni P, Eustache JM, Matran R, Le Pechon JC, Conso F, Lochart A. Usual diving hyperoxic breathing can induce airway hyperreactivity in normal subjects. *In* : Corleo C (ed). Proceedings of the XIIIth annual meeting of the European Underwater Baromedical Society (EUBS) 1987. Palermo, Italia.
- 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.
- Russi EW. Diving and the risk of barotrauma. *Thorax*. 1998; 53 Suppl 2: S20-4. Review.
- Sacco F, Calero KR. Safety of early air travel after treatment of traumatic pneumothorax, *International Journal of Circumpolar Health* 2014; 73: 1, 24178. DOI: 10.3402/ijch.v73.24178.

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, 48, 1. *Sous presse*.

Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T, Kjuus H. Lung function over six years among professional divers. *Occup Environ Med* 2002, 59 : 629-33.

Société française de radiologie et Société française de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale. 2013. <https://gbu.radiologie.fr>

Soumagne T, Laveneziana P, Veil-Picard M, Guillien A, Claudé F, Puyraveau M, Annesi-Maesano I, Roche N, Dalphin JC, Degano B. Asymptomatic subjects with airway obstruction have significant impairment at exercise. *Thorax*. 2016 Sep;71, 9 : 804-11.

SPUMS. Guidelines on medical risk assessment for recreational diving. Revised May 2010. Australian and New-Zealand College of Anaesthetists, Melbourne, Australia.

Stefani A, Aramini B, Baraldi C, *et al*. Secondary spontaneous pneumothorax and bullous lung disease in cannabis and tobacco smokers: A casecontrol study. *PLoS ONE* 2020; 15(3): e0230419. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230419>.

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, Reuter M, Leplow B, Heller M, Bettinghausen E. Risk factors for pulmonary barotrauma in divers. *Chest*. 1997; 112(3): 654-9

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, Muth CM, Waldhauser LK. A review of asthma and scuba diving. *J Asthma* 2002, 39, 7: 557-66.

Tetzlaff K, Muth CM. Demographics and respiratory illness prevalence of sport scuba divers. *Int J Sports Med*. 2005; 26, 7: 607-10.

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.

van Hulst R, van Ooij PJ, Houtkooper A, Schlosser NJ. Large lungs in divers, risk for pulmonary barotrauma? *Undersea Hyperb Med*. 2011; 38(5).

Villela MA, Dunworth S, Harlan NP, Moon RE. Can my patient dive after a first episode of primary spontaneous pneumothorax? A systematic review of the literature. *Undersea Hyperb Med*. 2018; 45(2): 199-208.

Vuong NL, Elshafay A, Thao LP, *et al*. Efficacy of treatments in primary spontaneous pneumothorax: A systematic review and network meta-analysis of randomized clinical trials. *Respir Med*. 2018; 137: 152-66. doi: 10.1016/j.rmed.2018.03.009. Epub 2018 Mar 6.

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.

Wendling J. et coll. Aptitude à la plongée (2<sup>e</sup> 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.

Zonies D, Elterman J, Burns C, *et al.* Trauma patients are safe to fly 72 hours after tube thoracostomy removal. J Trauma Acute Care Surg. 2018; 85 (3): 491-4.

## CHAPITRE XII

# OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE

### 1.- INTRODUCTION

La part de l'ORL dans la recherche de contre-indications médicales à la plongée de loisir est importante car les atteintes en rapport avec les activités subaquatiques sont nombreuses : les trois quarts des accidents survenus en plongée sont liés à l'oreille (Renon et Jacquin 1992). En effet, les organes ORL sont soumis à une double contrainte au cours d'une plongée : contact avec le milieu extérieur et variations de pression. Le praticien devra donc connaître les risques encourus, savoir dépister d'éventuelles pathologies préexistantes augmentant le risque grâce aux examens cliniques et para cliniques et formuler d'éventuelles restrictions d'activité.

### 2.- RISQUES ORL ENCOURUS PAR LA PRATIQUE DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES

Les risques que le plongeur encourt en ORL sont essentiellement otologiques. Les risques naso-sinusiens sont moins fréquents (De Rotalier et coll. 2004) et les risques pharyngolaryngés nettement plus rares (Toussaint et Coffine 2001).

#### 2.1.- Les risques otologiques

Le risque principal est la survenue d'un barotraumatisme de l'oreille. Barotraumatisme limité à l'oreille moyenne il entraîne une contre-indication temporaire et une enquête étiologique : manœuvre d'équilibration mal effectuée chez un débutant, épisode rhinopharyngé aigu et passager ou phénomène chronique lié à un dysfonctionnement tubaire de traitement souvent difficile.

La complication redoutée est l'apparition d'une baisse neurosensorielle de l'audition c'est à dire irréversible. Celle-ci peut être la conséquence d'un accident aigu lié le plus souvent à un barotraumatisme de l'oreille interne par forçage tubaire lors d'un Valsalva violent et coup de piston transmis vers les fenêtres de l'oreille interne (par exemple lors d'exercices en formation, lors de descente rapide dans le bleu, ou de tenue de palier avec houle...) ou plus rarement à un accident de décompression de l'oreille interne voire un coup de piston platinaire (saut sur l'oreille, *blast* auriculaire) 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). Cependant, une étude rétrospective récente menée sur 267 plongeurs professionnels ayant entre 10 et 25 ans de plongée (Sames et coll. 2019) montre que la perte auditive n'est pas différente de celle due à l'âge. Elle confirme les observations de Pény (1987) sur les plongeurs de la marine et celle de Klingmann et coll. (2004) sur les plongeurs de loisir.

Le risque de survenue d'une lésion vestibulaire liée à la plongée existe également. Lors des barotraumatismes de l'oreille interne, une telle atteinte peut se rencontrer le plus souvent associée alors à une hypoacousie de perception. Lors des accidents de décompression de l'oreille interne un syndrome vestibulaire aigu est fréquent. Plus rarement il s'agit d'un syndrome cochléo-vestibulaire. Il s'agit de situations d'urgence bien particulières qu'il convient de considérer au cas par cas et dont les séquelles seront évaluées à distance.

Il convient de distinguer également le risque lié au classique incident du vertige alternobarique, qui survient un peu plus souvent à la remontée qu'à la descente.

Il existe en outre un risque d'infection et/ou d'aggravation d'une pathologie inflammatoire lors de certaines situations qui contre-indiquent le contact de l'eau avec l'oreille externe ou moyenne. Il s'agit surtout des otites chroniques ou de leurs séquelles qu'il convient d'évaluer en fonction de chaque situation particulière.

La présence d'eau dans le conduit auditif externe (CAE) peut être responsable d'une macération au niveau du revêtement cutané transformant l'équilibre de la flore saprophyte et favorisant le développement de bactéries pathogènes, en général gram négatif. Ce phénomène est favorisé par l'irritation provoquée par le nettoyage par coton tige, enlevant le film protecteur lipidique cerumineux.

Les exostoses du CAE sont assez fréquentes chez les plongeurs et encore plus chez les surfeurs, pouvant obstruer plus ou moins le conduit et gênant la vision du tympan. Ces excroissances osseuses développées aux dépens des parois sont liées à l'action mécanique de l'eau (plutôt froide). Elles sont en général bien tolérées mais peuvent favoriser avec l'accumulation des squames épidermiques des otites externes à répétition.

## 2.2.- Risque naso-sinusien et pharyngo-laryngé

Le risque est essentiellement la survenue d'un barotraumatisme sinusien. Il s'agit d'une pathologie moins fréquente que le barotraumatisme de l'oreille moyenne surtout dans ses formes graves (Verdalle et Morvan 2013). Il faut différencier le barotraumatisme occasionnel du barotraumatisme récidivant devant faire pousser les investigations. La survenue de ce dernier, si elle a lieu, se produit volontiers en début de pratique et soulève donc le problème de l'examen initial. Les deux tiers des accidents relatés concernent les sinus frontaux ; un tiers intéresse le sinus maxillaire ; aucun cas n'est mentionné dans la littérature pour les autres sinus de la face (De Rotalier et coll. 2004).

Le risque de lésion pharyngo-laryngée est exceptionnel.

## 3.- RECHERCHE DES PATHOLOGIES PRÉEXISTANTES QUI AUGMENTENT LES RISQUES

### 3.1.- Pour le risque otologique

Il s'agit d'abord de rechercher tout dysfonctionnement de la **fonction d'équilibration pressionnelle** de l'oreille moyenne grâce à l'interrogatoire (antécédents d'infections récidivantes ou chroniques rhino-sinusiennes ou otologiques) et l'examen otoscopique avec pratique d'une manœuvre de Valsalva. La pratique des méthodes d'équilibration doit être maîtrisée avant toute activité subaquatique. Une mauvaise équilibration est une contre-indication absolue, tant qu'elle persiste, à la pratique de la plongée. En effet les risques de barotraumatismes y sont élevés. Un facteur important dans ce cadre est la **consommation**

**tabagique chronique** (Schreiner et coll. 1997, Pezzoli et coll. 2017) occasionnant à la longue une rhinite inflammatoire chronique responsable d'un épaissement muqueux et d'une hypersécrétion muqueuse qui altèrent la fonction tubaire. La pratique des sports subaquatiques se trouve être une bonne raison d'initier un arrêt de la consommation de tabac.

Il s'agit ensuite de rechercher des atteintes préexistantes de l'audition par l'interrogatoire et le recueil des données audiométriques. Il faut avoir à l'esprit que le niveau d'audition de l'oreille interne est un paramètre qui ne peut augmenter au cours de la vie. En effet, le nombre de cellules sensorielles, les 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 risques de barotraumatisme) ou les **fractures du rocher**.
- Exogènes ensuite, liés à l'environnement comme le bruit, qu'il soit d'origine professionnelle ou récréative, à la prise de certains médicaments ototoxiques, certaines maladies inflammatoires ou infectieuses...

La pratique de la plongée de loisir accroît nettement les risques de dégradation de l'audition. Il convient 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 ces derniers le recueil des antécédents, des anciens audiogrammes et de l'histoire de leur surdité (aspect évolutif) sera primordial afin d'éviter une surdité bilatérale totale.

Un cas particulier est constitué par la surdité survenant à distance d'une plongée (plus de 24 h) qui peut être liée à une surdité brusque indépendante (d'étiologie virale par exemple) ou à un barotraumatisme par labyrinthisation, c'est-à-dire évoluant vers une souffrance de l'oreille interne (Poncet et coll. 2007).

Concernant le risque vestibulaire, il est nécessaire de distinguer trois cas :

- **Survenue d'un vertige aigu lors d'une plongée**. Le problème est avant tout un risque vital immédiat étant donné la possibilité de désorientation spatiale et de panique. S'y associe également un risque de vomissement et d'inhalation. De tels vertiges peuvent survenir dans plusieurs affections. Le vertige alternobarique survenant généralement à la remontée est très fréquent et doit faire réaliser un bilan de la fonction tubaire. Une stimulation calorique unilatérale peut également être en cause. Le contexte et l'examen sont primordiaux dans le diagnostic de ces causes tout comme celui des atteintes du compartiment vestibulaire lors de barotraumatismes de l'oreille interne ou des accidents de décompression.
- **Des antécédents de vertiges aigus survenus en dehors de la plongée**. Il peut s'agir d'un épisode de vertiges par cupulolithiase. Celui-ci est généralement résolutif, spontanément ou grâce aux manœuvres libératoires autorisant la reprise de la plongée. Il peut s'agir d'une atteinte lésionnelle aiguë du vestibule ou des voies vestibulaires (labyrinthite, névrite vestibulaire). Ces affections compensent

généralement en deux à huit semaines. Bien sûr, il faudra tenter d'établir un diagnostic même rétrospectif mais l'absence de symptômes et la normalité de l'examen clinique permettent d'autoriser la plongée sous-marine.

- **Une histoire de vertiges chroniques ou de vertiges récurrents.** Il faudra généralement recourir au spécialiste pour analyser chaque cas individuellement et tenter non seulement d'établir le diagnostic mais aussi d'évaluer le risque de décompensation lors d'une plongée, qui devrait donc contre-indiquer celle-ci. Ainsi, une suspicion de fistule labyrinthique est une contre-indication absolue. Un malade présentant une maladie de Ménière pourra être autorisé à plonger en dehors des épisodes aigus si les crises sont espacées. Les instabilités chroniques doivent être évaluées notamment les yeux fermés pour anticiper une éventuelle perturbation des informations visuelles lors des plongées. En cas de doute on pourra autoriser une reprise progressive de l'activité en commençant par des milieux plus sécurisés tels que la piscine.

Des antécédents de chirurgie otologique sont, pour certaines interventions, une contre-indication à la plongée. Il en est ainsi des otospongioses opérées en raison des risques accrus de lésion de l'oreille interne à la suite de platinotomies ou platinectomies. Un antécédent de myringoplastie ou de cure d'exostose sur une oreille conservant une fonction tubaire normale autorise la plongée. Les cas plus compliqués d'otite moyenne chronique simple ou cholestéatomateuse doivent être évalués par un spécialiste étant donné les risques liés non seulement au contact de l'eau mais aussi aux dysfonctions tubaires fréquentes dans ces pathologies. L'implant d'oreille (implant cochléaire, implant d'oreille moyenne et implant à conduction osseuse) semble être actuellement un frein à la pratique de la plongée. Selon la pathologie en cause même l'activité de surface pourra être contre indiquée. Par ailleurs, se pose le problème de garantie de l'implant en cas de dysfonction liée à ces activités.

### 3.2.- Pour le risque naso-sinusal et pharyngo-laryngé

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

Au niveau du pharynx, avec la fréquence croissante de prise en charge des syndromes d'apnées obstructives du sommeil (SAOS), un avis peut parfois être demandé. Le traitement par pression positive continue (PPC ou CPAP) ne pose pas de problème pour la plongée. Le traitement chirurgical par UVPP (uvulo-vélo-pharyngo-plastie) n'entraîne pas de problème tubaire en général mais peut favoriser une rhinolalie ouverte. Les orthèses d'avancée mandibulaire peuvent favoriser une dysperméabilité tubaire.

Au niveau du larynx, le **laryngocèle** ou la **trachéostomie** sont des contre indications absolues.

### 4.- DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES CRÉÉES PAR L'ACTIVITÉ SUBAQUATIQUE

Le dépistage des pathologies ORL en plongée nécessite :

- un interrogatoire adapté insistant sur la consommation de tabac (car elle accroît fortement les risques de pathologie ORL dysbarique), les antécédents ORL, l'existence de signes fonctionnels ORL. Les signes fonctionnels recherchés sont otologiques (hypoacousie, acouphènes, plénitude auriculaire, vertiges, instabilité),

rhinosinusiens (obstruction nasale, rhinorrhée, hyposmie ou anosmie, céphalées), laryngopharyngés (dyspnée, dysphonie, dysphagie, toux, fausse route) ;

- un examen clinique ;
- des examens complémentaires : l'audiométrie et la tympanométrie si nécessaire. D'autres examens seront demandés en fonction du contexte.

Après la survenue d'un état inflammatoire aigu de l'oreille moyenne (otite moyenne aiguë, sinusite aiguë), il sera indispensable de s'assurer de la disparition de l'ensemble des symptômes et de la normalité de l'examen clinique et de la fonction d'équilibration de l'oreille moyenne. Au moindre doute, le recours au spécialiste s'impose. De même, toute pathologie ORL chronique ou toute intervention chirurgicale sur l'oreille ou les sinus devra être suivie par un spécialiste qui seul pourra apprécier au mieux l'évolution et autoriser ou non la reprise des activités subaquatiques.

## **5.- LES EXAMENS CLINIQUES ET PARACLIQUES RECOMMANDÉS**

L'examen clinique devra comprendre une otoscopie durant une manœuvre de Valsalva à la recherche d'une mobilité tympanique, une épreuve de la voix chuchotée en champ libre (placé derrière la personne à plus d'un mètre, en utilisant une dizaine de mots bi-syllabiques) ou une acoumétrie au diapason permettant dans certains cas d'orienter vers une atteinte de transmission ou de perception, un examen vestibulaire simple (épreuve de Romberg sensibilisée, recherche d'un nystagmus spontané, d'une déviation posturale lors de la marche aveugle) et un examen de la cavité buccale, du pharynx et des fosses nasales.

### **5.1.- L'audiométrie tonale**

L'audiométrie tonale devient indispensable dès lors que l'interrogatoire ou les épreuves cliniques simples font suspecter une altération de l'audition. Elle permet d'identifier le type de la perte auditive et de la mesurer. Il s'agit d'un examen capital, sensible, spécifique et reproductible, à condition bien sûr que le sujet soit coopérant. Le coût en est peu élevé (53,13 euros, tarif CCAM avec la tympanométrie) et cet examen n'est pas invasif. L'accessibilité de l'examen est aisée puisqu'il est proposé chez la grande majorité des ORL.

Pour en apprécier l'évolutivité, il faut se procurer les audiométries antérieures et s'aider des éventuels signes fonctionnels apparus (gêne auditive, acouphènes). La notion d'exposition au bruit (professionnelle, domestique ou récréative) est également importante à noter car elle participe à une éventuelle dégradation de l'audition.

En cas d'atteinte auditive sur l'audiogramme, et après s'être assuré qu'il ne s'agit pas d'un état aigu (interrogatoire, examen) et que le patient a bien coopéré pendant l'examen, il faudra 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 (cophose unilatérale ou surdité bilatérale sévère supérieure ou égale à 70 dB de perte, et/ ou évolutive), d'autres doivent être appréciées dans leur contexte : une atteinte bilatérale, modérée (jusqu'à 40 dB de perte) et peu évolutive avec une fonction tubaire normale est compatible avec une poursuite prudente de l'activité.

Un suivi régulier sera institué avec un avis spécialisé, selon une périodicité fonction de l'origine et de l'importance du déficit.

## 5.2.-La tympanométrie

Elle peut être utile en visite initiale, en particulier chez l'enfant, lorsqu'une immobilité tympanique est constatée à la manœuvre de Valsalva sous otoscopie, mais il existe des faux négatifs, c'est-à-dire des cas d'obstruction tubaire à tympanométrie normale. En dehors d'une dysperméabilité tubaire ponctuelle, elle renseigne par la compliance sur la flaccidité tympanique.

## 5.3.- Les autres examens possibles

La **vidéonystagmographie** n'est pas utile de façon systématique mais à demander devant des symptômes vertigineux qui, s'ils sont présents, doivent contre-indiquer l'activité en raison des risques potentiels de la survenue d'un vertige en plongée.

La **fibroscopie nasopharyngée** et le **scanner des sinus** sont utiles pour aller plus loin dans l'exploration de tout symptôme nasosinusal chronique ou récidivant (obstruction nasale, rhinorrhée, hyposmie ou anosmie, épistaxis et céphalées) et au moindre doute.

Les **radiographies systématiques des sinus** n'ont pas d'indication. La tomodensitométrie, prescrite par le spécialiste, entre dans le cadre de l'exploration des pathologies sinusiennes.

L'**épreuve de compression en caisson** n'a pas d'indication en plongée de loisir.

## 6.- LES RESTRICTIONS D'ACTIVITÉ ET A CONTRARIO LES ACTIVITÉS AUTORISÉES EN FONCTION DU RÉSULTAT DES EXPLORATIONS

Il est possible d'autoriser chez certains patients la pratique d'activités en surface uniquement. En pratique les activités concernées sont réduites à la nage avec palme en surface et les patients autorisés sont ceux exposés au risque dysbarique (risque de barotraumatisme de l'oreille ou des sinus) ou éventuellement à certaines pathologies otologiques où le risque est infectieux et résulte de la pénétration d'eau dans le conduit auditif externe (perforation tympanique, aérateur transtympanique). Dans ces derniers cas, une protection d'oreille étanche sur mesure et maintenue en place par un bonnet sera indispensable.

## 7.- CAS PARTICULIERS DES JEUNES

En raison de risques d'otites moyennes aiguës ou d'otite séreuse plus importants chez l'enfant, une attention particulière sera nécessaire pour éliminer à l'interrogatoire, l'examen clinique et la tympanométrie tout phénomène otitique chronique ou récurrent pouvant entraver le bon fonctionnement tubo-tympanique.

Par ailleurs, les manœuvres d'équilibration et en premier lieu la manœuvre de Valsalva nécessitent un apprentissage et il faudra bien sensibiliser les jeunes à l'importance fondamentale de ces manœuvres en expliquant qu'elles doivent être apprises de façon à les répéter précocement et régulièrement, sans attendre la survenue de douleurs au cours de la descente.

## **8.- REPRISE APRÈS UN ACCIDENT DE PLONGÉE ORL**

Après avis du spécialiste qui, le cas échéant, a pris en charge le traitement de l'accident, la pratique actuelle est largement partagée dans la communauté médicale (Renon et coll. 2006, Bergmann 2006, Livingstone et coll. 2017, Mallen et Roberts 2020).

### **8.1.- Barotraumatisme de l'oreille moyenne**

Éviction de quelques jours à 15-20 jours selon qu'il est simple ou avec un épanchement rétro-tympanique.

En cas de perforation tympanique, reprise possible 1 mois après la cicatrisation spontanée, vérifiée par otoscopie et impérativement par tympanométrie.

### **8.2.- Barotraumatisme de l'oreille interne**

Éviction de 3 à 6 mois selon la perte initiale auditive, selon la récupération et selon les séquelles acouphéniques. Une information sur les facteurs favorisant ce type d'accident doit être apportée au plongeur.

### **8.3.- Accident de désaturation cochléo-vestibulaire**

L'arrêt des activités est de 4 à 6 mois selon le déficit cochléo-vestibulaire initial, selon la récupération clinique et fonctionnelle (en particulier bonne compensation centrale sur le plan vestibulaire). La recherche d'un shunt droite-gauche est indispensable. L'information et les consignes données seront en rapport avec les résultats de ces examens.

## **9.- CONCLUSION**

La recherche de contre-indications ORL à la pratique des activités subaquatiques de loisir nécessite une bonne connaissance à la fois des pathologies ORL et des risques liés à l'ensemble de ces activités. Ces sports peuvent nécessiter une évaluation par un ORL spécialisé. Mais même en cas d'évaluation positive l'apprentissage au sein d'un club des bons usages en plongée ne saurait être évité, en particulier l'apprentissage de méthodes d'équipression dites passives (non traumatisantes), de la simple déglutition à la protraction de la mandibule et aux contractions isolées du voile du palais, ou l'apprentissage de méthodes dites semi-actives telles le Valsalva modifié sans nez pincé, la manœuvre de Frenzel ou la béance tubaire volontaire.

#### Recommandation n° 4

L'interrogatoire recherchera les antécédents otologiques (infections récidivantes ou chroniques, chirurgie otologique) ou de troubles de l'équilibre.

L'examen clinique devra rechercher toute anomalie de la fonction d'équilibration pressionnelle de l'oreille moyenne, en particulier chez l'enfant, par une manœuvre de Valsalva exécutée sous otoscopie, complétée en cas de négativité par une tympanométrie. Le recours au spécialiste ORL s'exercera de préférence auprès d'un médecin compétent en médecine de la plongée.

La fonction auditive sera évaluée de manière simple (voix chuchotée en champ libre ou acoumétrie au diapason) et une épreuve vestibulaire simple (épreuve de Romberg sensibilisé, épreuve de Fukuda par exemple) complètera l'examen.

Une audiométrie tonale sera pratiquée lorsque l'interrogatoire ou les épreuves cliniques simples font suspecter une altération de l'audition. Un déficit audiométrique devra faire l'objet d'un suivi régulier par un spécialiste.

La radiographie systématique des sinus n'a pas d'indication. Un examen tomodensitométrique pourra être prescrit sur indication par le spécialiste.

---

#### Références

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

De Rotalier P, Conessa C, Talfer S, Hervé S, Poncet JL. Barotraumatismes sinusiens. *EMC - Oto-rhino-laryngologie* 2004; 1 : 232-240.

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 : 270-280.

Herranz González-Botas J, Fojón Polanco S, Soledad López Facal M, Fernández Casabella C, García Casás M. Auditory Threshold in Professional Divers Not Exposed to Noise. *Acta Otorrinolaringologica* 2008; 59: 70-75.

Klingmann C, Knauth M, Ries S, Tasman AJ. Hearing threshold in sport divers: is diving really a hazard for inner ear function? *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2004; 130(2): 221-5.

Livingstone DM, Smith KA, Lange B. Scuba diving and otology: a systematic review with recommendations on diagnosis, treatment and post-operative care. *Diving and Hyperbaric Medicine.* 2017; 47(2): 97-109.

Mallen JR, Roberts DS. Scuba Medicine for Otolaryngologists : Part II. Diagnostic; Treatment, and Dive Fitness Recommendations. *Laryngoscope* 2020; 130(1): 59-64.

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; 5 :723-7.

- Pény C. Etude longitudinale de l'audiogramme chez les plongeurs sous-marins. Thèse méd. Bordeaux 2; 1987. 66 p. 44 réf.
- Pezzoli M, Lofaro D, Oliva A, et coll. Effects of Smoking on Eustachian Tube and Hearing. *Int Tinnitus J.* 2017; 21(2): 98-103.
- Poncet J-L, Kossowski M, Tran Ba Huy P, Frachet B. Pathologie pressionnelle en ORL. *Sté Française d'ORL. L'Européenne d'Éditions.* 2007.
- Renon P, Jacquin M, Bruzzo M, Bizea A. Accidents barotraumatiques de l'oreille et des sinus. *In : Broussolle B, Méliet JL, Coulange M (eds). Physiologie et médecine de la plongée (2<sup>e</sup> éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris, 2006. p 247-55.*
- Sames C, Gorman DF, Mitchell SJ, Zhou L. The impact of diving on hearing: a 10–25 year audit of New Zealand professional divers. *Diving and Hyperbaric Medicine.* 2019; 49(1): 2–8.
- Schreiner C, Calhoun K, Seikaly H, Perachio A. The effect of smoking on nasal mucociliary clearance. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery* 1997; 117 : 180-188.
- Toussaint B, Coffine L. Laryngocèle et plongée. *Science & Sports* 2001 ; 16 : 208-281.
- Verdalle P, Morvan J-B. Barotraumatismes sinusiers. *EMC - Oto-rhino-laryngologie* 2013; 1: 1-8.

## CHAPITRE XIII

### APPAREIL LOCOMOTEUR

Le bilan de l'appareil locomoteur procède d'une triple approche :

- évaluer la capacité fonctionnelle musculo-squelettique et les éventuelles limitations ;
- rechercher les atteintes articulaires ou périarticulaires qui pourraient être contre-indiquées en raison de leur forte probabilité de décompensation ou d'aggravation due à l'activité subaquatique ;
- enfin, recueillir *a posteriori* les événements de santé survenus à l'occasion ou au décours des activités subaquatiques.

#### 1.- RAPPEL DES RISQUES DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES POUR L'APPAREIL LOCOMOTEUR :

C'est lors de la phase de décompression que l'hyperbarie en général et la plongée subaquatique en particulier, 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 les tendons ou les articulations. Ces accidents de décompression ostéo-myo-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).

Les activités subaquatiques peuvent aussi provoquer des douleurs musculo-squelettiques par les contraintes mécaniques liées à la nécessité de manipuler l'équipement de plongée dont le poids varie de 20 kg environ pour les simples plongées de loisir jusqu'à 100 kg pour la plongée *tek*. Peuvent ainsi survenir des atteintes rachidiennes ou des membres, essentiellement des membres supérieurs.

Une forme rare 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 des infarctissements de la moelle osseuse d'origine bullaire, la compression des capillaires par les bulles, un relarguage de substances vaso-actives et procoagulantes par les adipocytes laissés (Jones et coll. 1993). Elles restent cliniquement silencieuses pendant des intervalles allant de quelques mois à quelques années. On en distingue deux formes : épiphysaire (ou juxta-articulaire), proche de la surface articulaire et susceptible de provoquer une symptomatologie, et méta-diaphysaire (ou médullaire), à distance des surfaces articulaires, sans manifestation clinique (Davidson 1972).

La prévalence de cette affection varie considérablement selon les conditions de l'exposition hyperbare : dans le passé, on relevait chez les tubistes (travailleurs dans les chantiers hyperbares des tunnels) jusqu'à 35 % d'OND. Cette pathologie est devenue rarissime depuis

l'application des tables de décompression modernes (Le Péchon 2006). Alors que la prévalence chez les plongeurs professionnels est d'environ 3,4 % (Coulange et coll. 2006) elle n'est pas connue pour les plongeurs de loisir. Il n'y a en effet pas d'examen ni de recherche systématique chez eux en ce sens.

En plongée de loisir, les extrémités peuvent être atteintes par des lésions traumatiques ou toxiques, car ce type de plongée s'effectue très souvent sans protection de la peau contrairement à ce qui est habituel chez les scaphandriers professionnels. Des lacérations de la peau, parfois minimales après avoir touché un corail, des surfaces métalliques incrustées ou autre objet abrasif, ont tendance à évoluer en lésions chroniques infectées surtout si elles sont exposées à l'eau de mer d'une façon répétitive et laissées sans traitement adéquat. Des lésions toxiques par piqûres venimeuses (méduses, cônes, poissons-pierre, etc.) peuvent produire des cicatrices douloureuses ou dans quelques cas, des lésions chroniques ou nécrotiques des tissus mous sous-dermiques avec des douleurs difficilement curables et une impotence fonctionnelle. Des lésions intra-articulaires par piqûres d'oursin ou d'*Acanthaster* peuvent être à l'origine d'impotence fonctionnelle et d'arthrites infectieuses.

S'ajoutent aux risques spécifiques les risques traumatiques de chutes de plain-pied ou de hauteur, les collisions entre plongeurs lors du saut dans l'eau, la difficulté pour escalader une échelle de remontée par mer agitée etc.

## **2.- RECHERCHE DES PATHOLOGIES PRÉEXISTANTES QUI AUGMENTENT LES RISQUES**

Une atteinte fonctionnelle de l'appareil locomoteur est susceptible d'accroître le risque d'un accident de plongée sous trois aspects :

- une atteinte juxta-articulaire de l'extrémité supérieure d'un os long peut empêcher les manipulations correctes de l'équipement (détendeur, veste, etc.) de même que la sortie de l'eau par une échelle.
- si l'extrémité inférieure est touchée, le déficit de motricité peut rendre difficile le maintien de la position dans l'eau et en cas de problèmes de flottabilité de se stabiliser et de nager avec une vitesse imposée par le courant. Enfin, dans ce type d'incapacité la sortie de l'eau, surtout dans des situations de mer agitée, peut devenir difficile ou impossible.
- enfin, une éventuelle difficulté ou incapacité d'assister un coéquipier ayant des problèmes techniques ou en détresse, l'impossibilité de le sortir de l'eau, représentent un risque pour le plongeur lui-même et pour son équipier.

Il en est ainsi en particulier :

- de l'arthrose invalidante,
- des déficits fonctionnels post-traumatiques ou postopératoires (amputation, raideur, état douloureux, dysfonction musculo-tendineuse ou insuffisance ligamentaire, paralysies),
- des luxations récidivantes ou de l'instabilité articulaire habituelle,
- des affections rhumatismales en phase aiguë.

Les pathologies rachidiennes congénitales ou acquises (sténose du canal rachidien, hernie discale, séquelles de fracture vertébrale...) pourraient accroître le risque d'accident de désaturation médullaire (Gempp et coll. 2014).

### **3.- LE DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES CRÉÉES PAR L'ACTIVITÉ SUBAQUATIQUES PRATIQUÉE**

Des arthralgies du type *bends* survenant dans les premières heures après des plongées de loisir 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. Pour Gempp et coll (2016) 26 % des accidents de décompression musculo-squelettiques d'une série de 42 observations évoluent vers des lésions d'ostéonécrose objectivées aux IRM consécutives. Les facteurs associés étaient l'âge  $\geq 40$  ans, l'IMC  $\geq 25,5$  kg m<sup>-2</sup>, la durée de plongée  $\geq 40$  min. le délai de traitement  $> 6$  h 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 (Coulange et coll. 2006, McCallum 1994). L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est l'examen privilégié dans cette indication. 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.

### **4.-LES EXAMENS RECOMMANDÉS (CLINIQUES ET PARACLIQUES)**

#### **4.1.- La visite initiale**

Elle repose sur l'interrogatoire et l'examen clinique approfondi. La recherche des documents relatifs aux antécédents auprès des médecins traitants sera nécessaire si l'intéressé n'en dispose pas. 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.

#### **4.2.- Les examens périodiques**

La recherche de contre-indications, lors des examens ultérieurs, tient compte de l'activité exercée ou envisagée dans le futur, et de la survenue éventuelle d'accidents traumatiques ou de désaturation dans l'intervalle.

Le bilan comprend, outre l'interrogatoire, l'examen clinique approfondi, la prise en compte des pièces médicales en possession du plongeur. Une imagerie adaptée à une pathologie éventuelle présentée ou suspectée peut être prescrite. L'IRM est l'examen de référence pour le diagnostic de l'ostéonécrose aseptique (dont l'ostéonécrose dysbarique n'est qu'une forme étiologique : Bayle et coll. 1990, Bolte et coll. 2005), avec une sensibilité de 90 % et une spécificité de 98 % (Puech et coll. 1989). 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 (2018).

Dans les suites d'un accident de désaturation ostéo-myo-articulaire, il est indiqué de pratiquer une IRM précoce (avant 1 mois). Si une nécrose est objectivée à ce stade, un suivi doit être organisé à 6 et 12 mois, que ce soit par IRM (Coulange et coll 2006) ou par TDM (Gempp et coll. 2016) pour surveiller l'apparition d'une OND. Les atteintes juxta-articulaires sont susceptibles d'évoluer vers une pathologie articulaire. Les atteintes diaphysaires ne présentent pas de caractère péjoratif et ne constituent pas des contre-indications à la plongée.

Tout signe de lésion articulaire évolutive doit faire surseoir à la pratique de la plongée subaquatique. Toutefois, l'évolution de l'ostéonécrose avec ou sans pratique ultérieure de la plongée 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).

## **5.- LES RESTRICTIONS D'ACTIVITÉ ET A CONTRARIO LES ACTIVITÉS AUTORISÉES EN FONCTION DES RÉSULTATS DES EXPLORATIONS**

En présence d'un déficit fonctionnel lié à une pathologie musculo-squelettique, le médecin examinateur pourra indiquer des restrictions techniques sur le CACI ou contre-indiquer certaines activités s'il existe un risque d'aggravation du déficit pour le sujet.

Il en est de même pour la capacité d'assistance à un coéquipier. Si elle est rendue impossible, la présence d'une tierce personne sera indispensable.

Si les capacités fonctionnelles ne semblent pas compatibles a priori avec les aptitudes requises par le code du sport ou un cursus standard, le médecin examinateur devra recommander sur le CACI une évaluation individuelle, en situation, par un encadrant spécialisé. Ce dernier déterminera, en fonction des aptitudes réelles et des possibilités d'adaptations matérielles, si le plongeur doit être orienté ou non vers un cursus spécifique. Cette orientation n'est pas définitive et pourra évoluer dans le temps en fonction des progrès du plongeur ou de l'aggravation de son incapacité éventuelle.

## **6.- PARTICULARITÉS LIÉES À L'ÂGE**

### **6.1.- Les jeunes**

Le cartilage de conjugaison, zone de croissance épiphysaire de l'os, représente un élément particulier chez l'enfant. Il est partiellement présent jusqu'à l'âge de 20 ans. Il a été suggéré que des accidents de désaturation osseux puissent le léser, mais cette hypothèse n'a reçu à ce jour aucune confirmation par des recherches ou des observations. En fait, les épiphyses sont très bien vascularisées et on peut les classer dans les tissus dits « rapides », c'est-à-dire avec un taux d'échange de gaz élevé. Le risque de formation de bulles y semble donc réduit.

En revanche, les épiphyses des enfants sont sensibles aux surcharges articulaires. Le risque d'épiphysiolyse de la tête fémorale doit être pris en considération. Le poids du matériel (bouteilles de plongée) doit donc être adapté (voir p. 209). Les parents et l'enfant pratiquant devront en être informés.

## 6.2.- Personnes âgées

Le nombre de plongeurs actifs au-delà de 65 ans augmente régulièrement, qu'ils soient d'anciens plongeurs vieillissant ou des débutants. Les statistiques de cas mortels d'accidents de plongée montrent une majorité de cas après 50 ans (Lippmann et coll. 2013 Buzzacott 2016, 2017 ; Cumming et Watson 2016, 2017). Cependant, aucune législation ni réglementation ni norme de formation ne prévoit de limite d'âge pour la pratique de la plongée de loisir. Or, les capacités physiques diminuent de façon linéaire après 50 ans (Huonker et coll. 2008, ACSM 2014) : la capacité aérobie ( $V\text{O}_2\text{max}$ ) diminue de 1 % par an, ce qui peut être réduit de moitié par un entraînement physique régulier. La masse musculaire est maximale dans la troisième décennie de la vie ; elle diminue de 10 à 15 % par décennie à partir de 60 ans.

L'approche médicale devra donc être individuelle, afin de permettre la pratique de l'activité avec un risque résiduel acceptable. Elle devra se terminer par l'information complète du plongeur de manière à obtenir son consentement éclairé (Edmonds 2016). Il pourra être nécessaire d'envisager et discuter d'éventuelles restrictions ou adaptations d'activité si une pathologie ostéo-articulaire (arthrite rhumatoïde, goutte, arthrose, luxation, hernie discale, etc.) normalement contrôlée par la thérapeutique est à l'origine d'une symptomatologie dans le cadre de la pratique, si les éventuels traitements ou facteurs biologiques n'aggravent pas le risque (corticothérapie, dyslipidémie vis-à-vis de l'OND p. ex.), ou si l'activité se déroule loin d'infrastructures médicales qui pourraient la prendre en charge.

Il faut garder présent à l'esprit que malgré le fait que la force et l'endurance diminuent régulièrement avec l'âge, on peut influencer ce processus d'une façon significative par un entraînement régulier, puisque l'inactivité est le facteur le plus important de la réduction de la performance. Au-delà de 60 ans, la recommandation liée aux risques cardio-vasculaires d'effectuer une épreuve d'effort est applicable à l'appareil locomoteur et permettra au sujet d'avoir une idée précise de ses performances.

### Recommandation n° 5

Toute affection, en particulier rachidienne, contre-indiquant le port de charges lourdes devra faire l'objet de restrictions dans l'exécution des plongées subaquatiques lors des phases de préparation, équipement / déséquipement, retour à bord et navigation sur embarcation légère.

Des restrictions des conditions de plongée (plongées non saturantes) pourront être prescrites en cas de pathologie compressive vertébrale ou discale.

Tout accident de désaturation ostéo-articulaire (*bend*) devra faire l'objet d'une investigation par IRM précoce (idéalement dans le premier mois) et par un suivi à 6 mois ou 1 an par IRM ou tomodensitométrie en cas d'images évoquant la possibilité d'une nécrose osseuse. (2B)

Le risque de survenue d'une ostéonécrose dysbarique sera évalué au regard des conditions de pratique de l'activité, de l'habitus (alcool) et des éléments biologiques (dyslipidémie) et thérapeutiques (corticoïdes). La présence d'une ostéonécrose ne constitue pas en soi une contre-indication. Le bilan fonctionnel et le risque d'aggravation seront pris en compte dans la décision.

---

## Références

- American College of Sports Medicine; Pescatello LS, Arena R, Riebe D, Thompson PD, editors. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 9th ed. Philadelphia (PA): Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health; 2014.
- 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. *Med Sub Hyp* 2018; 28: 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.
- Buzzacott P (ed.), DAN Annual Diving Report 2016 Edition - A report on 2014 data on diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2016; 129 p.
- Buzzacott P (ed.). DAN Annual Diving Report 2017 Edition - A report on 2015 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2017; 134 p.
- 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.
- Cumming B, Watson J (eds). BSAC National Diving Committee. Diving Incidents Report 2016; 48 p. <http://www.basc.com/safety/diving-incident> [février 2018].
- Cumming B, Watson J (eds). BSAC National Diving Committee. Diving Incidents Report 2017; 47 p. <http://www.basc.com/safety/diving-incident> [février 2018].
- Davidson J. Radiology of dysbaric osteonecrosis. *J Clin Pathol* 1972, 25, 11: 1005-6.
- Edmonds C. Age and diving. *In*: Edmonds C, Bennett M, Lippmann J, Mitchell SJ (eds). *Diving and subaquatic medicine* 5<sup>th</sup> edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton FL. 2016, p 673-679.
- Gempp E, Louge P, Lafolie T, Demaistre S, Hugon M, Blatteau JE. Relation between cervical and thoracic spinal canal stenosis and the development of spinal cord decompression sickness in recreational scuba divers. *Spinal Cord* 2014; 52: 236-40.
- Gempp E, Louge P, de Maistre S. Predictive factors of dysbaric osteonecrosis following musculoskeletal decompression sickness in recreational SCUBA divers. *Joint Bone Spine.* 2016; 83(3): 357-8. doi: 10.1016/j.jbspin.2015.03.010. Epub 2015 Oct 9.
- Huonker M, Schmidt-Trucksäss A, Heiss HW, Keul J. Effects of physical training and age-induced structural and functional changes in cardiovascular system and skeletal muscles. *Z Gerontol Geriatr.* 2002; 35:151-156.
- Jones JP Jr, Ramirez S, Doty SB. The pathophysiologic role of fat in dysbaric osteonecrosis. *Clin Orthop Relat Res.* 1993; 296: 256-64.
- Le Péchon JC. De 1878 à 2006 – travaux hyperbares en tunnel. *J soc de biologie.* 2006, 200(3): 265-272.
- Lippmann J, Baddeley A, Vann R, Walker D. An analysis of the causes of compressed gas diving fatalities in Australia from 1972-2005. *UHM* 2013, 40(1): 55-58.
- McCallum RI. Bone necrosis: Current status in the UK. *In*: Hope A, Lund T, Elliott D, Halsey MJ, Wiig H (eds). *Long term health effects of diving, an international consensus conference*. Nutec, Bergen, 1994, ISBN 82-7280-351-8.

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.

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.

## CHAPITRE XIV

### AFFECTIONS DENTAIRES

#### 1.- RAPPEL DES RISQUES BUCCO-DENTAIRES LIÉS À LA PRATIQUE DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES DE LOISIR.

##### 1.1.- 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 et coll. 2016<sup>a</sup>). C'est un symptôme qui est le plus souvent l'expression aiguë 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, 2010).

Des douleurs dentaires autres que les barodontalgies peuvent survenir chez les plongeurs subaquatiques :

- L-a 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. 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).

##### 1.2.- 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 restaurations dentaires coronaires et corono-radiculaires coulées ou foulées et des dispositifs prothétiques fixes et amovibles (Musajo et coll. 1992, Holowatyj 1996, Lyons et coll. 1997, 1999, Peker et coll. 2009, Gunepin et coll. 2012, Gulve et Gulve 2013<sup>a,b</sup>, Kumar 2015, Mocquot et coll. 2015, Mitov et coll. 2016).

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, obturations coronaires temporaires réalisées en interséance de traitement endodontique, etc. (Gunepin et coll. 2016<sup>b</sup>). La diminution de la rétention des restaurations adhésives (composite, etc.) est liée au système adhésif amélo-dentinaire utilisé (type et mise en œuvre) et à la mise en place du matériau de restauration (adaptation marginale, condensation, respect du protocole du fabricant) (Mocquot et coll. 2015). La diminution de la rétention des restaurations corono-radiculaires collées ou foulées est liée au matériau de scellement ou de collage (type, mise en œuvre) (Gulve et coll. 2013<sup>a</sup>, Geramipannah et coll. 2016). 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) (Gunepin et coll. 2013). Les fractures de matériaux et de tissus dentaires et le descellement de dispositifs prothétiques ou de restaurations 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).

### **1.3.- Risques bucco-dentaires spécifiques à la pratique de la plongée subaquatique**

#### **a) 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 1991, Gunepin et coll. 2013, Hirose et coll. 2016, Walczyńska-Dragon et coll. 2016). Ces symptômes sont attribués à la protrusion mandibulaire, à la pression constante exercée par certaines dents (généralement canines et prémolaires) sur l'embout buccal pour le maintenir en place au cours de la plongée et à l'absence de calage postérieur (pas de contact entre les molaires maxillaires et mandibulaires). La fréquence des douleurs au niveau de l'ATM est d'autant plus importante que l'eau est froide (Roydhouse 1977, 1985), probablement du fait de la contraction plus intense des dents et des lèvres sur l'embout buccal (Jagger et coll. 1997, Lobbezoo et coll. 2014). Ces pressions excessives peuvent également être retrouvées chez les plongeurs débutants notamment lors de la phase d'entraînement (Ozturk et coll. 2012). Les symptômes du syndrome buccal de la plongée sont exacerbés chez le patient bruxomane (qui grince des dents) (Grant et Johnson 1998, Lobbezoo et coll. 2014) et en cas de port d'un embout buccal inadapté (Hirose et coll. 2010, Ueno et coll. 2011, Walczyńska-Dragon et coll. 2016). Les symptômes peuvent se limiter à la durée de la plongée ou devenir chroniques et permanents.

- Un stress émotionnel ou un environnement froid (fréquent au cours des plongées) peut conduire le plongeur à serrer son embout buccal de manière plus importante avec un risque de détérioration des obturations dentaires (Hobson et Newton 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, des mobilités et des fractures dentaires consécutives à un serrage intense sur la plateforme de l'embout (Scheper et coll. 2005, Gunepin et coll. 2013, Van Zeghbroeck 2016). 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 peut compromettre son ostéointégration (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 de virus (*herpes simplex* HSV p. ex.) et de maladies infectieuses entre plongeurs (Potasman 1997, Van Zeghbroeck 2016). Ce risque est prédominant à l'occasion des manœuvres subaquatiques d'échange d'embouts buccaux réalisées lors des séances de formation.
- Au cours de plongées profondes, le plongeur stressé peut connaître un réflexe pharyngé lié à son embout buccal avec un réflexe nauséeux, à l'origine d'une remontée rapide à la surface aux conséquences délétères (risque d'accident de décompression) (Gunepin et coll. 2013).

#### **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.

## **2.- DONNÉES ÉPIDÉMIOLOGIQUES**

### **2.1.- Les barodontalgies**

Leur prévalence varie selon les échantillons étudiés de 2,5 à 42 % avec une prévalence moyenne de 6 % (Taylor et coll. 2003, Tujay et Sen 2005, Al-Hajri et Al-Madi 2006, Jagger et coll. 2009, Zadik 2009, Zanotta et coll. 2014, Ranapurwala et coll. 2014, Gunepin et coll. 2015<sup>(a)</sup>, Gunepin et coll. 2016<sup>(a)</sup>, Ranna et coll. 2016). La prévalence la plus haute relevée (42 %) concerne les plongeurs loisirs (Ranna et coll. 2016).

Une étude récente (Nakdimon et Zadik 2019) révèle que 7,3 % des plongeurs militaires et 12,8 % des plongeurs civils ont déjà été victimes de barodontalgies.

### **2.2.- Les barotraumatismes dentaires**

La prévalence des fractures dentaires varie selon les études de 0,8 % à 6,6 % avec une prévalence moyenne de 4,6 % (Jagger et coll. 2009, Zanotta et coll. 2014, Gunepin et coll. 2015<sup>(a, b)</sup>, Ranna et coll. 2016). Une étude menée spécifiquement sur la plongée loisir relève une prévalence de fractures dentaires chez les plongeurs de 1 % (Ranna et coll. 2016). Le type de restaurations dentaires présent en bouche influence le risque de survenue d'un barotraumatisme dentaire. Une étude *in vitro* a montré que 30 % des dents porteuses d'une boulette de coton dans la chambre pulpaire sous une obturation coronaire temporaire se fracturent lorsqu'elles sont soumises à des variations de pression (Gunepin et coll. 2016<sup>(b)</sup>).

## **2.3- Diminution de la rétention des dispositifs prothétiques**

Une étude portant sur un échantillon de 100 plongeurs de loisir a mis en évidence cinq cas de perte de prothèse dentaire au cours d'une plongée (Ranna et coll. 2016). 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<sup>(a)</sup>).

## **2.4.- Syndrome buccal de la plongée sous-marine ou « *mouth regulator syndrome* »**

La prévalence du syndrome buccal de la plongée sous-marine chez les plongeurs indemnes de douleurs de l'ATM avant de pratiquer la plongée sous-marine est de 19 à 41 % avec une prévalence moyenne de 33 % (Roydhouse 1977, Aldridge et Fenlon 2004, Lobbezoo et coll. 2014, Yousef et coll. 2015, Ranna et coll. 2016).

## **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 sous-marine, 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, Józwiak et coll. 2016).

### **3.1.- Pathologies à dépister**

- Caries initiales (survenant sur des dents indemnes de restauration dentaire) et secondaires (caries se développant au niveau d'une restauration dentaire préexistante) ;
- pathologies pulpaires (inflammatoires et infectieuses) ;
- pathologies parodontales (inflammatoires et infectieuses) ;
- algies et dysfonctionnement de l'appareil manducateur ;
- bruxisme.

### **3.2.- Facteurs de risque à relever**

- Obturations défectueuses (fissures, fractures, pertes d'étanchéité, mobilités, défauts d'adaptation marginale).
- Soins dentaires récents (soins conservateurs et endodontiques, chirurgie orale et parodontale).
- Soins dentaires inadaptés à la pratique de la plongée sous-marine (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.
- Implant dentaire en phase d'ostéointégration : la pression mécanique exercée sur l'implant par la tenue de l'embout buccal, les modifications de la vascularisation locale secondaires à la fois à l'intervention et aux conséquences des variations de la pression ambiante sont susceptibles de compromettre sa stabilité et donc de conduire à l'échec implantaire. Un

délai de 5 à 8 semaines est nécessaire avant que l'implant devienne stable, selon la complexité de l'intervention chirurgicale et la qualité de l'os.

- Site de prélèvement d'un greffon ou ayant bénéficié d'une greffe en phase de cicatrisation. Un délai de 6 semaines à 2 mois doit être respecté pour les greffes osseuses volumineuses ou les chirurgies complexes du sinus (Gunepin et coll. 2013<sup>b</sup>).
- Sensibilité dentinaire.

Au total, les risques bucco-dentaires de la plongée subaquatique, et plus généralement des activités subaquatiques, peuvent être distingués entre risques pour la plongée (barotraumatismes, barodontalgies, syndromes douloureux de l'ATM) et risques pour le traitement odontologique (obturations, greffes, implants). Le pratiquant présentant une affection odontologique devra être précisément informé de ces risques.

### **3.3.- Critères pour l'aptitude à la préhension de l'embout buccal**

(Wendling et coll. 2004, 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. 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***

Malgré les progrès réalisés en matière de produits adhésifs, 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 bagues***

L'utilisation des embouts buccaux standards peut se trouver gênée par le port d'un traitement orthodontique multi-attaches. Dans ce cas, le plongeur doit utiliser un embout buccal réalisé sur mesure chez un chirurgien-dentiste.

### **4.- DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES BUCCO-DENTAIRES CRÉÉES PAR LA PRATIQUE DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES DE LOISIR.**

- Détérioration d'organes dentaires ou d'obturations dentaires préexistantes (recherche de fissures, fractures, pertes d'étanchéité, mobilités 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) ;
- apparition de douleurs au niveau des ATM (syndrome buccal de la plongée) ;
- gingivorragies et lésions des tissus mous buccaux (gencive, langue, etc.) et péri-buccaux (lèvres).

## 5.- LES EXAMENS RECOMMANDÉS

Il faut distinguer :

- le suivi bucco-dentaire périodique chez un chirurgien-dentiste. La périodicité normale des visites de contrôle chez un chirurgien-dentiste est de 12 mois mais elle 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 patient (*National Institute for Health and Care Excellence* 2004, Union Française pour la Santé Bucco-dentaire 2013, Gunepin et coll. 2014). La Fédération Dentaire Internationale recommande la réalisation d'une visite dentaire annuelle pour les sujets exposés à des variations de pressions atmosphériques tels que les plongeurs subaquatiques (Lynch et coll. 2014) ;
- la visite médicale en vue de l'obtention d'un certificat médical de non contre-indication à la pratique des activités subaquatiques de loisir. Dans le cadre d'une visite en vue de l'obtention d'un premier certificat, le médecin devrait s'appuyer, en présence d'éléments d'orientation, sur l'avis d'un chirurgien-dentiste. L'examen pour le renouvellement de la licence sera réalisé par le médecin.

L'annexe VI des présentes recommandations propose une notice d'information à l'adresse des chirurgiens-dentistes, comportant :

- un texte ayant pour objectif de les sensibiliser au lien existant entre la santé bucco-dentaire et la pratique de la plongée sous-marine,
- un tableau mentionnant les spécificités de la prise en charge thérapeutique des patients plongeurs,
- un tableau indiquant la durée des restrictions de plongée après réalisation de soins bucco-dentaires.

Elle propose également un questionnaire permettant au médecin de recueillir les informations nécessaires pour se prononcer.

### 5.1.- Lors de l'examen en vue de l'obtention d'un premier certificat de non contre-indication à la pratique des activités subaquatiques de loisir.

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.).

## **5.2. Examens pour le renouvellement du certificat de non contre-indication à la pratique des activités subaquatiques de loisir.**

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 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 pourra, s'il le souhaite, demander l'avis d'un chirurgien-dentiste.

Afin de prévenir la réalisation d'examens bucco-dentaires uniquement dans le cadre de l'obtention d'un certificat de non contre-indication à la pratique des activités subaquatiques de loisir et afin de faciliter la prise de décision des médecins, les patients pourront être invités à faire coïncider leur visite dentaire périodique chez un chirurgien-dentiste avec leur visite médicale réalisée par le médecin.

## **5.3.- Traitements bucco-dentaires et durées de contre-indications temporaires à la pratique des activités subaquatiques de loisir.**

La réalisation de certains traitements bucco-dentaires peut contre-indiquer temporairement la pratique d'activités subaquatiques de loisir. Des durées de contre-indication sont données à titre indicatif dans le tableau I. La réalisation des traitements odontologiques adaptés et/ou le respect de délais de cicatrisation, d'ostéointégration, etc. permettent de lever toute contre-indication odontologique à la pratique des activités subaquatiques de loisir.

Type d'acte	Durée de la restriction à la pratique des activités subaquatiques de loisir
Endodontie	De la pose du diagnostic justifiant le traitement endodontique jusqu'à 24 heures après la disparition des symptômes après traitement définitif.
Soins conservateurs	De 24 à 72 heures après tout soin ayant nécessité une anesthésie locale (en fonction de la complexité du soin).
Chirurgie buccale simple (extraction)	D'une à 2 semaines en fonction de la chirurgie pratiquée et de la durée de l'intervention.
Chirurgie buccale complexe (greffes, interventions sur les sinus, etc.)	De 6 semaines à 2 mois après une greffe osseuse (en fonction du volume de la greffe). De 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)	Durant la période couvrant la réalisation du traitement prothétique. Éviter la pratique d'activités subaquatiques avec une prothèse provisoire ou scellée provisoirement.
Implantologie	A déterminer par l'implantologiste, au minimum 5 à 8 semaines de restriction après implantation, quelle que soit la profondeur pratiquée.

**Tableau I :** Traitements bucco-dentaires et durées de contre-indications temporaires à la pratique des activités subaquatiques de loisir (Zadik et Drucker 2011, Gunepin et coll. 2013).

### Recommandation n° 6

L'examen endo-buccal à la recherche de pathologies bucco-dentaires fait partie du bilan médical pour l'établissement du certificat de non contre-indication aux activités subaquatiques sportives ou de loisir.

L'avis d'un chirurgien-dentiste est recommandé lors de la première visite pour les personnes ne bénéficiant pas d'un suivi dentaire régulier dès qu'il existe des éléments d'orientation à l'interrogatoire ou à l'examen endo-buccal. Il pourra s'appuyer sur une radiographie panoramique dentaire si nécessaire. (4C)

Afin de faciliter la prise de décision par le médecin, les patients pourront être invités à faire coïncider leur visite dentaire périodique chez un chirurgien-dentiste avec leur visite médicale de renouvellement du CACI.

En fonction des affections et traitements subis, des durées d'éviction des activités de plongée pourront être prononcées.

---

## Références

- Aldridge RD, Fenlon MR. Prevalence of temporomandibular dysfunction in a group of scuba divers. *Br J Sports Med* 2004; 38: 69–73.
- 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.
- Geramipannah F, Sadighpour L, Assadollahi R. The effect of environmental pressure and resin cements on the push-out bond strength of a quartz fiber post to teeth root canals. *Undersea Hyperb Med.* 2016; 43(2): 143-50.
- 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<sup>(a)</sup>. 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<sup>(b)</sup>. 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, 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, Derache F, Zadik Y, Risso JJ, Blatteau JE, Hugon M, Rivière D<sup>(a)</sup>. 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, Hugon M, Rivière D<sup>(b)</sup>. Prise en charge buccodentaire des plongeurs sous-marins. Importance du concept de « dentisterie de la plongée ». *Encyclopédie médico-chirurgicale* 2013 – [http://dx.doi.org/10.1016/S1877-7864\(12\)61408-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1877-7864(12)61408-6).
- Gunepin M, Zadik Y, Derache F, Dychter L. Non barotraumatic tooth fracture during diving. *Aviation space and environmental medicine* 2013; 84 (6): 630-2.
- 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<sup>(a)</sup>. 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, Blatteau JE, Dychter L, Nakdimon I, Zadik Y ND<sup>(b)</sup>. Dental barotrauma in French military divers: results of the POP study. *Journal of Aviation Medicine and Human Performance* 2015; 86(7): 652-5.
- Gunepin M, Derache F, Blatteau JE, Nakdimon I, Zadik Y<sup>(a)</sup>. Incidence and features of barodontalgia among military divers. *Journal of Aviation Medicine and Human Performance* 2016; 87(2): 137-40.

- Gunepin M, Derache F, Shmid B, Blatteau JE, Risso JJ, Dychter L, Zadik Y<sup>(b)</sup>. Étude *in vitro* de l'impact des variations de pression sur les obturations coronaires temporaires réalisées en interséance de traitement endodontique. *Revue d'odonto-stomatologie* 2016; 45(4): 262-74.
- Hirose T, Ono T, Maeda Y. Influence of customization of the mouthpiece for scuba diving on oro-facial muscle activities; a preliminary report. *Int J Sports Dent* 2010; 3: 46-52.
- Hirose T, Ono T, Maeda Y. Influence of wearing a scuba diving mouthpiece on the stomatognathic system - considerations for mouthpiece design. *Dent Traumatol.* 2016; 32(3): 219-24.
- 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.
- Jóźwiak D, Olszański R, Dąbrowiecki Z, Remlain M. The significance of health selection among divers and its effect on diving safety. *Polish Hyperbaric Research* 2016; 55(2): 47-60.
- Klechak TL. Dental barotraumas of diving. *Fla Dent J* 1987; 58: 10-1.
- Kumar S, Kumar PS, John J, Patel R. Barotrauma: Tooth under Pressure. *N Y State Dent J.* 2015; 81(3): 22-6.
- Lobbezoo F, van Wijk AJ, Klingler MC, Ruiz Vicente E, van Dijk CJ, Eijkman MA. Predictors for the development of temporomandibular disorders in scuba divers. *J Oral Rehabil.* 2014; 41(8): 573-80.
- Lynch JH, Deaton TG. Barotrauma with extreme pressures in sport: from scuba to skydiving. *Curr Sports Med Rep.* 2014; 13(2): 107-12.
- 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.
- Mitov G, Draenert F, Schumann P, Stötzer M, von See C. The influence of pressure changes on the retentive force and coronal microleakage of different types of posts in endodontically treated teeth during simulated dives. *Diving Hyperb Med.* 2016; 46(4): 247-52.
- Mocquot C, Cabrera A, Pradelle-Plasse N. Influence of hyperbaric environment (diving conditions) on adhesive restorations: an *in vitro* study. *European Cells and Materials* 2015; 30 (Suppl. 5): 2-2.
- 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.
- Nakdimon I, Zadik Y. Barodontalgia Among Aircrew and Divers. *Aerosp Med Hum Perform.* 2019;90(2): 128-31.
- 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.

- Ozturk O, Tek M, Seven H. Temporomandibular disorder in scuba divers – an increased risk during diving certification training. *J Craniofac Surg* 2012; 23: 1825–9.
- 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.
- Potasman II, Pick N. Primary herpes labialis acquired during scuba diving course. *J Travel Med* 1997; 4: 144–5.
- Ranapurwala SI, Bird N, Vaithiyanathan P, Denoble PJ. Scuba diving injuries among Divers Alert Network members 2010–2011. *Diving Hyperb Med*. 2014; 44(2): 79-85.
- Ranna V, Malmstrom H, Yunker M, Feng C, Gajendra S. Prevalence of dental problems in recreational SCUBA divers: a pilot survey. *Br Dent J*. 2016; 221(9): 577-81.
- 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.
- 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* 1977; 4: 162–5.
- Scheper WA, Lobbezoo F, Eijkman MA. Oral problems in divers. *Ned Tijdsch Tandheelkd* 2005; 112: 168–72.
- Shiller WR. Aerodontalgia under hyperbaric conditions. An analysis of forty five case histories. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965; 20: 694–7.
- Statens Helsetilsyn. Norwegian guidelines for medical examination of occupational divers, IK-2708 E August 2000.
- 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.
- Ueno T, Fujino S, Abe K. Prevention and safety measure for diving-related temporomandibular disorders; development of custom-made diving mouthpiece and its practical application. *Descent Sports Sci* 2011; 32: 64–71.
- Union Française pour la Santé Bucco-Dentaire. Nouvelles recommandations. L’UFSBD réactualise ses stratégies de prévention. *Pratiques dentaires*; Novembre 2013: 17-39.
- 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.
- Van Zeghbroeck L. Complication after untreated diving mouthpiece injury. *Trauma Emerg Care* 2016; 1(1): 8-10.
- Walczyńska-Dragon K, Walczyńska J, Siermontowski P. The diving mouthpiece and the conditions of the temporomandibular joints. Preliminary study. *Polish Hyperbaric Research* 2016; 55(2): 39-46.
- Wendling J, Elliott D, Nome T (eds). *Medical assessment of working divers*. Hyperbaric Editions, Biel-Bienne 2004. 216 p.
- Yousef MK, Ibrahim M, Assiri A, Hakeem A. The prevalence of oro-facial barotrauma among scuba divers. *Diving Hyperb Med*. 2015; 45(3): 181-3.

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; 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.

## CHAPITRE XV

# GYNÉCOLOGIE ET GROSSESSE

### 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 (oxygène et gaz inertes) sont redistribués au fœtus. Le dioxyde de carbone produit par le fœtus est rejeté dans la circulation maternelle.

Les données épidémiologiques sont rares.

Les différentes fédérations internationales et l'Undersea and Hyperbaric Medical Society recommandent depuis de nombreuses années de déconseiller la plongée aux femmes enceintes ou désirant une grossesse, mais aucune étude randomisée ou effectuée sur un effectif suffisant ne permet d'être catégorique. Les études scientifiques sont anciennes et portent souvent sur des populations de petite taille ne permettant pas de retrouver des données significatives.

La plus importante date de 1980. Bolton trouvait chez 136 femmes enceintes ayant plongé durant le premier trimestre, dont 99 à plus de 30 m, une prévalence significativement plus élevée de malformations fœtales que chez 72 femmes qui n'avaient pas plongé (3 à 4 % contre 5,5 %), mais restant dans les valeurs de la population générale.

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.

#### 1.1.- 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 rétrolentale 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).

Ces conséquences de l'hyperoxie n'ont pas été décrites dans l'espèce humaine.

Au contraire, comme le montre une série de 568 patientes enceintes traitées par oxygénothérapie hyperbare par Mathieu et coll. (2006) 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. Une étude plus récente (Huen et coll. 2014) n'a pas mis en évidence de modification de la PO<sub>2</sub> cérébrale du fœtus (appréciée par l'IRM) lorsque la mère respire de l'oxygène pur à la pression atmosphérique.

Par ailleurs, aucun accident avec utilisation de Nitrox n'a été rapporté chez la femme enceinte (Morales et coll. 1999).

Cependant, des résultats récents indiquent que chez des femmes enceintes (33 - 37 SA) 10 minutes d'hyperoxie augmentent les résistances vasculaires systémiques et diminuent l'index cardiaque sans retour à la normale 10 min après l'arrêt de l'exposition, alors que ces modifications ne sont pas observées chez des femmes témoins non enceintes (McHugh et coll. 2019). Ces réponses pourraient donc diminuer la délivrance tissulaire de l'oxygène.

L'hyperoxie normobare augmente l'oxygénation dans différents territoires fœtaux (Sorensen et coll. 2013) mais l'hyperoxie thérapeutique utilisée pendant la grossesse dans le but de réduire l'hypoplasie cardiaque gauche semble associée à une diminution de débit sanguin cérébral et de dimension céphalique (Rudolph 2020).

Dans l'état actuel les connaissances il semble donc prudent de ne pas exposer le fœtus à l'hyperoxie rencontrée en plongée.

## 1.2.- 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, cécités (Gilman et coll. 1982).

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 et de stabilité en immersion peuvent survenir en raison 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 ;
- les réponses hémodynamiques à l'hyperoxie et particulièrement l'augmentation des résistances vasculaires systémiques sont plus prononcées pendant la grossesse que chez des femmes non enceintes (McHugh et coll. 2019).

## 1.3.- L'apnée

Il existe très peu d'études sur l'apnée et la grossesse.

Du fait du blocage respiratoire prolongé et des impacts sur l'hémodynamique, la ventilation et les gaz du sang, la plongée en apnée n'est pas recommandée pendant la grossesse (Artal et coll 2003). Des malformations chez les fœtus dont les mères ont continué à plonger à des profondeurs supérieures à 35 m pendant la grossesse ont été rapportées : arthrogrypose, coarctation aortique, hypotrophie (Aubard 2007).

La pratique palme-masque-tuba ne devrait pas justifier de contre-indications si la sportive évite les plongées en apnée répétées ou profondes.

#### **1.4.- 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 pas.

##### *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 les paramètres de la plongée ne peuvent être aménagés de manière à limiter la saturation en gaz inerte (intervention à faible profondeur et sans palier), le port d'un manchon ayant les effets d'un bas de contention est conseillé, au moins d'une vareuse de plongée à manches longues.

#### **2.- DÉPISTAGE DE LA GROSSESSE**

Il n'est pas indiqué de réaliser un dosage systématique des  $\beta$ -HCG chez toutes les plongeuses. Mais il est impératif d'informer les femmes en âge de procréer qui pratiquent la plongée subaquatique des risques pour la grossesse, de la nécessité de consulter en cas de projet grossesse, et de cesser de plonger dès que la grossesse est connue.

La contraception, qu'elle soit orale ou par dispositif intra-utérin, n'est pas considérée comme une contre-indication à la plongée.

#### **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 plongées ont été réalisées à moins de 20 m 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<sup>er</sup> trimestre ;
- des plongées ont été effectuées entre 6 et 13 SA : surveillance rapprochée de la grossesse après analyse des profils de plongée et des procédures de décompression, recueillis par l'interrogatoire ou l'examen de l'ordinateur de plongée. Le risque pathogène sera d'autant plus élevé que la personne aura effectué des plongées saturantes (décompressions avec paliers) ou aura été exposée à une  $PiO_2 > 1000$  hPa (40 m en plongée à l'air).

- des plongées ont été effectuées au-delà de 13 SA : le risque morphogénétique est avéré. Une surveillance échographique rapprochée doit être réalisée avec échographie morphologique très précise à la 22<sup>e</sup> semaine explorant en particulier les membres, le rachis, le cœur et les gros vaisseaux (Ugucioni et coll. 1999).

#### **4.- ALLAITEMENT ET REPRISE APRÈS GROSSESSE**

En l'absence données épidémiologiques et d'études sur le sujet, rien ne s'oppose en l'absence de complications à la reprise des activités subaquatiques pendant la période du post-partum. L'allaitement ne constitue pas une contre-indication à la pratique des activités subaquatiques, sous réserve de la gêne occasionnée par le port de l'équipement.

#### **Recommandation n° 7**

Toute femme en âge de procréer doit être informée que la grossesse, dès qu'elle est connue, est une contre-indication à la plongée en scaphandre au-delà de 12 mètres (risque de bulles à la remontée), à la plongée à l'oxygène pur et aux mélanges suroxygénés (risque hyperoxique fœtal) et à la plongée en apnée (risques d'hypoxie fœtale). (3C)

Un suivi spécialisé est nécessaire si des plongées ont été effectuées à partir de la 6<sup>e</sup> SA. (3C)

La reprise est possible pendant la période du post-partum en l'absence de complications.

---

#### **Références**

- Artal R, O'Toole M. Guidelines of the American College of Obstetricians and Gynecologists for exercise during pregnancy and the post-partum period. *Br J Sports Med* 2003; 37(1): 6-12.
- Assali NS, Kirschbaum TH, Dilts PV. Effects of hyperbaric oxygen on uteroplacental and fetal circulation. *Circulation Research* 1968, 22, 5: 573-88.
- Aubard Y. Sport et grossesse Intervention Formation Médicale Continue. Pôle ressource national Sports, Famille et pratiques féminines. Aix en Provence, 24 avril 2007.
- 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.
- 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, Bradley ME, Greene KM, Fischer GJ. Fetal development: effect of decompression sickness and treatment. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 1983; 54(11): 1040-2.
- Gilman SC, Greene KM, Bradley ME, Biersner RJ. Fetal development: effect of simulated diving and hyperbaric oxygen treatment. *Undersea Biomedical research* 1982; 9(4): 297-304.

Huen I, Morris DM, Sibley CP, Naish JH, Johnstone ED. Absence of PO<sub>2</sub> change in fetal brain despite PO<sub>2</sub> increase in placenta in response to maternal oxygen challenge. *BJOG* 2014; 121 (13): 1588-94.

Mathieu D, Mathieu-Nolf M, Durak C, Linke JC. Acute carbon monoxide poisoning during pregnancy: maternal and fetal outcome. UHMS Annual Meeting 2006. <http://archive.rubicon-foundation.org/3696>.

McHugh A, El-Khuffash A, Bussmann N, Doherty A, Franklin O, Breathnach F. Hyperoxygenation in pregnancy exerts a more profound effect on cardiovascular hemodynamics than is observed in the nonpregnant state. *Am J Obst Gynecol* 2019; 220(4): 397-.e1-e8.

Morales M, Dumps P, Extermann P. Grossesse et plongée sous-marine : quelles précautions ? *Journal de Gynécologie Obstétrique et Biologie de la Reproduction* 1999; 28(2): 118-23.

Nemiroff MJ, Willson JR, Kirschbaum TH. Multiple hyperbaric exposures during pregnancy in sheep. *Am J Obstet Gynecol.* 1981; 140(6): 651-5.

Rudolph AM. Maternal hyperoxygenation for the human fetus: should studies be curtailed? *Pediatric Research* 2020; 87: 830-3.

Uguccioni 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](https://www.diversalertnetwork.org/medical/articles/DAN_Explores_Fitness_and_Diving_Issues_for_Women) [15 février 2018].

## CHAPITRE XVI

### GASTROENTÉROLOGIE

#### 1.- ÉTUDE DES RISQUES POUR L'APPAREIL DIGESTIF

L'analyse des risques pour l'appareil digestif, de leurs conséquences et des mesures de prévention est résumée dans le tableau I.

#### 2.- LA DÉMARCHE DÉCISIONNELLE

En fonction de ces éléments, une démarche d'évaluation à la pratique des activités subaquatiques peut être proposée en présence d'une pathologie hépato-gastro-intestinale.

**2.1.- 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 ...).

**2.2.- Seconde étape :** rechercher la compatibilité de la maladie avec les variations de pression ou les conditions de la pratique et en fixer éventuellement les limites selon l'origine du risque :

- 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) à évaluer ou réévaluer régulièrement : antécédent d'ulcère gastroduodéal, de maladie inflammatoire chronique intestinale (MICI) ;
- autres risques liés aux maladies ou aux conséquences d'une chirurgie (hépatopathies – pancréatopathies – dumping syndrome).

**2.3.- 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.

Phases	Pathologies	Facteurs de risque	Conséquences physiopathologiques	Risques	Mesure de prévention
<b>Préparation du matériel</b>	CHIRURGIE ABDOMINALE AVEC OUVERTURE PARIETALE (Bove <sup>b</sup> 2004)	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 de l'activité
<b>Augmentation de la pression ambiante</b>	REFLUX GASTRO OESOPHAGIEN SEVERE (Bove 2003, 2004 <sup>a,b</sup> , Edmonds <sup>b</sup> 2005, Walker <sup>c</sup> 2005) ACHALASIE (Vote)	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 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).
<b>Diminution de la pression ambiante</b>	OBSTRUCTION : Hernie hiatale par roulement – Hernies pariétales avec contenu intestinal – Pseudo obstruction intestinale séquellaire – Chirurgie anti reflux – Stomie continente. (Bove 2003, 2004 <sup>a,b</sup> , Edmonds <sup>a</sup> 2005, Halpern et coll. 1986 ; Hayden et coll. 1998 ; Molenat et Boussuges 2006)	Obstacle mécanique sur les voies digestives	Évacuation des gaz impossible	Surpression dans les organes creux (risque de perforation).	Dépistage des sujets à risque : interrogatoire, examen clinique, dossier médical du patient, évaluation des possibilités thérapeutiques et du rapport bénéfice/risque d'un traitement ou d'une contre-indication temporaire ou définitive à la pratique de l'activité. Information du patient ; décision médicale partagée. Réévaluation à 3 ou 6 mois selon le type de chirurgie.
<b>Émersion</b>	GASTRO ENTÉRITE AIGUË (Lowry 2005) ISCHÉMIE INTESTINALE (Walker <sup>a</sup> 2005)	Diarrhée Vomissements	Déshydratation	Favoriser un ADD	Réhydratation, antispasmodiques. Arrêt temporaire de l'activité
<b>Selon les conditions de pratique</b>	MALADIE ULCÉREUSE GASTRO DUODENALE (Bove 2003, 2004 <sup>b</sup> )	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.
<b>- Éloignement d'un centre spécialisé</b>	MALADIES INFLAMMATOIRES INTESTINALES (Bove 2003, 2005 <sup>b</sup> , Lowry <sup>b</sup> 2005, Walker <sup>b</sup> 2005)	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. 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	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 la maîtrise d'une situation critique dans les trois heures qui suivent un repas. Reprise chirurgicale à évaluer.
	ILEOSTOMIES – COLOSTOMIES (Bove <sup>b</sup> 2005)	Situation de confinement		Non acceptation sociale	Pas de situation de confinement, conditions de réalisation des activités 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 (Bove <sup>b</sup> 2005)	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 (HAS <sup>a</sup> 2008)	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 (HAS <sup>a</sup> 2008) : 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 I** : Risques des activités subaquatiques en gastro-entérologie.

**2.4.- Les autres manifestations digestives** (troubles dyspeptiques, troubles fonctionnels intestinaux, troubles du transit et douleurs abdominales) sont à évaluer à la recherche d'une organicité

### **2.5.- Après chirurgie bariatrique**

Les conditions de reprise des activités subaquatiques après chirurgie bariatrique peuvent être déduites des recommandations de la HAS (HAS<sup>b,c</sup> 2009) :

- Le patient doit être 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 I),
  - l'existence éventuelle d'un *dumping syndrome*
  - un traitement supplétif éventuel.
- Le patient doit être « consolidé » :
  - être à plus d'un an de l'intervention (McCafferty 2009). Bien qu'il soit recommandé de reprendre une activité physique dès 6 à 8 semaines après l'intervention, ce temps est nécessaire à la stabilisation du poids, à la correction des carences nutritionnelles et à l'ajustement des thérapeutiques éventuelles. Ce délai peut aller jusqu'à 18 mois (HAS<sup>c</sup> 2009) ;
  - avoir un poids stable ;
  - il ne doit pas présenter de complication tardive (Robert 2016) : glissement ou migration de l'anneau, fistules gastriques, carences nutritionnelles.

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

Sous ces conditions, les contre-indications sont limitées, pour des raisons évidentes, au port d'un ballon intra-gastrique gonflé à l'air et au risque de piégeage de gaz en cas d'ingestion en plongée : un anneau gastrique ajustable devra être dégonflé pour autoriser la plongée. Dans tous les cas, l'éructation doit demeurer possible.

En l'absence de contre-indication ou de restrictions liées aux comorbidités et à la condition physique, le patient devra être informé de la possibilité de risques de déshydratation, de reflux gastro-œsophagien et des risques cutanés liés au boîtier de l'anneau gastrique ajustable (HAS<sup>d</sup> 2009).

### **3.- LA PRISE DE DÉCISION POUR LA RÉDACTION DU CACI**

Pour chaque examen (examen initial pour la délivrance ou le renouvellement de la licence ainsi que pour la pratique des activités) le médecin 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 n° 8

Pour chaque examen, initial ou de renouvellement, le médecin devra rechercher la compatibilité de la ou des affections gastro-entérologiques présentées avec les variations de pression et les conditions de pratique de l'activité. 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 à la plongée subaquatique.

Aucun examen complémentaire systématique n'est recommandé en première intention.

Un avis spécialisé pourra être 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 les examens adaptés à la situation.

---

### Références

Bove AA. Gastrointestinal Disorders. *In: Brubakk A, Neuman T. Bennet & Elliott's Physiology and medicine of diving* (5<sup>th</sup> edition) Ed Saunders 2003. Chapter 12 « Fitness to Dive », p. 711. ISBN 9780702025716.

Bove A<sup>a</sup>. Gastrointestinal Disorders. *In: Bove AA, Davis J. Diving Medicine*. 4<sup>th</sup> ed. Philadelphia, Saunders 2004. Chapter 27 « Medical Evaluation for Sport Diving », p. 526-7. ISBN 9780721694245.

Bove A<sup>b</sup>. Gastrointestinal System. *In: Bove AA, Davis J. Diving Medicine*. 4<sup>th</sup> ed. Philadelphia, Saunders 2004. Chapter 28 « Medical Evaluation of Working Divers », p. 540-1. ISBN 9780721694245.

Edmonds C<sup>a</sup>. Gastrointestinal Barotrauma. *In: Edmonds C, Bennett M, Lippmann J. Diving and Subaquatic Medicine*, 4<sup>th</sup> Edition, June 30, 2005 by CRC Press. Chapter 9 « Other barotrauma » p. 105-6. ISBN 9780340806296.

Edmonds C<sup>b</sup>. Gastrointestinal problems. *In: Edmonds C, Bennett M, Lippmann J. Diving and Subaquatic Medicine*, 4<sup>th</sup> Edition, June 30, 2005 by CRC Press. Chapter 61 « Breath-hold diving » p. 618. ISBN 9780340806296.

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<sup>a</sup>. Haute autorité de santé. Critères diagnostiques et bilan initial de la cirrhose non compliquée. Recommandation 2008. Disponible sur : [https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c\\_476486/fr/criteres-diagnostiques-et-bilan-initial-de-la-cirrhose-non-compliquee](https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_476486/fr/criteres-diagnostiques-et-bilan-initial-de-la-cirrhose-non-compliquee).

HAS<sup>b</sup>. 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](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<sup>c</sup>. 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](https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2010-11/obesite_-_prise_en_charge_chirurgicale_chez_ladulte_-_argumentaire.pdf)

HAS<sup>d</sup>. Chirurgie de l'obésité chez l'adulte Information pour le patient (juillet 2009). Disponible sur : [https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-09/brochure\\_obesite\\_patient\\_220909.pdf](https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-09/brochure_obesite_patient_220909.pdf) [11 mars 2019].

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.

Lowry C<sup>a</sup>. Gastroenteritis. In Edmonds C, Bennett M, Lippmann J. *Diving and Subaquatic Medicine*, 4<sup>th</sup> Edition, June 30, 2005 by CRC Press. Chapter 29 « Local infections » p. 310. ISBN 9780340806296.

Lowry C<sup>b</sup>. Therapy of Coincident Illness. In Edmonds C, Bennett M, Lippmann J. *Diving and Subaquatic Medicine*, 4<sup>th</sup> Edition, June 30, 2005 by CRC Press. Chapter 43 « Drugs and Diving » p449-451. ISBN 9780340806296.

McCafferty M. A Cause for Concern. *Alert Diver.* DAN 15 oct 2009. [https://alertdiver.eu/en\\_US/articles/a-cause-for-concern](https://alertdiver.eu/en_US/articles/a-cause-for-concern) [11 mars 2019].

Molenat F, Boussuges A. Accidents et troubles digestifs en plongée. In; Broussolle B, Meliet JI, Coulange M. (eds). *Physiologie et médecine de la plongée* (2<sup>e</sup> éd.). Ellipses Éditions Marketing, Paris. 2006. Chapitre 4, p. 256-62. ISBN 9782729829834.

Robert M. Chirurgie de l'obésité : risques et gestion des complications. Post'U 2016. [https://www.fmcgastro.org/wp-content/uploads/file/pdf-2016/079\\_090\\_Robert.pdf](https://www.fmcgastro.org/wp-content/uploads/file/pdf-2016/079_090_Robert.pdf) [11 mars 2019].

Vote D. Gastrointestinal Issues - Consider them Before Returning to Diving. *Divers Alert Network.* Medical Info. Article non daté. Disponible à l'adresse : [https://www.diversalertnetwork.org/medical/articles/Gastrointestinal\\_Issues](https://www.diversalertnetwork.org/medical/articles/Gastrointestinal_Issues) [11 mars 2019].

Walker R<sup>a</sup>. Gastrointestinal. In Edmonds C, Bennett M, Lippmann J. *Diving and Subaquatic Medicine*, 4<sup>th</sup> Edition, June 30, 2005 by CRC Press. Chapter 12 « Decompression sickness : clinical » p. 147. ISBN 9780340806296.

Walker R<sup>b</sup>. Gastrointestinal System. In : Edmonds C., Bennett M., Lippmann J. *Diving and Subaquatic Medicine*, 4<sup>th</sup> Edition, June 30, 2005. CRC Press. Chapter 53 « Medical standards for recreational divers » p. 548. ISBN 9780340806296.

Walker R<sup>c</sup>. Gastrointestinal System. In Edmonds C., Bennett M., Lippmann J. *Diving and Subaquatic Medicine*, 4<sup>th</sup> Edition, June 30, 2005. CRC Press. Chapter 54 « Medical standards for commercial divers » p. 556. ISBN 9780340806296.

## CHAPITRE XVII

### NEUROLOGIE ET PSYCHIATRIE

Le système nerveux peut être considéré comme l'un des organes cible des effets de l'immersion et surtout de l'augmentation de la pression ambiante (tableaux I et II, p. 25 et 26) en particulier par l'augmentation de la pression partielle des gaz inhalés (oxygène et azote) lors de la plongée en scaphandre à l'air ou aux mélanges contenant de l'azote (nitrox, trimix). L'évaluation médicale à la pratique d'activités subaquatiques sportives et de loisir passe donc par un bilan neurologique et psychiatrique.

#### 1.- RAPPEL DES RISQUES DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES SUR LE SYSTÈME NERVEUX CENTRAL

Dans les activités subaquatiques sportives ou de loisir, l'exposition aux conditions d'immersion et, lors des plongées en scaphandre, à une augmentation de pression d'oxygène ou d'azote, peut entraîner des modifications de comportement à l'origine de risques pour la santé (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 épileptique hyperoxique,
- du point de vue psychiatrique : l'attaque de panique.

#### 1.1.- La crise épileptique hyperoxique

La crise épileptique hyperoxique est la conséquence de la toxicité aiguë de l'oxygène. Cette crise survient d'autant plus rapidement :

- que la pression partielle en oxygène est élevée (risque élevé lorsque la pression partielle est supérieure à 1700 hPa<sup>1</sup>),
- qu'il existe des facteurs de vulnérabilité individuels abaissant le seuil épileptogène (cf. infra).

Pour une même  $PiO_2$ , le temps de latence est plus court pour un sujet en immersion que pour un sujet en caisson (Donald 1947).

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).

---

<sup>1</sup> Une  $PiO_2 > 1700$  hPa peut être atteinte ou dépassée lors de paliers à l'oxygène pur, lors de plongées aux mélanges Nitrox ou avec des appareils respiratoires recycleurs de gaz.

Cependant, les crises d'épilepsie hyperoxiques en milieu hyperbare (en dehors de l'oxygénothérapie hyperbare), dans les rares travaux épidémiologiques réalisés, restent extrêmement rares (Almeida Mdo et coll. 2007 ; Sundal et coll. 2013).

## 1.2.- L'attaque de panique

L'attaque de panique peut survenir au cours d'une narcose à l'azote (toxicité aiguë de l'azote) mais également du milieu spécifique que représente le séjour en immersion complète. Cette attaque de panique survient d'autant plus rapidement :

- que la pression partielle en azote est élevée (en pratique : plongée à l'air à partir de 30 m),
- qu'il existe des facteurs de vulnérabilité individuels au stress,
- que l'environnement d'immersion présente des stimulus stressants (faune et flore agressive, température de l'eau, conditions météorologiques, effort physique intense, charge cognitive élevée, restriction sensorielle, etc.) (Bachrach et Egstrom 1987),
- que l'immersion ou la pression entraînent des effets cardio-pulmonaires (augmentation du travail cardiaque, ventilatoire, etc.).

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.

## 1.3.- L'accident neurologique de désaturation

Conséquence d'un accident bullaire initial, les accidents de désaturation (ADD) neurologiques créent des déficits sensitifs et moteurs médullaires ou cérébraux, souvent associés. Après traitement spécifique (oxygénothérapie normo et hyperbare, réhydratation), 20 à 30 % des ADD médullaires conservent des séquelles (Blatteau et coll. 2011).

## **2.- PATHOLOGIES ET CONDITIONS PRÉEXISTANTES QUI AUGMENTENT LES RISQUES DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES POUR LE SYSTÈME NERVEUX CENTRAL**

### **2.1.- Crise épileptique hyperoxique**

Les sujets présentant un seuil épileptogène abaissé seraient plus à risque de crise épileptique 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, accidents vasculaires cérébraux),
- les traitements et substances toxiques abaissant le seuil épileptogène,
- la fatigue,
- la dette de sommeil.

### **2.2.- Attaque de panique**

Les sujets présentant une vulnérabilité au stress élevée et des capacités d'ajustement réduite seraient 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 déficience intellectuelle, trouble du spectre autistique, trouble psychotique, trouble bipolaire, trouble dépressif caractérisé, trouble panique, agoraphobie, claustrophobie, trouble dissociatif) et d'addictions,
- les antécédents de pathologies neurologiques associés à des déficits cognitifs,
- 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 coll. 2011),
- la fatigue,
- la dette de sommeil.

### **2.3.- Antécédents neurologiques**

Il n'y a pas de données permettant de savoir si un antécédent neurologique comme une sclérose en plaques (SEP) ou un accident vasculaire cérébral (AVC) augmente le risque d'accident de désaturation. Cependant, il faut envisager l'éventualité où des troubles neurologiques préexistants (par exemple un déficit sensitif lié à une SEP) altère les capacités de récupération en cas d'accident de désaturation (ADD). Dans ce cas, il serait indiqué de limiter la pratique de la plongée de manière à réduire ce risque.

### **2.4.- Pathologies psychiatriques**

Les pathologies psychiatriques équilibrées par leur traitement devront faire l'objet d'une évaluation à la fois par le psychiatre traitant, qui évaluera les risques de décompensation (délire, comportement suicidaire, états dépressifs ou accès maniaque) et par le médecin de plongée qui appréciera le risque d'interaction de la thérapeutique avec la plongée (narcose, crise convulsive...) et, en fonctions de ces éléments, fixera les limites de la pratique.

Il existe par ailleurs des associations qui prennent en charge des plongeurs porteurs de pathologies lourdes (schizophrénie, autisme) et les encadrent dans des parcours adaptés<sup>2</sup>.

### **3.- DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES NEUROLOGIQUES ET PSYCHIATRIQUES CRÉÉES PAR L'ACTIVITÉ SUBAQUATIQUE PRATIQUÉE**

#### **3.1.- Antécédents d'accident neurologique de désaturation**

Outre l'interrogatoire, un examen clinique neurologique précis et complet :

- paires crâniennes,
- sensibilités à tous les modes dans tous les territoires,
- tonicité et force segmentaire,
- réflexes ostéo-tendineux et cutanés,
- recherche de déficits de l'équilibration,

permettra de dresser un bilan fonctionnel d'éventuelles séquelles d'accident neurologique de désaturation, à compléter éventuellement par des examens complémentaires paracliniques.

#### **3.2.- Dépistage du risque de crise épileptique**

Le dépistage du risque de crise épileptique, hyperoxique ou non, nécessite :

- un interrogatoire adapté insistant sur :
  - les antécédents personnels neurologiques,
  - les antécédents évocateurs de crise épileptique,
  - les traitements en cours,
  - la prise de psychotropes abaissant le seuil épileptogène ;
- un avis neurologique spécialisé (épileptologique), indiqué en cas de doute sur un risque de crise épileptique, qui posera l'indication d'un examen complémentaire électroencéphalographique en cas de suspicion d'épilepsie en cours (Szurhaj et Derambure 2004 ; Frost 2005 ; André-Obadia et coll. 2014).

#### **3.3.- 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 capacités d'ajustement au stress (Griffiths et coll. 1981),
- les antécédents d'accident liés à la plongée subaquatique et l'anxiété anticipatrice associée (Trevett et coll. 2010; Sundal et coll. 2013).

---

<sup>2</sup> Voir Handicap et plongée, § III-2 Déficiences mentales, cognitives et psychiques, p. 255.

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 dans les activités liées à la plongée subaquatique (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 dans les activités liées à la plongée subaquatique (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 capacités d'ajustement au stress réduite.

### **3.4.- Antécédents et état psychiatrique**

Le questionnaire et l'interrogatoire renseigneront sur la prise et le suivi d'un traitement par psychotropes, les antécédents de troubles du comportement, de délires, d'états dépressifs, d'agitation ou bipolaires. Les éléments pathologiques devront si nécessaire être évalués avec le concours du psychiatre traitant.

## **4.- LES EXAMENS COMPLÉMENTAIRES RECOMMANDÉS**

### **4.1.- Pour les séquelles d'accident de désaturation**

Le bilan paraclinique, prescrit par le spécialiste, comprend selon les cas des examens électrophysiologiques (vitesses de conduction, potentiels évoqués, vidéonystag-mographie), des examens d'imagerie (IRM médullaire ou cérébrale), des examens fonctionnels (cystographie) et la recherche d'un *foramen ovale* perméable (FOP), dans tous les cas indispensable.

### **4.2.- Concernant la crise épileptique : l'électroencéphalographie**

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). Il faut rappeler que 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 de crise épileptique hyperoxique (Malhotra and Kumar 1975).

L'EEG est indiqué en cas de suspicion clinique de crise épileptique ou d'épilepsie lors de l'interrogatoire et sur avis spécialisé épileptologique (cf. supra). Dans ce cas la présence d'anomalies EEG pourra contre-indiquer les activités subaquatiques, non pas du fait de leur seule présence, mais parce qu'elles renforcent l'hypothèse de crise épileptique ou d'épilepsie probable chez le sujet examiné.

Aucun examen EEG périodique n'est indiqué sauf en cas de changement de la situation clinique (en particulier en cas de survenue de crise épileptique).

### **4.3.- Concernant les attaques de panique**

Bien qu'il ne s'agisse pas d'un examen complémentaire à proprement parler, l'entretien médical devra évaluer le niveau d'anxiété et de capacité d'ajustement au stress que le sujet présente lors de ses immersions en particulier en cas de plongée en scaphandre. Ces éléments devront être particulièrement explorés en cas de condition de plongée spécifique : archéologie subaquatique, plongée sous plafond, plongée avec réduction de visibilité, plongée souterraine et plongée « extrême ».

## **5.- RESTRICTIONS D'ACTIVITÉS RECOMMANDÉES**

### **5.1.- Liées aux séquelles d'accident de désaturation**

Le déficit fonctionnel résiduel commandera les conditions de la plongée (encadrement, efforts, conditions thermiques, durée, profondeur).

La présence d'un shunt droite-gauche (SDG) découvert après un accident de désaturation neurologique fait courir un risque de récurrence. Elle impose de limiter l'activité de plongée afin de réduire considérablement la production de bulles : plongées sans paliers, peu profondes, sans effort ventilatoire ni manœuvre de Valsalva avec utilisation de mélanges suroxygénés (Brebeck et coll. 2018).

### **5.2.- Liées au risque de crise épileptique**

En cas d'antécédent de crise épileptique une contre indication à la pratique d'activité subaquatique sera envisagée sauf lorsque l'ensemble des conditions suivantes est réuni :

- 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).

Dans ces conditions, toute exposition à une  $PiO_2 > 1$  ATA sera contre-indiquée : la plongée en scaphandre à l'air sera limitée à 40 mètres. L'utilisation des mélanges suroxygénés, des mélanges synthétiques ternaires, les plongées sous plafond ou souterraines et les plongées « extrêmes » seront contre-indiquées.

En cas d'épilepsie en cours ou nécessitant un traitement une contre-indication aux activités subaquatiques sera à envisager.

En cas d'antécédent de crise épileptique hyperoxique isolée lors d'une plongée en scaphandre une contre indication à cette activité est à envisager. Les autres activités subaquatiques n'entraînant pas une augmentation de pression d'oxygène pourront être envisagées.

### **5.3.- Liées au risque d'attaque de panique**

Si la présence d'un trouble psychiatrique n'est pas une contre-indication *a priori* à des activités subaquatiques, elle doit conduire à une attitude prudente et une évaluation rigoureuse du trouble psychiatrique et de son traitement.

Les conditions de plongée (narcoses à l'azote, plongées sous plafond, plongée sans visibilité, plongées rendues difficiles par des conditions extérieures comme le froid ou le courant...) peuvent augmenter les risques d'attaque de panique.

En cas de risque d'altération du jugement, l'encadrement voire la pratique en autonomie devra être contre-indiquée.

Dans tous les cas, le médecin signataire du CACI devra s'entourer des avis spécialisés nécessaires (psychiatre, médecin référent de la personne ...) et en l'absence de contre-indication formelle, devra préciser sur le CACI les restrictions techniques en fonction de l'évaluation des risques psychiatriques.

En cas de déficience et de doute sur les capacités techniques du plongeur, le médecin peut recommander sur le CACI une évaluation individuelle, en situation, par un encadrant spécialisé (voir chapitre XXVI Handicap et plongée).

En cas d'antécédent d'attaques de panique répétées (supérieures à une) en plongée, une contre indication à la plongée en scaphandre est également à envisager.

#### **5.4.- Pathologie neurologique préexistante**

L'impact des contraintes neurologiques de la plongée (toxicité des gaz, désaturation) sur une affection neurologique pré existante et sur ses traitements n'est pas connu. En particulier, il est possible que les capacités de récupération et de compensation après accident de désaturation dans ces cas là ne soient pas optimales.

Le médecin examinateur devra pour chaque situation évaluer soigneusement avec l'aide des spécialistes référents la ou les pathologies présentées, leur potentiel évolutif, les traitements pris ; il devra confronter les spécificités de la ou des pathologie(s) à celles de l'activité de plongée afin de conseiller au mieux son patient dans son éventuelle pratique. Des restrictions techniques peuvent permettre de limiter certains risques.

Pour les affections neurologiques avec déficit fonctionnel, se référer au chapitre XXVI Handicap et plongée.

## Recommandation n° 9

L'examen neuro-psychiatrique doit évaluer :

- le risque de crise épileptique (antécédents, traitements en cours, habitus). Un examen électroencéphalographique pourra être prescrit par le spécialiste en cas de doute ;
- le risque d'attaque de panique (antécédents, hygiène de vie, questionnaire spécialisé administré par le spécialiste en cas de doute) ;
- l'état psychiatrique général (traitements en cours, troubles du comportement, risque suicidaire, antécédents d'états délirants ou d'agitation, etc.).

Un sujet avec des antécédents d'épilepsie pourra être autorisé à plonger (plongée à l'air, 40 m maximum exclusivement) si les conditions suivantes sont réunies :

- 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).

Après accident neurologique de désaturation, le bilan fonctionnel repose sur l'examen clinique complet et approfondi et sur des examens complémentaires électrophysiologiques et d'imagerie prescrits par le spécialiste. La recherche d'un *foramen ovale* perméable doit être systématique. Sa présence imposera des restrictions sévères d'activité. (2B)

Les conduites addictives seront dépistées par l'examen et l'interrogatoire et feront l'objet d'une information du sujet sur les risques encourus.

---

## Références

Almeida Mdo 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.

Blatteau JE, Gempp E, Simon O, Coulange M, Delafosse B, Souday V, Cochard G, Arvieux J, Henckes A, Lafere P, Germonpre P, Lapoussiere JM, Hugon M, Constantin P, Barthelemy A. Prognostic factors of spinal cord decompression sickness in recreational diving: retrospective and multicentric analysis of 279 cases. *Neurocrit Care*. 2011; 15(1): 120-7.

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.

- Brebeck AK, Deussen A, Range U, Balestra C, Cleveland S, Schipke JD. Beneficial effect of enriched air nitrox on bubble formation during scuba diving. An open-water study. *J Sports Sci.* 2018; 36(6): 605-12.
- Colvard D, Colvard L. A study of panic recreational scuba divers. *The Undersea Journal*, First Quarter 2003: 40-4.
- Donald KW. Oxygen poisoning in man. *Br Med J.* 1947 May 17; 1(4506): 667-72.
- Edmonds C, C. Lowry et al. *Diving in subaquatic medicine.* Butterworth-Heinemann, London, 1992.
- Frost J. EEG in aviation, space exploration, and diving. *In: Niedermeyer E and Lopes da Silva F (eds). Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields.* Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2005. p. 683-8.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

## CHAPITRE XVIII

# DERMATOLOGIE ET ALLERGOLOGIE

## 1.- LES RISQUES DERMATOLOGIQUES ET ALLERGOLOGIQUES DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES

La peau et l'appareil respiratoire sont les interfaces avec le milieu (eau et matériel), sollicitées lors de la pratique de la plongée subaquatique. À ce titre des manifestations dermato-allergologiques cutanées ou muqueuses peuvent survenir ou une pathologie préexistante peut être déclenchée ou s'aggraver lors de l'activité subaquatique (Brooks et coll. 2003, Pecquet 2004).

Excepté pour les formes cutanées des accidents de désaturation (voir chapitre VII), les risques dermatologiques et allergologiques des activités subaquatiques sont peu évalués (Tiougan et coll. 2010). C'est ainsi que dans les recommandations à la plongée subaquatique de loisir actuellement disponibles (Manuel du médecin fédéral<sup>1</sup>), il n'y a pas de chapitre dermatologique ou allergologique. Les recommandations pour le suivi médical des travailleurs intervenant en conditions hyperbares (MESUBHYP 2018) évoquent succinctement les affections allergologiques et préconisent que les épisodes aigus doivent être contrôlés et que les épisodes infectieux doivent être traités et guéris avant d'autoriser l'activité.

## 2.- PATHOLOGIES DERMATOLOGIQUES ET ALLERGOLOGIQUES PRÉEXISTANTES QUI AUGMENTENT LES RISQUES DE LA PLONGÉE SUBAQUATIQUE

### 2.1.- Anaphylaxie

#### a) *Rhino-conjonctivite allergique*

L'obstruction nasale chronique peut gêner ou empêcher les manœuvres d'équilibration de l'oreille moyenne. Il est donc nécessaire d'évaluer la perméabilité tubaire lors de la visite d'absence de contre indication.

Il n'y a pas de contre-indication liée aux traitements antihistaminiques de nouvelles générations (Sipinen et coll. 1995, Taylor et coll. 2000, Pace et coll. 2005) ou aux protocoles de désensibilisation.

#### b) *Asthme allergique*

On peut se référer aux recommandations générales sur l'asthme (p. 94). Chez un patient en cours de désensibilisation avec un asthme allergique équilibré autorisant la plongée, il est préférable d'éviter la plongée subaquatique dans les jours suivants les changements de flacon.

---

<sup>1</sup> <http://medical.ffessm.fr/wp-content/uploads/MANUEL-DU-MEDECIN-FEDERAL-FFESSM-CMPN-AU-28-11-2013.pdf> [5 mars 2018].

### **c) Anaphylaxie alimentaire liée à l'effort**

Voir paragraphe 3.

### **d) Allergie à l'aspirine**

Les réactions d'intolérance aux AINS sont peu fréquentes jusqu'à l'âge de 30 à 40 ans où elles apparaissent alors chez des patients qui avaient parfaitement toléré les AINS auparavant. On observe des symptômes respiratoires (asthme, rhinite obstructive et parfois larmoiement) associés peu fréquemment à des symptômes digestifs, qui surviennent souvent une demi-heure à deux heures après la prise d'AINS, et des manifestations cutanées (urticaire, angioedème) peu souvent associées aux manifestations respiratoires, qui débutent en général plus tardivement, soit 4 à 24 heures après la prise d'AINS.

L'utilisation d'aspirine ou d'AINS chez ces personnes en cas d'accident de désaturation est contre-indiquée mais, en raison du caractère accessoire de cette thérapeutique, l'allergie à l'aspirine ne saurait constituer une contre-indication à la plongée. Le plongeur devra être avisé qu'il lui faudra dans cette éventualité informer son entourage.

## **2.2.- Urticaire chronique spontanée (UCS)**

Il existe de nombreux facteurs pouvant déclencher une urticaire chronique spontanée lors de l'activité de plongée : stress, fatigue, ou certains médicaments (corticoïdes, AINS). La symptomatologie (plaques urticariennes ou angioedèmes) peut être confondue avec les signes d'un accident de désaturation (ADD) de type cutané (Dennison 1971, Qing et coll. 2017).

Il est nécessaire qu'un diagnostic dermatologique spécialisé soit réalisé pour confirmer le diagnostic d'UCS avant de début de l'activité de plongée et éviter un sur-diagnostic d'ADD cutané.

*Il n'y a pas de contre-indication à la plongée en dehors d'une poussée étendue d'urticaire. La plongée sous anti-histaminiques de seconde génération peut être autorisée.*

*A contrario, des lésions urticariennes survenant après la plongée, surtout si elle est saturante, a fortiori en l'absence d'urticaire chronique spontanée ou d'urticaires chroniques inductibles pré-existantes, doivent faire évoquer un ADD cutané et être explorées comme tel avant d'orienter vers un dermatologue ou un allergologue.*

## **2.3.- Urticaires chroniques inductibles (UCI)**

### **a) Dermographisme, urticaire retardée à la pression**

Localisées sur les zones de frottement ou de pression (manchons de la combinaison, épaules, pourtour du masque), les lésions apparaissent rapidement dans le cadre du dermographisme, un peu plus tardivement pour l'urticaire retardée à la pression (Barbaud 2003). Le diagnostic préalable par un spécialiste est indispensable pour éviter les confusions avec d'éventuelles manifestations d'ADD cutanés.

*Pas de contre-indication à la plongée.*

*Prévention ou traitement : anti-histaminiques H1 de seconde génération.*

### **b) Urticaire au froid**

Les lésions urticariennes apparaissent rapidement après un contact plus ou moins prolongé avec l'eau froide ou à l'abaissement brutal de la température (Mathelier-Fusade et coll. 1994). D'autres facteurs de refroidissement, comme le vent, peuvent déclencher ces lésions. L'atteinte des muqueuses est possible. Il existe des formes généralisées et un risque de réaction anaphylactoïde avec hypotension, choc et perte de connaissance est possible. (Mazarakis 2014)

*Contre-indication absolue et définitive aux activités aquatiques et subaquatiques, même sous antihistaminiques.*

### **c) Angioœdème vibratoire**

C'est une urticaire chronique inductible, rare, déclenchée par les vibrations. Les symptômes apparaissent rapidement en quelques minutes après le début du stimulus physique et ils sont localisés préférentiellement au niveau des mains et des avant bras. Une atteinte de la lnette est possible, entraînant un risque théorique d'œdème de la lnette à la respiration sous détendeur.

*La plongée peut être autorisée en l'absence d'atteinte de la lnette. L'utilisation des antihistaminiques de seconde génération est possible.*

*Contre-indication à la plongée en cas d'antécédent d'œdème de la lnette.*

### **d) Prurit aquagénique**

Les symptômes se caractérisent par un prurit sans lésion urticarienne après un contact avec l'eau, quelle que soit sa température. Il faut éliminer une polyglobulie.

*Après avoir éliminé une polyglobulie, la plongée peut être autorisée selon la tolérance clinique. Antihistaminiques autorisés (efficacité faible).*

### **e) Urticaire aquagénique**

Quelle que soit la température de l'eau (contrairement à l'urticaire au froid), douce ou saline, elle survient quelques minutes après le contact avec l'eau, ce qui permet de la différencier des manifestations d'ADD cutanés. Il existe des formes familiales avec malaise et syncope.

*Contre-indication à la plongée en cas de forme familiale associée à des malaises.*

*En l'absence de forme familiale associée à des malaises, on peut autoriser la pratique de la plongée après avis dermatologique et selon la tolérance clinique. Antihistaminiques de seconde génération autorisés.*

### **f) Urticaire solaire**

Forme rare d'urticaire touchant préférentiellement la femme jeune. Les symptômes surviennent quelques minutes après l'exposition solaire, quelle qu'en soit l'intensité. Des formes généralisées sont possibles avec des manifestations anaphylactoïdes en cas d'exposition massive. Le traitement est habituellement réalisé par antihistaminiques à forte dose et photothérapie.

*La plongée peut être autorisée en cas de forme bénigne améliorée par le traitement. Utilisation possible des antihistaminiques.*

*Contre-indication à la plongée en cas de forme généralisée ou en cas de manifestations anaphylactoïdes.*

### **g) Urticaire d'effort ou urticaire cholinergique**

Ces urticaires se manifestent par des lésions micro-papuleuses, déclenchées par l'effort ou les émotions. Des formes généralisées sont possibles avec une dyspnée, un malaise et des douleurs abdominales.

Le diagnostic différentiel est à faire avec l'anaphylaxie alimentaire à l'effort.

Elles sont améliorées par les antihistaminiques et les antileucotriènes.

*La plongée peut être autorisée en l'absence de forme généralisée.*

*Utilisation possible des antihistaminiques et antileucotriènes.*

## **2.4.- Angioedème histaminique chronique**

De mécanisme histaminique non allergique, ces angioedèmes (AE) entrent dans le cadre de l'urticaire chronique spontanée (Boccon-Gibod 2014). Les formes isolées, non associées à des plaques d'urticaire, représentent 10 % des UCS. Ils peuvent intéresser toutes les localisations y compris la sphère ORL : lèvres, langue, oropharynx, larynx (dysphonie). Il n'y pas de risque de détresse respiratoire mais les crises oropharyngées peuvent être très anxiogènes avec sensation de dyspnée et risque de panique.

Le mécanisme étant le même que dans l'urticaire chronique, les facteurs déclenchants liés à l'activité de plongée sont les mêmes (fatigue, stress, médicaments histamino-libérateurs).

Il conviendra d'éliminer un angioedème bradykinique (voir *infra*) surtout si les patients sont sous IEC, par un avis spécialisé.

*Pour tout antécédent d'atteinte labiale, linguale, buccale, oropharyngée ou laryngée : contre-indication à la plongée, même sous antihistaminiques.*

*Pour les autres localisations céphaliques (paupières, visage) à l'exception de la sphère ORL, la plongée peut être autorisée en dehors d'une crise. Plongée autorisée sous antihistaminiques.*

## **2.5.- Angioedèmes bradykiniques (angioedèmes neurotiques ou héréditaires)**

Le C1 inhibiteur (C1INH) est une protéine SERPIN (Serine Protease Inhibitor). Il inhibe plusieurs protéines dont la fraction C1 du complément et est impliqué dans la genèse des AE bradykiniques. Il existe des formes avec déficit en C1INH héréditaires ou acquises et des formes sans déficit du C1INH, héréditaires ou secondaires à certains traitements dont les IEC (Cicardi et coll. 2014).

Le risque d'angioedème touchant l'extrémité céphalique, la sphère ORL (cavité buccale, langue, oropharynx) et notamment d'angioedème laryngé, est imprévisible. La séquence minimale d'une crise pouvant mener à un œdème laryngé étant de 4 minutes (Bork et coll.

2012), il s'agit d'une contre-indication absolue et définitive à la plongée subaquatique ainsi qu'à la pratique de l'apnée.

Pour les formes sans déficit du C1INH secondaires aux IEC ou aux antagonistes des récepteurs de l'angiotensine 2 (ARA2), les crises peuvent survenir pendant 6 mois après l'arrêt du traitement (Beltrami et coll. 2011). Une période d'observation d'un an après l'arrêt des traitements devrait être respectée. En l'absence de récurrence de crise pendant cette période, la recherche de contre-indications pourra être renouvelée après avis d'un spécialiste référent de cette pathologie.

*Contre-indication absolue et définitive à la plongée subaquatique.*

*Pour les formes liées aux IEC ou ARA2 : période d'observation d'un an après l'arrêt des traitements et avis spécialisé.*

## **2.6.- Photo-dermatoses idiopathiques**

Il s'agit de la lucite estivale bénigne et de la lucite polymorphe.

Ces deux pathologies peuvent survenir ou s'aggraver par l'exposition solaire inhérente à l'activité, qui peut être importante, surtout en milieu tropical. Les lésions polymorphes et très prurigineuses apparaissent en moins de 12 h pour la lucite estivale bénigne et en 12 à 48 h pour la lucite polymorphe. Elles touchent les zones exposées, sauf le visage pour la première et peuvent affecter même les zones non exposées à la lumière pour la lucite polymorphe. Elles régressent en quelques jours à quelques semaines après l'arrêt de l'exposition.

La pathologie s'aggrave les premières années puis s'améliore progressivement en 5 à 10 ans.

La prévention et le traitement consistent en une photo-protection efficace et la prise d'antipaludéens de synthèse.

Un avis spécialisé dermatologique est nécessaire avant la visite de recherche de contre-indications.

*Plongée autorisée sauf lésions cutanées étendues ou avis contraire du dermatologue.*

*Plongée autorisée sous antipaludéens de synthèse (Petersen et Regis 2016).*

## **3.- PATHOLOGIES DERMATO-ALLERGOLOGIQUES CRÉÉES PAR L'ACTIVITÉ SUBAQUATIQUE**

### **3.1.- Anaphylaxie**

Si elle est souvent évoquée, l'anaphylaxie qui correspond au type I de la classification de Gell et Coombs (Gell et Coombs 1963, tableau I) est rarement prouvée. Nombre de réactions étiquetées anaphylaxie sont probablement des envenimations sans réaction immuno-allergique.

Type	Classification	Délai d'apparition	Manifestations
I	Médiée par les IgE	30 – 60 minutes	Angioœdème, asthme, rhinite, urticaire, anaphylaxie
II	Cytotoxique	> 72 heures	Anémie hémolytique, thrombocytopénie, neutropénie
III	Complexe immun	> 72 heures et jusqu'à 21 jours	Syndrome de Stevens-Johnson, lésion tissulaire, maladie sérique ( <i>serum sickness</i> )
IV	Médiée par la cellule (retardée)	> 48 heures	Dermatite de contact

**Tableau I :** Classification des réactions d'hypersensibilité selon Gell et Coombs (1963).

### **a) Anaphylaxie au milieu**

Les cas documentés d'anaphylaxie liés à l'environnement sont rares. Un cas de choc anaphylactique ayant entraîné le décès a été décrit après récurrence de piqûre d'*Acanthaster* (Ihama et coll. 2014).

Un autre cas de réaction anaphylactique avec IgE spécifiques a été décrit après ingestion de méduses chez une plongeuse vraisemblablement sensibilisée par des piqûres itératives lors de plongées (Suzuki et coll. 2017).

### **b) Réactions anaphylactoïdes et urticaire au froid**

Une publication fait état d'un plongeur qui présentait une urticaire au froid avec des réactions anaphylactoïdes lors de l'activité de plongée (Işk et coll. 2014).

La fréquence de cette pathologie est vraisemblablement sous-estimée car elle est méconnue et non publiée (Mathelier-Fusade et coll. 1998).

### **c) Anaphylaxie alimentaire liée à l'effort**

Séquence physiopathogénique associant l'ingestion d'un allergène, la réalisation d'un effort physique dans les 2 à 4 heures (jusqu'à 20 heures) qui suivent et la survenue de signes d'anaphylaxie pouvant aller jusqu'au grade IV de la classification de Ring (Ring et Messmer 1977, tab. II). Les allergènes les plus fréquents sont le blé et les crustacés. Les sports les plus souvent en cause sont les sports d'endurance. Les manifestations surviennent habituellement dans la première demi-heure suivant le début de l'effort physique (jogging, sports collectifs, équitation). Les AINS et l'acide acétylsalicylique (AAS) sont des facteurs favorisants et aggravants (Beaudouin 2010).

Un cas d'anaphylaxie alimentaire liée à l'effort survenu en cours de plongée a été décrit en 2015 (Nagakura et coll. 2015) : un plongeur avait présenté une réaction anaphylactique de grade III au cours de la 3<sup>e</sup> plongée de la journée, réalisée en début d'après-midi alors qu'il avait consommé du *nattou* (graine de soja fermentée) au petit déjeuner. Les tests cutanés à lecture immédiate étaient positifs au *nattou*.

Grades	Symptômes
0	Signes cutanés loco-régionaux
I	Signes cutanéomuqueux généraux : érythème, urticaire, angioœdème.
II	Au moins 2 organes atteints : signes cutanéomuqueux, symptômes cardio-vasculaires (hypotension modérée), symptômes respiratoires (toux, dyspnée, bronchospasme), symptômes digestifs.
III	Collapsus cardio-vasculaire (choc, tachycardie ou bradycardie, arythmie). +/- symptômes de grade I ou II.
IV	Arrêt cardiaque ou respiratoire. Décès (par inefficacité des manœuvres de réanimation).

**Tableau II :** Les grades de sévérité des allergies immédiates (classification de Ring et Messmer).

*En cas de symptomatologie évoquant une réaction anaphylactique au cours de l'activité plongée, une consultation d'allergologie est nécessaire afin de confirmer ou d'écarter l'hypothèse allergologique et le cas échéant d'en effectuer le bilan étiologique.*

*Dans les cas documentés d'anaphylaxie alimentaire liée à l'effort, l'éviction de l'allergène avant la plongée est indispensable. Si elle est impossible, cela constitue une contre-indication à la plongée.*

### 3.2.- Eczéma de contact

Les eczémas de contact correspondent au type IV de la classification de Gell et Coombs (tab. I). Ils sont souvent évoqués et plus documentés que les réactions anaphylactiques mais ils restent néanmoins peu fréquents (Castelain et Pecquet 2009).

Les allergènes les plus fréquemment mis en évidence sont les dérivés thiourés présents dans les combinaisons et vêtements en néoprène, y compris dans ceux étiquetés « 100 % *spandex* » : diéthylthiourée, dibutylthiourée, diphénylthiourée. Ce sont des activateurs de la vulcanisation du caoutchouc synthétique.

Sept publications (Buus et Andersen 2002, Gudi et coll. 2004, Kroft et Van Der Valk 2007) relatent une dizaine de cas de patients atteints d'un eczéma, pour la plupart à la combinaison et un aux chaussons de plongée (Foussereau et coll. 1982), avec des tests positifs au dérivés thiourés. Dans une autre publication (Dall et Andersen 2012), sur 37 patients sensibilisés aux thiourés, 8 sujets l'étaient par l'intermédiaire de vêtements en néoprène sans que soit précisée l'activité.

En cas de réactions eczématiformes aux vêtements de plongée, il faut demander une consultation de dermato-allergologie et réaliser des tests épicutanés à lecture retardée testant directement les dérivés thiourés et également un échantillon de la combinaison.

Chez les plongeurs ou apnéistes sensibilisés, il est difficile de trouver une alternative. Les combinaisons en *spandex* contiennent aussi du néoprène, même celles étiquetées 100 % *spandex*. Le port de vêtements sous la combinaison peut améliorer les signes mais de manière inconstante. Les combinaisons de type « peau de requin » peuvent être une alternative dans la mesure où la partie contenant du néoprène est enchâssée dans des couches de textile (Lycra® ou Nylon®).

D'autres allergènes présents dans les combinaisons de plongée et responsables d'eczéma ont été mis en évidence par des tests épicutanés de manière isolée ou associée, tels que des résines de phénolformaldéhyde ou le diéthylthiocarbamate. (Nagashima et coll. 2003, Martoletta et coll. 2008).

Dans un cas de dermatose de contact du visage dû au masque, le sujet était sensibilisé à un allergène « chimère » composé de diéthylthiocarbamate et de benzothiazole (accélérateurs de la vulcanisation) (Bergendorf et Hansson 2003).

### **3.3.- Phototoxicité et photo-allergie (ou photosensibilité)**

Ces deux pathologies sont liées à l'activité de plongée avec exposition solaire, qui peut être très importante, surtout en milieu tropical, et parfois prolongée (Bourrain et Amblard 1997).

#### **a) Phototoxicité**

De mécanisme photochimique, non immunologique, elle survient chez tous les individus sous deux conditions : présence dans la peau d'une substance phototoxique (provenant d'un traitement par voie topique ou systémique) et irradiation lumineuse par un rayonnement solaire de longueur d'onde efficace et à dose suffisante. Les lésions sont monomorphes à type de placard érythémateux survenant quelques heures après l'exposition, mimant un « super » coup de soleil avec sensation de brûlures et localisées précisément au niveau des zones photo-exposées. Elles peuvent survenir à la première prise du médicament.

#### **b) Photo-allergie (ou photosensibilité)**

De mécanisme immuno-allergique de type IV de la classification de Gell et Coombs, c'est une modification, sous l'action photonique, de la structure de la molécule présente dans la peau, qui va se comporter comme un haptène et activer le système immunitaire via les lymphocytes T.

La phase de sensibilisation, à la première cure, est cliniquement muette. Lors de la réintroduction du médicament et s'il y a exposition à la longueur d'onde spécifique, une réaction allergique à type d'eczéma peut survenir 24 à 72 heures après l'exposition solaire. Les lésions débutant sur les zones découvertes peuvent s'étendre aux zones couvertes.

En cas d'antécédent suspecté de photo-toxicité ou de photo-sensibilité, une consultation spécialisée de dermato-allergologie est nécessaire pour confirmer le diagnostic et identifier le médicament en cause. L'éviction de la molécule incriminée, si elle est possible, permet l'activité et l'éventuelle exposition solaire sans risque.

En l'absence d'antécédent, en cas de traitement de fond ou de l'introduction d'un nouveau traitement, vérifier l'éventuelle photo-toxicité ou photo-sensibilité du traitement (Litt 2009, Barbaud et coll. 2011).

#### 4) LES EXAMENS RECOMMANDÉS

Hormis la recherche des antécédents et l'examen clinique, il n'y a pas d'examen complémentaire nécessaire pour un premier accès à l'activité ou un examen périodique.

Il n'y a pas de restriction dermatologique ou allergologique liée à l'âge.

##### **Recommandation n° 10**

Hormis la recherche des antécédents et l'examen clinique, il n'y a pas d'examen dermatologique complémentaire nécessaire pour un premier accès à l'activité ou un examen périodique.

Les affections dermatologiques aiguës doivent être contrôlées et les épisodes infectieux guéris avant d'autoriser la pratique.

Un avis spécialisé est nécessaire devant tout antécédent allergologique. L'allergie à l'aspirine n'est pas une contre-indication à la plongée. Le plongeur doit être informé de la conduite à tenir en cas d'accident de désaturation.

L'urticaire au froid, les angioedèmes bradykininiques constituent des contre-indications à la plongée. Les autres pathologies allergologiques sont à évaluer avec le dermatologue en fonction des risques.

Les eczémas de contact avec les constituants des équipements utilisés peuvent nécessiter l'éviction des activités.

---

#### **Références**

Barbaud A. Urticaires physiques. *Ann Dermatol Venerol* 2003, 130 : 16-27.

Barbaud A, Tréchet P, Béani JC. Médicaments photosensibilisants - Société Française de Dermatologie 2011. <http://www.sfdermato.org/media/pdf/mini-site/photosensibilisation-d2ed2a51999d95b11afae6d99ef39f0.pdf> [8 mars 2018].

Beaudouin E. Anaphylaxie alimentaire induite par l'effort : épidémiologie et aspects cliniques. *Rev. fr. Allergol* 2010, 50: 184-7.

Beltrami L, Zanichelli A, Zingale L, Vacchini R, Carugo S, Cicardi M. Long-term follow-up of 111 patients with angiotensin-converting enzyme inhibitor-related angioedema. *J Hypertens*. 2011 Nov; 29(11): 2273-7.

Bergendorff O, Hansson C. Contact dermatitis to a rubber allergen with both dithiocarbamate and benzothiazole structure. *Contact Dermatitis* 2007, 56(5): 278-80.

Boccon-Gibod I. Les Angioedèmes dans l'urticaire. *Angioedema and urticaria*. *Ann dermatol Venerol* 2014, 141: S215-25.

Bork K, Hardt J, Witzke G. Fatal laryngeal attacks and mortality in hereditary angioedema due to C1-INH deficiency. *J Allergy Clin Immunol* 2012, 130(3): 692-7.

Bourrain J.L, Amblard P. Les photoallergies. *Rev. fr. Allergol* 1997; 37: 661-7.

- Brooks C, Kujawska A, Patel D. Cutaneous allergic reactions induced by sporting activities. *Sports Med* 2003, 33(9): 699-708.
- Buus SK, Andersen KE. Allergic contact eczema because of diethylthiourea in neoprene rubber. *Ugeskr Laeger* 2002, 164(11): 1511-2.
- Castelain M, Pecquet C. Allergie de contact aux accessoires de sport. *Rev. fr. Allergol* 2009, 49 : 254-8.
- Cicardi M, Aberer W, Banerji A, Bas M, Bernstein JA, Bork K, Caballero T, Farkas H, Grumach A, Kaplan AP, Riedl MA, Triggiani M, Zanichelli A, Zuraw B; HAWK under the patronage of EAACI (European Academy of Allergy and Clinical Immunology). Classification, diagnosis, and approach to treatment for angioedema: consensus report from the Hereditary Angioedema International Working Group. *Allergy*. 2014 May; 69(5): 602-16.
- Dall AB, Andersen KE, Mortz CG. Targeted testing with diethylthiourea often reveals clinically relevant allergic contact dermatitis caused by neoprene rubber. *Contact Dermatitis* 2012, 67(2): 89-93.
- Dennison, WL Jr. (1971). A Review of the Pathogenesis of Skin Bends. US naval submarine medical center report 660, 1–15.
- Foussereau J, Herve-Bazin B, Cavelier C, Certin JF. A case of allergy to dibutylthiourea caused by diver's footgear. *Derm Beruf Umwelt* 1982, 30(2): 58-9.
- Gell PGH, Coombs RRA. *Clinical Aspects of Immunology*. Oxford, Blackwell. 1963. 883 p.
- Gudi VS, White MI, Ormerod AD. Allergic contact dermatitis from dibutylthiourea in a wet suit. *Dermatitis* 2004, 15(1): 55-6.
- Ihama Y, Fukasawa M, Ninomiya K, Kawakami Y, Nagai T, Fuke C, Miyazaki T. Anaphylactic shock caused by sting of crown-of-thorns starfish (*acanthaster planci*). *Forensic Sci Int* 2014, 236: 5-8.
- Işık S, Arkan-Ayyıldız Z, Sozmen SC, Karaman Ö, Uzuner N. Idiopathic cold urticarial and anaphylaxis. *Pediatr Emerg Care* 2014, 30(1): 38-9.
- Mazarakis A, Bardousis K, Almpanis G, Mazaraki I, Markou S, Kounis NG. Kounis syndrome following cold urticaria: the swimmer's death. *Int J Cardiol* 2014, 176 (2) : e52–e53
- MEDSUBHYP. Prise en charge en santé au travail des travailleurs intervenant en conditions hyperbare. Recommandations de bonne pratique. 2<sup>e</sup> éd. 2018. Disponible sur : [http://www.medsubhyp.fr/images/consensus\\_bonnes\\_pratiques\\_reglementation/Sant-au-travail-des-travailleurs-hyperbares-2018-v2.pdf](http://www.medsubhyp.fr/images/consensus_bonnes_pratiques_reglementation/Sant-au-travail-des-travailleurs-hyperbares-2018-v2.pdf) [28 septembre 2019].
- Kroft EB, van der Valk PG. Allergic contact dermatitis as a result of diethylthiourea. *Contact Dermatitis* 2007, 57(3): 194-5.
- Litt JZ. *Drug eruption reference manual (DERM)*. Informa Healthcare (New York). 15th edition. 2009.
- Martellotta D, Di Costanzo L, Cafiero M, La Bella S, Balato A. Contact allergy to p-tert-butylphenol formaldehyde resin and zinc diethyldithiocarbamate in a wet suit. *Dermatitis* 2008, 19(2): 3-4.
- Mathelier-Fusade P, Leynadier F. Les urticaires au froid. *Ann Dermatol Venereol* 1994, 121 : 429-33.
- Mathelier-Fusade P, Aïssaoui M, Bakhos D, Chabane MH, Leynadier F. Predictive factors of severity in cold urticaria. *Arch Dermatol* 1998, 134(1): 106-7.
- Nagakura T, Tanaka K, Horikawa S. A case of Nattou (fermented-soybean) - induced late-onset anaphylaxis following scuba diving. *Arerugi* 2015, 64(6): 816-21.
- Nagashima C, Tomitaka-Yagami A, Matsunaga K. Contact dermatitis due to para-tertiary-butylphenol-formaldehyde resin in a wetsuit. *Contact Dermatitis* 2003, 49(5): 267-8.

Pace T, Mifsud J, Cali-Corleo R, Fenech AG, Ellul-Micallef R. Medication, recreational drugs and diving. *Malta Medical Journal* 2005, 17: 9-15.

Pecquet C. Sports aquatiques et allergie. *Progrès en Dermato-Allergologie* tome X, John Libbey Eurotext, Montrouge 2004, 37-48.

Petersen K, Regis DP. Safety of antimalarial medications for use while scuba diving in malaria endemic regions. *Trop Dis Travel Med Vaccines* 2016 (11); 2: 23.

Qing L, Ariyadewa DK, Yi H, Wang Y, Zhou Q, Xu W. Skin lesions in swine with decompression sickness: clinical appearance and pathogenesis. *Front Physiol* 2017 (25); 8: 540.

Ring J, Messmer K. Incidence and severity of anaphylactoid reactions to colloid volume substitutes. *Lancet* 1977; i: 466-9.

Sipinen SA, Kulvik M, Leiniö M, Viljanen A, Lindholm H. Neuropsychologic and cardiovascular effects of clemastine fumarate under pressure. *Undersea Hyperb Med* 1995, 22(4): 401-6.

Suzuki S, Miyata Y, Jinno M, Kishino Y, Homma T, Ota S, Tanaka A, Yokoe T, Ohnishi T, Sagara H, Kurata N, Shimakura K, Kurose K. An adult case of anaphylaxis caused by allergy to Jellyfish. *Alerugi* 2017, 66(6): 804-8.

Taylor DM, O'Toole KS, Auble TE, Ryan CM, Sherman DR. The psychometric and cardiac effects of dimenhydrinate in the hyperbaric environment. *Pharmacotherapy* 2000, 20(9): 1051-4.

Tiougan BE, Podjasek JO, Adams BB. Aquatic sports dermatoses: part 1. In the water: freshwater dermatoses. *Int J Dermatol* 2010 49(8): 874-85.

## CHAPITRE XIX

# HÉMATOLOGIE

## I – RAPPEL DES RISQUES HÉMATOLOGIQUES DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES

### 1.- HÉMOCONCENTRATION EN PLONGÉE

La conséquence la mieux connue de l'hyperbarie immergée sur les paramètres hématologiques est l'hémoconcentration. Elle résulte le plus souvent de la diurèse que provoque l'immersion. Ces modifications surviennent en plusieurs temps : dans les 30 minutes qui suivent l'immersion, le volume plasmatique augmente par absorption de liquide interstitiel. Le rein augmente en retour le débit urinaire qui atteint 4mL/min et peut conduire à un volume urinaire de 500 à 600 mL en 2 h. La diurèse durera tout au long de l'immersion et implique une augmentation modérée de l'hématocrite et de la concentration sanguine en hémoglobine. En fait, dans le cadre de la plongée de loisir la fuite plasmatique reste limitée à 200 à 300 mL ; le degré d'hémoconcentration est donc faible : 0,5 à 2,4 % (Williams et coll. 2007, Pontier et coll. 2008). Une hémoconcentration plus rapide et plus importante peut être observée en cas d'exposition à un froid important ou prolongé (Jimenez 2010). Une vasoconstriction réflexe prononcée et étendue peut en effet créer une augmentation de pression sanguine conduisant à une extravasation et une hémoconcentration, découplées du volume urinaire (Vogelaere 1992, Regnard et coll. 2009).

### 2.- PLONGÉE ET ACTIVATION DE L'HÉMOSTASE

Certains arguments biologiques évoquaient une activation de l'hémostase lors de la plongée en scaphandre autonome (Gris et coll. 1998), mais ceci n'a pas été confirmé (Olszanski et coll. 2001) : les seules constatations liées à la plongée (en l'absence de toute manifestation pathologique) étaient une baisse modérée du taux de plaquettes (Barnard et Weathersby 1981) et de certains facteurs de coagulation. Là encore, cette baisse de plaquettes n'est pas retrouvée par tous les auteurs, et n'a pas de conséquences chez le sujet à taux de plaquettes normal. La question des conséquences pourrait se poser chez le sujet thrombopénique, mais rien ne l'étaye dans la littérature (Schved 2017).

### 3.- PLONGÉE ET MICROPARTICULES

L'augmentation de pression de gaz inerte et d'oxygène fait générer, par stress oxydatif, des microparticules à partir des polynucléaires neutrophiles, des plaquettes, ou des cellules endothéliales (Buhllar 2016, Tom 2014). Ces microparticules (résidus de vésicules et de membranes cellulaires) participent à la cascade pro-inflammatoire lors de l'accident de désaturation (Thom 2015).

#### **4.- APNÉE**

L'apnée, même dans les situations extrêmes n'entraîne pas de modifications constantes des paramètres hématologiques, qu'il s'agisse des éléments figurés du sang ou de l'hémostase. Elle repose néanmoins sur la qualité des échanges gazeux dans le contexte hypoxie-hypercapnie auquel l'exercice musculaire ajoute une acidose métabolique (Andersson et coll. 2002). Il paraît évident qu'une anémie, même modérée constitue un handicap pour l'apnée et génère donc un facteur de risque, d'autant que l'un des mécanismes de défense de l'organisme est l'accélération du rythme cardiaque alors que l'apnée prolongée nécessite une bradycardie. L'acidose lactique constatée lors des apnées extrêmes pourrait constituer un facteur d'activation de l'hémostase (Mitrophanov et coll. 2015).

Un groupe de pathologies doit être pris en considération : les maladies congénitales de l'hémoglobine et tout particulièrement la drépanocytose (Vigilante et DiGeorge 2014), dont la principale complication, que le patient soit anémique ou non, est l'apparition de crises vaso-occlusives, très douloureuses pouvant correspondre à des infarctus, osseux en particulier. Ces crises, correspondant à des déformations érythrocytaires appelées falciformation, sont favorisées par l'hypoxie. Les hématies falciformes ont une rigidité qui peut induire des thromboses, principalement dans les petits vaisseaux ; leur génération peut donc être déclenchée par toute activité faite en apnée. Il est intéressant de noter que parmi les thérapeutiques proposées en cas de crise vaso-occlusive figure l'hyperbarie.

## **II – RECHERCHE DE PATHOLOGIES PRÉEXISTANTES QUI AUGMENTENT LES RISQUES**

### **1.- INTERROGATOIRE**

Qu'il soit mené par le médecin ou répondant à un questionnaire médical, il permet de dépister :

- un syndrome anémique : dyspnée d'effort, voire dyspnée de repos ;
- un syndrome polyglobulique : phosphène, acouphène ;
- un syndrome hémorragique : ecchymoses récidivantes ou survenant pour des traumatismes minimes, épistaxis, hématomes récidivants. Des antécédents hémorragiques dépistés par l'interrogatoire type ménorragies, saignements post-opératoires sont importants à rechercher ;
- une drépanocytose par l'existence d'antécédents personnels évoquant des crises vaso-occlusives, ou d'antécédents familiaux de maladie de l'hémoglobine
- un antécédent de maladie thromboembolique isolé dont il faut préciser s'il est récent ou non,
- des accidents thrombotiques récidivants ;
- la prise de médicaments antiplaquettaires ou anticoagulants.

### **2.- EXAMEN CLINIQUE**

Il cherchera :

- des modifications cutané-muqueuses : pâleur des muqueuses en cas d'anémie, érythrocytose muqueuse et palmo-plantaire en cas de polyglobulie, ecchymoses multiples voire purpura en cas de thrombopénie ;

- des signes évoquant une hémopathie ou toute autre pathologie : adénopathies, hépatomégalie, splénomégalie.

### 3.- EXAMENS BIOLOGIQUES

La numération formule sanguine est l'examen de référence. Elle permet de mettre en évidence ou de confirmer certaines de ces anomalies : anémie, polyglobulie, thrombopénie. Il ne saurait être question de la proposer systématiquement chez un sujet candidat aux activités de loisir, qu'il s'agisse de plongée autonome ou de plongée en apnée. En revanche, elle sera indiquée devant des signes cliniques évoquant une anémie, une polyglobulie, un syndrome hémorragique, voire une hémopathie.

Pour l'hémostase, en dehors de la thrombopénie dépistée par la NFS, et qui dans sa forme sévère peut être responsable d'un saignement spontané grave, le dépistage d'anomalie de la coagulation par examen biologique n'est pas indiqué. Un bilan d'hémostase, comportant *a minima* outre la numération plaquettaire, un temps de céphaline activé et un temps de Quick ne serait réalisé que devant l'existence d'un syndrome hémorragique clinique.

Il avait été évoqué la possibilité d'une interférence entre état thrombophilique et survenue ou aggravation d'un accident de décompression (Coignoux et Wolkiewicz 2000). Ceci n'a jamais été confirmé. Le bilan de thrombophilie n'a pas sa place dans l'évaluation des contre-indications à la plongée (Schved 2017).

### III – LE DÉPISTAGE DES PATHOLOGIES AYANT UN IMPACT SUR LA DÉCISION MÉDICALE

Il n'est pas démontré que la plongée soit responsable en elle-même de pathologie hématologique. Dans la littérature figure un certain nombre de cas cliniques isolés dont la valeur scientifique est toute relative : hémorragie spinale spontanée après plongée (Kazutoshi et coll. 2002), hémorragie orbitale après barotraumatisme liée au masque (Butler et Gurney 2001).

Les anomalies qui pourraient avoir une incidence, en termes de risque, sont :

- **l'anémie**, dont nous avons vu le risque pour la plongée en apnée lors du retour à la pression atmosphérique qui peut entraîner une hypoxie. En scaphandre autonome, le risque d'hypoxie n'existe que lors de l'utilisation d'appareils de protection respiratoire à circuit fermé ou semi-fermé.
- **la polyglobulie**, primitive ou secondaire, qui a pour principale complication la thrombose. L'hémoconcentration induite par la plongée pourrait aggraver cette polyglobulie, même s'il n'y a pas de données cliniques attestant ce risque. Il serait néanmoins 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.

Il avait été suspecté une corrélation entre l'élévation de l'hématocrite et le risque d'accident de décompression. Cette corrélation n'a pas été retrouvée dans une série de 200 accidents de décompression survenus chez des plongeurs occasionnels (Newton 2008).

Pour l'apnée, la polyglobulie n'est pas une contre-indication ; on serait tenté d'écrire : « bien au contraire », mais il est prudent de ne pas s'aventurer sur ce terrain.

- **la thrombopénie** : les thrombopénies extrêmes (en dessous de 30 G/L) s'accompagnent d'un risque hémorragique spontané. Il n'est pas démontré que la plongée augmente ce risque hémorragique mais le caractère spontané doit inciter à la prudence dans la mesure

où ce type d'accident peut survenir à tout moment. Il est clair que la classique épistaxis qui peut survenir autant chez le plongeur autonome que chez l'apnéiste sera aggravée par l'existence d'une thrombopénie.

- **Les maladies hémorragiques congénitales** telle l'hémophilie ne sont pas des contre-indications (Schved 2012) mais l'autorisation de plonger ne peut être délivrée que dans des conditions particulières : avis du médecin en charge du patient puis avis d'un médecin compétent en médecine de la plongée et restriction des conditions de plongée liées à la pathologie.
- En cas de suspicion de **drépanocytose**, le diagnostic repose sur l'électrophorèse de l'hémoglobine et diverses techniques complémentaires.

## IV – LES EXAMENS RECOMMANDÉS

### 1.- POUR UN PREMIER ACCÈS À L'ACTIVITÉ OU COMME EXAMENS PÉRIODIQUES

Aucun examen biologique systématique ne peut se justifier. Les examens à faire pourraient être liés à la découverte de signes cliniques évoquant des pathologies hématologiques citées ci-dessus. Les hémopathies, les hémoglobinoopathies ou les états hémorragiques seront recherchés par l'anamnèse et l'examen clinique. Ils feront l'objet d'explorations complémentaires en cas d'éléments évocateurs.

### 2.- APRÈS MALADIE OU ACCIDENT

Une numération formule sanguine s'impose chez un sujet ayant un antécédent d'anémie, de thrombopénie spontanée (maladie) ou induite (chimiothérapie par exemple), de polyglobulie ou d'hémopathie maligne.

## V – RESTRICTIONS D'ACTIVITÉ ET ACTIVITÉS AUTORISÉES EN FONCTION DES RÉSULTATS

Les restrictions d'activité concernent, compte tenu des éléments ci-dessus, les anomalies ou maladies suivantes :

### 1.- ANÉMIE

Des seuils d'hématocrite à 40 % chez l'homme et 37 % chez la femme pourraient être proposés ou pour l'hémoglobine 13 g/dL chez l'homme, 11,5 g/dL chez la femme, qu'il s'agisse de plongée autonome ou d'apnée.

### 2.- POLYGLOBULIE

Le risque d'aggravation de la polyglobulie par l'hémoconcentration pourrait inciter à la prudence pour la plongée autonome 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).

### 3.- PLAQUETTES

La limite inférieure des taux de plaquettes pourrait être de 30 G/L (risque d'hémorragie spontanée) ou 50 G/L (risque d'hémorragie provoquée).

La prudence s'impose aussi pour les activités de pêche sous-marine où les blessures sont fréquentes (rochers, épines dorsales de poissons, etc.) : l'existence d'une thrombopénie peut transformer ces incidents en saignements abondants.

De même une thrombopénie importante doit faire contre-indiquer le hockey subaquatique.

Pour la thrombocytose hors syndromes myéloprolifératifs, il n'est pas possible de donner des valeurs limites. Les thrombocytoses, même jusqu'à  $1\,000\,000/\text{mm}^3$  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 tient compte des différents paramètres de la maladie et des traitements

#### **4.- MALADIES CONGÉNITALES DE L'HÉMOGLOBINE**

La drépanocytose homozygote est une contre-indication aux activités sous-marines en apnée. Les autres hémoglobinopathies doivent faire l'objet d'une évaluation individuelle.

#### **5.- MALADIES HÉMORRAGIQUES CONGÉNITALES**

L'hémophilie n'est pas une contre-indication mais le CACI n'est délivré que dans le cadre d'une procédure particulière et assorti de restrictions :

- formation autorisée jusqu'au niveau 2,
- plongée à partir d'embarcation pontée (pour éviter les traumatismes),
- conditions météorologiques favorables,

et de recommandations plus spécifiques à l'hémophilie :

- patient autonome pour son traitement, donc capable de s'auto-injecter le produit – ce qui est le cas de la plupart des hémophiles adolescents et adultes –
- disponibilité du produit à proximité du site de plongée,
- absence d'inhibiteur et suivi hématologique régulier dans un centre de traitement pour hémophile (Schved 2017).

Les activités à risque de traumatisme comme le hockey subaquatique sont à éviter.

Les précautions énoncées ci-dessus pour les plaquettes s'appliquent aussi à la pêche sous-marine.

#### **6.- MALADIE THROMBOEMBOLIQUE**

L'embolie pulmonaire récente est une contre-indication. Les séquelles respiratoires d'embolie pulmonaire contre-indiquent les activités en apnée. Pour la plongée autonome, elles doivent être évaluées par un pneumologue. À l'opposé, les antécédents de thromboses veineuses profondes ne constituent pas des contre-indications.

#### **7.- TRAITEMENTS ANTITHROMBOTIQUES**

Les agents antiplaquettaires ne sont pas des contre-indications. Ils incitent à la prudence en cas de plaie.

Les anticoagulants oraux (antivitamines K, anticoagulants oraux directs) ne sont pas des contre-indications. Ils incitent à la prudence en cas de risque de blessure (pêche sous-marine par exemple) ou de plaie et contre-indiquent les activités en des lieux où le recours rapide à une structure de soins n'est pas possible, ainsi que les activités à risque de choc comme le hockey subaquatique. Ils peuvent également avoir été prescrits pour des pathologies qui elles-mêmes contre-indiquent la plongée : coronaropathie, valvulopathie, fibrillation atriale.

### **Recommandation n° 11**

L'anamnèse et l'examen clinique rechercheront des signes cutané-muqueux d'anémie, de polyglobulie ou de coagulopathie et des signes d'hémopathie. La numération formule sanguine est l'examen de référence.

Cependant, aucun examen complémentaire n'est justifié à titre systématique. Leur prescription interviendra en cas d'éléments pertinents révélés par les antécédents ou l'examen clinique. L'avis de l'hématologue devra être demandé devant toute maladie hématologique.

---

### **Références**

- Andersson JP, Fredsted A, Schagatay E. Cardiovascular and respiratory responses to apnea with and without face immersion in exercising humans. *J Appl Physiol* 2002; 3: 882-6.
- Barnard EE, Weathersby PK. Blood cell changes in asymptomatic divers. *Undersea Biomed Res* 1981; 187-98.
- Bhullar J, Bhopale VM, Yang M, Sethuraman K, Thom SR. Microparticle formation by platelets exposed to high gas pressures - An oxidative stress response. *Free Radic Biol Med*. 2016; 101: 154-162.
- Butler FK, Gurney N. Orbital hemorrhage following face-mask barotrauma. *Undersea Hyper Med* 2001; 28: 31-4.
- Coignoux Y, Wolkiewicz J. Accidents de décompression et états thrombophiliques : approche physiopathologique. *Bull Medsubhyp* 2000, 10: 10-24.
- Gris JC, Arquizan T, Brunel C, Gillet JL, Grand D. Acute haemostasis activation after scuba diving. *Thromb Haemost* 1998; 80: 721-2.
- Kasutoshi H et coll. Spontaneous spinal hemorrhage during scuba diving. Case illustration. *J Neurosurg* 2002; 96: 351.
- 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.
- Mitrophanov AV, Rosendaal F, Reifman J. Mechanistic modeling of the effects of acidosis on thrombin generation. *Anesth Analg* 2015; 121: 278-88.
- Newton HB et coll. Neurological decompression illness and hematocrit: analysis of a consecutive series of 200 recreational scuba divers. *Undersea Hyperb Med* 2008; 35: 99-106.

Olszański R, Radziwon P, Baj Z, Kaczmarek P, Giedrojć J, Galar M, Kłoczko J. Changes in the extrinsic and intrinsic coagulation pathways in human after decompression following saturation diving. *Blood Coagul Fibrinolysis* 2001; 12: 269-74.

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: 1096-9.

Regnard J, Wolf JP, Mourot L, Tordi N, Bouhaddi M *et al.* Mesure de la capacitance vasculaire et de répartition des volumes sanguins. Régulation hémodynamique systémique. *In : Compte-rendu final de l'opération « Immersion de longue durée à neutralité thermique »*. Rapport de recherche N° 09-05. PEA n° 01 08 09, CO n° 06 CO 025. IRBA-IMNSSA, Toulon, 2009. p. 160-215.

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. V Lafay (Ed). *Coeur et plongée*. Ellipses Editions Marketing, Paris 2017. 334 p.

Thom SR, Bhopale VM, Yang M. Neutrophils generate microparticles during exposure to inert gases due to cytoskeletal oxidative stress. *J Biol Chem*. 2014; 289(27): 18831-45.

Thom SR, Bennett M, Banham ND, *et al.* Association of microparticles and neutrophil activation with decompression sickness. *J Appl Physiol* (1985). 2015; 119(5): 427-34.

Vigilante JA et DiGeorge NW. Sickle trait and diving: review and recommendations. *Undersea Hyperb Med* 2014; 41: 223-8.

Williams ST, Prior FG, Bryson P. Hematocrit change in tropical scuba divers. *Wilderness Environ Med* 2007; 18: 48-53.

## CHAPITRE XX

# DIABÈTE

## I – RAPPELS

### 1.- Diabète de type 1

Le diabète de type 1 (DT1) est une maladie auto-immune dont les premiers symptômes apparaissent quand plus de 80 % des cellules bêta des îlots de Langerhans du pancréas sont détruites. Des anticorps (Ac) circulants sont retrouvés dans 80 % des cas (auto-Ac anti-GAD<sup>1</sup>, anti-IAP2<sup>2</sup>, anti-cellules d'îlots de Langerhans et anti-insuline).

Les DT1 représentent en France environ 10 % des diabètes traités, dont plus de 50 % des cas se déclarent avant 20 ans avec une prévalence, pour les enfants de moins de 15 ans, de 13,5 cas pour 100 000. Cette prévalence s'aggrave depuis les 20 dernières années avec une augmentation de 3 à 4 % par an. L'incidence du DT1 a doublé en 30 ans principalement chez l'enfant et l'adolescent.

L'hypoglycémie est définie comme une glycémie  $< 3,9 \text{ mmol L}^{-1}$  ( $70 \text{ mg dL}^{-1}$ ). Chez le sujet sain l'hypoglycémie est une éventualité rare. Lors d'efforts prolongés ou de longues périodes de jeûne, l'inhibition de la sécrétion d'insuline et la mise en jeu des réserves glucidiques (glycogénolyse hépatique et néoglucogenèse) induites par la réponse régulatrice hormonale sont suffisantes pour éviter l'hypoglycémie vraie et ses conséquences. Chez le sujet DT1 traité par insuline, le risque d'hypoglycémie est important lors de l'augmentation de la consommation énergétique liée à l'effort et au froid en raison de la diminution des mécanismes de lutte contre l'hypoglycémie (concentration d'insuline fixe dépendant de la dose injectée et diminution des mécanismes de contre-régulation : glucagon, catécholamines, cortisol, etc). Le tableau I résume les différences de réponses à une hypoglycémie entre un sujet sain et un sujet DT1.

### 2.- Diabète de type 2

Autrefois appelé non insulino-dépendant, le diabète de type 2 (DT2) apparaît généralement chez le sujet de plus de 40 ans. Une cause génétique, le surpoids et le manque d'activité physique sont des facteurs favorisant son apparition. Silencieux et indolore, le développement de cette pathologie peut passer inaperçu dans un premier temps. On estime qu'il s'écoule en moyenne entre 5 à 10 ans entre l'apparition des épisodes d'hyperglycémie et le diagnostic de DT2.

Deux mécanismes sont à l'origine de l'hyperglycémie : l'insulinopénie, où le pancréas sécrète de l'insuline en quantité insuffisante et l'insulino-résistance, au cours de laquelle l'insuline ne

---

<sup>1</sup> Glutamate Acide Décarboxylase.

<sup>2</sup> *Insulinoma Associated Protein 2*, apparentée à la famille des protéines tyrosine-kinases.

permet pas la régulation de la glycémie ; le pancréas augmente la production d'insuline pour faire face à cette résistance et finit par ne plus produire suffisamment d'insuline.

Le DT2 est traité dans un premier temps par des mesures hygiéno-diététiques (régime hypocalorique en présence d'un surpoids, exercice physique quotidien et adapté) puis par traitements antidiabétiques oraux et parfois injectables (insuline). Leur efficacité n'est optimale que s'ils sont associés aux mesures hygiéno-diététiques associées à une activité physique régulière. C'est une maladie évolutive. Il peut donc être nécessaire d'augmenter progressivement les antidiabétiques oraux. Lorsque l'insulino-résistance ou la carence en insuline sont trop importantes, une insulinothérapie peut être proposée au patient pour éviter des complications au long cours en améliorant son équilibre glycémique.

Réponses physiologiques à l'hypoglycémie	Sujet sain	Sujet DT1
Insulinémie	↘	Non régulable (traitement par insuline)
Glucagon et symptômes de type adrénergique : <i>Adrénaline, Noradrénaline</i> <i>(palpitations, sudations...)</i>	↗	Réponse diminuée
Cortisol et hormone de croissance.	↗	Réponse diminuée
Glycogénolyse hépatique et néoglucogenèse	↗	Réponse diminuée
Utilisation glucose par les organes insulino-sensibles (muscles, tissus adipeux, foie)	↘	↘
Symptômes neuroglycopéniques : <i>(troubles cognitifs, de la concentration, état confusionnel...)</i>	↗	Variation d'un sujet à l'autre
Réactivation des événements physiologiques hyperglycémiant pour un nouvel exercice physique réalisé quelques heures après un premier.	Identiques	Se réactivent pour des glycémies + basses ; réponse adrénergique éteinte

**Tableau I** : Intensité des réponses physiologiques à une hypoglycémie chez le sujet sain et chez le sujet DT1. ↗ = forte augmentation. ↘ = forte diminution. ↘ = faible diminution.

Chez le DT2, le traitement devra être adapté avant la plongée en raison des effets secondaires ou des risques d'hypoglycémie :

- médicaments autorisés sans restriction : biguanides, inhibiteurs de la DPP4, analogues du GLP1 ;
- médicaments autorisés sauf pendant le ou les jours de plongée (météorisme) : inhibiteurs des alpha-glucosidases ;
- médicaments nécessitant une adaptation de posologie pour plonger : sulfamides, glinides, insulines.

## II – LES RISQUES DU DIABÈTE POUR LE PLONGEUR

### 1.- LE RISQUE D'HYPOGLYCÉMIE

C'est évidemment le risque majeur pour le plongeur : la perte de connaissance hypoglycémique dans l'eau expose à la noyade, et en cas de remontée en catastrophe à la

surpression pulmonaire ou à l'accident de désaturation. Ce risque est significatif pour les sujets traités par insuline mais également pour les diabétiques de type 2 traités par sulfamides ou glinides, d'autant plus que ces thérapeutiques sont associées à un régime de restriction diététique.

Cependant, l'activité physique est bénéfique pour les patients atteints de diabète de type 1 car elle diminue l'HbA1c et les besoins en insuline, contribue à maintenir un poids corporel adapté et réduit l'incidence des complications (Joubert 2018). Toutefois, les différents protocoles préventifs proposés, visant à réduire les apports en insuline ou à majorer les apports en glucide laissent persister des épisodes d'hypoglycémie (Franc et coll. 2015).

Les complications micro et macro angiopathiques exposent de plus à des troubles des échanges de gaz au niveau des tissus et donc aux accidents de désaturation.

## Épidémiologie

Une étude menée sur les données recensées par le DAN entre 1992 et 2004 (DeNoble et coll. 2006) relève 37 décès de diabétiques en plongée, dont 11 DT1, sur un total de 975 victimes. Les décès étaient liés aux complications du diabète (obésité, affections cardio-vasculaires). Mais les épisodes de perte de connaissance inexplicée étaient 10 fois plus fréquents chez les diabétiques que chez les non-diabétiques, laissant penser que l'hypoglycémie pouvait jouer un rôle. *A contrario*, Dear et coll (2004), étudiant les variations de la glycémie après 555 plongées en régions intertropicales (40 diabétiques insulino-traités – DIT – et 43 témoins), n'ont relevé aucune manifestation d'hypoglycémie. Les DIT plongeaient avec une glycémie élevée, autour de 200 mg dL<sup>-1</sup>. La chute moyenne de la glycémie était de 50 mg dL<sup>-1</sup>. Des hypoglycémies objectivées < 50 mg dL<sup>-1</sup> n'avaient pas entraîné de manifestation clinique ou subjective.

Edge et coll. (2005) ont compilé sur 11 ans (1991 – 2001) 8760 plongées chez 323 plongeurs diabétiques, débutants ou plongeurs confirmés. Deux décès ont été recensés chez des DT2. Un seul épisode d'hypoglycémie dans l'eau est survenu chez un DT1. Il n'y a pas eu de problème sérieux d'hypoglycémie dans le groupe des plongeurs diabétiques bien contrôlés.

Au cours de 120 plongées en eau tempérée (14 – 16° C) chez 15 DT1, Lormeau et coll. (2005) ont pu montrer qu'une hyperglycémie avant plongée de 200 mg dL<sup>-1</sup> était suivie d'une chute moyenne de glycémie de 40 mg dL<sup>-1</sup> et n'entraînait pas de manifestation d'hypoglycémie.

Publiée en 2015, l'étude DIALOG (Cariou et coll. 2015) portant sur 3048 patients insulino-traités de la population générale relevait toutefois des épisodes d'hypoglycémie survenus le mois précédent l'enquête chez 85,3 % des DT1 et 43,6 % des DT2, dont 13,4 et 6,4 % respectivement d'épisodes sévères. Les facteurs prédictifs étaient des hypoglycémies antérieures, plus de 2 injections d'insuline par jour et un IMC < 30 kg m<sup>-2</sup>. Le taux d'HbA1c n'était pas prédictif.

## 2.- AUTRES RISQUES

**Liés aux complications micro-angiopathiques :** les radicaux libres de l'oxygène produits par l'hyperoxie (McMonnies 2015) pourraient aggraver l'évolution d'une rétinopathie sous-jacente.

**Liés à la neuropathie :** elle pourrait favoriser les otites barotraumatiques asymptomatiques, comme observé au cours des séances d'OHB (Mozdzanowski et Perdrizet 2014).

**Liés aux complications cardio-vasculaires du DT2 :** ils justifient le bilan prérequis, en particulier la recherche d'ischémie myocardique silencieuse.

### III – PRÉVENTION DES HYPOGLYCÉMIES AU COURS DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES

L'activité physique régulière est bénéfique chez les patients atteints de diabète de DT1 (Bohn et coll. 2015) car elle diminue l'HbA1c et les besoins en insuline, contribue à maintenir un poids corporel adapté, et réduit l'incidence ou la progression de la rétinopathie et de la néphropathie diabétique, de l'hypertension artérielle et de la dyslipidémie.

Le risque d'hypoglycémie pendant l'activité physique est lié aux perturbations de la régulation de la glycémie chez les DT1 (tableau II). Il persiste plusieurs heures après l'arrêt de l'activité physique.

Sujet non diabétique	Sujet DT1
Diminution de la sécrétion d'insuline.	Insulinémie non diminuée.
Libération d'hormones de contre-régulation (glucagon, catécholamines, cortisol, hormone de croissance).	Altération de la libération des hormones de contre-régulation, du fait de l'atteinte, même a minima, du système nerveux autonome.
Apport de glucose à travers la glycogénolyse et la néoglucogenèse.	Glycogénolyse et néoglucogenèse diminuées (conséquences du déficit en hormones de contre-régulation).
Surexpression des récepteurs GLUT4 ( <i>Glucose Transporter type 4</i> ) des cellules musculaires : augmentation de la captation du glucose malgré une insulinémie faible, phénomène qui persiste plusieurs heures après l'effort.	Augmentation de la captation des glucides par les muscles, même plusieurs heures après l'exercice.

**Tab. II :** Mécanismes de régulation de la glycémie à l'effort chez le sujet normal et le DT1.

Différentes recommandations sont disponibles afin de guider les patients pour l'ajustement de leur insulinothérapie et pour l'évaluation de leurs besoins en glucides avant, pendant et après l'activité physique. Ils consistent en l'augmentation des apports d'hydrates de carbone avant et après exercice combinée avec la diminution des bolus d'insuline avant et après exercice. Malgré les difficultés, les sujets interrogés (n = 502) finissent par développer un protocole individualisé adapté à l'activité qu'ils pratiquent (Franc et coll. 2015, Pinsker et coll. 2016). L'injection de minidoses de glucagon avant l'exercice a récemment été proposée comme complément (Rickels et coll. 2018).

Pour les activités subaquatiques et plus particulièrement la plongée, des protocoles ont été proposés dès 2005 par le DAN et l'UHMS (Pollock et coll. 2005) et en France (Lormeau et coll. 2005). Le RSTC (*Recreational Scuba Training Council*) reprenait les recommandations UHMS en 2007, la SPUMS (*South Pacific Underwater Medical Society*) en 2010 et la Suède publiait les siennes en 2012 (Jendle et coll. 2012).

En résumé, la prévention des hypoglycémies en plongée s'articule autour de trois éléments : les éléments de sélection médicale des plongeurs (tous les diabétiques ne peuvent pas plonger), l'organisation des plongées (toutes les plongées ne sont pas possibles) et la gestion par le plongeur de sa glycémie (ce qui suppose un certain niveau de connaissances en la matière et d'autonomie de sa prise en charge).

À la suite des travaux de Lormeau et coll. (2005) et du congrès DAN – UHMS, la FFESSM a adopté un schéma comparable<sup>3</sup>. Le tableau III donne les principaux éléments de ces protocoles, avec leurs différences. En particulier, l'ingestion de produit glucosé en immersion est envisagée en cas de sensation d'hypoglycémie. Cette manœuvre présente un risque indéniable de noyade en l'absence de dispositif spécial qui ne nécessiterait pas de lâcher et reprendre l'embout. Elle doit donc être réservée à des sujets entraînés à la mettre en œuvre et qui ne seraient pas en situation de détresse ou simplement de stress.

À l'opposé, le recours au glucagon n'est pas envisagé.

Une autre différence essentielle réside dans la possibilité d'autoriser la plongée aux DIT âgés de 14 à 18 ans, avec les conditions particulières suivantes :

- glycémie requise 250 mg dL<sup>-1</sup> ;
- pas d'ingestion de glucose en plongée ;
- plongées encadrées uniquement. Présence d'un parent ou représentant légal requise ;
- une seule plongée sans palier par jour limitée à 20 m et 30 min.

Une expérimentation menée récemment par Lormeau et coll. (2018) a montré la faisabilité et l'efficacité de ces procédures.

Dans tous les cas, l'accord du diabétologue traitant doit être acquis.

#### **IV – CONCLUSION**

Le diabète insulino-traité (qu'il soit de type 1 ou de type 2) est un sur-risque dans la pratique de la plongée. Il doit être parfaitement connu par le plongeur, son encadrement et son médecin pour pouvoir exercer une prévention efficace. En effet, la plongée de loisir est possible pour une personne souffrant de diabète. L'autorisation de plonger est soumise à des conditions inhérentes à l'état général du sujet (absence de complications secondaires), à sa maîtrise de la glycémie, au respect d'une procédure particulière (mise en hyperglycémie préalable, encadrement, coéquipier) et de restrictions du domaine de plongée. Les sujets âgés de 14 à 18 ans sont soumis à des restrictions encore plus sévères.

Les diabétiques non insulino-traités peuvent également plonger en conditions restreintes au prix d'une adaptation de leur thérapeutique (exclusion des anti-diabétiques responsables d'hypoglycémies : sulfamides, glinides), et seulement si le bilan clinique et paraclinique montre l'absence de complications, cardiovasculaires ou neurologiques en particulier.

---

<sup>3</sup> Les différents protocoles et les documents qui s'y rapportent sont téléchargeables depuis le site de la commission nationale médicale et de prévention de la FFESSM : <http://medical.ffessm.fr/> - onglet Terrains particuliers/Nutrition et métabolisme/Diabète et plongée.

UHMS – DAN – RSTC	FFESSM (seuls les éléments différents sont cités)
<p style="text-align: center;"><b>Sélection et suivi médical des plongeurs</b></p> <p>Âge &gt; 18 ans (ou 16 dans le cadre de programmes spéciaux)            Délai à respecter après début ou changement de traitement              - 3 mois avec antidiabétiques oraux              - 1 an après début d'une insulinothérapie            Pas d'épisode d'hypo ou d'hyperglycémie dans l'année précédente            HbA1c ≤ 9 % dans le mois précédent            Absence de complications secondaires du diabète            Suivi annuel par diabétologue qui doit s'assurer de la parfaite connaissance du patient de la maladie et de ses effets sur l'activité physique            Recherche d'ischémies silencieuses pour les sujets &gt; 40 ans            Arrêt des plongées et consultation spécialisée devant tout évènement adverse en plongée</p>	<p>Procédures particulières pour les jeunes de 14 à 18 ans (voir dans le texte)</p> <p>HbA1c &lt; 8,5 %            Absence de micro ou macroangiopathies ou de neuropathie</p> <p>Recherche systématique des ischémies silencieuses</p>
<p style="text-align: center;"><b>Organisation des plongées</b></p> <p>Exclure les plongées :              - à plus de 30 m              - de plus de 60 minutes              - avec paliers de décompression obligatoires              - sous plafond (épaves, cavernes, ...)              - dans les situations pouvant aggraver l'hypoglycémie (froid, efforts importants, ...)            Coéquipier obligatoirement informé de l'état de santé du plongeur et des actions à entreprendre en cas d'incident            Coéquipier exempt de diabète</p>	<p>Plongées autorisées jusqu'à 40 m            2 plongées sans palier maximum par jour            T<sup>e</sup> eau &gt; 14° C (ou combinaison isolante étanche)</p>
<p style="text-align: center;"><b>Gestion de la glycémie pour la plongée</b></p> <p>Auto-évaluation de la forme physique pour plonger            Glycémie ≥ 150 mg dL<sup>-1</sup> stable ou en augmentation immédiatement avant la plongée            Glycémie contrôlée 60 minutes, 30 minutes et immédiatement avant de plonger            La modification des doses d'insuline ou d'ADO le soir de la veille de la plongée peut être nécessaire            Reporter la plongée si glycémie &lt; 150 mg mL<sup>-1</sup> ou &gt; 300 mg mL<sup>-1</sup>            En secours :              - disposer d'une forme orale de glucose facilement accessible en plongée              - disposer de glucagon injectable en surface            En cas d'hypoglycémie ressentie en plongée :              - faire surface, avec le coéquipier              - se mettre en flottabilité positive              - ingérer du glucose et sortir de l'eau            Vérifier souvent la glycémie pendant les 12 à 15 heures qui suivent la plongée            Assurer une hydratation suffisante les jours de plongée            Enregistrer toutes les plongées, avec les glycémies correspondantes et toutes les informations concernant la gestion du diabète.</p>	<p>Objectif glycémie : 200 mg dL<sup>-1</sup></p> <p>Pas de plongée si &lt; 160 mg dL<sup>-1</sup></p> <p>Seuil de perception de l'hypoglycémie &gt; 50 mg dL<sup>-1</sup></p> <p>Ingestion de produit glucosé en plongée autorisé</p>

**Tableau III** : Conditions pour autoriser la plongée de loisir chez un diabétique adulte.

Au total, les conditions d'encadrement et d'exécution des plongées sont telles que, au moins pour les débutants, elles ont pu être considérées comme une forme de plongée pour patient en situation de handicap (Wendling et coll. 2001).

### Recommandation n° 12

Le risque de survenue d'une hypoglycémie lors d'une activité subaquatique doit être parfaitement connu par le plongeur diabétique, son encadrement et son médecin et doit être prévenu. Il convient dans cette démarche de distinguer entre un diabétique qui intègre un cursus de formation et un diabétique plongeur ancien, qui demande le renouvellement de sa licence.

En l'absence de complications, le plongeur ou candidat plongeur porteur d'un diabète insulino-traité sera autorisé à plonger si les conditions particulières suivantes sont réunies :

- le plongeur maîtrise sa glycémie,
- il connaît les protocoles hyperglycémisants et sait les appliquer,
- il est capable de ressentir un début d'hypoglycémie et d'y réagir,
- sa formation est progressive,
- les paramètres d'environnement (température, courants, efforts) sont adaptés,
- l'encadrement et les coéquipiers sont informés et formés à la prise en charge des complications.

Les diabétiques non insulino-traités peuvent plonger en conditions restreintes au prix d'une adaptation de leur thérapeutique (exclusion des antidiabétiques responsables d'hypoglycémies) si le bilan clinique et paraclinique montre l'absence de complications, cardiovasculaires ou neurologiques en particulier. (4C)

L'autorisation de plonger ne sera accordée qu'après avis du diabétologue qui confirmera le bon équilibre du diabète et la capacité d'autonomie du plongeur dans la gestion de la glycémie et des traitements.

---

### Références

Bohn B, Herbst A, Pfeifer M *et al.* Impact of physical activity on glycemic control and prevalence of cardiovascular risk factors in adults with type 1 diabetes: a cross-sectional multicenter study of 18,028 patients. *Diabetes Care* 2015; 38: 1536-43.

Cariou B, Fontaine P, Eschwege E, Lièvre M, Gouet D, Huet D, Madani S, Lavigne S, Charbonnel B. Frequency and predictors of confirmed hypoglycaemia in type 1 and insulin-treated type 2 diabetes mellitus patients in a real-life setting: results from the DIALOG study. *Diabetes Metab.* 2015 Apr;41(2):116-25.

DeNoble PJ, Pollock NW, Dear GdeL, Ugucioni DM, Vann RD. Diving fatalities involving divers with diabetes mellitus. Undersea and Hyperbaric Medical Society 2006. <http://archive.rubicon-foundation.org/xmlui/handle/123456789/3706>

Edge CJ, St Leger Dowse M, Bryson P. Scuba diving with diabetes mellitus – the UK experience 1991-2001. *Undersea Hyperb Med.* 2005 Jan-Feb; 32(1): 27-37.

Franc S, Daoudi A, Pochat A, *et al.* Insulin-based strategies to prevent hypoglycaemia during and after exercise in adult patients with type 1 diabetes on pump therapy: the DIABRASPORT randomized study. *Diabetes Obes Metab.* 2015 Dec;17(12):1150-7.

Jendle J, Adolfsson P, Ornhagen H. Swedish recommendations on recreational diving and diabetes mellitus. *Diving Hyperb Med.* 2012 Dec; 42(4): 231-3.

Joubert M. Glucagon faible dose : une alternative pour la prévention des hypoglycémies liées à l'activité physique chez les patients DT1 ? Société francophone du diabète. <https://www.sfdiabete.org/mediatheque/kiosque/le-coin-de-la-biblio/glucagon-faible-dose-une-alternative-pour-la-prevention-des>

Lormeau B, Sola A, Tabah A, *et al.* 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 Apr; 31(2): 144-51.

Lormeau B, Dufaitre L, Pichat S, Chamouine A *et al.* Impact of a sport project centered on scuba diving on adolescents with type 1 diabetes mellitus; new guidelines for adolescent recreational diving, a modification of the French regulations. *Arch pediatrics* 2018 (soumis).

McMonnies CW. Hyperbaric oxygen therapy and the possibility of ocular complications or contraindications. *Clin Exp Optom.* 2015 Mar;98(2):122-5.

Mozdzanowski C, Perdrizet GA. Peripheral neuropathy may increase the risk for asymptomatic otic barotrauma during hyperbaric oxygen therapy: research report. *Undersea Hyperb Med.* 2014 Jul-Aug; 41(4): 267-72.

Pinsker JE, Kraus A, Gianferante D, Schoenberg BE, Singh SK, Ortiz H, Dassau E, Kerr D. Techniques for Exercise Preparation and Management in Adults with Type 1 Diabetes. *Can J Diabetes.* 2016 Dec; 40(6): 503-8.

Pollock NW, Uguccioni DM, Dear GdeL (eds). Diabetes and recreational diving: guidelines for the future. Proceedings of the Undersea and Hyperbaric Medical Society/Divers Alert Network 2005 June 19 Workshop. Durham, NC: Divers Alert Network; 2005.

Rickels MR, DuBose SN, Toschi E, *et al.* Mini-Dose Glucagon as a Novel Approach to Prevent Exercise-Induced Hypoglycemia in Type 1 Diabetes. *Diabetes Care.* 2018 Sep; 41(9): 1909-16.

RSTC. Guidelines for recreational diving with diabetes. 2007. <http://wrstc.com/downloads/11%20-%20Guidelines%20for%20Recreational%20Diving%20with%20diabetes.pdf>

SPUMS. South Pacific Underwater Medicine Society Incorporated. Suggested assessment for the diver with diabetes. Appendix B. *In: 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%2011\\_0.pdf](http://www.spums.org.au/sites/default/files/member_downloads/SPUMS%20Medical%204th%20edition-July%2011_0.pdf)

Wendling J, Ehm O, Ehram R, Knessl P, Nussberger P. Tauchtauglichkeit Manual [Aptitude à la plongée - Manuel], 2<sup>nd</sup> ed. SUHMS, Biel (Suisse); 2001. p. 197 - 201. ISBN 3-9522284-0-0.

## CHAPITRE XXI

### FONCTION RÉNALE ET AFFECTIONS DES REINS

#### I – RAPPEL DES CONTRAINTES NÉPHROLOGIQUES EN IMMERSION (SURFACE ET PLONGÉE)

Il n'est pas décrit de risque néphrologique spécifique induit par l'immersion ou la plongée. 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 restreint instantanément la capacité du réseau vasculaire systémique, ce qui crée une hypervolémie fonctionnelle, redistribue une partie du volume sanguin dans les espaces les plus compliants de l'organisme, augmente le retour veineux et la précharge cardiaque droite, crée une réplétion (sinon une congestion véritable) des circulations pulmonaire et splanchnique et met en charge les barorécepteurs à basse pression (volorécepteurs des atriums droit et gauche) et à haute pression (barorécepteurs carotidiens et aortiques) (Regnard 2017).

D'autre part, la pression externe appliquée aux téguments est transmise aux masses musculaires des membres de sorte que la pression hydrostatique des espaces interstitiels devient supérieure à celle de la lumière capillaire (Miki 1986). Cet écart de pression hydrostatique génère une absorption d'eau interstitielle par le secteur plasmatique et s'accompagne d'un passage d'eau intracellulaire vers le secteur interstitiel. Ce transfert s'établit en quelques dizaines de minutes et se poursuit pendant des heures (Johansen 1998). L'augmentation de volume plasmatique induit l'augmentation du débit urinaire qui réduit donc progressivement (au fil du temps) les volumes des liquides interstitiel, intracellulaire et plasmatique (Castagna 2013, 2014, 2015) tout en assurant l'excrétion d'électrolytes indispensable à l'homéostasie cellulaire et extracellulaire, substrat des fonctions physiologiques (activités membranaires, excitabilité musculaire et nerveuse...) (Greenleaf et coll. 1980, Mourot et coll. 2004, Jimenez 2010, Castagna 2013, Castagna 2015). Pour des immersions courtes la perte d'eau totale reste limitée, mais la perte de masse peut-être de 2 kg après 6 h ou 4 kg après 12 h, tandis que 6 à 8 g de NaCl peuvent être perdus en 6 h (Jimenez 2010, Castagna 2015).

On peut globalement considérer que les contraintes physiques de l'immersion (et semblablement de la plongée) sur les fonctions cardiovasculaires conduisent à l'élimination rénale d'eau et d'électrolytes (Regnard 2012). L'augmentation de la diurèse peut se manifester entre autres par une hémococoncentration qui reflète la réduction du volume plasmatique (Philp 1974, Greenleaf 1980, Mourot 2004, Pontier 2008, Regnard 2012, Castagna 2015). L'absorption plasmatique de liquides d'un troisième secteur sous l'effet de la pression hydrostatique d'immersion a été documentée pour le liquide d'ascite chez le cirrhotique, réfractaire à la dialyse usuelle à terre mais accessible à la dialyse effectuée pendant l'immersion ou à son décours (Ponce 1986).

L'ajustement des volumes liquidiens et son retentissement sur le volume plasmatique est modulé par l'activité physique qui diminue la diurèse (Rim 1997). La charge thermique

chaude peut diminuer le débit urinaire tout en majorant la perte hydrique totale par la sudation (Castagna 2015) tandis que l'exposition au froid, peut augmenter modestement la diurèse et diminuer davantage le volume plasmatique (Jimenez 2010). La modification du bilan hydrique a en effet été observée pendant des immersions de 12 h (Johansen et coll. 1985, Castagna et coll. 2014) et même à l'occasion d'une plongée spéléologique de 29 h. Des études conduites chez le chien en immersion pendant 100 min ont montré une augmentation du volume plasmatique de 7 % chez le chien normal contre 40 % chez le chien insuffisant rénal (binéphrectomie) (Pendergast et coll. 2015). Il faut donc considérer que l'adaptation rénale est indispensable en immersion pour s'opposer à la surcharge volémique, de façon exagérée par rapport à ce qui est habituel en ambiance gazeuse. Les effets de l'immersion stimulent même quelque peu la fonction rénale (débit urinaire et débit sodé) lorsqu'elle est entravée (insuffisance rénale fonctionnelle) comme dans la cirrhose hépatique et l'insuffisance cardiaque (Bichet et coll. 1983, Jahn 1984, Gabrielsen et coll. 2001). Chez des sujets en insuffisance rénale sévère ou terminale, l'immersion permet de rétablir une diurèse qui diminue l'hypervolémie par absorption plasmatique d'eau du 3<sup>e</sup> secteur et limite l'augmentation de pression capillaire pulmonaire bloquée (reflet de la pression atriale gauche) et la congestion de la circulation pulmonaire (Jahn 1984, Ponce 1986). **Le risque majeur d'œdème pulmonaire et de surcharge cardiaque contre-indique donc l'immersion et la plongée en apnée comme en scaphandre aux personnes en insuffisance rénale sévère comme à celles qui ont une insuffisance cardiaque.** À tout le moins un avis de néphrologue devrait être recherché.

Au décours de l'immersion (retour en ambiance gazeuse et disparition de la pression exercée sur la peau), le déséquilibre s'inverse brutalement par augmentation soudaine de la capacité vasculaire pour un volume sanguin diminué (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 (Molénat et coll. 2004, Boussuges et coll. 2006, 2007, 2009, Jimenez et coll. 2010) et le débit microcirculatoire. L'activité rénale contribue alors à la reconstitution des volumes liquidiens extra et intracellulaires, en conservant ou rétablissant leur composition électrolytique physiologique. Ce travail est beaucoup plus lent que celui, opposé, qui a lieu pendant l'immersion et pour lequel les forces en présence sont notablement 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 satisfaire les adaptations rapides aux variations de la volémie et réaliser de façon répétée ces ajustements physiologiques de l'équilibre hydrominéral chez les personnes aux effets de l'immersion, en plongée en apnée comme en scaphandre. Le premier risque lors d'une altération de la fonction rénale est donc celle d'un défaut d'adaptation aux modifications hémodynamiques, avec ses conséquences cardio-circulatoires (OPI, défaillance cardiaque). Le stade d'insuffisance rénale pour lequel le défaut d'adaptation devient important lors de l'immersion n'est cependant pas défini précisément.

## **II – PATHOLOGIES PRÉEXISTANTES SUSCEPTIBLES D'AUGMENTER LES RISQUES**

La **fonction rénale** est actuellement définie en néphrologie par la valeur du débit de filtration glomérulaire (DFG) évalué par la clairance de la créatinine et calculé 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 à rein unique (congénital ou après néphrectomie). L'insuffisance rénale est définie et quantifiée par la valeur du DFG (CKD-EPI) (tableau I) :

Stade	DFG (ml/min/1,73 m <sup>2</sup> )	Définition
1	≥ 90	Maladie rénale chronique* avec DFG normal ou augmenté
2	entre 60 et 89	Maladie rénale chronique* avec DFG légèrement diminué
3	Stade 3A : entre 45 et 59	Insuffisance rénale chronique modérée
	Stade 3B : entre 30 et 44	
4	entre 15 et 29	Insuffisance rénale chronique sévère
5	< 15	Insuffisance rénale chronique terminale

\* avec marqueurs d'atteinte rénale (albuminurie, hématurie, leucocyturie, ou anomalies morphologiques ou histologiques, ou marqueurs de dysfonction tubulaire, persistant plus de 3 mois (deux ou trois examens consécutifs).

**Tableau I :** Stades de l'insuffisance rénale chronique en fonction du débit de filtration glomérulaire (DFG) estimé par l'équation CKD-EPI (HAS 2012).

Indépendamment de toute pathologie rénale, il existe de plus une diminution physiologique du débit de filtration glomérulaire d'environ 1 mL/min/1,73 m<sup>2</sup>/an après l'âge de 40 ans soit 10 mL/min/1,73 m<sup>2</sup> tous les 10 ans.

Toutes les pathologies avec un retentissement potentiel rénal sont susceptibles d'entraîner une insuffisance rénale, en particulier les néphropathies vasculaires et hypertensives et les néphropathies diabétiques qui sont responsables d'environ 50 % des insuffisances rénales terminales chez l'adulte.

Par ailleurs toute altération rénale, quelle que soit l'étiologie, sera marquée par une évolution progressive vers la glomérulosclérose et l'aggravation de l'insuffisance rénale, favorisée en particulier par les facteurs hémodynamiques (HTA) et les facteurs métaboliques (diabète, obésité, dyslipidémie).

Ainsi, un rein unique n'est pas une contre-indication en soi (si le DFG global est suffisant), mais peut conduire à l'insuffisance rénale (remaniements histologiques et diminution de fonction). Quelques années après une néphrectomie, il convient donc de se montrer prudent et de vérifier le DFG (CKD-EPI).

L'insuffisance rénale sévère et terminale est souvent marquée par la survenue des troubles hydroélectrolytiques comme l'hyperkaliémie ou la surcharge hydrosodée qui contre-indiquent la plongée.

Les patients insuffisants rénaux sont dans tous les cas à haut risque cardiovasculaire. Les conséquences cardiovasculaires de l'insuffisance rénale chronique sont une hypertension artérielle, des lésions artérielles accélérées avec leurs conséquences sur les organes cibles (cœur, cerveau, membres inférieurs...) et une atteinte cardiaque marquée notamment par une hypertrophie ventriculaire gauche. Ces facteurs évolutifs associés sont à prendre en compte dans la recherche de contre indication à la plongée, indépendamment de la pathologie causale. En effet, deux catégories de personnes en insuffisance rénale peuvent être schématiquement envisagées, et avec des risques vraisemblablement différents en plongée. L'une probablement

peu nombreuse de patients assez jeunes (maladies auto-immunes, génétiques, uropathie..) avec une histoire de maladie rénale chronique (maladie rénale primitive) et souhaitant rester dans le monde « actif » : la plongée est ainsi envisagée comme une activité « inclusive ». L'autre catégorie est celle de patients plus âgés qui ont un diabète ou des maladies vasculaires ou les deux, à l'origine ou associés à l'insuffisance rénale et sont porteurs de polyopathologies avec les traitements correspondants, pour lesquelles les contre-indications seront justifiées.

- **CAS PARTICULIERS DU PATIENT TRANSPLANTÉ RÉNAL ET DU PATIENT DIALYSÉ (HÉMODIALYSE OU DIALYSE PÉRITONÉALE).**

Après transplantation rénale, le patient est toujours un insuffisant rénal plus ou moins sévère (DFG < 60 mL/min/1,73 m<sup>2</sup>) avec des risques cardiovasculaires et infectieux importants. La possibilité et les conditions de pratique de la plongée doivent être évaluées avec le médecin en charge de la transplantation et le patient pour évaluer les risques et déterminer les prérogatives.

Le patient hémodialysé est en général porteur d'une fistule artério-veineuse qui doit être protégée de la thrombose qui est favorisée par la compression prolongée comme celle qu'exerce le vêtement élastique. Par ailleurs un patient en hémodialyse intermittente est en surcharge volémique en pré-dialyse et en déplétion volémique en post-dialyse. La surcharge volémique est difficile à apprécier et l'immersion va obligatoirement amplifier cette surcharge avec aucune possibilité d'adaptation rénale. L'insuffisance rénale terminale est une contre-indication formelle à la plongée du fait d'un risque d'œdème pulmonaire et de thrombose de fistule.

La dialyse péritonéale impose par ailleurs le port d'un cathéter. La baignade en eau naturelle est habituellement permise sous réserve d'une protection du cathéter. La baignade en piscine est interdite du fait des risques infectieux. Les variations de pression liées à la plongée pourraient être à l'origine de défauts d'étanchéité en présence de bulles d'air dans la tubulure. Au total, la plongée des patients dialysés soulève beaucoup de questions de sécurité qui constituent le plus souvent des contre-indications. La décision de satisfaire certaines demandes individuelles sous conditions spécifiques de pratique ne pourrait relever que d'une décision personnalisée décidée entre le patient, le néphrologue qui le prend en charge et le médecin de plongée.

### **III – LES EXAMENS RECOMMANDÉS**

L'interrogatoire et éventuellement l'auto-questionnaire 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 demander si la fonction rénale a été vérifiée dans le cadre de ces affections. D'une façon générale, il importe de qualifier et quantifier schématiquement l'habitus de vie, la sédentarité et le volume d'activité physique qui peuvent impacter la fonction rénale (Bharakhada 2012).

Deux examens sont indiqués en dehors d'avis spécialisés qui pourraient requérir des antécédents ou une symptomatologie significative comme une PA trop élevée : la biologie urinaire et la mesure de la créatininémie

Après dépistage par bandelette réactive, la recherche de protéinurie ou d'albuminurie est

réalisée sur un échantillon d'urine. Dans ce cas, le résultat est exprimé sous forme de rapport albuminurie/créatinine urinaire (RAC) (HAS 2011<sup>a</sup>) ou protéinurie/créatinine urinaire. Le DFG est calculé à partir de la valeur de la créatininémie et selon l'équation CKD-EPI (HAS 2011<sup>b</sup>). Le diagnostic de maladie rénale chronique est porté par l'estimation du DFG associée à la recherche de protéinurie ou d'albuminurie (RAC > 2,0 mg/mmol) même en présence d'un DFG > 60 mL/min/1,73 m<sup>2</sup>.

Devant la découverte d'une atteinte rénale jusque-là inconnue, il convient de demander un avis spécialisé pour envisager sa prise en charge et éviter sa progression, mais aussi pour évaluer les risques pour l'activité.

#### IV – RESTRICTIONS D'EXPOSITION EN FONCTION DES RÉSULTATS DES EXPLORATIONS

- Un dépistage de maladie rénale chronique (créatininémie et/ou bandelette urinaire) doit être proposé chez tout patient à risque d'atteinte rénale à l'interrogatoire et chez tout patient d'âge supérieur à 50 ans. Le patient avec un rein unique est un cas particulier de patient à risque d'insuffisance rénale chronique.
- Il est justifié de conseiller la prudence vis-à-vis des activités de plongée de loisir lorsque le DFG (CKD-EPI) est inférieur ou égal à 60 mL/min/1,73 m<sup>2</sup> ou de pathologie rénale avec surcharge hydrosodée ou HTA et de demander un avis spécialisé.
- La protéinurie modérée (< 1 g/24 h) et l'hématurie sont des indicateurs indépendants de maladie rénale et de risque de progression vers l'insuffisance rénale sévère mais ne sont pas en soi des contre-indications à la plongée.
- Enfin les kystes (unique ou polykystose) ne sont pas une contre-indication *a priori*. Il est cependant nécessaire de les documenter par une imagerie et un avis spécialisé. Une polykystose rénale autosomique dominante (PKRAD) sans insuffisance rénale, avec une PA contrôlée et sans complications (hémorragie ou infections à répétitions) ne représente pas une contre-indication. Du fait de l'association de la PKRAD avec les anévrysmes cérébraux, il convient de s'assurer de l'absence d'antécédent d'anévrysme cérébral familial pour éventuellement discuter une angio-IRM cérébrale de dépistage. La présence de gros kystes pose le problème de la gêne fonctionnelle sous la combinaison.
- L'existence d'une exposition significative (prolongée, ayant causé des symptômes) aux métaux lourds ou à des substances toxiques (solvants comme le trichloréthylène...) doit faire vérifier la fonction rénale (DFG, protéinurie).

### Recommandation n° 13

En cas de diabète, de maladie métabolique, d'hypertension artérielle, de rein unique et chez les personnes de plus de 50 ans, un dosage de la créatinine plasmatique avec calcul du DFG (CKD-EPI) et une recherche de protéinurie avec calcul du rapport albuminurie / créatinine urinaire sont recommandés. Ils seront répétés lors des examens périodiques. (3C)

Les antécédents significatifs de maladie rénale même silencieuse ou un DFG (CKD-EPI) < 60 mL/min/1,73 m<sup>2</sup> doivent faire demander un avis néphrologique spécialisé.

Le cas des transplantés rénaux doit être discuté avec le médecin responsable de la transplantation.

L'insuffisance rénale sévère (stades 4 et 5) et le stade de dialyse sont des contre-indications aux activités aquatiques. (3C)

---

### Références

- Bharakhada N, Yates T, Davies MJ, Wilmot EG, Edwardson C, Henson J, Webb D, Khunti K. Association of sitting time and physical activity with CKD: a cross-sectional study in family practices. *Am J Kidney Dis.* 2012, 60:583-90.
- 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 AV, Vallée N, Schmid B, Regnard J. Fluid balance during prolonged Scuba dive: effect of hydration during immersion. Abstracts of the 40th EUBS Annual Meeting – Wiesbaden (Germany) 2014. *Caisson* 2014, 29, 3 :42.
- 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: 1125-33.
- Delanaye P, Jager KJ, Bökenkamp A, et coll. CKD: A Call for an Age-Adapted Definition. *J Am Soc Nephrol.* 2019; (10): 1785-1805.
- 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.

HAS<sup>a</sup>. Évaluation du rapport albuminurie/créatininurie dans le diagnostic de la maladie rénale chronique chez l'adulte. Texte court du rapport d'évaluation technologique. (Décembre 2011). Disponible sur : [https://www.has-sante.fr/plugins/ModuleXitiKLEE/types/FileDocument/doXiti.jsp?id=c\\_1169060](https://www.has-sante.fr/plugins/ModuleXitiKLEE/types/FileDocument/doXiti.jsp?id=c_1169060)

HAS<sup>b</sup>. 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. (Décembre 2011). Disponible sur : [http://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](http://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). [28 juin 2018].

Haute Autorité de Santé. Maladie rénale chronique de l'adulte. Guide du parcours de soins. Février 2012. Disponible sur : [https://www.has-sante.fr/jcms/c\\_1241102/fr/guide-parcours-de-soins-maladie-renale-chronique-de-l-adulte](https://www.has-sante.fr/jcms/c_1241102/fr/guide-parcours-de-soins-maladie-renale-chronique-de-l-adulte) [4 mars 2020].

Jahn H, Schmitt R, Schohn D, Dale G. Hemodynamic modifications induced by head-out water immersion in non-uremic and uremic subjects. Contr Nephrol 1984, 41: 189-98.

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.

Johansen LB, Pump B, Warberg J, Christensen NJ, Norsk P. Preventing hemodilution abolishes natriuresis of water immersion in humans. Am J Physiol. 1998; 275(3 Pt 2): R879-88.

Miki K, Hajduczuk G, Hong SK, Krasney JA. Plasma volume changes during head-out water immersion in conscious dogs. Am J Physiol 1986, 251: R582-90.

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.

Pendergast DR, Moon RE, Krasney JJ, Held HE, Zamparo P. Human Physiology in an Aquatic Environment. Compr Physiol. 2015; 5(4): 1705-50.

Philp RB. A review of blood changes associated with compression-decompression: relationship to decompression sickness. Undersea Biomed Res 1974, 1, 2: 117-50.

Ponce P, Moreira P. Water immersion in an anuric cirrhotic patient. Nephron 1986, 43: 144-7.

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 Dec; 79: 1096-9.

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. In: Marroni A, Medic M, Sedlar M (eds). Abstracts of the 38th EUBS Annual Meeting – Belgrade (Serbia) 2012. p 72.

Regnard J. Physiologie cardio-vasculaire en plongée. *In* V. Lafay (ed.) Cœur et plongée. Ellipses Edition Marketing, Paris. 2017, p. 76-111.

Rim H, Yun YM, Lee KM, Kwak JT, Ahn DW, Choi JK, Kim KR, Joh YD, Kim JY, Park YS. Effect of physical exercise on renal response to head-out water immersion. *Appl Human Sci.* 1997; 16: 35-43.

Shiraki K, Sagawa S, Konda N, Nakayama H, Matsuda M. Hyperbaric diuresis at a thermoneutral 31 ATA He-O<sub>2</sub> environment. *Undersea Biomed Res* 1984, 11, 4: 341-53.

## CHAPITRE XXII

### OPHTALMOLOGIE

#### I – LES RISQUES DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES SPORTIVES DE LOISIR POUR LES YEUX ET LA FONCTION VISUELLE

##### 1.- LES MODIFICATIONS DE LA VISION

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 réduit considérablement le champ visuel binoculaire et le champ du regard, mais ne semble pas modifier la pression intra-oculaire, en l'absence de variation de la pression ambiante (Goenadi et coll. 2016).

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.

Les modifications des performances de la fonction visuelle observées tant dans la narcose à l'azote que dans le syndrome nerveux des hautes pressions (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 3000 hPa (3 ATA) d'O<sub>2</sub> (Behnke et coll. 1935) ;
- apparition ou aggravation d'une cataracte, même après un nombre limité d'expositions (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), et en plongée de loisir après des plongées répétées avec recycleur sur des périodes de 8 à 18 jours (Butler et coll. 1999, Fock et coll. 2013).
- diminution modérée de la pression intra-oculaire, probablement en rapport avec la vasoconstriction hyperoxique (Ersanli et coll. 2006).

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).

En plongée de loisir, de tels troubles ne peuvent survenir que chez les pratiquants de plongées très profondes ou de très longue durée (*Tek*, spéléo) effectuant de très longues décompressions à l'oxygène et aux mélanges suroxygénés.

## **2.- CONSÉQUENCES DES VARIATIONS DE PRESSION**

Les variations de la pression ambiante agissent sur le globe oculaire par l'intermédiaire du gaz enfermé dans le masque oculonasal, avec création d'une dépression relative en cas de défaut d'équilibre à la descente. Cette dépression se transmet aux capillaires sous-conjonctivaux (risque d'hémorragie) et aux tissus mous intra-orbitaires. Il se crée un gradient de pression entre les structures intra-oculaires et la chambre antérieure d'une part et le gaz du masque d'autre part, pouvant occasionner un hyphéma (Elliott et Moon, 1993).

Lors des manœuvres de Valsalva, l'élévation de la pression intrathoracique se transmet instantanément à la pression intra-oculaire (Sihota 2008 : élévation de 40 % de la pression intra-oculaire sous Valsalva de 40 mmHg), avec des risques d'aggravation d'une pathologie vasculaire ou dégénérative.

Lors du retour à la pression atmosphérique, la désaturation de l'organisme en gaz inerte est susceptible de générer des bulles dans la circulation sanguine et dans différents compartiments. C'est ainsi qu'il est décrit, parmi les formes cérébrales des accidents de désaturation, des altérations du champ visuel, des amauroses, des diplopies (Gempp et coll 2015). Des bulles microscopiques ont été observées dans le liquide lacrymal de volontaires jusqu'à deux jours après plongées expérimentales à l'air à 10, 15 et 30 m, sans conséquences fonctionnelles (Mekjavic et Mekjavic 20017). Des bulles dans la chambre antérieure et dans l'humeur vitreuse ont été observées chez l'animal en conditions expérimentales (Boycott et coll. 1908), mais de tels accidents ne sont pas rapportés chez l'homme. La possibilité d'ischémie rétinienne par accident de décompression a été rapportée (Iordanidou et coll. 2010).

## **3.- LES RISQUES INFECTIEUX**

Ils peuvent survenir par contamination bactérienne ou virale par l'eau et peuvent compliquer :

- toute affection aiguë du globe oculaire ou de ses annexes (kératite, conjonctivite, chalazion p. ex.). La gêne fonctionnelle (douleur, larmoiement, baisse d'acuité visuelle) occasionnée contre-indique la plongée jusqu'à guérison ;
- les suites d'une intervention chirurgicale, particulièrement les chirurgies à globe ouvert.

## II – RISQUES LIÉS AUX PATHOLOGIES OPHTALMOLOGIQUES

### 1.- CHIRURGIE RÉCENTE

Il n'est pas envisageable de replonger avant la récupération totale anatomique et fonctionnelle, sous peine de risque de saignement ou d'ouverture de l'incision. Pour cela, les avis du chirurgien ophtalmologique et du médecin de plongée sont nécessaires. Dans tous les cas, un délai est à respecter après toute intervention oculaire, qui varie selon le type d'intervention réalisée.

À titre indicatif, concernant les interventions les plus fréquemment réalisées aujourd'hui, les délais à respecter sont les suivants :

**Chirurgie de la cataracte** : un mois à un mois et demi, pour permettre à l'ouverture cornéenne de cicatriser et éviter les risques d'infection.

Le placage du masque et autant que possible la manœuvre de Valsalva devront être évités.

Les implants de type multifocaux dont la face antérieure est irrégulière sont déconseillés, un cas de formation de bulles d'azote sur la face antérieure après plongée ayant été décrit (Poncin et coll. 2014).

**Chirurgie de la myopie, chirurgie réfractive** (chirurgie à globe fermé) : photokératectomie réfractive (PKR), lasik, presbylasik : un délai de un mois est recommandé.

**Chirurgie du segment postérieur** : décollement de rétine, vitrectomie, membrane épirétinienne etc. : un délai de deux mois au moins est à respecter. La présence post-chirurgicale de bulle de gaz dans la cavité vitréenne est une contre-indication formelle. Seul l'ophtalmologiste est en mesure de la contrôler.

Le décollement postérieur du vitré n'est pas une contre-indication s'il n'est pas accompagné de déchirure rétinienne.

**Chirurgie du glaucome.** La trabéculéctomie reste une chirurgie dont les suites opératoires sont délicates, la bulle de filtration nécessitant une cicatrisation parfois longue ; un délai de deux mois au moins sera respecté. En cas d'iridotomie périphérique au laser réalisée sur patient à risque de glaucome à angle fermé, la plongée peut être reprise dès que la gêne fonctionnelle a disparu (quelques jours).

**Chirurgie des paupières, du strabisme** : les plongées sont contre-indiquées jusqu'à cicatrisation complète.

#### **Grefe de cornée :**

- greffe endothéliale : contre-indication les six premiers mois ;
- greffe transfixiante ou lamellaire antérieure : contre-indication pendant au moins 18 mois, voire définitive. L'avis du chirurgien greffeur est nécessaire.

### 2.- INJECTIONS INTRA-VITRÉENNES

Un délai de quelques jours est à respecter après une injection intra-vitréenne. Réalisée pour d'autres raisons que des néo-vaisseaux choroïdiens, ce n'est pas une contre-indication à la plongée après un délai de quelques jours (risque infectieux).

### 3.- PATHOLOGIES VASCULAIRES DE LA RÉTINE, DE LA CHOROÏDE OU DE LA PAPILLE SUSCEPTIBLES DE SAIGNER OU NON STABILISÉES

Les effets de la pression sur la perfusion chorio-rétinienne sont mal connus mais il semble que l'hyperoxie par le biais de la vaso-constriction puisse entraîner une baisse du flux capillaire choroïdien voire rétinien. À l'inverse, les effets angiogéniques de l'hyperoxie pourraient favoriser l'évolution d'une rétinopathie proliférative (Tran et Smart 2017).

Les pathologies suivantes sont concernées et doivent faire l'objet de restrictions de plongée : rétinopathie diabétique ischémique, néo-vaisseaux choroïdiens ou rétiniens d'origines diverses, thrombose de la veine centrale de la rétine ou d'une branche jusqu'à récupération d'une acuité visuelle ou d'un champ visuel compatible, DMLA ou maculopathie traitée par injections intra-vitréennes, chorio-rétinopathie séreuse centrale (CRSC).

**Cas particulier de la DMLA :** la DMLA atrophique n'est pas une contre-indication sous réserve d'une acuité visuelle compatible, ce qui paraît peu probable. La DMLA de forme « humide » est caractérisée par la présence de néo-vaisseaux sous-rétiniens maculaires entraînant une exsudation sous-rétinienne et des saignements spontanés. Il existe donc un risque théorique d'aggravation et de saignement favorisé par la manœuvre de Valsalva. Cette maladie chronique et évolutive est traitée par injections intra-vitréennes d'anti-VEGF (facteur de croissance de l'endothélium vasculaire).

**Cas particulier de la CRSC :** la chorio-rétinopathie séreuse centrale est une maladie qui touche le plus souvent l'homme jeune. Ses causes ne sont pas connues. Une bulle de liquide se forme sous la rétine entraînant une baisse brutale et souvent importante de la vision d'un côté. Son évolution est le plus souvent favorable au bout de quelques semaines ou mois. Lors d'une poussée la vision peut être très altérée et il peut être préférable de reporter les plongées. Les conséquences de l'hyperbarie et de l'hyperoxie sur cette pathologie ne sont pas connues. La maladie peut récidiver et devenir chronique et bilatérale. La possibilité de plonger devra alors être évaluée par un spécialiste.

**Rétinopathie de Valsalva :** des hémorragies rétiniennes et rétro-hyaloidiennes ont été décrites suite à des efforts à glotte fermée (manœuvre de Valsalva, portage de blocs, efforts de vomissements...) y compris chez des plongeurs sans antécédents ophtalmologiques.

### 4.- KÉRATOCÔNE

Le stade 4, où la cornée présente au point le plus fin une épaisseur inférieure ou égale à 400 µ, ou un antécédent d'hydrops cornéen constituent des contre-indications.

Dans les autres cas, et si l'acuité visuelle corrigée par masque ou par lentilles souples est compatible avec la sécurité (cf *infra*), la plongée est possible. La présence d'anneaux intra-cornéens n'est pas une contre-indication.

Dans tous les cas, il est recommandé d'éviter tout placage du masque.

### 5.- PORT DE PROTHÈSE OCULAIRE

Les problèmes posés par les prothèses oculaires dépendent du matériau, du type d'appareillage et de l'étiologie de la perte du globe oculaire.

**Matériau :** les prothèses utilisées actuellement en France sont en PMMA (polyméthacrylate de méthyle) : résine acrylique, matériau homogène plein sans cavités ni porosités utilisé en

appareillage dentaire, *a priori* insensible aux effets de pression à l'échelle de la plongée de loisir<sup>(1)</sup> : deux prothèses de ce type ont été soumises à des plongées à 68 m<sup>(2)</sup> sans qu'aucune anomalie tant sur le volume ou la forme n'apparaisse après examen à la lampe à fente. Cependant certains pays (ex l'Allemagne) fabriquent encore des prothèses en verre, le plus souvent creuses. Ces prothèses sont sensibles aux variations de pression et risquent d'imploser, générant douleur et dispersion de bris de verre dans l'orbite. Il est donc recommandé de retirer la prothèse avant de plonger même à faible profondeur.

### **Type d'appareillage :**

- Prothèses après chirurgie mutilante (énucléation, éviscération) : pas de CI sous réserve de matériau compatible.
- Prothèses de type « verre scléral » plus fines et utilisées sur globe oculaire partiellement conservé, plus ou moins sensible : il est conseillé de retirer la prothèse avant de plonger car un effet de succion avec présence de bulles entre la prothèse et la conjonctive peuvent générer des effets indésirables (douleur, infection, déplacement).

**Motif de l'énucléation :** la pathologie responsable de la perte de l'œil est à prendre en considération. Par exemple, le glaucome néovasculaire et la rétinopathie proliférante du diabétique seront contre-indiqués ; une perte traumatique du globe sera autorisée à plonger avec les restrictions concernant la capacité visuelle.

## **6.- GLAUCOME**

### **Glaucome chronique à angle ouvert**

Les effets de l'hyperbarie, de l'hyperoxie de même que les variations de pression sur la tension oculaire et l'évolution du champ visuel sont mal connus. La baisse de la pression intra-oculaire sous l'effet de l'élévation de la pression ambiante soit par un effet mécanique sur le globe soit par la diminution du flux choroïdien liée à la vaso-constriction hyperoxique est rapportée (Van de Veire et coll. 2008, Ersanli et coll. 2006). En plongée de loisir il n'y a pas lieu de contre-indiquer les plongeurs souffrant d'un glaucome à angle ouvert sous réserve que leur acuité visuelle et leur champ visuel soient compatibles et que leur traitement soit adapté.

### **Cas des patients à risque de fermeture de l'angle**

Lorsqu'un angle étroit est détecté par l'ophtalmologiste, une iridotomie au laser est réalisée rapidement, prévenant ainsi le risque de fermeture de l'angle qui pourrait être favorisé par la mydriase induite par la baisse de luminosité ambiante en plongée. Il n'est pas recommandé de plonger avec un angle étroit connu qui n'aurait pas bénéficié du traitement préventif. Cependant, l'iridotomie pourrait ne pas protéger contre la fermeture de l'angle provoquée par la manœuvre de Valsalva (Sihota 2008).

---

<sup>1</sup> Source : Laboratoire Villanova, 94 Rue St-Lazare, 75009 Paris.

<sup>2</sup> Dr Valérie PONCIN, Service d'Ophtalmologie, CH de Mont-de-Marsan.

### III – AMÉTROPIES, ANOMALIES DU CHAMP VISUEL ET PLONGÉE

#### 1.- ACUITÉ VISUELLE

L'acuité visuelle de près est nécessaire à la lecture des instruments. L'acuité visuelle de loin doit être compatible avec la sécurité c'est-à-dire permettre l'identification de signes de détresse chez un coéquipier ou l'observation des signaux maritimes en surface. Des corrections sont possibles par des masques équipés de verres correcteurs ou par des lentilles (cf. *infra*). En cas de déficience visuelle non compensée, la plongée peut être envisagée dans un cursus adapté (cf. chapitre XXVI Handicap et plongée).

Les exigences pour le permis de conduire les véhicules légers<sup>3</sup> peuvent servir de guide pour la plongée subaquatique en autonomie : si l'acuité visuelle binoculaire (avec correction éventuelle) en vision de loin est inférieure à 5/10<sup>e</sup>, ou en cas de monophtalmie ou d'acuité visuelle < 1/10<sup>e</sup> d'un oeil, si l'autre oeil a une acuité < 5/10<sup>e</sup> (avec correction éventuelle), le médecin devra recommander une évaluation individuelle en situation par un encadrant spécialisé qui déterminera de l'orientation vers un cursus spécifique ou non.

La myopie forte n'est pas une contre-indication sous réserve d'une correction par masque ou lentille compatible avec la sécurité et de l'absence de déchirures rétiniennes non traitées ou de néo-vasseaux choroïdiens maculaires. L'avis de l'ophtalmologiste est donc nécessaire.

Le daltonisme n'est pas une contre-indication pour la plongée subaquatique mais l'est pour l'aptitude aux permis de navigation.

#### 2.- ANOMALIES DU CHAMP VISUEL

De nombreuses pathologies sont susceptibles de dégrader le champ visuel sans nécessairement impacter sur l'acuité visuelle chiffrée en dixièmes (glaucome, amputations du champ visuel d'origine neurologique, etc.). Comme pour le permis de conduire, le champ visuel devrait être supérieur ou égal à 120°, avec 50° à gauche et à droite, et 20° vers le haut et le bas.

#### 3.- PORT DE LENTILLES DE CONTACT

Il existe quatre types de lentilles de contact : les lentilles souples hydrophiles (LSH), les lentilles rigides perméables à l'oxygène (LRPO), les lentilles hybrides, souples en périphérie et de grand diamètre et les verres scléraux.

Les LSH ne sont pas contre-indiquées sous un masque non correcteur ; les lentilles jetables journalières (LJJ) sont recommandées afin de minimiser le risque de contamination. Les porteurs réguliers de lentilles souples mensuelles seront invités à mettre des LJJ pour plonger et à les jeter après usage.

Les LRPO sont à proscrire en raison du risque de déplacement de la lentille en cas d'irruption d'eau dans le masque et de perte de la lentille.

Les lentilles hybrides ne sont pas contre-indiquées mais leur fréquence de renouvellement est trimestrielle ce qui ne met pas à l'abri de complications infectieuses.

---

<sup>3</sup> 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 – Modifié par arrêté du 30 octobre 2016 et arrêté du 16 décembre 2017. Version en vigueur au 7 janvier 2019. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000265763>.

Le port de verres scléraux est compatible avec la plongée sous réserve d'absence de bulles d'air entre l'œil et le verre.

#### **4.- TRAITEMENT LOCAL PAR COLLYRE**

Les collyres myotiques, qui ne sont quasiment plus utilisés, pouvaient rétrécir le champ visuel et abaisser l'acuité visuelle par phénomène d'assombrissement.

Les collyres bêta-bloquants ont un passage systémique non négligeable. Leur retentissement sur la fonction cardiaque et ventilatoire devra être évaluée. Ils devront être si possible remplacés par des collyres à base de prostaglandines.

### **IV – QUELLES PATHOLOGIES RECHERCHER LORS DE L'EXAMEN MÉDICAL INITIAL ? RÔLE DU GÉNÉRALISTE ET DU SPÉCIALISTE**

Le médecin non spécialiste amené à rédiger un certificat de non contre-indication s'attachera à vérifier les points suivants auprès du plongeur :

- Porte-t-il des lunettes ? Si oui, lui conseiller un masque correcteur ; après 50 ans, une correction de près par masque à double-foyer ou lentilles adhésives doit permettre la lecture des instruments.
- S'il ne porte pas de lunettes : porte-t-il des lentilles ? Si oui, s'assurer que ce ne sont pas des lentilles perméables aux gaz et l'adresser à son ophtalmologiste pour adaptation de lentilles jetables journalières.
- A-t-il subi une chirurgie réfractive ? Si oui, s'assurer du délai et de l'absence de complications lui permettant une acuité visuelle et un champ visuel compatibles avec l'activité.
- Met-il des gouttes ? Si oui, cela peut indiquer une pathologie aiguë qui serait contre-indiquée, ou chronique (type glaucome), voire une chirurgie récente.
- A-t-il des antécédents ophtalmologiques médicaux ou chirurgicaux en particulier s'ils sont récents ? L'avis de l'ophtalmologiste est nécessaire au moindre doute.

Des conseils pour plonger en sécurité seront prodigués : utilisation d'un ordinateur à grand écran, masque à grand champ et à verres séparés pour le cas où une correction optique devrait y être intégrée, utilisation d'un phare de plongée.

La décision de non contre-indication sera évaluée en fonction des pathologies présentées et des disciplines envisagées. Par exemple, un patient sous anti-coagulants, même sans antécédent ophtalmologique, sera averti des risques de la manœuvre de Valsalva et du placage de masque : hématome sous-conjonctival et orbitaire, hyphéma, saignements chorio-rétiniens.

Dans tous les cas, le médecin ophtalmologiste traitant sera consulté au moindre doute et le recours à un ophtalmologiste connaissant les activités subaquatiques et hyperbares pourra être sollicité si besoin.

### Recommandation n° 14

Il est recommandé de vérifier l'acuité visuelle en vision de près et en vision de loin avec la correction qui sera portée en plongée, de rechercher les antécédents ophtalmologiques et les traitements en cours. Les exigences pour le permis de conduire les véhicules légers peuvent servir de repère, si elles ne sont pas satisfaites, pour demander une évaluation individuelle en situation par un encadrant spécialisé.

Une décision de contre-indication, d'aménagement de la pratique ou une proposition d'orientation vers un parcours adapté pourra être prise en accord avec le spécialiste ophtalmologue, en fonction des pathologies présentées et des disciplines envisagées.

---

### Références

- Boycott AE, Damant CCC, Haldane JS. The Prevention of Compressed-air Illness. *J. Hyg. Camb.* 1908; 8: 342-443. [Prévention de la maladie de décompression. Traduction A. Foret. Téthys, Montpellier. 2008. 159 p.]
- Behnke AR, Forbes HS, Motley EP. Circulatory and visual effects of oxygen at 3 atmospheres pressure. *Am J Physiol.* 1935; 114: 436-42.
- Butler FK Jr, White E, Twa M. Hyperoxic myopia in a closed-circuit mixed-gas scuba diver. *Undersea Hyperb Med.* 1999; 26(1): 41-5.
- Elliott DH, Moon RE. Manifestations of decompression disorders. *In* : Bennett P and Elliott D (eds). *The Physiology and Medicine of Diving*. 4<sup>th</sup> Edition. WB Saunders, London. 1993, 481-505.
- Ersanli D, Akin T, Yildiz S, Akin A, Bilge AH, Uzun G. The effect of hyperbaric oxygen on intraocular pressure. *Undersea Hyperb Med.* 2006; 33(1): 1-4.
- Fock A, Harris R, Slade M. Oxygen exposure and toxicity in recreational technical divers. *Diving Hyperb Med.* 2013; 43(2): 67-71.
- 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.
- Gesell LB, Trott A. De novo cataract development following a standard course of hyperbaric oxygen therapy. *Undersea Hyperb Med.* 2007; 34(6): 389-92.
- Goenadi CJ, Law DZ, Lee JW, Ong EL, Chee WK, Cheng J. The effect of a diving mask on intraocular pressure in a healthy population. *Case Rep Ophthalmol.* 2016; 7(2): 328-32.
- Gomez-Ledesma I, Mencia-Gutierrez-Diaz E, Alonso-Santiago MA. Orbital subperiosteal haemorrhage while scuba diving. *Orbit* 2006; 25(1): 19-22.
- Iordanidou V, Gendron G, Khammari C, Rodallec T, Baudouin C. Choroidal ischemia secondary to a diving injury. *Retin Cases Brief Rep.* 2010; 4(3): 262-5.
- Luria SM, Kinney JA. Underwater vision. *Science.* 1970; 167 (3924): 1454-61.
- Lyne AJ. Ocular effects of hyperbaric oxygen. *Trans Ophthalmol Soc U K.* 1978; 98(1): 66-8.
- Mekjavic PJ, Mekjavic IB. Decompression-induced ocular tear film bubbles reflect the process of denitrogenation. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2007; 48(8): 3756-60.

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.

Poncin V, Granjean B, Alfonsi N, Blatteau E. Intraocular bubbles in a diver with multifocal intraocular lenses. [poster] Congrès annuel de la SFO 2014.

Sihota R, Dada T, Aggarwal A, Srinivasan G, Gupta V, Chabra VK. Does iridotomy provide protection against narrowing of the anterior chamber angle during Valsalva manoeuvre in eyes with primary angle closure. *Eye (Lond)*. 2008; 22(3): 389-93.

Tran V, Smart D. Proliferative retinopathy during hyperbaric oxygen treatment. *Diving Hyperd Med*. 2017; 47(3): 203.

Van de Veire S, Germonpre P, Renier C, Stalmans I, Zeven T. Influence of atmospheric pressure and temperature on intraocular pressure. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008; 49(12): 5392-6.

## CHAPITRE XXIII

### LA PLONGÉE DE LOISIR CHEZ L'ENFANT ET L'ADOLESCENT

L'engouement pour la plongée sous-marine touche également les enfants, encouragés par des parents également pratiquants ou par l'offre spécifique d'activités subaquatiques qui se développe pour les jeunes publics, en milieu scolaire, dans les clubs ou les centres de vacances.

Sécuriser la pratique de la plongée des enfants impose de tenir compte de capacités fonctionnelles différentes de celles de l'adulte. L'organisme de l'enfant n'est pas simplement celui d'un adulte à échelle réduite. Les processus de développement et de maturation anatomique et physiologique ne sont pas linéaires. L'âge de début des activités de plongée dépend de facteurs individuels physiologiques et psychologiques.

#### I – RAPPELS PHYSIOLOGIQUES – CONSÉQUENCES ET RISQUES DE LA PLONGÉE SUBAQUATIQUE CHEZ L'ENFANT

Il importe de garder à l'esprit que pour les grandes fonctions (respiratoire, cardiovasculaire, neurologique, etc.) la capacité fonctionnelle optimale n'est réalisée qu'avec l'acquisition de la stature adulte. Les performances fonctionnelles sont développées et leur usage optimisé par l'entraînement et l'habituation aux activités physiques en général et aux activités d'exercice en immersion en particulier.

##### I-1.- APPAREIL RESPIRATOIRE

##### I-1.1.- Développement de l'appareil respiratoire

Il commence *in utero* ; la croissance et la maturation de l'appareil respiratoire dans ses différentes composantes ne sont pas linéaires dans le temps, et passent par différentes étapes au cours de l'enfance et de l'adolescence (Stocks et coll. 2013).

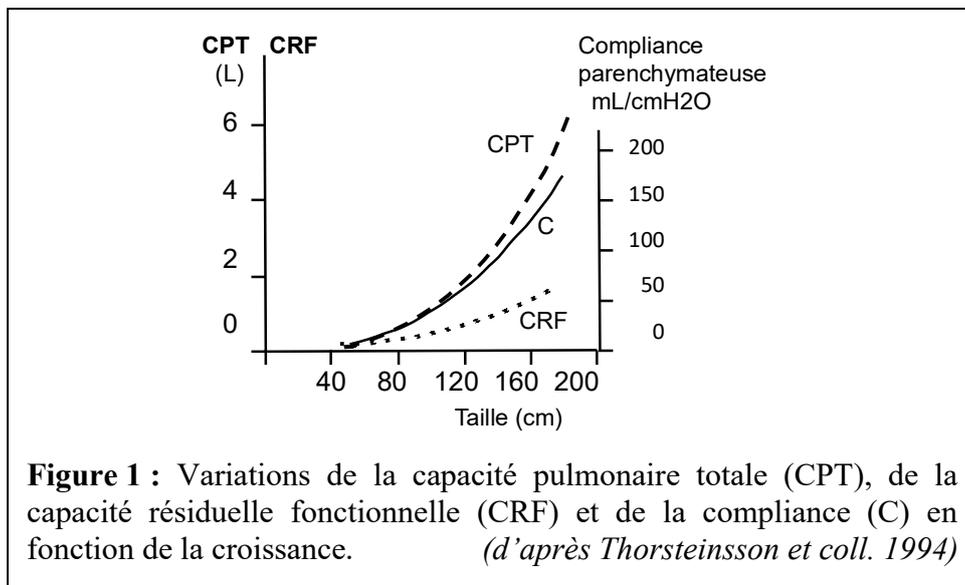
À 17 semaines d'aménorrhée (SA), l'arbre bronchique (voies de conduction) est formé. Entre les 16<sup>e</sup> et 27<sup>e</sup> SA, les voies aériennes périphériques se mettent en place et la barrière alvéolo-capillaire se forme avec notamment le développement d'un réseau capillaire et la différenciation de l'épithélium pulmonaire en cellules de type 1 et cellules de type 2. L'alvéologénèse qui débute à la 29<sup>e</sup> semaine requiert la présence d'élastine, de cellules musculaires lisses et du réseau capillaire ; les pneumocytes de type 2 produisent le surfactant (Mullassery et coll. 2015).

Des anomalies de développement *in utero* ou des expositions toxiques, notamment le tabagisme maternel, peuvent retentir sur la fonction respiratoire dans l'enfance ou à l'âge adulte de façon variable suivant le stade où elles se produisent.

À terme (40 SA), il y aurait 100 à 150 millions d'alvéoles et 300 à 600 millions vers 2-4 ans. Le poumon est ainsi immature à la naissance ; un remodelage considérable se produit durant les premières années après la naissance. Chaque composante structurale (voies aériennes, alvéoles et vaisseaux sanguins) a un profil de croissance propre associant augmentation en nombre et en taille. La taille pulmonaire maximale est atteinte vers 22 ans chez l'homme et un peu plus tôt chez la femme.

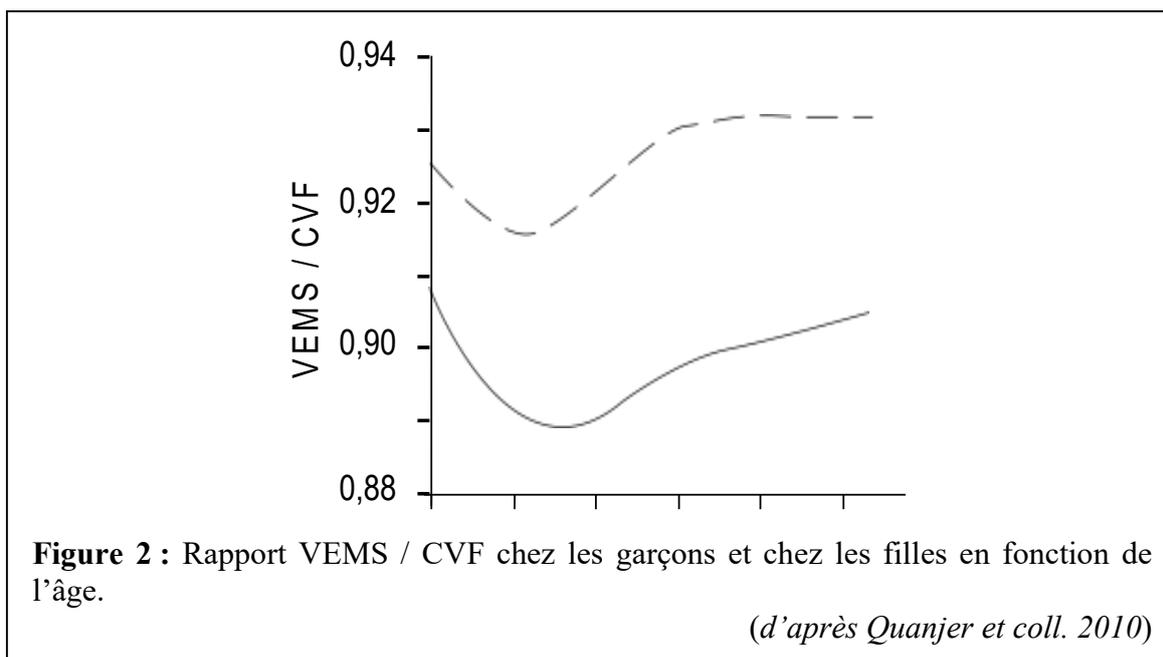
La croissance en nombre et en taille des alvéoles, la structure thoracique (rigidité et forme) et la force musculaire conditionnent la capacité pulmonaire totale (CPT) et la capacité vitale forcée (CVF). L'efficacité et le coût énergétique de la mécanique ventilatoire dépendent des compliances pulmonaire (parenchymateuse) et thoracique qui n'évoluent pas de façon parallèle au cours de la croissance ; ils dépendent aussi de la résistance à l'écoulement de l'air les voies aériennes, conditionnée par leur diamètre et le gradient de pression. Aucune de ces composantes n'est corrélée linéairement avec l'âge ni avec la taille et il existe une variabilité interindividuelle.

Dans le parenchyme, les fibres élastiques, peu abondantes à la naissance, sont progressivement de plus en plus nombreuses avec l'âge et sous-tendent ainsi l'augmentation progressive de la pression de rétraction élastique pulmonaire. La compliance parenchymateuse augmente avec la croissance staturale et plus rapidement lorsque la taille dépasse 1 mètre (Thorsteinsson et coll. 1994). Les modifications de la CPT, de la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) et de la compliance parenchymateuse en fonction de la croissance staturale normale sont schématisées dans la figure 1 établie d'après les résultats de Thorsteinsson et coll. (1994).

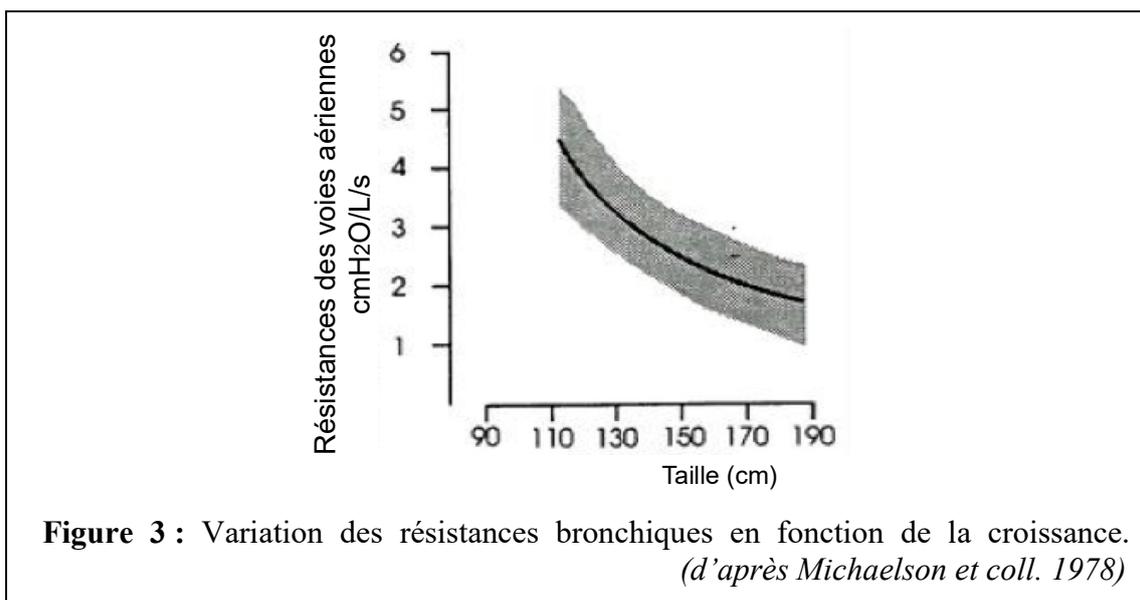


La morphologie de la cage thoracique évolue de l'enfance jusqu'au début de l'âge adulte, avec l'abaissement progressif du sternum par rapport aux vertèbres et la descente des dômes diaphragmatiques. Le thorax s'allonge plus qu'il ne s'élargit, et pendant l'adolescence la largeur augmente encore chez les garçons et peu chez les filles. La compliance thoracique diminue de l'enfance à l'adolescence avec la rigidification progressive de la cage thoracique (Lanteri et coll. 1993).

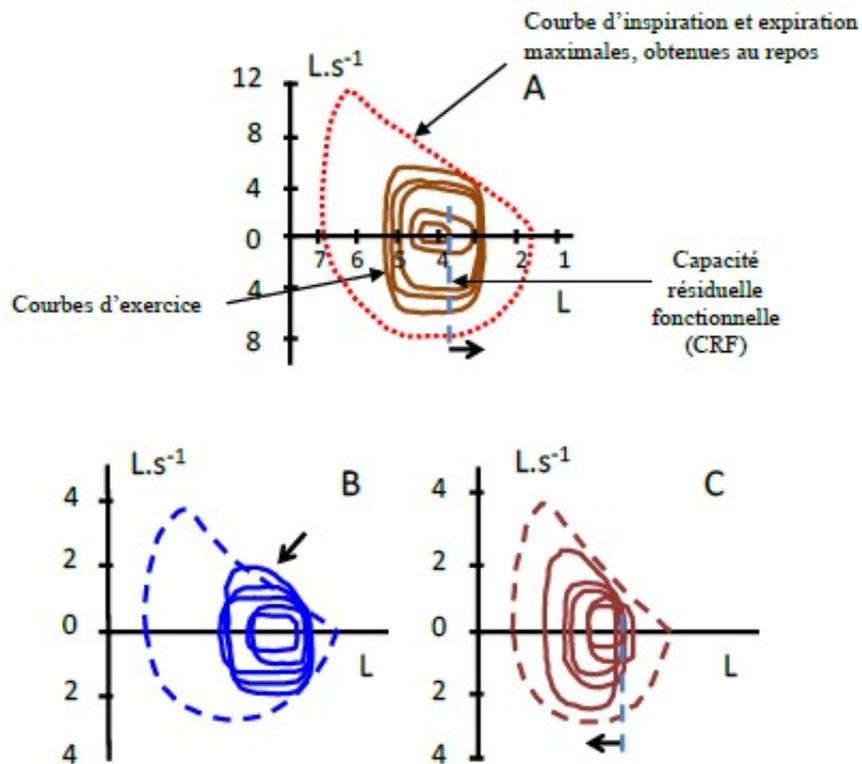
Dans la petite enfance, le calibre bronchique est proportionnellement plus grand par rapport au volume pulmonaire (en comparaison de l'adulte) ; ceci se traduit par un plus grand rapport VEMS / CVF chez l'enfant que chez l'adulte. Les volumes gazeux augmentant (par multiplication alvéolaire) plus rapidement que le calibre des voies aériennes, le rapport VEMS / CVF diminue durant l'enfance jusqu'au début de l'adolescence, et augmente ensuite (figure 2). Le rapport VR / CPT suit la même évolution curvilinéaire que VEMS / CVF. (Quanjer et coll. 2010).



Les résistances bronchiques au débit gazeux diminuent avec la croissance (Michaelson et coll. 1978) (figure 3).



Au total, chez les enfants prépubères, garçons et filles, sans pathologie pulmonaire, une relative limitation de débit de ventilation est habituelle (Swain et coll. 2010, Emerson et coll. 2015). La conjonction d'un petit diamètre bronchique et de la grande compliance parenchymateuse favorise la fermeture des petites bronches et donc le piégeage gazeux. Pendant l'exercice, avec l'accroissement de débit ventilatoire, les mêmes facteurs facilitent la distension dynamique (augmentation du volume de fin d'expiration), et donc également le risque de barotraumatisme pulmonaire (figure 4). Ces modalités complexes du développement de l'appareil respiratoire majorent le travail ventilatoire de l'enfant.



**Figure 4 :** Courbes débit-volume pulmonaires pour des exercices d'intensité croissante.

**A :** chez des hommes sains d'environ 40 ans sans limitation ventilatoire ni distension dynamique : à l'effort le volume de fin d'expiration (au repos = CRF) empiète dans la capacité résiduelle fonctionnelle et particulièrement sur le VRE (flèche →) ;

**B :** chez des enfants prépubères qui ont une limitation ventilatoire : à l'effort les débits expiratoires maximaux excèdent ceux de la courbe d'effort expiratoire maximum obtenue au repos (flèche) ;

**C :** chez des enfants prépubères qui ont une distension dynamique : le volume de fin d'expiration augmente progressivement avec l'intensité de l'effort (remonte dans le volume de réserve inspiratoire) (flèche).

Sur chaque figure, la courbe extérieure qui a la plus grande surface est obtenue pour des efforts expiratoire et inspiratoire maximaux effectués au repos.

(A d'après Johnson et coll. 1992 ; B et C d'après Nourry et coll. 2006)

Ces risques peuvent être encore accrus chez les enfants nés prématurés qui ont les mêmes volumes pulmonaires que les enfants nés à terme mais des débits de ventilation plus limités (particulièrement à l'exercice) en raison d'un retard de développement de l'arbre bronchique. Ce retard ne bénéficie pas de rattrapage comme c'est le cas pour la croissance alvéolaire. Cette dysplasie bronchopulmonaire est d'autant plus marquée que la prématurité est grande (Lovering et coll. 2014, O'Dea et coll. 2018). Enfin indépendamment de la prématurité, l'existence d'une hyperréactivité bronchique au cours de l'enfance ou de l'adolescence est un facteur indépendant de limitation de la croissance pulmonaire, que l'hyperréactivité soit associée ou non au diagnostic d'asthme (Harmsen et coll. 2014).

La mesure des volumes et débits pulmonaires est difficile chez le jeune enfant, car la coopération (coordination motrice, compréhension et attention) permettant de recueillir des résultats d'EFR satisfaisants n'est obtenue qu'entre 5 et 10 ans selon les enfants.

### **I-1.2.- La ventilation et son contrôle**

Si la fréquence respiratoire de repos et d'effort diminue avec l'augmentation de la taille, la ventilation alvéolaire rapportée à la surface corporelle est identique à celle de l'adulte ( $2,5 \text{ L min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ). Avec l'augmentation en taille des poumons, le volume courant et le débit de ventilation ( $V \cdot E$ ) augmentent au repos et à l'effort. À l'adolescence, le volume courant d'exercice maximal n'augmente plus significativement.

Pour une même intensité d'exercice, l'enfant ventile davantage que l'adulte :  $V \cdot E / V \cdot O_2$  est plus élevé chez l'enfant que chez l'adulte pour une même intensité d'effort. Cette hyperventilation chez les enfants compenserait leur ventilation plus rapide et superficielle (fréquence respiratoire FR plus élevée) afin de maintenir une ventilation alvéolaire adéquate.

Par ailleurs, les centres respiratoires des enfants sont plus sensibles au  $\text{CO}_2$  que ceux des adultes et la réponse ventilatoire à l'hypercapnie est de plus grande amplitude que chez l'adulte (Gratas-Delamarche et coll. 1993).

Ainsi la même intensité absolue d'exercice demande un travail ventilatoire plus grand à l'enfant qu'à l'adulte (cf. supra). Compte tenu des contraintes ventilatoires particulières en plongée, le risque d'essoufflement et d'épuisement respiratoire est important chez l'enfant en cas de modalités inappropriées (profondeur, courant, froid, distances de palmage inadaptées...) ou de matériel inadéquat (espace mort, résistances du système respiratoire trop importantes, combinaison trop serrée, ...).

Chez l'enfant entraîné à l'exercice physique, l'efficacité de la ventilation est améliorée (moindre débit ventilatoire, moindre rapport espace mort / volume courant ( $VD/VT$ ), moindre fréquence ventilatoire) et permet de plus grandes  $V \cdot O_2 \text{ max}$  et de plus grandes intensités d'exercice. L'entraînement en natation semble augmenter les volumes gazeux thoraciques mesurés en spirométrie, la puissance des muscles ventilateurs et pourrait accélérer la maturation pulmonaire (Muci et Nourry 2008). Cependant, l'amélioration par l'entraînement de l'efficacité ventilatoire pourrait faciliter la survenue de l'hypoxémie lors des efforts importants, en raison de la capacité pulmonaire encore limitée, insuffisante pour satisfaire le besoin métabolique (Nourry et coll. 2004).

### **I-1.3.- Conséquences de la prématurité et des anomalies de développement**

En relation avec les séquences du développement des voies aériennes, la prématurité peut modifier sensiblement le développement de l'appareil respiratoire. La dysplasie bronchopulmonaire plus ou moins présente selon de degré de prématurité s'accompagne d'une limitation des débits bronchiques (O'Dea et coll. 2018). L'interrogatoire doit donc préciser la date du terme de naissance et l'état clinique respiratoire au cours de l'enfance, jusqu'à l'âge auquel le sujet est examiné : ces altérations, documentées chez les enfants pré et post-pubères, sont encore présentes à l'âge adulte (Stocks et coll. 2013, MacLean et coll. 2016, Simpson et coll. 2017, Um-Bergström et coll. 2017, Ioan et coll. 2018, O'Dea et coll. 2018).

Des expositions *in utero* peuvent également influencer ultérieurement le développement d'anomalies respiratoires. L'interrogatoire devra donc rechercher une exposition maternelle au tabac (active ou passive), un petit poids de naissance, une exposition à des polluants atmosphériques (Stocks et coll. 2013).

#### **I-1.4.- Conséquences possibles pour l'enfant en plongée**

##### **a) Liées à l'immersion**

Chez l'adulte l'immersion jusqu'au cou diminue la capacité vitale (CV) et particulièrement la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) mesurée à terre, du fait de la restriction thoraco-abdominale et de la fermeture de petites bronches (Agostoni et coll. 1966, Préfaut 1977). La ventilation du volume de réserve expiratoire est amputée au repos et surtout à l'exercice (nage ou palmage) pendant lequel la diminution de CRF induit une augmentation notable du travail ventilatoire.

À terre, lors de l'exercice, la limitation des débits ventilatoires est plus grande chez l'enfant prépubère (7-11 ans) que chez l'adulte (Mucci et Nourry 2008, Swain et coll. 2010, Emerson et coll. 2015). Le cumul des contraintes liées à l'immersion et des caractéristiques de la mécanique ventilatoire chez l'enfant peut donc induire la distension dynamique et le piégeage gazeux pour des efforts d'intensité modérée. La limitation des débits expiratoires s'estompe progressivement avec la croissance jusqu'à la taille adulte, sauf chez les grands prématurés (Um-Bergström et coll. 2017).

##### **b) Liées à la réactivité bronchique (la question de l'asthme)**

Plusieurs études ont mis en évidence une réduction du calibre des bronches distales au décours de la plongée chez l'enfant de 9 ans et plus, même à faible profondeur (3 mètres) (Lemaître et coll. 2006<sup>a,b</sup>, Winkler et coll. 2010). Les enfants de faible indice de masse corporelle (IMC) seraient plus sensibles à ce phénomène. L'existence d'une hyperréactivité bronchique avant la plongée aggraverait le phénomène (Wollin et coll. 2011).

En cas d'antécédents respiratoires dans la petite enfance (bronchiolites, asthme plus ou moins précisés), l'interrogatoire doit rechercher les formes symptomatologiquement actives, particulièrement la toux sèche au décours de l'activité physique spontanée (jeu) ou scolaire (Granell et coll. 2016, Just et coll. 2018). L'hyperréactivité bronchique peut être présente avec ou sans asthme clinique (Harmsen et coll. 2014). Une exploration fonctionnelle respiratoire est alors recommandée avant de débiter l'apprentissage de la plongée. Les résultats seront analysés en utilisant le Z-score du GLI<sup>1</sup> (Quanjer et coll. 2012<sup>a,b</sup>, Guillien 2018) et l'exploration complétée au besoin sur avis spécialisé par une épreuve de réversibilité de l'obstruction, voire par d'autres investigations (Granell et coll. 2016, Zein et coll. 2016, Maglione et coll. 2019).

La qualification d'un asthme éventuel sera effectuée selon les recommandations de la Société de pneumologie de langue française (Raheison et coll. 2016) qui distinguent entre asthme contrôlé et asthme partiellement contrôlé ou non contrôlé. Le traitement et le suivi seront alors adaptés.

Cette enquête est d'autant plus nécessaire que l'asthme dans l'enfance est souvent diagnostiqué à tort (faux positif) ou à l'inverse, insuffisamment pris en charge. D'autres étiologies existent pour la dyspnée avec « sifflement », notamment « l'obstruction laryngée

---

<sup>1</sup> Voir chapitre XI – Appareil respiratoire.

inductible », longtemps appelée « dysfonction des cordes vocales », obstruction glottique ou supraglottique qui survient en réponse à divers stimulus environnementaux (inhalation d'eau), psychologiques ou à l'effort (Halvorsen et coll. 2017, Olin 2019). Cette modalité d'obstruction bronchique expose également au barotraumatisme pulmonaire.

Il importe donc de dépister ces pathologies en raison d'une part du risque accru de barotraumatisme pulmonaire et d'autre part, parce que le travail ventilatoire peut devenir rapidement excessif avec un risque de détresse ventilatoire (le terme d'« essoufflement » traditionnellement utilisé peut recouvrir diverses modalités physiopathologiques) et de noyade secondaire. Dans tous les cas, il est recommandé d'éviter de faire plonger un enfant en cas de pathologie infectieuse ou inflammatoire respiratoire et en cas d'asthme ou autre pathologie obstructive dûment documentée.

### **I-1.5.- Au total**

**Avant l'âge de 12 ans** (Swain et coll. 2010, Emerson et coll. 2015), le travail ventilatoire naturellement élevé de l'enfant est majoré par les contraintes liées à l'immersion et à l'environnement de la plongée (résistances et espace mort de l'appareil de protection respiratoire, constriction par le vêtement de protection thermique ou le sanglage) et facilite la survenue d'un « essoufflement ». La restriction fréquente du débit ventilatoire d'effort (par le calibre bronchique) majore le risque de distension dynamique, de piégeage gazeux et donc de surpression pulmonaire, même localisée. **La fonction respiratoire d'un enfant de moins de 7-8 ans ne permet pas la pratique de la plongée autonome sans risque respiratoire majeur.** Ce risque, qui perdure jusqu'à l'âge de 11-12 ans, doit faire prendre en compte des restrictions notables à la pratique (équipement spécifique, profondeur, effort, température). De même, il n'est pas recommandé d'autoriser un enfant asthmatique, même contrôlé, à plonger avant l'âge de 12 ans.

**Après l'âge de 12 ans**, la fonction respiratoire devient plus compatible avec les contraintes ventilatoires imposées par la plongée autonome. Cependant l'accès à la profondeur doit rester prudent et très progressif ; l'encadrement devra surveiller attentivement l'adaptation, en particulier respiratoire, du jeune et savoir le limiter en cas de doute en profondeur et dans ses efforts de palmage, car les capacités individuelles peuvent être très variables, même pour des âges ou tailles similaires.

Il reste recommandé d'utiliser un détendeur à premier étage compensé et à pression d'ouverture basse (Labbé 1980) et un tuba de petit volume pour ne pas augmenter l'espace mort.

**La prématurité**, le cas échéant, doit être précisée : âge gestationnel à la naissance, suivi clinique pendant l'enfance et recherche, par l'interrogatoire et la clinique, des capacités d'adaptation aux activités physiques (terrestres et natation) au cours de l'enfance. Les antécédents, des doutes relatifs à la bonne tolérance de certaines activités physiques doivent faire rechercher un avis spécialisé (pneumo-pédiatrique) documenté par des épreuves fonctionnelles. Des éléments de ces avis peuvent conduire à proposer une réévaluation ultérieure des contre-indications, à un moment où la croissance sera plus avancée (Ioan et coll 2018, O'Dea et coll. 2018).

## **I-2.- APPAREIL CARDIO-VASCULAIRE**

### **I-2.1.- Développement de l'appareil cardio circulatoire de l'enfant**

L'appareil cardio-circulatoire se met en place durant les premières semaines de la grossesse : à la fin du 2<sup>e</sup> mois le cœur à 4 cavités est développé ainsi que les vaisseaux définitifs.

Formé lors des 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> semaines de développement (7<sup>e</sup> et 8<sup>e</sup> SA) un atrium primitif se cloisonne peu à peu avec un septum formé en plusieurs étapes qui contribuent également à former les orifices atrio-ventriculaires (Anderson et coll. 2002). Vers la fin du 2<sup>e</sup> mois la circulation fœtale définitive est fonctionnelle et comporte en particulier une fenêtre interatriale en chicane entre les deux feuillets du septum : c'est le trou de Botal ou *foramen ovale* (Hara et coll. 2005). Pendant la vie fœtale, le sang oxygéné et riche en nutriments issu de la circulation ombilicale parvient dans l'atrium droit et à partir de là 70 % du débit sanguin court-circuite la circulation pulmonaire (non fonctionnelle) pour gagner l'aorte par le foramen ovale (atrium droit → atrium gauche) et par le canal artériel (tronc artériel pulmonaire → aorte).

À la naissance, les premières inspirations déploient le tissu pulmonaire, ce qui abaisse mécaniquement la résistance dans la circulation pulmonaire où afflue le sang et augmente en aval le débit dans l'atrium gauche. La fermeture de l'apport sanguin ombilical diminue également le retour veineux à l'atrium droit. Les pressions sanguines diminuent ainsi dans le cœur droit et augmentent dans l'atrium gauche. L'entrée d'air dans les espaces alvéolaires et les débuts des échanges gazeux réduisent fortement l'hypoxie ce qui diminue peu à peu la vasoconstriction artérielle pulmonaire et abaisse davantage les pressions droites. L'inversion de la différence des pressions atriales maintient le feuillet septal atrial gauche (*septum primum*) sur le foramen ovale et réalise ainsi sa fermeture fonctionnelle. Les deux septums accolés l'un à l'autre fusionnent peu à peu histologiquement sauf chez 25 à 30 % des personnes (Dattilo PH et coll. 2013).

Les anomalies de développement du système cardiovasculaire sont les malformations congénitales les plus fréquentes. Près de la moitié peuvent être dépistées lors des examens échographiques prénataux et jusqu'à 80 % pour les plus sévères. L'incidence des cardiopathies congénitales est évaluée de 3 à 10 naissances sur 1000, donnée très variable suivant les critères et modalités diagnostiques utilisés dans les études (Van der Bom et coll. 2011 ; Khoshnood et coll. 2005).

### **I-2.2.- Adaptation à l'effort**

Le débit cardiaque augmente linéairement avec l'intensité de l'exercice chez l'enfant comme chez l'adulte. Chez l'enfant, le débit cardiaque à l'effort comme au repos est proportionnel à la surface corporelle quel que soit le sexe (Obert et Vinet 2008). Au cours de la croissance un gain de 1 L de V•O<sub>2</sub> s'accompagne d'une augmentation de 4 à 5 L min<sup>-1</sup> de débit cardiaque. La cinétique d'augmentation du débit avec l'intensité de l'exercice est la même chez les filles et chez les garçons. La fréquence cardiaque contribue davantage à l'augmentation de débit cardiaque avec l'intensité de l'exercice chez l'enfant que chez l'adulte, en raison du moindre volume d'éjection systolique. Au cours de la croissance, les dimensions des cavités cardiaques et le volume d'éjection systolique augmentent proportionnellement à la surface corporelle et à la masse musculaire (masse maigre).

Pendant l'exercice la cinétique de modification des diamètres ventriculaires est identique chez les enfants et chez les adultes pour une même intensité relative de l'exercice (fraction de l'intensité maximale atteignable). Les résistances vasculaires systémiques sont plus grandes

chez l'enfant que chez l'adulte, notamment du fait du diamètre luminal artériel plus faible. Chez les enfants prépubères filles et garçons, les différences de masse musculaire sont corrélées aux différences de dimensions des cavités cardiaques, de volume d'éjection systolique et de débit cardiaque.

Pour des programmes comparables d'entraînement soutenu à l'exercice aérobie, la  $\dot{V}O_2\text{max}$  n'augmente que de 5 à 15 % chez l'enfant (quel que soit le sexe) contre 15 à 30 % chez l'adulte. D'autre part, contrairement à l'adulte, l'entraînement aérobie à haut niveau n'augmente pas l'épaisseur pariétale (septum interventriculaire et paroi postérieure) du ventricule gauche chez l'enfant (Obert et coll 1998).

### I-2.3.- Prématurité et anomalies de développement

**La prématurité** (accouchement avant 37 SA, OMS 1976) est associée à une augmentation des facteurs de risque de syndrome métabolique et de pathologie cardiovasculaire à l'âge adulte (athérosclérose notamment) : en particulier l'hypertension artérielle, un taux de masse grasse plus élevé par rapport aux adultes nés à terme, une tendance au diabète de type 2 par le biais d'une intolérance au glucose et d'une résistance à l'insuline plus marquée et un taux de cholestérol total plus élevé (Markopoulou et coll. 2019).

Les mécanismes restent discutés, associant un stress oxydant particulier avec production augmentée de radicaux libres oxygénés dans les périodes pré et post-natales, à une immaturité du système immunitaire chez ces nouveaux-nés exposés *in utero* et à la naissance à un environnement inflammatoire particulier (Bavineni et coll. 2019). Le développement du système nerveux végétatif a lieu au cours du 3<sup>e</sup> trimestre de la grossesse, et la prématurité peut se traduire par une activité altérée de la composante parasympathique en particulier (Haraldsdottir et coll. 2019). Par ailleurs, la prématurité altère l'histologie de la paroi artérielle en limitant son contenu en élastine. L'absence de récupération de ce déficit histologique au cours de la croissance conduit à une faible compliance artérielle à l'âge scolaire et jusqu'à l'âge adulte (Tauzin et coll. 2014) qui se traduit par une pression artérielle plus élevée chez les adolescents nés prématurément que ceux nés à terme, avec une différence plus marquée chez les filles que les garçons et enfin une tendance à l'HTA à l'âge adulte.

**Les cardiopathies congénitales** sont très diverses dans leur présentation anatomique, conséquences fonctionnelles et types de complications. Avec les progrès du dépistage anténatal et des thérapeutiques, un nombre croissant d'enfants nés avec une cardiopathie congénitale atteint l'âge adulte. Pour ceux-ci la pratique de la plongée sous marine doit être envisagée de façon collégiale entre le médecin de la plongée et le cardiologue traitant du candidat ; l'évaluation au cas par cas tiendra compte notamment (Turner 2015) :

- des capacités fonctionnelles du candidat et l'existence d'une symptomatologie d'effort ou non,
- de l'existence d'un shunt droite-gauche ou non et le cas échéant de son aspect anatomique et de son retentissement fonctionnel,
- du risque d'œdème pulmonaire,
- du risque de trouble de rythme et de syncope,
- des conséquences éventuelles du traitement de la cardiopathie, notamment chirurgical.

Cette évaluation cardiovasculaire doit être réalisée par le cardiologue traitant et comporter outre l'interrogatoire et l'examen physique, un électrocardiogramme, un holter ECG, une échocardiographie et une épreuve d'effort avec mesure de la consommation d'oxygène. D'autres examens peuvent être requis suivant les résultats de cette évaluation ; Schleich et

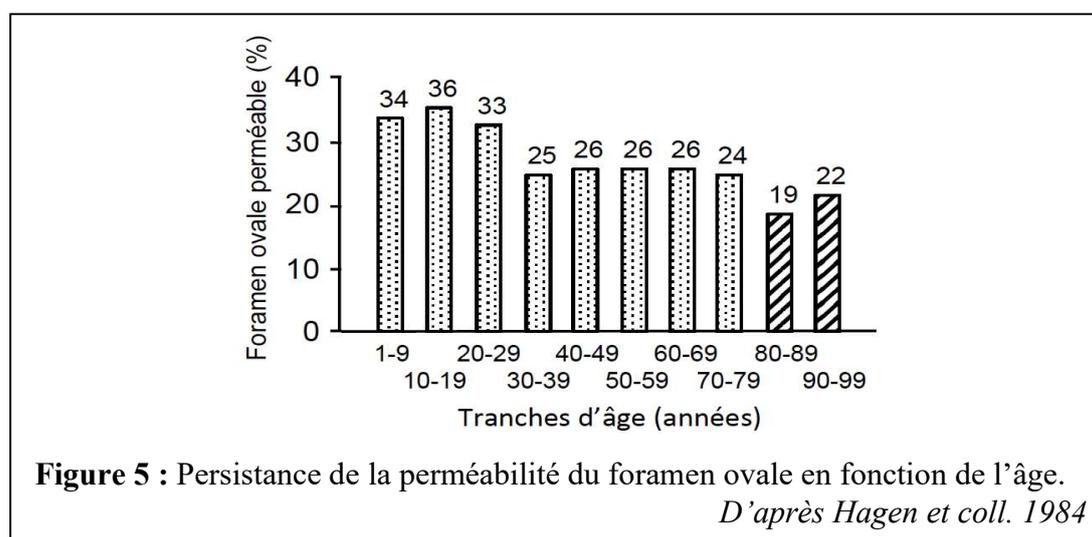
coll. proposent des critères d'aide à la décision pour des candidats asymptomatiques, dans le cadre d'une plongée de loisir en circuit ouvert à l'air ou au nitrox (Schleich et coll. 2016).

### I-2.4.- Conséquences en plongée

Le *foramen ovale* peut rester perméable après la naissance. Dans une étude autopsique portant sur 965 cœurs sains de sujets de 1 à 99 ans, Hagen trouve une incidence globale de 27,3 % de *foramen ovale* perméables sans différence de sexe. Cette incidence décline cependant avec l'âge : plus d'un tiers des cœurs présentaient un foramen ovale perméable durant les premières décades de vie pour un cinquième à l'autre extrémité (figure 5). Le diamètre maximal mesuré des *foramen ovale* perméables variait et augmentait en moyenne avec l'âge, passant de 3,4 mm dans la première décade de vie à 5,8 mm dans la dixième décade (Hagen et coll, 1984).

Cette communication peut permettre un passage de bulles dans la circulation artérielle en cas d'augmentation de la pression veineuse intra-thoracique ; chez l'adulte, la présence d'un *foramen ovale perméable* est associée à un risque accru d'accidents de désaturation de type neurologique<sup>2</sup>.

Peu de données existent chez l'enfant. Une étude par échographie doppler (Lemaître et coll. 2009) réalisée chez des enfants de 10 ans ou plus ( $13,1 \pm 2,3$  ans) pour une plongée peu saturante d'une durée maximale de 33 minutes ( $26 \pm 7$  min) à 15 mètres de profondeur ( $12 \pm 3$  m), n'a pas mis en évidence de bulles circulantes dans l'heure suivant l'émersion. À l'inverse, Geyer et coll. (2019) ont détecté des bulles veineuses chez des enfants et adolescents ( $13,5 \pm 1,1$  ans) après des plongées successives peu profondes (10 m) chez 6 jeunes sur les 28 testés.



De ce fait, la transposition à l'enfant des tables de plongée établies pour l'adulte n'est pas possible. **Il est donc recommandé de limiter profondeur et durée des plongées chez les enfants et les adolescents (au minimum dans la courbe de sécurité, en ayant à l'esprit qu'aucune procédure de décompression n'a été validée pour le jeune plongeur) et d'éviter les plongées successives.** Les adultes devront s'assurer du respect de la période sans exercice physique notable après la plongée.

<sup>2</sup> Voir p. 52 - Physiopathologie des accidents de désaturation.

### **I-2.5.- L'examen cardiovasculaire du jeune plongeur**

Rappelons que l'immersion et la pression hydrostatique, la respiration d'un gaz sous pression et les diverses autres contraintes de l'activité (port d'un vêtement néoprène, froid, stress, ...) modifient sensiblement le fonctionnement du système cardiovasculaire, au repos comme à l'effort. Cet environnement favorise ainsi l'accident cardiovasculaire qui peut se révéler sous la forme d'une décompensation d'une cardiopathie préexistante ou de pathologies spécifiques du milieu.

L'examen cardiovasculaire du jeune plongeur a essentiellement pour but de dépister une anomalie, le plus souvent congénitale, qui peut être à risque de mort subite ou qui peut être aggravée par la pratique de la plongée sous-marine. En effet, la première cause de mort subite au cours des activités sportives est une anomalie cardiovasculaire (Corrado et coll. 2003 ; Maron et coll. 2009) ; bien que rare, l'évènement revêt un caractère particulièrement dramatique.

L'interrogatoire de l'enfant et des parents recherche les antécédents familiaux et une symptomatologie d'effort. L'examen physique doit être complet. La réalisation d'un électrocardiogramme est recommandée, à l'instar de l'évaluation des jeunes athlètes.

Une histoire familiale de cardiopathie congénitale, d'évènement cardiovasculaire ou de mort subite à un âge précoce (< 60 ans) doit être recherchée par l'interrogatoire des parents ; un antécédent familial au premier et, dans une moindre mesure, au 2<sup>e</sup> degré est en effet associé à une augmentation significative du risque de cardiopathie notamment chez les moins de 35 ans (Ranthe et coll. 2015).

Les antécédents du jeune et ses capacités physiques seront également soigneusement recueillis. En particulier il convient de préciser les activités physiques pratiquées, leur intensité et leur fréquence, et de rechercher une éventuelle symptomatologie d'effort : douleur thoracique, syncope ou malaise, palpitations, dyspnée inexplicée, fatigue inhabituelle, difficultés de récupération, ressenti des performances et de la récupération par rapport aux camarades de sport.

L'examen physique complet recherche un souffle anormal, une asymétrie de pouls, un rythme irrégulier, une anomalie tensionnelle ainsi que des signes pouvant faire évoquer un syndrome de Marfan.

La présence d'un souffle systolique à l'auscultation est fréquente chez le jeune ; il s'agit le plus souvent de souffle innocent (anorganique) qui ne nécessite pas d'exploration complémentaire. L'évaluation du caractère fonctionnel ou pathologique d'un souffle tiendra compte de ses caractéristiques, ainsi que des données du reste de l'examen clinique et de l'interrogatoire (Biancanello 2005).

La pratique d'un électrocardiogramme initial, répété tous les trois ans entre 12 et 20 ans, est recommandée par les sociétés française et européenne de cardiologie, ainsi que par la société européenne de cardiologie pédiatrique dans le cadre de la visite médicale des jeunes athlètes. Si cet examen ne permet pas la détection exhaustive des pathologies cardiaques (comme les dilatations de la racine de l'aorte, les communications droite-gauche ou les anomalies d'implantation des coronaires), il augmente néanmoins la sensibilité de la visite médicale pour dépister une anomalie à risque léthal chez le sportif, en particulier pour une cardiomyopathie hypertrophique, une canalopathie ou un trouble du rythme (Asif et coll. 2012 et 2017).

Compte tenu des exigences cardiovasculaires de la pratique de la plongée, la visite médicale du jeune plongeur devrait comporter la réalisation et l'interprétation d'un électrocardiogramme 12 dérivations lors du premier examen, qui sera répété tous les 3 ans.

### **I-2.6.- Au total**

La croissance physiologique des cavités cardiaques accompagne le développement statural (augmentation de surface corporelle et de masse musculaire) sans différence intersexuelle chez l'enfant prépubère. Les dimensions ventriculaires limitent le volume d'éjection systolique. L'adaptation du débit cardiaque à l'exercice repose largement sur l'augmentation de fréquence cardiaque. L'augmentation de précharge cardiaque par l'immersion n'a pas été étudiée chez l'enfant, et l'éventuelle influence d'un travail ventilatoire rapidement majoré lors de l'exercice sur la fonction cardiaque n'a pas été appréciée. Chez l'adulte cette interaction fonctionnelle contribue à des décompensations (OPI, défaillance cardiaque) lors d'efforts importants (Castagna et coll. 2018). **Il importe donc de limiter la plongée des enfants aux conditions qui ne requièrent que des efforts limités en intensité et en durée.**

Peu de données existent concernant la désaturation en gaz inertes chez l'enfant. Les procédures de décompression ont été validées chez l'adulte ne peuvent être transposées telles quelles aux enfants et adolescents. **Il importe de limiter profondeur et durée des plongées (au minimum dans la courbe de sécurité, à défaut de procédure validée chez le jeune) et d'éviter les plongées successives afin de limiter les risques de la décompression.**

**La fréquence des malformations cardiaques congénitales impose de les rechercher par l'interrogatoire chez le jeune candidat plongeur comme dans la famille (parents, fratrie). De même il convient de s'enquérir d'éventuels troubles électrocardiographiques (excitabilité, conduction) chez les parents ou dans la fratrie.** Les antécédents symptomatologiques éventuels au cours d'activité sportives terrestres doivent également être recherchés et explorés au besoin.

### **I-3.- SPHÈRE ORL**

#### **I-3.1.- La trompe d'Eustache et l'otite barotraumatique**

C'est le principal facteur d'incident et d'échec en plongée chez l'enfant. La fonction d'ouverture active est nettement moins bonne chez l'enfant que chez l'adulte (Bylander et coll. 1983). La fréquence des pathologies de l'oreille moyenne chez l'enfant témoigne probablement de cette différence. Une étude finlandaise (Virolainen et coll. 1979), se basant sur des examens systématiques effectués chez 1207 enfants scolarisés de 7 à 8 ans, a ainsi montré que 50 % de ceux-ci ont présenté au moins une otite dans leurs antécédents. En effet, la muqueuse tubaire, de type respiratoire cilié et glandulaire, est histologiquement analogue au revêtement du naso-pharynx, avec un chorion riche en glandes séro-muqueuses sécrétoires et avec un contingent lymphoïde. La trompe est ainsi concernée par tout processus inflammatoire rencontré lors des rhinopharyngites, fréquentes et récidivantes chez l'enfant.

Il faut insister sur le rôle capital joué par les muscles tubaires insérés sur le voile (les péristaphylins : tenseur et élévateur du voile) dans la physiologie et le bon fonctionnement de la trompe d'Eustache. Les péristaphylins se mobilisent à chaque mouvement de déglutition ouvrant la lumière tubaire. Le déficit de ces muscles peut provoquer un dysfonctionnement (défaut de perméabilité tubaire) aboutissant à des troubles pressionnels de l'oreille moyenne. La fréquence des processus otitiques chez les enfants porteurs d'une division palatine

démontre le rôle joué par la musculature tubaire. Doyle et coll. (1971) mesurant les capacités d'ouverture active de la trompe lors de la déglutition chez 41 enfants porteurs de division palatine ont montré que cette faculté était significativement diminuée par rapport au groupe témoin, alors que les capacités d'ouverture passive n'étaient pas différentes. Comme décrit dans les actes du congrès ORL de 1996 (Martin et coll. 1996), la morphologie de la trompe d'Eustache de l'enfant est notoirement différente de celle de l'adulte par sa faible longueur, son orientation, la situation de l'orifice pharyngé. Chez le jeune enfant, le cartilage tubaire est plus court, moins épais et moins rigide que chez l'enfant plus âgé et l'adulte, ce qui a pour conséquence de rendre l'action du péristaphylin tenseur du voile moins efficace. La fonction ventilatoire de la trompe est ainsi moins bonne chez l'enfant que chez l'adulte. Au cours du développement de l'enfant avec la croissance faciale vers 7-8 ans, la verticalisation de l'axe tubaire fibro-cartilagineux expliquerait une plus grande efficacité sur la dilatation de l'ouverture tubaire (Martin et coll. 1996).

La fréquence des infections rhino-pharyngées chez l'enfant fait également le lit de la pathologie sinusienne barotraumatique.

Ceci dicte une attitude préventive de dépistage clinique systématique des affections ORL, et plus particulièrement de l'otite séro-muqueuse de l'enfant, dont la fréquence peut aller de 15,9 % (Kocuyigit et coll. 2017) jusqu'à 30 % suivant la saison (Holmquist et coll. 1987). L'interrogatoire et l'examen otoscopique avec épreuve de Valsalva peuvent ne pas être suffisants dans ce cas.

L'interrogatoire recherchera également l'existence de ronflements, voire d'apnées, en rapport avec une hypertrophie amygdalo-adénoïdienne ou un syndrome malformatif type syndrome de Pierre Robin.

**En cas d'immobilité tympanique constatée, la réalisation d'un tympanogramme est nécessaire, au moins lors de la première consultation.** Dans tous les cas, une immersion lente et progressive lors de la première plongée doit être réalisée sous le contrôle du moniteur.

### **I-3.2.- Rôle préventif de l'encadrement**

C'est à l'occasion des premiers entraînements que les manœuvres d'équilibration et en premier lieu la manœuvre de Valsalva seront expliquées : elles nécessitent un apprentissage particulier et il faudra bien sensibiliser les jeunes à l'importance fondamentale de ces manœuvres en expliquant qu'elles doivent être apprises de façon à les répéter précocement et régulièrement, sans attendre la survenue de douleurs au cours de la descente. L'incompréhension, par l'enfant, des manœuvres d'équilibration tympanique est à l'origine de la plupart des échecs. L'encadrant de l'enfant doit vérifier la bonne compréhension de la dissociation naso-buccale (expiration nasale bien comprise et correcte) dont la non exécution est le facteur principal d'échec en plongée.

Une vigilance accrue s'impose lors des premières plongées et il faudra savoir interdire la plongée à des enfants enrhumés. Il faudra également utiliser un masque adapté (petit volume, bien adapté au visage) facilitant les manœuvres d'équilibration.

### **I-3.3.- Pathologies congénitales**

La déficience auditive est le déficit sensoriel le plus fréquent à la naissance. Sa prévalence chez l'enfant est mal connue. On estime que la surdité profonde touche une naissance sur

mille. Trois enfants de 3 ans sur mille seraient atteints d'une surdité profonde ou sévère. Par ailleurs, 12 à 18 % des enfants présenteront une otite séreuse durable dans les 5 premières années de la vie, altérant leur audition de façon plus ou moins prolongée (ministère des Solidarités et de la Santé 2016)<sup>3</sup>.

Les causes de surdité à la naissance sont multiples et relèvent de trois grands cadres :

- origine génétique, syndromique ou non syndromique. Dans la grande majorité des cas, les atteintes sont monogéniques, dans 80 % des cas à transmission autosomique récessive. Près de 100 locus chromosomiques impliqués ont été identifiés, traduisant une grande hétérogénéité génétique de ce handicap sensoriel.
- *In utéro* : infectieuse (rubéole, cytomégalovirus), toxique (aminosides...).
- Périnatalité : anoxie cérébrale à la naissance, prématurité, hyperbilirubinémie sévère...

Par la suite, l'enfant peut être exposé à des agents altérant l'audition : médicaments ototoxiques, infection neuroméningée, bruit ...

L'examen du jeune plongeur devra rechercher un trouble auditif ; au moindre doute en cas de signe évocateur (trouble du langage, manque de vocabulaire, déformation de mots,...), un bilan spécialisé est requis. Les accidents ORL étant les plus fréquents (Vandenhoven 2003), **l'existence d'un déficit auditif devra contre-indiquer l'activité afin de ne pas risquer d'aggraver un handicap sensoriel.**

#### **I-4.- APPAREIL LOCOMOTEUR**

La croissance en taille est continue depuis la naissance jusqu'à l'âge adulte, mais non linéaire, avec une croissance rapide de la naissance à l'âge de 4-5 ans, puis une 2<sup>e</sup> phase de croissance rapide au moment du pic pubertaire, qui débute en moyenne vers 10-12 ans chez la fille et 13-14 ans chez le garçon.

Les courbes de croissance ont été remises à jour dans les carnets de santé en 2018, à partir des données recueillies par l'INSERM dans le cadre d'une vaste étude incluant 261 000 enfants suivis dans les cabinets de médecine générale et pédiatrique du territoire métropolitain<sup>4</sup>.

Cette croissance staturale est liée à la croissance des os longs qui s'accompagne de phénomènes de maturation (ossification, minéralisation et apposition périostée). La croissance en longueur se fait au niveau des cartilages de conjugaison. Le risque des bulles sur ces cartilages de conjugaison est inconnu ; la vascularisation est assurée par un réseau assez dense de la métaphyse à l'épiphyse (Haines 1974 ; Wirth 2002), pouvant laisser penser à une période tissulaire plus courte que l'os adulte. Cependant un cas de douleur articulaire coxofémorale survenue 90 minutes après une 3<sup>e</sup> plongée a été décrit chez un jeune de 13 ans (Ambriz 2003). Comme pour les raisons exposées plus haut, le jeune plongeur ne devra pas être exposé à des conditions de plongée dites saturantes et devra se limiter à des plongées au minimum dans la courbe de sécurité, en évitant les plongées successives.

Le risque ostéo-articulaire de l'enfant plongeur est surtout lié au port de charges lourdes (bouteilles d'air comprimé, plombs) pouvant causer ou majorer des douleurs en particulier rachidiennes, fréquentes chez les enfants et adolescents, particulièrement les filles (Aprile et coll. 2016). C'est ainsi que les recommandations du ministère de l'Éducation Nationale

---

<sup>3</sup> [https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/Depistage\\_des\\_troubles\\_de\\_l\\_audition\\_chez\\_l\\_enfant.pdf](https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/Depistage_des_troubles_de_l_audition_chez_l_enfant.pdf)  
[27 septembre 2019]

<sup>4</sup> <https://cress-umr1153.fr/index.php/courbes-carnet-de-sante/> [27 septembre 2019]

préconisent que le poids du cartable ne dépasse pas 10 % du poids de l'enfant<sup>5</sup>. À titre de référence, le code du travail autorise pour les jeunes de 15 à 18 ans jusqu'à 20 % du poids du corps, et au-delà après examen médical<sup>6</sup>.

**Ces charges doivent être allégées :** narguilé branché sur le bloc du moniteur ou bouteille de faible capacité bien sanglée sur le dos par l'intermédiaire d'un dispositif de maintien adapté, utilisation précoce du gilet. Les palmes doivent correspondre aux possibilités musculaires de l'enfant (voilure modérée, flottantes, chaussantes et à la bonne pointure).

### **I-5.-THERMORÉGULATION**

Le froid est le principal facteur limitant la plongée chez l'enfant. Il altère non seulement le confort et le plaisir de la plongée, mais aussi les capacités cognitives et comportementales, bien plus chez l'enfant que chez l'adulte. La neutralité thermique au repos est obtenue pour une température d'eau de 34° C, condition exceptionnellement réalisée.

La grande différence entre jeunes et adultes concernant la thermorégulation est le rapport surface cutanée / masse corporelle, plus important chez le jeune. Les pertes de chaleur lorsqu'il est exposé au froid, (comme l'absorption lorsqu'il est exposé à des températures élevées) sont ainsi plus importantes (Falk 1998).

En cas d'exercice physique notable en eau fraîche le bilan thermique de l'enfant devient rapidement négatif. Une protection thermique adaptée est donc absolument nécessaire : combinaison bien ajustée évitant les pertes thermiques au niveau du tronc, de la tête et du cou. L'encadrement devra s'assurer de la protection thermique adaptée, donner des consignes claires au jeune de signaler une sensation de froid désagréable, devra surveiller régulièrement la bonne tolérance thermique de l'enfant (comportement, tremblement, consommation d'air,...) et savoir mettre fin précocement à la plongée en cas de signes de froid.

À l'opposé le risque d'hyperthermie et de déshydratation en cas d'exposition même courte au soleil dans la combinaison de plongée n'est pas négligeable en raison de l'inefficacité des mécanismes de thermolyse.

### **I-6.- ASPECTS PSYCHOLOGIQUES ET COMPORTEMENTAUX**

La capacité d'intégration des informations sensorielles se développe plus lentement que la perception proprement dite. L'analyse de signaux visuels, auditifs, proprioceptifs est un niveau de traitement de l'information dans le système nerveux central. L'intégration de ces signaux dans un schéma de représentation mentale de la personne dans son environnement nécessite d'autres circuits nerveux dont le câblage et la maturation sont plus tardifs. Les réseaux du cortex frontal qui participent aux comportements et intègrent des traits de personnalité (analyse lente ou rapide, plus ou moins détaillée...) se perfectionnent encore au delà de 20 ans. La capacité à anticiper le rôle d'une information et son impact dans un environnement correspond à la maturation de « l'âge de raison ». L'attention nécessaire à la plongée semble en moyenne plutôt présente vers 11-12 ans. L'immaturité psychoaffective de l'enfant peut faire le lit de réactions de panique en plongée susceptibles d'engendrer en particulier un risque de surpression pulmonaire. En effet, instabilité neuro-végétative et labilité émotionnelle caractérisent l'enfant de 7-8 ans. Face au danger (réel ou perçu comme

<sup>5</sup> Ministère de l'éducation nationale - <https://www.education.gouv.fr/cid115017/le-suivi-de-la-sante-des-eleves.html#Bonnes%20postures%20et%20poids%20du%20cartable> [consulté le 27 mars 2019].

<sup>6</sup> Art. R4153-52.

tel) sa réaction est souvent imprévisible. De même, l'existence d'un repère visuel en cours de plongée est nécessaire pour le sécuriser car, à cet âge, la dépendance au champ visuel est très forte (Bastien-Flamain 1999). Ce n'est qu'à partir de 12 ans que le stade des opérations concrètes est acquis : l'intégration de la théorie, donc du risque de l'accident, devient possible. En parallèle à cette assimilation on observe, à partir de cet âge seulement, l'apparition d'une capacité de réaction adaptée en fonction des modifications du milieu (Bastien-Flamain 1999).

### **Consommation de substances psycho-actives**

Les années de collège et de lycée sont aussi les années de découverte des substances psychoactives : au collège, diffusion de l'alcool (plus de 75 % des adolescents en troisième l'ont expérimenté), expérimentation de la cigarette pour plus de 20 % des jeunes ; le cannabis se diffuse davantage durant les années de lycée. Un tiers des lycéens indiquent en avoir déjà fumé au cours de leur vie (de plus de 16 % en classe de troisième à plus de 42 % en terminale), avec 6,2 % de consommateurs réguliers et 17,3 % de fumeurs dans le mois (Spilka et coll. 2019). Ces taux d'expérimentations de tabac et de cannabis ont chuté entre 2015 et 2018. La France reste cependant le pays où la prévalence de consommation de cannabis est la plus élevée chez les jeunes et les adultes en Europe d'après l'Observatoire européen des drogues et toxicomanies (anonyme, 2019). Le cannabis, outre ses effets psychoactifs et sur les temps de réaction (Hartley et coll. 2019), a des effets cardiovasculaires favorisant la survenue d'ischémies myocardiques, d'arythmies et de mort subite (le taux de mortalité des complications cardiovasculaires augmente de 25 % chez les consommateurs de cannabis), d'accidents cérébrovasculaires et d'artériopathies. Ces complications ont été observées chez des sujets jeunes, indemnes de pathologie préexistante (Thomas et coll. 2014).

**La visite médicale préventive est un temps privilégié d'échange entre le médecin et l'adolescent, qui permet de s'enquérir des expérimentations du jeune, de ses éventuelles habitudes toxiques et l'informer des risques, tout particulièrement d'une consommation la veille de la plongée.**

### **Cas particulier du TDAH**

Le TDAH (trouble déficit de l'attention - hyperactivité) est une affection fréquente chez l'enfant d'âge scolaire. Sa prévalence oscille entre 3 et 18 %, selon les auteurs et les critères d'évaluation (Rowland et coll. 2015). En France, elle serait dans la moyenne le plus souvent observée : 3,5 à 5,6 % entre 6 et 12 ans (Lecendreux et coll. 2011). Les personnes qui en sont atteintes présentent une instabilité motrice associée à une difficulté à maintenir leur attention. Généralement diagnostiqué à l'étape de l'enfance, ce trouble continue très souvent à se manifester à l'âge adulte. Les enfants sont inattentifs, impulsifs et souvent hyperactifs. Le diagnostic repose sur des batteries de tests donnant lieu à des scores. Le traitement fait appel, à côté d'une psychothérapie comportementale adaptée, au méthylphénidate, inhibiteur de la recapture de la dopamine.

Il n'existe pas d'étude évaluant les risques de cette affection en plongée. Il est cependant possible de formuler des hypothèses. Les risques pourraient résulter :

- chez les enfants non traités, de la conséquence de leur instabilité motrice et de leur déficit de l'attention : agitation, hyperkinésie, difficulté ou impossibilité à suivre les directives du moniteur ou à gérer les paramètres de la plongée ;

- chez les enfants sous méthylphénidate, des interactions entre cette molécule et le métabolisme de la dopamine<sup>7</sup>. En effet, la narcose à l'azote est associée à une diminution de la libération de la dopamine et l'on ne connaît pas les effets de la molécule sur les différentes voies dopaminergiques dans ces conditions.
- On peut également supposer que le méthylphénidate, psychostimulant proche des amphétamines, pourrait favoriser la survenue de crises convulsives hyperoxiques.

Enfin, le méthylphénidate figure parmi les substances dont l'usage est interdit en compétition (décret n° 2018-1283 du 27 décembre 2018).

Selon les experts du DAN (Altchuler et Wilens 2017) :

- L'enfant identifié comme présentant un TDAH doit être interrogé seul hors de la présence de ses parents pour s'assurer de sa motivation et savoir s'il prend un traitement.
- S'il ne suit pas de traitement son comportement en plongée doit être évalué par des encadrants compétents qui devront déterminer si l'on peut l'engager dans un cursus de formation.
- Un enfant stabilisé sous traitement aura plus de chances de réussir ce test et de possibilité de progrès.

Au total, avec l'accord du spécialiste qui suit l'enfant :

- pour un sujet présentant un TDAH isolé, il paraît raisonnable de limiter la plongée aux plongées à l'air sans dépasser la profondeur de 20 mètres pour éviter la narcose et l'hyperoxie, pour des durées de 30 minutes maximum.
- Le traitement par méthylphénidate ne devrait pas être arrêté pendant le temps de loisir où l'enfant entreprend la plongée.

Le personnel encadrant devrait être formé pour cette catégorie d'enfants. Il faut alors un encadrant pour un enfant de cette condition.

Le médecin examinateur devra être particulièrement vigilant sur la tolérance cardiovasculaire du traitement, et pourra limiter la durée de validité du CACI de manière à revoir l'enfant à l'échéance souhaitée.

En présence de co-morbidités telles que trouble anxieux, trouble oppositionnel avec provocation ou autre trouble neuro-développemental (trouble du spectre de l'autisme), l'avis du pédopsychiatre doit être pris.

## II – ACCIDENTOLOGIE DE LA PLONGÉE DE LOISIR CHEZ L'ENFANT

Il est difficile d'apprécier l'incidence des accidents de plongée chez l'enfant en l'absence de recensement systématique ou d'études prospectives (Cilveti et coll. 2015). Seuls des cas isolés sont rapportés (Tsung et coll. 2005, Johnson et coll. 2012). Selon les données rétrospectives collectées par l'organisation internationale *Divers Alert Network* (DAN) (Buzzacott 2017), le nombre de décès en plongée de loisir est estimé entre 16 et 71/100 000, les enfants représentant moins de 3 % des cas rapportés (Vann et coll. 2011), la plupart correspondant à des décès par noyade ou à la suite d'une embolie gazeuse cérébrale. Il s'agissait en majorité de pré-adolescents n'ayant pas suivi de formation et se lançant dans des plongées à risques : plongées sur épaves, dans des grottes ou à grande profondeur (Caruso et coll. 2004). De plus,

---

<sup>7</sup> Voir la fiche du Collège National de Pharmacologie Médicale :

<https://pharmacomedicale.org/medicaments/par-specialites/item/methylphenidate>

pour environ la moitié d'entre eux, ces enfants avaient des antécédents d'asthme ou d'hyperréactivité bronchique, parfois associés à une anxiété manifeste ou à un trouble du comportement du type syndrome d'hyperactivité. L'accident était souvent la conséquence d'une remontée rapide incontrôlée par panique ou essoufflement (Smerz 2005). D'après Tsung et coll. (2005) 16 plongeurs de moins de 19 ans avaient été recomprimés dans des centres hyperbares d'Amérique du nord entre 1988 et 2002.

La seule étude prospective s'intéressant à la plongée des enfants (Vandehoven et coll. 2003) a permis d'évaluer pendant 5 ans un collectif de 205 enfants entre 8 et 13 ans, suivis annuellement en médecine du sport avec examen clinique complet, audiogramme, mesure de la capacité vitale et du débit de pointe, ECG de repos et d'effort, pour des plongées entre 5 et 10 mètres. Il n'a pas été observé d'accident grave. Seules 4 perforations tympaniques et une syncope hypoxique en apnée favorisée par une hyperventilation préalable, ont été retrouvées. Il n'y a pas eu de retentissement sur la croissance ou l'audition. Ces résultats doivent être interprétés avec précaution : les enfants asthmatiques ainsi que ceux présentant des problèmes cardiaques ou neurologiques étaient exclus de l'étude et le taux d'enfants perdus de vue atteignait 25 %.

Johnson et coll. (2012) insistent sur le danger potentiel de la plongée autonome à faible profondeur chez les enfants, en raison de leur manque de compréhension des phénomènes en cause. En effet, malgré d'importantes différences interindividuelles, les capacités cognitives, d'attention et d'anticipation moindres que chez les adultes semblent souvent en cause, même en l'absence de trouble caractérisé de l'attention ou d'hyperactivité (Walker 2002, Tsung et coll. 2005).

La vigilance des adultes accompagnants doit donc être constante.

### **III - LA VISITE MÉDICALE D'ABSENCE DE CONTRE-INDICATION ET LA PRATIQUE DE LA PLONGÉE CHEZ LE JEUNE**

#### **III-1.- LA VISITE MÉDICALE**

La visite médicale a pour but de rechercher l'absence de contre-indication à la pratique de la plongée, c'est-à-dire une anomalie clinique ou une pathologie susceptible de s'aggraver durant l'activité ou d'augmenter le risque d'accident. Elle s'inscrit dans une démarche de prévention pour la santé et doit s'accompagner d'une information ciblée et spécifique du jeune et des parents.

L'interrogatoire devra s'adresser au(x) parent(s) et au jeune concerné et devra s'attacher à recueillir les antécédents personnels, à la naissance, médicaux, chirurgicaux et allergiques, les traitements pris ainsi que les antécédents familiaux. Il faut s'enquérir du parcours sportif et scolaire du jeune, de ses éventuelles difficultés, et de sa réelle motivation à pratiquer la plongée (risque choix imposé chez des enfants de plongeurs). Enfin, une éventuelle symptomatologie d'effort doit être recherchée et le cas échéant motiver un bilan complémentaire.

Après l'arrivée au collège, un entretien avec l'adolescent permet d'évaluer ses éventuelles expérimentations ou habitudes toxiques et de donner une information de prévention des conduites à risques, notamment dans le contexte de la pratique de la plongée sous marine. Le guide d'entretien HEADSSS peut servir de canevas dans cette démarche (Parisi et coll. 2017).

L'examen clinique doit être complet et s'accompagner de la réalisation d'un électrocardiogramme, qui en l'absence de point d'appel sera à renouveler tous les 3 ans suivant les recommandations de cardiologie du sport.

En cas de prématurité, de doute sur une pathologie respiratoire, notamment obstructive, des explorations fonctionnelles respiratoires devront être réalisées, au mieux par un pneumopédiatre. Au cabinet, la mesure du débit expiratoire de pointe est une première approche.

L'examen ORL est fondamental, avec examen du pharynx, otoscopie et manœuvre de Valsalva. En cas de signe d'alerte (surdité, dysperméabilité), un avis ORL avec réalisation d'un audio-tympanogramme est nécessaire.

En l'absence de contre-indication, outre la remise d'un certificat médical, une information des parents et du jeune pratiquant est à délivrer au minimum sur les contre-indications temporaires (états inflammatoires respiratoires et ORL notamment) et sur la prévention, suivant le lieu de pratique, des effets du froid.

Il est recommandé de consigner soigneusement les données de l'interrogatoire, de l'examen clinique, des explorations complémentaires et la conclusion de la visite.

## **III-2.- LA PRATIQUE DE LA PLONGÉE**

### **III-2.1- Quel âge pour quelle plongée ?**

La plongée en apnée est possible dès que l'enfant sait nager. Cette activité se pratiquera en respectant les mêmes consignes de sécurité et de surveillance que chez l'adulte.

La plongée autonome devient possible à partir de l'âge de 7 ou 8 ans (selon le développement de l'enfant) à faible profondeur, sous réserve d'un encadrement pédagogique précis et rigoureux qui doit tenir compte des possibilités d'acquisition suivant l'âge. Basée sur le jeu et la découverte chez les plus jeunes, elle devient plus technique chez le pré-adolescent, se rapprochant ainsi de la pédagogie classique.

### **III-2.2.- Le rôle de l'encadrement**

Les encadrants doivent avoir à l'esprit que les limites fonctionnelles propres à l'enfance, respiratoires entre autres, ne s'estompent que progressivement jusqu'à ce que la stature d'adulte soit pleinement atteinte. Le rôle de l'encadrement éducatif adapté (moniteur, parents, médecin) est fondamental. La progression dépendra de l'absence de contre-indications médicales mais aussi de la capacité technique et psychologique de l'enfant à appréhender ce nouveau milieu.

Il est recommandé que les jeunes plongeurs soient accueillis dans des structures de plongée équipées de façon adaptée, et par des encadrants formés aux spécificités du jeune.

L'encadrant recevant un jeune plongeur devra s'assurer d'avoir du matériel adapté au jeune :

- pour la pratique (protection thermique, matériel respiratoire, masque, palmes ... ) ;
- pour la sécurité (masque et insufflateur manuel de taille adaptée...).

Il devra s'assurer de la bonne compréhension des consignes de sécurité et veiller de façon particulièrement rapprochée à leur respect. Avant chaque plongée, il faudra vérifier que le

jeune est apte, et savoir renoncer à la plongée, voire proposer une autre activité en cas par exemple d'état inflammatoire aigu.

Durant la plongée, la descente devra être à vitesse adaptée, en s'assurant de la bonne exécution des manœuvres d'équilibrage des oreilles du jeune.

L'accès à la profondeur devra être très progressif, en surveillant notamment la bonne tolérance ventilatoire du jeune. Durant la plongée, l'encadrant devra surveiller étroitement le jeune plongeur afin de prévenir toute remontée en état de panique, et être en particulier attentif aux signes d'inconfort respiratoire ou thermique du jeune.

Aucune procédure de décompression n'a été validée chez le jeune ; compte-tenu de ses particularités, notamment de la fréquence du FOP, des inconnues sur les cartilages de croissance, il est recommandé de limiter en profondeur et en durée les plongées, au minimum dans la courbe de sécurité (en ayant à l'esprit que celle-ci a été établie pour un public adulte) et d'éviter les plongées successives. Enfin, les adultes responsables devront s'assurer que le jeune respecte la période sans exercice physique importante après la plongée.

Au total, la pratique de la plongée autonome chez l'enfant ne doit pas uniquement se baser sur une absence de contre-indication physiologique délivrée médicalement mais également sur la validation d'un cursus pédagogique effectué par un encadrement averti et responsable.

Bien conduite, la pratique de la plongée peut être une fabuleuse activité éducative, d'aide aux apprentissages et au développement du jeune.

## **VI – EN CONCLUSION**

Sur le plan physiologique, il n'est pas prudent de laisser pratiquer la plongée autonome avant l'âge de 8 ans. Au-delà, ce sont les facteurs psychologiques et la mise en situation qui deviennent déterminants. Ainsi, il n'est pas possible de dire, sur un simple examen médical, si un enfant peut être autorisé ou non à pratiquer la plongée autonome. L'appréciation des facteurs psychologiques ne peut être le fait que d'une coopération entre l'avis médical et celui du moniteur. Une attitude faite de bon sens et de prudence doit prévaloir sur les souhaits de l'enfant, voire des parents. Toutes les questions soulevées par la plongée du jeune enfant n'ont pas actuellement de réponse. Les risques ne sont appréciés qu'indirectement. Cependant la demande pour faire plonger les enfants progresse. Le rôle des médecins de plongée est essentiel dans cette évolution. Ils se doivent d'informer et de canaliser ce nouvel abord de la plongée de façon à en minimiser les risques pour qu'un « jeune plongeur » soit assuré de devenir un « vieux plongeur ».

L'encadrement pédagogique joue également un rôle capital pour l'évaluation individuelle et autoriser ou non la poursuite de la progression.

La sécurité de ces propositions a pu être évaluée (Vandenhoven et coll. 2003). Néanmoins cette position est considérée comme très permissive par certains (Walker 2002, Wendling 2005) qui recommandent d'éviter de débiter la plongée autonome avant l'âge de 14 ans.

La visite médicale a avant tout un rôle préventif et d'information. Elle doit se faire avec la participation d'au moins un adulte ayant l'autorité parentale pour le recueil des antécédents de la naissance, médicaux, chirurgicaux, allergiques, familiaux et les traitements pris. Une information sur les risques spécifiques de la plongée et les contre-indications temporaires, notamment les états inflammatoires, devrait être donnée au jeune et à son parent.

A partir de l'entrée au collège (soit vers 11 -12 ans), un entretien individuel avec l'adolescent est recommandé pour juger de sa pratique sportive, de ses motivations et de ses expérimentations en matière de consommations de toxiques (alcool, tabac, cannabis ...).

Le rôle de l'encadrement est ensuite primordial. Il s'assurera du bon respect des consignes de sécurité, de la progression adaptée du jeune. En particulier, il surveillera, lors de l'accès à la profondeur, la bonne adaptation ventilatoire du jeune plongeur et saura différer la progression en profondeur de quelques mois en cas de doute (surconsommation d'air, essoufflement, inconfort, ...).

Les tables et algorithmes de décompression ayant été établis empiriquement sur des adultes, il est fortement recommandé de ne pas exposer les jeunes n'ayant pas encore acquis la stature adulte à des conditions de plongée leur faisant courir de risques d'accident de désaturation.

### **Recommandation n° 15**

L'enfant n'est pas un adulte en réduction. Ses capacités fonctionnelles (respiratoires, cardio-vasculaires, métaboliques) sont en cours de développement.

L'interrogatoire devra recueillir auprès du jeune et de l'adulte ayant autorité parentale ses antécédents à la naissance, ses antécédents médicaux, chirurgicaux, allergiques et familiaux. Il faut s'enquérir de la pratique sportive du jeune, de son ressenti et d'une éventuelle symptomatologie d'effort qui devra conduire à un bilan complémentaire. L'accès à la profondeur devra se faire de façon progressive, en surveillant attentivement la bonne tolérance ventilatoire.

A partir de l'âge d'entrée au collège, un entretien individuel avec l'adolescent est recommandé à la recherche d'expérimentations de toxique, en vue de délivrer un message de prévention ciblée.

La fonction respiratoire d'un enfant de moins de 8 ans ne permet pas la pratique de la plongée subaquatique sans risque.

La mesure du débit expiratoire de pointe est recommandée au premier examen. L'enregistrement d'une boucle débit-volume de l'expiration forcée est recommandé devant tout antécédent ou symptôme évocateur d'asthme. En présence d'antécédents ou d'épisodes pathologiques récurrents, d'autres examens pourront être prescrits par le spécialiste. La prématurité (< 37 SA) doit faire rechercher un avis spécialisé documenté par des épreuves fonctionnelles.

Un électrocardiogramme de repos 12 dérivations est recommandé à partir de 12 ans, au premier examen, et renouvelé tous les trois ans jusqu'à 20 ans.

La fréquence de la pathologie ORL chez l'enfant rend l'interrogatoire et l'examen du pharynx, des oreilles et de la perméabilité tubaire fondamentaux. Devant une immobilité tympanique constatée, il est recommandé de faire pratiquer un tympanogramme. En cas de doute sur un éventuel déficit auditif, celui-ci devra être objectivé par un examen ORL ; un déficit auditif contre-indique l'activité afin de ne pas aggraver le handicap sensoriel.

La fragilité du système ostéo-articulaire de l'enfant est une contre-indication au port de charges lourdes. Il est recommandé de ne pas dépasser 10 % du poids du corps jusqu'à 15 ans, 20 % de 15 à 18 ans.

L'immaturité pulmonaire, les particularités cardio-vasculaires (prévalence élevée de la persistance d'un *foramen ovale* perméable), l'avenir des extrémités osseuses commandent de ne pas exposer les enfants et les adolescents à des plongées qui leur feraient courir le risque d'accident de décompression. La plongée à l'air au-delà de 15 mètres et les plongées successives sont déconseillées jusqu'à l'âge de 15 ans (4C).

Les troubles du comportement feront l'objet d'une évaluation individualisée avec le spécialiste. La plongée ne sera autorisée qu'après stabilisation, dans des conditions d'encadrement particulières.

## Références :

- Agostoni E, Gurtner G, Torri G, Rahn H. Respiratory mechanics during submersion and negative-pressure breathing. *J Appl Physiol.* 1966; 21: 251-8.
- Altchuler S, Wilens T, Chimiak J. Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder and Diving. *Alert Diver.* Q3 Summer 2017. [http://www.alertdiver.com/ADHD\\_diving](http://www.alertdiver.com/ADHD_diving) [1<sup>er</sup> mars 2019].
- Ambriz G, Abaraca M, Torp K. Children treated for DCI and pulmonary oxygen toxicity. *UHM* 2003; 30(3) : 240
- Anderson RH, Brown NA, Webb S. Development and structure of the atrial septum. *Heart* 2002; 88:104-10.
- Anonyme. Rapport européen sur les drogues - Tendances et évolutions. 2019. Observatoire européen des drogues et des toxicomanies (EMCDDA). <https://publications.europa.eu/fr/publications>. [26 août 2018].
- Aprile I, Di Stasio E, Vincenzi MT, Arezzo MF, De Santis F, Mosca R, Briani C, Di Sipio E, Germanotta M, Padua L. The relationship between back pain and schoolbag use: a cross-sectional study of 5,318 Italian students. *Spine J.* 2016; 16: 748-55.
- Asif IM, Drezner JA. Sudden Cardiac Death and Preparticipation Screening: The debate continues in support of electrocardiogram-inclusive preparticipation screening. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 2012; 54:445–450
- Asif IM, Harmon KG. Incidence and etiology of sudden cardiac death: new updates for athletic departments. *Sports Health*, 2017; 9:268-279
- Bastien-Flamain-Papillon B. Psychologie de l'enfant, de l'adolescent et plongée sportive, V<sup>e</sup> Colloque National de la Plongée Enfants. FFESSM Ed. Avignon; 27-28 Mars 1999, 71-83.
- Bavineni M, Wassenaar, Agnihotri K et coll. Mechanism linking preterm birth to onset of cardiovascular disease later in adulthood. *Eur Heart J*, 2019; 40:1107-12.
- Biancaniello T. Innocent Murmurs. *Circulation*, 2005; 111: e20-2.
- Buzzacott P (ed). DAN Annual Diving Report 2017 Edition - A report on 2015 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2017; pp. 134.
- Bylander A, Tjernström Ö, Ivarsson A. Pressure opening functions of the Eustachian tube in children and adults with normal ears. *Acta Otolaryngol* 1983; 95: 55-62.
- Caruso J, Uguccioni D, Ellis J, Dovenbarger J, Bennett P. Diving fatalities involving children and adolescents: 1989–2002. *Undersea Hyperb Med* 2004; 31: 329 (abstract).
- 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.
- Cilveti R, Osona B, Peña JA, Moreno L, Asensio O; en representación del Grupo de Técnicas de la Sociedad Española de Neumología Pediátrica. Buceo en la edad pediátrica: fisiología, riesgos y recomendaciones. [Scuba diving in children: Physiology, risks and recommendations]. *An Pediatr (Barc)*. 2015 Dec; 83(6): 410-6. [Espagnol]. Texte en anglais disponible sur <http://www.analesdepediatria.org/en-scuba-diving-in-children-physiology-articulo-S2341287915001763> [16 mai 2018].
- 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.
- Dattilo PB, Kim MS, Carroll JD. Patent Foramen Ovale. *Cardiol Cli*, 2013; 31: 401-15.

Doyle WJ, Cantekin EI, Bluestone CD. Eustachian tube function in cleft palate children. *Ann ORL* 1971; Suppl. 2: 34-40.

Emerson SR, Kurti SP, Rosenkranz SK, Smith JR, Harms CA. Decreased prevalence of exercise expiratory flow limitation from pre- to postpuberty. *Med Sci Sports Exerc.* 2015; 47: 1503-11.

Falk B. Effects of thermal stress during rest and exercise in the paediatric population. *Sports Med* 1998; 25: 221-240.

Geyer L, Brockmeier K, Graf C, Kretzschmar B, Schmitz KH, Webering F, Hoffmann U. Bubble formation in children and adolescents after two standardised shallow Dives. *Int J Sports Med.* 2019; 40: 31-7.

Granell R, Henderson AJ, Sterne JA. Associations of wheezing phenotypes with late asthma outcomes in the Avon Longitudinal study of parents and children: A population-based birth cohort. *J Allergy Clin Immunol.* 2016; 138: 1060-70.

Gratas-Delamarche A, Mercier J, Ramonatxo M, Dassonville J, Préfaut C. Ventilatory response of prepubertal boys and adults to carbon dioxide at rest and during exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1993; 66:25-30.

Guillien A, Soumagne T, Regnard J, Degano B, Groupe Fonction de la SPLF. Les nouvelles équations de référence du Global Lung Function Initiative (GLI) pour les explorations fonctionnelles respiratoires. *Rev Mal Respir.* 2018; 35: 1020-7.

Hagen PT, Scholz DG, Edwards WD. Incidence and size of patent foramen ovale during the first 10 decades of life: an autopsy study of 965 normal hearts. *Mayo Clin Proc.* 1984; 59: 17-20.

Haines RW. The pseudoepiphysis of the first metacarpal of man. *J Anat.* 1974; 117:145-58.

Halvorsen T, Walsted ES, Bucca C, *et al.* Inducible laryngeal obstruction: an official joint European Respiratory Society and European Laryngological Society statement. *Eur Respir J.* 2017; 50. pii: 1602221.

Hara H, Virmani R, Ladich E, *et al.* Patent foramen ovale: current pathology, pathophysiology and clinical status. *J Am Coll Cardiol.* 2005; 46: 1768-76.

Haraldsdottir K, Watson AM, Beshish AG, *et al.* Heart rate recovery after maximal exercise is impaired in healthy young adults born preterm. *Eur J Appl Physiol.* 2019; 119:857-66.

Harmsen L, Ulrik CS, Porsbjerg C, *et al.* Airway hyperresponsiveness and development of lung function in adolescence and adulthood. *Respir Med.* 2014; 108: 752-7.

Hartley S, Simon N, Larabi A. Effect of smoked cannabis on vigilance and accident risk using simulated driving in occasional and chronic users and the pharmacokinetic-pharmacodynamic relationship. *Clin Chem.* 2019; 65: 684-93.

Holmquist J, Al Fadala S, Qattan Y. Prévalence of secretory otitis media among school children in Kuwait. *J Laryngol Otol.*, 1987; 101, 2: 116-9.

Ioan I, Gemble A, Hamon I, Schweitzer C, *et al.* Expiratory Flow - Vital Capacity: Airway - Lung Dysanapsis in 7 Year Olds Born Very Preterm? *Front Physiol.* 2018; 9: 650.

Johnson BD, Saupe KW, Dempsey JA. V. Mechanical constraints on exercise hyperpnea in endurance athletes. *J Appl Physiol (1985).* 1992; 73:874-86.

Johnson V, Adkinson C, Bowen M, Ortega H. Should children be SCUBA diving?: Cerebral arterial gas embolism in a swimming pool. *Pediatr Emerg Care.* 2012; 28: 361-2.

Just J, Amat F. Les phénotypes cliniques de l'asthme pendant l'enfance. *La lettre du pneumologue.* 2018; 21: 24-8.

- Khoshnood B, de Vigan C, Vodovar V, *et al.* Trends in prenatal diagnosis, pregnancy termination, and perinatal mortality of newborns with congenital heart disease in France, 1983–2000: a population-based evaluation. *Pediatrics* 2005; 115: 95-101.
- Kocyigit M, Ortekin SG, Cakabay T, *et al.* Frequency of Serous Otitis Media in Children without Otolaryngological Symptoms. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2017; 21: 161–4.
- Labbe J. La plongée subaquatique et les enfants. Thèse Méd. Univ Bordeaux 2. 1980; n° 390.
- Lanteri CJ, Sly PD. Changes in respiratory mechanics with age. *J Appl Physiol* (1985). 1993; 74: 369-78.
- Lecendreux M, Konofal E, Faraone SV. Prevalence of attention deficit hyperactivity disorder and associated features among children in France. *J Atten Disord.* 2011; 15: 516-24.
- Lemaitre F<sup>a</sup>, Tourny-Chollet C, Hamidouche V, Lemouton MC. Pulmonary function in children after a single scuba dive. *Int J Sports Med.* 2006; 27: 870-4.
- Lemaitre F<sup>b</sup>, Tourny-Chollet C, Lemouton MC. Ventilatory function in experienced recreational scuba divers: Evidence of small airways disease? *Int J Sports Med.* 2006; 27: 875-9.
- Lemaître F, Carturan D, Tourny-Chollet C, Gardette B. Circulating Venous Bubbles in Children after Diving. *Pediatric Exercise Science.* 2009; 21: 77-85.
- Lovering AT, Elliott JE, Laurie SS, *et al.* Ventilatory and sensory responses in adult survivors of preterm birth and bronchopulmonary dysplasia with reduced exercise capacity. *Ann Am Thorac Soc.* 2014; 11: 1528-37.
- MacLean JE, DeHaan K, Fuhr D, *et al.* Altered breathing mechanics and ventilatory response during exercise in children born extremely preterm. *Thorax.* 2016; 71: 1012-9.
- Maglione M, Poeta M, Santamaria F. New Drugs for Pediatric Asthma. *Front Pediatr.* 2019; 6: 432.
- Martin C, Magnan J, Bebear JP. La trompe auditive. Arnette. Paris, 1996, 32-8 et 103-6.
- Markopoulou P, Papanikolaou E, Analytis A, *et al.* Preterm birth as a risk factor for metabolic syndrome and cardiovascular disease in adult life: a systematic review and meta-analysis. *J Pediatr* 2019; 210: 69-80.
- Maron BJ, Doerer JJ, Haas TS, *et al.* Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980-2006. *Circulation.* 2009; 119: 1085-92.
- Michaelson ED, Watson H, Silva G, *et al.* Pulmonary function in normal children. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1978, 14: 525-50.
- Mucci P, Nourry C. L'exercice et la fonction respiratoire de l'enfant. *In* : E Van Praagh. *Physiologie du sport-Enfant et adolescent.* De Boeck & Larcier. Bruxelles; 2008: p 127-48.
- Mullasery D, Smith NP. Lung development. *Semin Pediatr Surg.* 2015; 24(4): 152-5.
- Nourry C, Deruelle F, Fabre C, Baquet G, Bart F, Grosbois JM, Berthoin S, Mucci P. Evidence of ventilatory constraints in healthy exercising prepubescent children. *Pediatr Pulmonol.* 2006; 41: 133-40.
- Nourry C, Fabre C, Bart F, Grosbois JM, Berthoin S, Mucci P. Evidence of exercise-induced arterial hypoxemia in prepubescent trained children. *Pediatr Res.* 2004; 55:674-81.
- Obert P, Stecken F, Couteix D, Lecocq AM, Guenon P. Effect of long term endurance training on left ventricular structure and diastolic function in prepubertal children. *In J Sports Med* 1998; 19: 149-54.
- Obert P, Vinet A. Réponses et adaptations cardiovasculaires à l'exercice au cours de la croissance. *In* : E Van Praagh. *Physiologie du sport-Enfant et adolescent.* De Boeck & Larcier. Bruxelles; 2008: p. 127-48.

O'Dea CA, Logie K, Maiorana A, Wilson AC, Pillow JJ, Banton GL, Simpson SJ, Hall GL. Increased prevalence of expiratory flow limitation during exercise in children with bronchopulmonary dysplasia. *ERJ Open Res.* 2018; 4-00048.

Olin JT. Exercise-induced laryngeal obstruction: when pediatric exertional dyspnea does not respond to bronchodilators. *Front Pediatr.* 2019; 7: 52.

Organisation mondiale de la santé. WHO: recommended definitions, terminology and format for statistical tables related to the perinatal period and use of a new certificate for cause of perinatal deaths. Modifications recommended by FIGO as amended October 14, 1976. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 1977; 56(3): 247-53.

Parisi V, De Stadelhofen LM, Péchère B, Steimer S, De Watteville A, Haller DM, Navarro C, Szynalski-Morel M, Meynard A. Apport du guide d'entretien HEADSSS dans l'apprentissage de la démarche diagnostique avec un adolescent. Perspectives d'étudiants lors de cours à option interprofessionnels. *Rev Med Suisse* 2017; 13: 996-1000.

Préfaut C. Physiologie respiratoire et immersion. *Méd. du Sport.* 1977; 51: 268-74.

Quanjer PH, Stanojevic S, Stocks J, *et al.* Global Lung Initiative. Changes in the FEV<sub>1</sub>/FVC ratio during childhood and adolescence: an intercontinental study. *Eur Respir J.* 2010; 36: 1391-9.

Quanjer<sup>a</sup> 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.

Quanjer<sup>b</sup> PH, Stanojevic S, Cole TJ, Stocks J. GLI-2012 Desktop Software for Individual Calculations. Global Lung Function Initiative. Accessible sur : <https://www.ers-education.org/guidelines/global-lung-function-initiative/spirometry-tools/desktop-individual-calculator.aspx> [17 mai 2019].

Querido AL, van Hulst RA. Diving and attention deficit hyperactivity disorder. *Diving Hyperb Med.* 2019; 49: 41-7.

Raherison C, Bourdin A, Bonniaud P, *et al.* Updated guidelines (2015) for management and monitoring of adult and adolescent asthmatic patients (from 12 years and older) of the Société de Pneumologie de Langue Française (SPLF) (Full length text). [*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 (SPLF) (Texte long)*]. *Rev Mal Respir.* 2016; 33(4): 279-325.

Ranthe MF, Carstensen L, Øyen N, *et al.* Risk of cardiomyopathy in younger persons with a family history of death from cardiomyopathy: a nationwide family study in a cohort of 3.9 million persons. *Circulation.* 2015; 132: 1013-9.

Rowland AS, Skipper BJ, Umbach DM, *et al.* The Prevalence of ADHD in a Population-Based Sample. *J Atten Disord.* 2015; 19: 741-54.

Schleich JM, Schnell F, Brouant B, *et al.* Recreational scuba diving in patients with congenital heart disease: Time for new guidelines. *Arch Cardiovasc Dis.* 2016; 109: 504-10.

Simpson SJ, Logie KM, O'Dea CA, *et al.* Altered lung structure and function in mid-childhood survivors of very preterm birth. *Thorax.* 2017; 72: 702-11.

Smerz R, Epidemiology and treatment of decompression illness in children and adolescents in Hawaii, 1983–2003, *SPUMS J*, 2005: 5-10.

Spilka S, Godeau E, Le Nézet O, *et al.* Usage d'alcool, de tabac et de cannabis chez les adolescents du secondaire en 2018. Premiers résultats de l'enquête ENCLASS. Observatoire français des drogues et toxicomanies. 2019. Tendances n° 132. [www.ofdt.fr](http://www.ofdt.fr). [août 2019].

Stocks J, Sonnappa S. Early life influences on the development of chronic obstructive pulmonary disease. *Ther Adv Respir Dis.* 2013; 7:161-73.

- Swain KE, Rosenkranz SK, Beckman B, Harms CA. Expiratory flow limitation during exercise in prepubescent boys and girls: prevalence and implications. *J Appl Physiol* (1985). 2010; 108: 1267-74.
- Tauzin L, Rossi P, Grosse C, Boussuges A, Frances Y, Tsimaratos M, Simeoni U. Increased systemic blood pressure and arterial stiffness in young adults born prematurely. *J Dev Orig Health Dis*. 2014; 5: 448-52.
- Thomas G, Kloner RA, Rezkalla S. Adverse cardiovascular, cerebrovascular, and peripheral vascular effects of marijuana inhalation: what cardiologist need to know. *Am J Cardiol* 2014; 113:187-90
- Thorsteinsson A, Larsson A, Jonmarker C, Werner O. Pressure-volume relations of the respiratory system in healthy children. *Am J Respir Crit Care Med*. 1994; 150: 421-30.
- Tsung JW, Chou KJ, Martinez C, Tyrrell J, Touger M. An adolescent scuba diver with 2 episodes of diving-related injuries requiring hyperbaric oxygen recompression therapy: a case report with medical considerations for child and adolescent scuba divers. *Pediatr Emerg Care* 2005; 21: 681-6.
- Turner MS. Assessing potential divers with a history of congenital heart disease. *Diving Hyperb Med* 2015; 45: 111-5.
- Um-Bergström P, Hallberg J, Thunqvist P, *et al*. Lung function development after preterm birth in relation to severity of Bronchopulmonary dysplasia. *BMC Pulm Med*. 2017; 17: 97.
- Vandenhoven G, Collard F, Schamp E. Children and diving: medical aspects. Eight year's sports medical follow-up of the first scuba diving club for children in Belgium. *SPUMS Journal* 2003; 33: 70-3.
- Van der Bom T, Zomer AC, Zwinderman AH, *et al*. The changing epidemiology of congenital heart disease. *Nat Rev Cardiol*, 2011; 8: 50-60.
- Vann R, Lang M. Recreational diving fatalities. *Undersea Hyperb Med*. 2011; 38: 257-60.
- Virolainen E, Puhakka H, Aantaa E, *et al*. Prevalence of secretory otitis media in seven to eight year old school children. *In: Proceedings of the second international symposium on recent advances in otitis media with effusion. May 9-11 1979. Columbus Ohio.*
- Walker RM. Assessing children's fitness for scuba diving. *Med J Aust*. 2002; 176: 450.
- Wendling J. Conference Report on the World Congress on Drowning, 7 June 2002, Amsterdam, Part 1. Expert meeting: Introducing children to diving, South Pacific Underwater Medicine Society (SPUMS) Journal, 2005, 35 : 49-51.
- Winkler BE, Tetzlaff K, Muth CM, Hebestreit H. Pulmonary Function in Children After Open Water SCUBA Dives. *Int J Sports Med*. 2010; 31: 724-30.
- Wirth T, Syed Ali MM, Rauer C, *et al*. The blood supply of the growth plate and the epiphysis: a comparative scanning electron microscopy and histological experimental study in growing sheep. *Calcif Tissue Int*. 2002; 70: 312-9.
- Wollin P, Christmann M, Kroker A, Zielen S. Lung function testing in children before and after an age-adapted SCUBA dive in a swimming pool. 2011; 65: 308-13.
- Zein JG, Udeh BL, Teague WG, *et al*. Severe Asthma Research Program, Impact of age and sex on outcomes and hospital cost of acute asthma in the united states, 2011-2012. *PLoS One*. 2016; 11: e0157301.

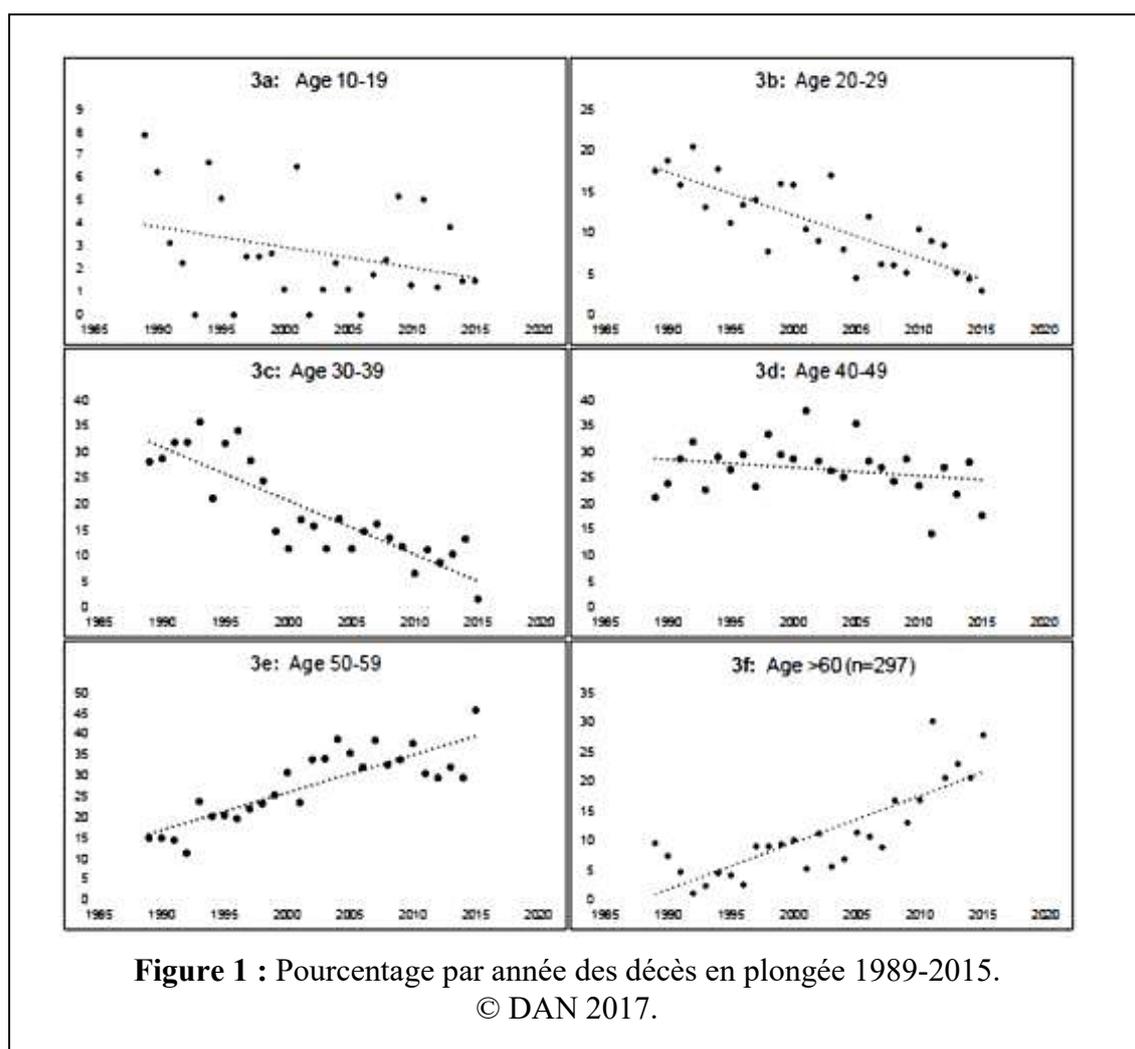
## CHAPITRE XXIV

### LA PLONGÉE APRÈS CINQUANTE ANS

#### I – INTRODUCTION

Le vieillissement de la population en France est semblable à celui de la plupart des pays développés. Il est estimé qu'en France la proportion des 55 ans et plus devrait ainsi passer de 13,2 % en 2011 à presque 19 % en 2030, alors que celle des personnes de 15 à 24 ans devrait rester sensiblement inchangée autour de 10 % (Filatriau 2011). Selon les données de la FFESSM, plus de 50 % des plongeurs ont plus de 40 ans depuis 2014, et depuis 2018 plus de 30 % ont plus de 50 ans (ceux-ci représentaient environ 12 % en 2000 et 28 % en 2016).

Quand des données sont disponibles, le nombre d'accidents chez des plongeurs de 50 ans et plus semble augmenter ainsi que nombre de décès en plongée (fig. 1, statistiques du DAN 2015, Mease 2017).



L'étude du DAN ne précise cependant pas quelle est la variation de la proportion des seniors dans la population étudiée, ce qui rend l'interprétation difficile : est-ce que le risque de décès chez les plus de 50 ans est plus élevé que chez les plus jeunes, ou bien est-il identique ? À taux constant, si le nombre de seniors augmente, le nombre d'accidents augmentera dans les mêmes proportions. Mais, si l'on regroupe les données publiées par cet organisme pour la période 2010 – 2015, on relève 469 décès, dont 82 % chez les plus de 40 ans et 72 % chez les plus de 50 ans, alors qu'il est peu probable que la population des plongeurs soit répartie selon ces proportions. Il s'agit cependant d'une population de plongeurs nord-américaine, sans examen médical préalable. Sur la période 2000 – 2006, les affections cardio-vasculaires étaient 12,9 fois plus fréquentes chez les décédés de plus de 50 ans (Denoble et coll. 2008).

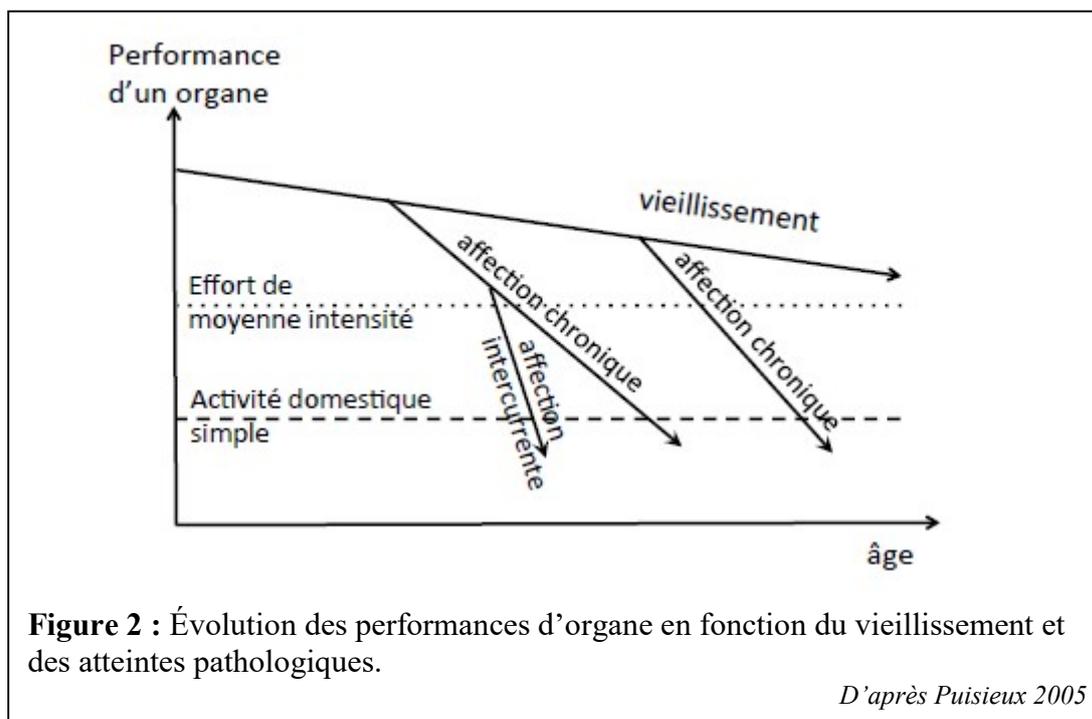
Smerz (2007) avait indiqué dans une étude portant sur 889 accidents de désaturation (ADD) traités entre 1983 et 2003, que le risque d'ADD augmentait avec l'âge à partir de 40 ans, pour être de 2,2 à 2,9 fois plus élevé à partir de 51 et 61 ans respectivement, en se basant sur les effectifs de la population des plongeurs de PADI. De même, Blatteau et coll. (2011) observent sur 279 cas d'ADD médullaires, un lien entre l'âge supérieur à 42 ans et une mauvaise récupération fonctionnelle. Pour Peacher et coll. (2015), l'âge associé à une comorbidité cardioplumonaire, est un facteur de risque accru d'OPI.

En France, une enquête par questionnaire portant sur 42 accidents survenus entre 1996 et 2005 chez des plongeurs de 60 ans et plus ne trouve pas de risque supérieur à celui de l'ensemble des plongeurs (Beauplet 2006).

En l'absence d'une épidémiologie exhaustive des accidents de plongée en France, les statistiques disponibles laissent donc penser qu'il existe une relation entre l'âge et le risque d'accident de plongée et en plongée, liée très certainement aux modifications physiologiques du vieillissement.

Le vieillissement physiologique est défini par des modifications histologiques, anatomiques et fonctionnelles qui touchent les tissus et les organes de façon progressive, différentes d'une personne à l'autre et progressant différemment selon les systèmes (ostéo-musculaire, cardiovasculaire, endocrinien, neurosensoriel, respiratoire). Ces modifications débutent dès la troisième décennie de la vie, sont en moyenne à peu près insensibles jusqu'à la cinquième décennie, notamment si les personnes entretiennent régulièrement une bonne condition physique : sujets « entraînés » qui pratiquent régulièrement des exercices d'endurance à un niveau d'intensité significatif, par opposition aux personnes « sédentaires » qui n'ont qu'une activité professionnelle sans activité physique notable et qui ne s'entraînent pas régulièrement. Chez ces dernières, les modifications anatomiques et fonctionnelles surviennent plus rapidement mais ne sont pas perçues dans les activités courantes, sans effort conséquent. L'influence du mode de vie (activité physique, alimentation, contraintes liées à la vie citadine « civilisée » et à ses impératifs psychologiques) sur cette involution est bien mise en évidence par l'augmentation de la pression artérielle considérée comme un trait physiologique inévitable de l'avancée en âge. Cette augmentation de pression artérielle est ainsi observée dans une population citadine, au mode de vie « occidental et moderne » du Panama, mais pas chez des personnes de même ethnie qui vivent à quelques dizaines de kilomètres, de façon « traditionnelle » (Hollenberg et coll. 1997). Il a récemment été observé que la plongée quasi-quotidienne comme la pratiquent les AMA pêcheuses au Japon prévient autant l'artériosclérose (dont témoignent vitesse d'onde de pouls et pressions artérielles centrales) que l'activité physique régulière terrestre chez des femmes des mêmes villages mais qui ne plongent pas (Tanaka et coll. 2016).

Par ailleurs, au vieillissement naturel peuvent se superposer des épisodes pathologiques qui à tout âge altèrent temporairement ou de façon permanente une fonction, et diminuent sa « réserve fonctionnelle » (fig. 2). De « mauvaises habitudes » ou des maladies métaboliques peuvent aussi accélérer des altérations anatomiques et l'érosion des capacités fonctionnelles (tabagisme : voies aériennes et parois vasculaires ; alimentation déséquilibrée : parois vasculaires et rapport entre masse grasse et masse maigre ; métabolisme des hydrates de carbone et des lipides : diabète ; consommation érolique : altération des fibres nerveuses...).



Les pathologies souvent considérées comme de faible incidence sur l'état général et sur les capacités physiques (car reconnues à un stade précoce), sont plus fréquentes au delà de 40-50 ans. Il est à présent de mieux en mieux reconnu que certaines contraintes fonctionnelles notamment cardiovasculaires et ventilatoires sont nettement plus marquées au cours des activités physiques immergées que pendant les activités terrestres (Adir et Bove 2014, Castagna et coll. 2018, Regnard 2017, Wilmshurst 2019).

## II – VIEILLISSEMENT ET PLONGÉE

### 1.- APPAREIL CARDIOVASCULAIRE

Le remaniement histologique myocardique et artériel qui accompagne l'avancée en âge retentit sur les performances fonctionnelles. L'épaisseur de la paroi ventriculaire gauche augmente (avec perte de cellules myocardiques et apparition de tissu fibreux). Il s'ensuit une diminution de compliance pariétale (altération de la fonction diastolique) et de force contractile (fonction systolique). Le travail cardiaque est plus grand que chez les sujets jeunes (Chen et coll. 1998). Le volume d'éjection systolique est conservé au repos mais ne peut plus augmenter autant que chez des sujets jeunes lors de l'exercice (perte de réserve fonctionnelle). La fraction d'éjection du VG augmente moins avec l'augmentation d'intensité d'exercice. Le remaniement de la paroi artérielle s'accompagne d'une diminution de compliance des artères de conduction à l'origine de l'augmentation de la vitesse de l'onde de pouls et des pressions

artérielles centrales (Al Ghatrif et Latakka 2015), et de la postcharge du ventricule gauche (et donc de son travail). Ces modifications sont plus marquées chez les hommes que chez les femmes. Le remaniement artériel fait le lit de l'hypertension et de ses conséquences parmi lesquelles la facilitation de l'œdème pulmonaire d'immersion (Gempp et coll. 2014).

Ces différents aspects du vieillissement cardiaque et artériel augmentent le travail cardiaque tout en diminuant son efficacité, augmentent le besoin d'oxygène myocardique et donc abaissent le seuil de risque ischémique (*a fortiori* en cas de coronaropathie non suspectée ou connue mais jugée « mineure » ou modérée) et diminuent l'efficacité du couplage ventriculo-artériel (Najjar et coll. 2004). Le remaniement histologique fragilise le réseau nodal et les myocytes ventriculaires, ce qui peut favoriser la survenue de troubles du rythme.

Les régulations des fonctions cardiovasculaires sont aussi amoindries avec l'âge. L'activité sympathique augmente, l'activité parasympathique diminue et la réponse baroréflexe aux variations de pression est émoussée (Fisher et coll. 2009). Elle ne parvient plus à limiter l'augmentation de pression systémique au cours de l'immersion (Sugiyama et coll. 1993). De plus, le débit sanguin musculaire peut être diminué du fait de la diminution de fonction endothéliale observée après 45 ans chez les hommes et après 55 ans chez les femmes (Celermajer et coll. 1994).

Au total, les augmentations de précharge cardiaque et de pression artérielle pulmonaire en immersion, les altérations fréquentes de la fonction diastolique, de la compliance ventriculaire gauche et du couplage ventriculo-artériel exposent aux décompensations fonctionnelles et aux pathologies souvent décrites chez des plongeurs plus âgés (Moon 2006, Gempp et coll. 2014, Peacher et coll. 2015, Buzacott 2017, Wilmshurst 2019).

## **2.- APPAREIL RESPIRATOIRE**

Avec l'avancée en âge, les modifications histologiques induisent une diminution d'élastance du parenchyme pulmonaire qui affaiblit des tractions radiales (qui ouvrent les parois bronchiques) et augmente le volume de fin d'expiration. A l'exercice, la mobilisation des volumes courants requiert un travail ventilatoire majoré pour assurer la ventilation alvéolaire malgré la limitation de débits maximaux. L'apparition d'une distension dynamique absente chez les sujets jeunes accroît encore le travail ventilatoire (Johnson et coll. 1991, 1999, Soumagne et coll. 2016). En cas d'exercice intense, le besoin énergétique de la ventilation peut restreindre le débit sanguin vers les muscles propulseurs.

Ces modifications fonctionnelles sont progressives, individuellement différentes, et peuvent chez certaines personnes être hâtées par les habitudes tabagiques ou des pathologies. Quel que soit l'âge, l'immersion *per se* augmente le travail ventilatoire ; en condition de pression transthoracique négative le travail inspiratoire est plus difficilement toléré. En plongée, les résistances et l'espace mort de l'équipement, l'augmentation de la masse volumique des gaz avec l'accroissement de profondeur majorent également le travail ventilatoire. Lorsque les effets fonctionnels du vieillissement apparaissent, le coût de la ventilation en plongée augmente donc plus rapidement que chez des sujets jeunes. Pour une puissance métabolique donnée (consommation d'oxygène), l'augmentation de travail ventilatoire retentit à son tour (accroissement des écarts cycliques de pressions thoraciques) sur les fonctions cardiaques diastoliques et systoliques droite et gauche, et peut précipiter l'apparition de l'œdème pulmonaire d'immersion et les décompensations cardiaques (Gempp et coll. 2013, Castagna et coll. 2018, Regnard 2017).

### 3.- APPAREIL LOCOMOTEUR

Les performances de l'appareil locomoteur diminuent également avec l'avancée en âge. Au delà de l'adaptation métabolique, d'autres évolutions fonctionnelles (Rolland et coll. 2011) peuvent contrarier plus ou moins le plongeur senior.

La diminution de la flexibilité et de l'amplitude articulaire, la perte de masse osseuse, la diminution des espaces intervertébraux voire des tassements vertébraux sont possibles ou peu à peu plus prégnants. La diminution de la masse musculaire (sarcopénie) avec diminution du nombre de fibres musculaires et d'unités motrices (qui peuvent compter davantage de fibres), une raréfaction de l'innervation motrice concourent à augmenter peu à peu la fatigabilité musculaire et à réduire la précision motrice (coordination entre groupes musculaires).

La vascularisation musculaire se modifie également avec une diminution de l'hyperhémie fonctionnelle (vasodilatation en réponse à l'exercice) et une réduction de la perfusion des muscles à métabolisme oxydatif contribue à faciliter la fatigue musculaire. Des anomalies de l'équilibre et de la proprioception traduisent les altérations de l'innervation sensitive et du contrôle de l'activité motrice comme du vieillissement musculaire proprement dit. La moindre plasticité des tissus conjonctifs et une diminution de l'élasticité musculaire gênent aussi les mouvements et rendent les cicatrises plus longues après une lésion musculaire.

Ces involutions fonctionnelles sont beaucoup plus tardives chez les sujets qui conservent des activités physiques régulières tout au long de leur vie.

### 4.- FONCTION RÉNALE

Le risque d'altération de la fonction rénale, définie comme un débit de filtration glomérulaire (DFG) exprimé selon la formule CKD-EPI  $< 60 \text{ mL/min/1,73 m}^2$  (cf. chapitre Fonction rénale), est significativement augmenté par la sédentarité, indépendamment des pathologies rénales ou du diabète, au-delà de 56 ans en moyenne ((Proper 2011, Bharakhada 2012). Par conséquent, dans ces situations, le DFG doit être déterminé.

### 5.- AUDITION

La perte de cellules ciliées cochléaires, puis de cellules du noyau cochléaire conduit à la presbycusie qui survient après 50 ans, et toucherait 65 % des personnes de plus de 65 ans (INSERM 2017). Fréquemment associée à des acouphènes, elle ampute progressivement la perception surtout dans les fréquences aiguës pour les intensités sonores les plus faibles et les plus grandes. Le retentissement est social car il altère la compréhension de la parole, particulièrement en ambiance sonore (effet « cocktail »). Pour la plongée le déficit auditif impacte la bonne compréhension en réunion préparatoire (*briefing*) avec le directeur et les compagnons de plongée, et dans l'eau l'orientation auditive. Le port de prothèses auditives lors du *briefing* peut devenir nécessaire.

### 6.- VISION

Elément essentiel du plaisir et de la sécurité en plongée, la performance visuelle décroît avec l'avancée en âge, indépendamment des pathologies ophtalmologiques (voir chapitre ophtalmologie). L'acuité visuelle diminue de moitié entre 40 et 70 ans, car la réduction du calibre pupillaire et l'augmentation de densité du cristallin réduisent progressivement l'arrivée de lumière sur la rétine (Owsley et coll. 1983, Barbur et coll. 2012). La réduction de

l'illumination rétinienne diminue la perception du contraste lumineux. Or le contraste lumineux est essentiel en immersion pour la vision de près (les instruments) comme de loin (le repérage d'orientation et la détection des objets en mouvement) (Maruta et coll. 2017). La vision en faible ambiance lumineuse est donc très diminuée (eaux troubles, profondeur, plongées de nuit). La transmission de l'information dans les voies visuelles est aussi impactée par la diminution du nombre de cellules ganglionnaires.

Pendant la plongée, la nécessité de lire correctement les affichages des instruments (manomètre, montre, ordinateur de plongée) impose une bonne correction de la vision de près et le choix d'instruments aisément lisibles (contraste). La diminution d'acuité visuelle de loin (par baisse de perception du contraste) encore accentuée en cas de diminution du champ visuel également progressive avec l'âge gêne la capacité à s'orienter dans l'eau.

Un diagnostic précis de l'amétropie détermine la correction nécessaire, et le plongeur doit être incité à s'équiper d'un masque de plongée à verres correcteurs (demi lentille pour la vision proche, ou taille multifocale de la vitre...), ou de lentilles correctrices.

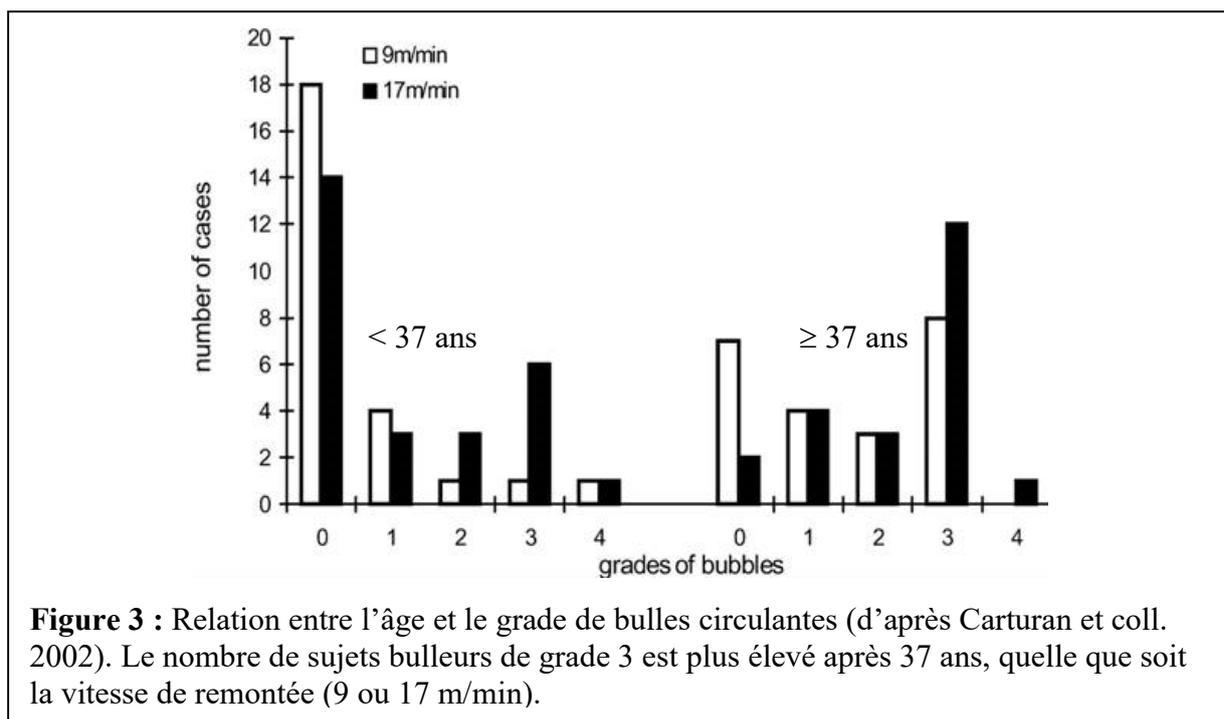
## **7.- FONCTIONS NEUROCOGNITIVES**

Le nombre de neurones corticaux diminue progressivement et, après 60 ans, le volume des régions frontales et préfrontales. Surtout, les connexions entre régions cérébrales s'altèrent, tandis que le débit sanguin cérébral est impacté par les modifications vasculaires systémiques et augmente moins pendant l'exercice (Ogoh et coll. 2011). L'exposition au froid réduit aussi le débit sanguin cérébral. Il faut considérer que la chaîne de la cognition (perceptions visuelles, proprioceptives, analyse, interprétation), le traitement de l'information (intégration, décisions comportementales), comme la réactivité et l'efficacité motrice sont altérés (Belaich 2019). À 60 ans, des performances d'adaptation aux conditions changeantes ou difficiles inférieures à ce qu'elles sont à 30 ou 40 ans et la réduction des capacités physiques peuvent faciliter une accidentologie qui débute par la perte d'un accompagnant, la désorientation, se poursuit par des erreurs de décisions ou de procédures (Ascencio-Lane et coll. 2019). Pour les mêmes raisons de modifications des capacités neuro-sensorielles, la capacité d'apprentissage de procédures nouvelles est aussi diminuée et les essais de techniques nouvelles doivent rester prudents, progressifs et accompagnés.

## **8.- VIEILLISSEMENT ET DÉCOMPRESSION**

Des données épidémiologiques laissent supposer une plus grande sensibilité à la décompression en fonction de l'âge (Smerz 2007). Carturan et coll. avaient montré en 2002 l'existence d'une relation entre l'âge et le degré de bulles produites après décompression, quelle que soit la vitesse de remontée (fig. 3).

Dans l'étude de Blatteau et coll. (2011), l'âge est associé à une moins bonne récupération fonctionnelle des ADD médullaires.



### III – SPÉCIFICITÉS DE L'EXAMEN MÉDICAL DE NON CONTRE-INDICATION CHEZ LE PLONGEUR DE PLUS DE 50 ANS

Au-delà de la recherche des contre-indications décrites par ailleurs pour les adultes plus jeunes, l'examen médical du plongeur vieillissant (à partir de 50 ans environ) doit considérer particulièrement l'appareil cardio-vasculaire, l'appareil respiratoire, l'appareil locomoteur, les fonctions sensorielles, le système nerveux central, avec deux orientations :

- identifier les conséquences physiologiques du vieillissement,
- rechercher chez les plongeurs anciens (comptant plusieurs centaines ou plusieurs milliers de plongées) les effets à long terme de la plongée.

Tout plongeur est susceptible de lutter contre le courant ou de porter secours à son coéquipier, de l'aider à remonter en surface ou revenir à bord. La capacité à produire des efforts en plongée devra donc être évaluée. La dépense énergétique de la plongée en eau calme et peu profonde est estimée entre 6 et 7 MET, soit une  $V\cdot O_2$  d'environ  $25 \text{ mLmin}^{-1}\text{kg}^{-1}$  (Buzzacott et coll. 2014, Castagna et coll. 2015).

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 (Ainsworth et coll. 2011).

En raison de la prévalence des affections et défaillances fonctionnelles d'origine cardiovasculaire dans les décès en plongée chez les sujets de plus de 50 ans (Buzzacott 2017), la recherche des contre-indications nécessite au moins un ECG de repos 12 dérivations et une épreuve d'effort cardiologique, conformément aux recommandations de la Société européenne de cardiologie (voir chapitre cardiologie). Le couplage avec une exploration fonctionnelle respiratoire peut être réalisé selon les recommandations de la Société française de pneumologie (Aguilaniu et coll. 2007). L'ECG devrait être annuel en cas de facteur de risque associé et l'épreuve d'effort ne sera répétée qu'en présence de signes d'appel.

Les épreuves sous-maximales type test d'Åstrand ne sont pas recommandées en première intention en raison de leur imprécision et de leur caractère opérateur et conditions-dépendant. Elles gardent cependant une valeur indicative pour le suivi individuel lorsqu'elles sont pratiquées en centre spécialisé dans des conditions identiques.

L'appareil respiratoire fera l'objet d'une exploration fonctionnelle par analyse de la courbe débit-volume de l'expiration forcée. Celle-ci sera complétée au besoin par un examen pléthysmographique (mesure des volumes non mobilisables), et en fonction des anomalies par une exploration tomodensitométrique et une exploration fonctionnelle à l'effort. Ces examens pourront être répétés en présence de signes d'appel.

L'évaluation de l'appareil locomoteur sera orientée vers la mobilité, la capacité de port de charges lourdes et le risque d'aggravations de lésions préexistantes (hanches, genoux, rachis) et, chez les plongeurs anciens, la recherche des conséquences d'éventuels antécédents d'accident de désaturation osseux (ostéonécrose dysbarique juxta-articulaire).

Pour les fonctions sensorielles :

- les déficits audiométriques peuvent être le fait de la presbyacousie, de l'exposition au bruit (domestique, récréationnel ou professionnel), ou être la séquelle d'un accident de l'oreille interne (barotraumatique ou accident de désaturation). Ils pourront être évalués par une audiométrie vocale binaurale en champ libre (au cabinet par l'épreuve de la voix chuchotée à 3 m) ;

- la mesure de l'acuité visuelle en vision de loin (échelle de Monoyer) et de près (échelle de Parinaud) est un examen indispensable.

L'évaluation des fonctions supérieures (mémoire, humeur, sommeil) sera clinique (interrogatoire).

#### **IV – CONCLUSION**

Au delà des contre-indications définitives à la plongée sous-marine qu'il faut toujours rechercher, la décision médicale de permettre à un senior de plonger devra être basée d'une part sur son âge physiologique et sa capacité à développer une activité physique adaptée plutôt que sur son âge chronologique (Strauss et coll. 2017), d'autre part sur les conditions de pratique et les objectifs, qui doivent être clairement identifiés et évalués. L'expérience technique et la connaissance du milieu déjà acquises contribuent également à la décision médicale finale en distinguant « vieux plongeur » et « vieux qui veut apprendre à plonger ». Le souhait d'envisager des conditions contraignantes (eaux froides, etc.) doit faire conseiller une bonne préparation et un apprentissage et des essais progressifs de ces activités (Ascencio-Lane et coll. 2019).

Enfin le médecin devra émettre quelques conseils de bons sens au senior plongeur : plonger au sein d'une structure adaptée (qui permette de limiter le port de l'équipement de plongée, et de réduire les efforts avant et après la plongée), dans des conditions climatiques et environnementales optimales (éviter les plongées en eau froide, par mer agitée et à contre courant), avec de bonnes conditions de visibilité et des conditions techniques de nature à minimiser la production de bulles (plongée nitrox, vitesse de remontée proche de 9 m/min, profondeur maximale voisine de 25 - 30 mètres) et dans une ambiance propice à la convivialité qui sied à la pratique de la plongée.

Le médecin doit aussi rappeler au plongeur qui avance en âge que l'adaptation de ses comportements en situation n'est plus aussi performante que chez un adulte jeune et que les apprentissages techniques sont moins aisément obtenus.

### **Recommandation n° 16**

L'examen médical du plongeur de plus de 50 ans devra s'attarder particulièrement sur l'appareil cardio-vasculaire, l'appareil respiratoire, l'appareil locomoteur et les fonctions sensorielles.

La capacité à produire des efforts en plongée devra être évaluée. Un ECG de repos 12 dérivations et une épreuve d'effort cardiologique sont recommandés. L'ECG devrait être annuel en cas de facteur de risque associé et l'épreuve d'effort ne sera répétée qu'en présence de signes d'appel. (4C)

L'appareil respiratoire fera l'objet au premier examen d'une exploration fonctionnelle par analyse de la courbe débit-volume de l'expiration forcée, complétée au besoin par un examen pléthysmographique et, en fonction des anomalies, par une exploration tomodensitométrique et une exploration fonctionnelle à l'effort.

Il convient de distinguer, pour la prise de décision concernant une éventuelle contre-indication ou limitation de plongée, un sujet de plus de 50 ans qui désire apprendre à plonger de celui qui, plongeant depuis plusieurs années, a atteint ou dépassé 50 ans. Dans ce cas, l'examen s'attachera à rechercher les effets à long terme de la plongée sur les appareils respiratoire et locomoteur, les fonctions sensorielles et le système nerveux central.

---

### **Références**

Adir Y, Bove AA. Lung injury related to extreme environments. *Eur Respir Rev*, 2014, 23: 416-426.

Aguilaniu B, Richard R, Costes F, Bart F, Martinat Y, Stach B, Denjean A. Méthodologie et pratique de l'exploration fonctionnelle à l'exercice. *Rev Mal Respir*. 2007; 24(3 Pt 2): 2S111-60.

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.

Al Ghatrif M, Latakka EG. The conundrum of arterial stiffness, elevated blood pressure and aging. *Curr Hypertension Res*, 2015, 17 : doi: 10.1007/s11906-014-0523-z.

Ascencio-Lane JC, Smart D, Lippmann D. A 20-year analysis of compressed gas diving-related deaths in Tasmania, Australia. *Diving Hyperb Med*, 2019; 49: 21-29.

Barbur JL, Konstantakopoulou E. Changes in color vision with decreasing light level: separating the effects of normal aging from disease. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*. 2012; 29: A27-35.

Belaich R. Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle cérébrale : concept BOLD et compréhension théorique du vieillissement neurocognitif. *NPG Neurologie - Psychiatrie - Gériatrie*. <https://doi.org/10.1016/j.npg.2019.02.002>

Beauplet B. L'âge supérieur à 60 ans est-il un facteur de risque d'accident de plongée en scaphandre autonome ? Étude nationale rétrospective des accidents survenus de 1996 à 2005. *Bull. MEDSUBHYP* 2006; 16(2): 31-8.

Bharakhada N, Yates T, Davies MJ, Wilmot EG, Edwardson C, Henson J, Webb D, Khunti K. Association of sitting time and physical activity with CKD: a cross-sectional study in family practices. *Am J Kidney Dis.* 2012; 60: 583-90.

Blatteau JE, Gempp E, Simon O, *et al.* Prognostic factors of spinal cord decompressions sickness in recreational diving: retrospective and multicentric analysis of 279 cases. *Neurocrit Care.* 2011; 15(1): 120-7.

Buzzacott P, Pollock NW, Rosenberg M. Exercise intensity inferred from air consumption during recreational scuba diving. *Diving Hyperb Med* 2014, 44, 2: 74-8.

Buzzacott P (ed). DAN Annual Diving Report 2017 Edition - A report on 2015 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham, NC: Divers Alert Network, 2017; pp. 134.

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* 2002; 93: 1349-56.

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.

Castagna O, Regnard J, Gempp E, Louge P, Brocq FX, Schmid B, Desruelle AV, Crunel V, Maurin A, Chopard R, MacIver DH. The key roles of negative pressure breathing and exercise in the development of interstitial pulmonary edema in professional male scuba divers. *Sports Medicine-open.* 2018, 4 (1). DOI 10.1186/s40798-017-0116x.

Celermajer DS, Sorensen KE, Spiegelhalter DJ, Georgakopoulos D, Robinson J, Deanfield JE. Aging is associated with endothelial dysfunction in healthy men years before the age-related decline in women. *J Am Coll Cardiol.* 1994 Aug;24(2):471-6.

Chen CH, Nakayama M, Nevo E, Fetisov BJ, Maughan WL, Kass DA. Coupled systolic-ventricular and vascular stiffening with age. Implications for pressure regulation and cardiac reserve in the elderly. *J Am Coll Cardiol.* 1998; 32: 1221-7.

Denoble PJ, Pollock NW, Vaithyanathan P, Caruso JL, Dovenbarger JA and Vann RD. Scuba injury death rate among insured DAN members. *Diving Hyperb Med* 2008; 38: 122-8.

Filatriau O. Projections à l'horizon 2060. Des actifs plus nombreux et plus âgés. INSEE Première 2011 ; 1345. <http://www.insee.fr/fr/ffc/ipweb/ip1345/ip1345.pdf> [5 septembre 2018].

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; 587:5427-39.

Gempp E, Demaistre S, Louge P. Hypertension is predictive of recurrent immersion pulmonary edema in scuba divers. *Int J Cardiol* 2014; 172: 528-9.

Hollenberg NK, Martinez G, McCullough M, Meinking T, Passan D, Preston M, Rivera A, Taplin D, Vicaria-Clement M. Aging, acculturation, salt intake, and hypertension in the Kuna of Panama. *Hypertension.* 1997 Jan; 29(1 Pt 2): 171-6.

Johnson BD, Reddan WG, Seow KC, Depsey JA. Mechanical constraints on exercise hyperpnea in a fit aging population. *Am Rev Respir Crit Care Med*, 1991; 143: 968-77.

Johnson BD, Weissman IM, Zeballos RG, Beck KC. Emerging concepts in the evaluation of ventilatory limitation during exercise. *Chest*, 1999; 1116: 488-503.

Maruta J, Spielman LA, Rajashekar U, Ghajar J. Visual Tracking in Development and Aging. *Front Neurol.* 2017; 8: 640.

- Mease A, Buzzacott P, DeNoble PJ. Thirty years of DAN injury surveillance. *In* : Buzzacott P (ed). DAN Annual Diving Report 2017 Edition - A report on 2015 diving fatalities, injuries, and incidents. Appendix A. Durham, NC: Divers Alert Network, 2017; 97-108.
- Najjar SS, Schulmann SP, Gerstenblith G, Fleg JL, Kass DA, O'Connor F, Becker LC, Lakatta EG. Age and gender affect ventricular-arterial coupling during aerobic exercise. *J Am Coll Cardiol*. 2004; 44:611-7.
- 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*. 2011; 96: 417-25.
- Owsley C, Sekuler R, Siemsen D. Contrast sensitivity throughout adulthood. *Vision Res*. 1983; 23: 689-99.
- Peacher DF, Martina SD, Otteni CE, Wester TE, Potter JF, Moon RE. Immersion pulmonary edema and comorbidities: case series and updated review. *Med Sci Sports Exerc*. 2015 Jun; 47(6): 1128-34.
- Proper KI, Singh AS, van Mechelen W, Chinapaw MJ. Sedentary behaviors and health outcomes among adults: a systematic review of prospective studies. *Am J Prev Med*. 2011, 40:174-82.
- Puisieux F. Vieillesse cardiovasculaire, dysfonction diastolique et insuffisance cardiaque. *MT Cardio* 2005; 1(1): 57-64.
- Regnard J. Physiologie cardio-vasculaire en plongée. *In* V. Lafay (ed.) Cœur et plongée. Ellipses Edition Marketing, Paris. 2017, p. 76-111.
- Rolland Y, Benetos A, Gentric A, *et al*. Frailty in older population: a brief position paper from the French society of geriatrics and gerontology. *Geriatr Psychol Neuropsychiatr Vieil*. 2011; 9: 387-90.
- Smerz RW. Age associated risks of recreational scuba diving. *Diving Hyperb Med* 2007; 37(3): 162-3.
- Soumagne T, Laveneziana P, Veil-Picard M, Guillien A, Claudé F, Puyraveau M, Annesi-Maesano I, Roche N, Dalphin JC, Degano B. Asymptomatic subjects with airway obstruction have significant impairment at exercise. *Thorax*. 2016 Sep;71(9):804-11. doi: 10.1136/thoraxjnl-2015-207953. Epub 2016 May 25.
- Strauss MB, Busch JA, Miller SS. Scuba in older-aged divers. *Undersea Hyperb Med*. 2017; 44: 45-55.
- Sugiyama Y, Miwa C, Xue YX, Iwase S, Suzuki H, Matsukawa T, Watanabe T, Kobayashi F, Mano T. Cardiovascular function in the elderly during water immersion. *Environ Med*. 1993; 37(1): 91-4.
- Tanaka H, Tomoto T, Kosaki K, Sugawara J. Arterial stiffness of lifelong Japanese female pearl divers. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2016; 310(10): R975-8.
- Tauzin L, Rossi P, Grosse C, Boussuges A, Frances Y, Tsimaratos M, Simeoni U. Increased systemic blood pressure and arterial stiffness in young adults born prematurely. *J Dev Orig Health Dis*. 2014; 5: 448-52.
- Wilmshurst PT. Immersion pulmonary oedema: a cardiological perspective. *Diving Hyperb Med*. 2019; 49(1): 30-40.

## CHAPITRE XXV

### ORIENTATION DE L'EXAMEN MÉDICAL EN FONCTION DE L'ACTIVITÉ

La démarche médicale de recherche de contre-indications à une activité subaquatique s'articule autour de deux axes :

- selon les contraintes auxquelles le sujet est exposé :
  - les efforts en immersion,
  - l'exposition à la pression,
  - la respiration d'un gaz sous pression ;
- selon le type d'activité pratiquée :
  - nage en surface,
  - apnée (en tenant compte de la profondeur atteinte),
  - ou plongée avec appareil de protection respiratoire.

Dans tous les cas, l'examen devra être centré sur les fonctions cardio-circulatoire et respiratoire et l'examen ORL.

Pour les disciplines donnant lieu à compétitions :

- nage avec palmes,
- nage en eau vive,
- hockey subaquatique,
- tir sur cible,
- orientation subaquatique,
- pêche sous-marine,
- apnée (en piscine ou en eau libre),
- plongée sportive en piscine,

l'examen médical devra comprendre lors de l'entretien un volet consacré à la prévention et à la lutte contre le dopage. La liste des substances dont l'usage est interdit fait l'objet d'un arrêté mis à jour annuellement, accessible sur le site de l'agence française de lutte contre le dopage (AFLD, <https://www.afld.fr/>). Si un médicament figurant sur cette liste doit être prescrit avant une compétition, une demande d'autorisation d'usage à des fins thérapeutiques (AUT) doit être adressée à l'AFLD au moins 30 jours avant le début de la compétition.

Le bilan cardiologique des compétiteurs devra suivre les recommandations de la Société française de cardiologie pour les sports de compétition (Carré et coll. 2009) : ECG initial à renouveler tous les 3 ans jusqu'à 20 ans, puis tous les 5 ans jusqu'à 35 ans, puis tous les 2 à 5 ans en fonction des facteurs de risque associés. En effet, si un champion de natation réalise 21 s sur 50 m, un champion de nage avec palme effectue les 50 m en moins de 15 s.

L'examen ORL sera toujours un élément important du bilan si la pratique se fait en verticalité.

Des particularités complémentaires de l'examen médical doivent être connues pour certaines activités. Pour la nage avec palmes, un examen attentif des pieds et du rachis dorsolombaire est indispensable (contraintes de la monopalme). Il existe par ailleurs dans cette discipline sportive, une épreuve en immersion (IS) qui se pratique sous la surface avec une petite bouteille de plongée tenue devant soi, dont il faudra tenir compte si elle est pratiquée.

### **Durée de validité du certificat d'absence de contre-indication**

Pour mémoire, rappelons que le certificat d'absence de contre-indication a une durée de validité de<sup>1</sup> :

- 3 ans pour les disciplines subaquatiques sportives en loisir et en compétition (nage avec palmes, nage en eau vive, hockey subaquatique, tir sur cible, apnée en piscine, pêche sous-marine, randonnée subaquatique), si la licence a été renouvelée sans discontinuité ;
- 1 an pour la discipline subaquatique à contraintes particulières que représente la plongée subaquatique et qui comprend la plongée en scaphandre en tout lieu et la plongée libre en milieu naturel ou fosse au-delà de 6 m de profondeur.

La décision médicale devra tenir compte de ce délai et, si nécessaire, le restreindre (certificat valable jusqu'au *jj/mm/aaaa* pour raisons médicales).

### **Recommandation n° 17**

L'examen médical devra prendre en compte les contraintes auxquelles le sujet est exposé (immersion, pression, gaz respirés, froid, etc.), le mode d'exécution de l'activité (surface, immersion, apnée, appareil respiratoire isolant, etc.) et le niveau de dépense énergétique exigé.

Pour les disciplines donnant lieu à compétitions, l'examen médical devra comprendre lors de l'entretien un volet consacré à la prévention et à la lutte contre le dopage.

Le bilan cardiologique des compétiteurs devra suivre les recommandations de la Société française de cardiologie pour les sports de compétition.

Le certificat d'absence de contre-indication devra mentionner précisément la ou les disciplines pour laquelle il est délivré et sa durée de validité. Celle-ci pourra être réduite pour raisons médicales par rapport à la durée prévue par la réglementation.

<sup>1</sup> Code du sport, art. L.231-2-3. Voir chapitre IV – Aspects juridiques.

---

### **Référence**

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.

## CHAPITRE XXVI

### HANDICAP ET PLONGÉE

La plongée des personnes en situation de handicap est apparue au début des années 80, mais son développement s'est considérablement accéléré avec les modifications législatives et réglementaires, l'apparition des cursus spécialisés et les récentes déclinaisons dans les autres activités subaquatiques (apnée, plongée sportive en piscine, nage avec palmes...). L'ensemble de ces pratiques est dorénavant une véritable option sportive pour une personne en situation de handicap. Il est donc essentiel, que l'obtention d'un CACI ne soit plus un frein à une pratique adaptée tenant compte des points de vigilance individualisés. C'est pourquoi l'ambition de ce chapitre est d'aider le médecin dans ses principales interventions, notamment le suivi et la sensibilisation à la prévention du plongeur en situation de handicap, la rédaction du CACI, la collaboration étroite avec l'encadrant spécialisé et l'accompagnement éventuel lors de sorties en milieu naturel.

#### I – ÉTAT DES LIEUX

Les principes fondateurs sont rappelés dans l'intitulé de *la loi n°2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées*. Elle définit le handicap comme *toute limitation d'activité ou restriction de participation à la vie en société subie dans son environnement par une personne en raison d'une altération substantielle, durable ou définitive d'une ou plusieurs fonctions **physiques, sensorielles, mentales, cognitives ou psychiques**, d'un polyhandicap ou d'un trouble de santé invalidant* (art. L114 du code de l'action sociale et des familles).

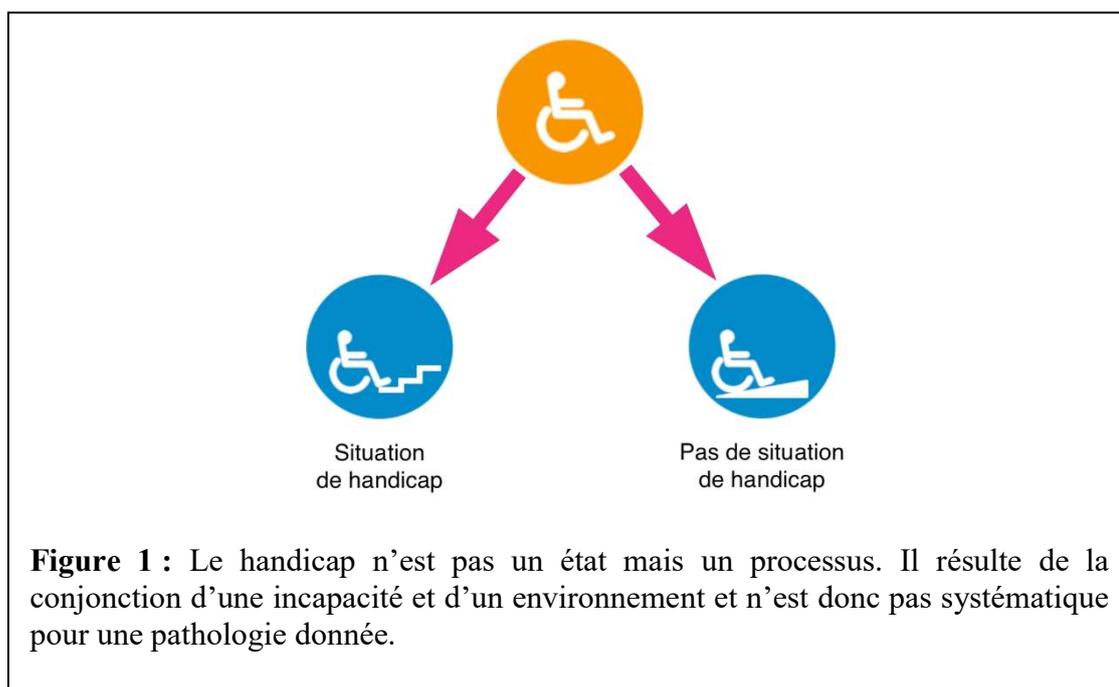
Cette approche moderne et exhaustive permet l'émergence de la notion de « situation de handicap ». Ainsi, la restriction de participation n'est plus exclusivement envisagée selon la problématique médicale mais résulte de sa rencontre avec de possibles obstacles environnementaux ou sociétaux (figure 1). La prise en compte des déficiences ou incapacités doit désormais impérativement intégrer l'évaluation des éventuelles répercussions fonctionnelles.

Dans ce contexte, la **déficience** se définit comme l'altération d'une fonction (physiologique ou intellectuelle) par rapport à ce qui est considéré comme normal et **l'incapacité** comme l'impossibilité de réaliser une action. La déficience peut faire l'objet d'une gradation (minime ou sévère) alors que l'incapacité exprime plutôt un état en tout ou rien (peut – ne peut pas). L'incapacité peut être la conséquence d'une déficience. Elle peut également être liée à l'absence de matériel ou de connaissances. Une déficience n'entraîne pas nécessairement une incapacité (déficience visuelle par exemple).

Les principes généraux de non-discrimination comportent le droit à compensation, l'intégration scolaire, l'insertion professionnelle, l'accès à tout pour tous et l'intégration par le sport. Le ministère des sports conduit ainsi une politique spécifique en faveur des personnes

en situation de handicap afin que le sport soit un outil de promotion individuelle, d'intégration sociale et professionnelle autant qu'un espace de loisirs, de solidarité et d'espoir<sup>1</sup>.

En France, l'activité physique et sportive est reconnue comme thérapeutique non médicamenteuse par la Haute Autorité de Santé depuis 2011, et la loi 2016-41 de modernisation de notre système de santé du 26 janvier 2016 a introduit la possibilité, pour le médecin traitant, de prescrire une activité physique adaptée aux patients atteints d'une affection de longue durée (ALD) dans le cadre du parcours de soins<sup>2</sup>. L'activité physique est reconnue comme facteur de prévention, et le développement de la pratique est encouragé tout en veillant à ses conditions de dispensation (décret n° 2017-1866 du 29 décembre 2017)



Une stratégie nationale sport-santé 2019-2024 est conjointement mise en œuvre par le ministère des sports et le ministère des solidarités et de la santé, convaincus que *la pratique des activités physiques et sportives pour la santé relève de l'intérêt général*. Ce plan national porte l'ambition de (re)mettre les français en mouvement sur les territoires, de déployer des pratiques adaptées accessibles et encadrées, et de faire reconnaître pleinement le rôle majeur des APS pour la santé physique et mentale de chacun.

Pour l'application de ces dispositions législatives et réglementaires, la fédération française d'études et de sports sous-marins (FFESSM) et la fédération française handisport (FFH) ont signé en 2011 une convention instituant un cursus spécifique aux personnes en situation de handicap, appelé Handisub<sup>®</sup>. Le médecin détermine les éventuelles contre-indications et l'encadrant spécialisé définit la pratique adaptée à chaque plongeur : le médecin analyse les déficiences et l'incapacité est jugée par l'encadrant spécialisé. En fonction de leurs capacités fonctionnelles et de leurs formations, les plongeurs peuvent valider les brevets Handisub<sup>®</sup> PESH 6 mètres, PESH 12 mètres, PESH 20 mètres et PESH 40 mètres édités par la FFESSM.

<sup>1</sup> <http://www.sports.gouv.fr/pratiques-sportives/le-sport-pour-tous/Sport-handicap-11072/article/Enjeux-et-mesures>

<sup>2</sup> [http://www.sports.gouv.fr/IMG/pdf/rapport\\_snss\\_2019-2024\\_cs6\\_v5.pdf](http://www.sports.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_snss_2019-2024_cs6_v5.pdf)

Une convention identique avec la fédération française du sport adapté (FFSA) a étendu en 2012 le champ de la plongée au handicap mental, cognitif et psychique.

Dans le cursus Handisub<sup>®</sup>, la convention des fédérations signataires (FFESSM, FFH, FFSA) précise que :

- le certificat d'absence de contre-indication médicale est obligatoire dès le baptême ;
- chaque fédération définit le profil de ses médecins ;
- le médecin signataire doit, si nécessaire, conforter son avis auprès d'un confrère.

Malgré la diversité des déficiences, les contraintes médicales spécifiques motivant une contre-indication définitive de plongée, y compris en surface, sont très rares dans la population actuelle des plongeurs Handisub<sup>®</sup>. Le principal risque reste la noyade par panique ou perte de connaissance d'où l'extrême vigilance à laquelle sont formés les encadrants. Ils doivent également veiller impérativement à éviter toute restriction d'autonomie fonctionnelle par sur-lésion. Les barotraumatismes ORL sont les seuls incidents répertoriés ce jour et concernent plutôt les plongeurs et encadrants débutants.

Saisi par un plongeur s'estimant victime d'une discrimination en raison de son handicap visuel, le Défenseur des droits<sup>3</sup> confirme les fondements de ce cursus Handisub<sup>®</sup> dans leur intégralité. Il rappelle que *l'orientation d'une personne handicapée vers le cursus Handisub ne peut être envisagée que dans l'hypothèse où il est **objectivement démontré qu'elle ne peut suivre le cursus classique** et d'autre part, qu'un apprentissage débutant dans le cursus Handisub n'exclut pas une progression vers les niveaux standards.*

Toute personne, quelles que soient ses incapacités, peut intégrer un cursus standard si elle peut valider sans aide les aptitudes requises par le code du sport<sup>4</sup>. Le cursus spécifique Handisub<sup>®</sup> s'adresse donc principalement aux personnes en situation de handicap en plongée nécessitant une **assistance adaptée en encadrement ou matériel** pour la réalisation des aptitudes précitées (art. A322-77 du code du sport). Ces plongeurs évoluent alors de fait en palanquées encadrées.

L'évaluation de la **situation de handicap en plongée nécessite donc la double expertise médicale et technique** : le médecin apprécie les éventuelles déficiences et l'absence de contre-indication médicale, mais les réelles capacités fonctionnelles du plongeur en milieu aquatique et ses possibilités pour valider les aptitudes requises avec assistance ne peuvent être déterminées que par l'encadrant en situation. Le livret référentiel du diplôme d'État de la jeunesse, de l'éducation populaire et du sport (DEJEPS) spécialité « perfectionnement sportif » mention « plongée subaquatique » inscrit la prise en compte des spécificités de publics particuliers, dont les personnes handicapées, dans les compétences des titulaires.

Ainsi, les deux compétences sont nécessaires et complémentaires. Cette complémentarité et la nécessité de la double évaluation médico-technique requièrent **une coopération permanente étroite entre médecins et encadrants** dans le respect de leurs prérogatives mutuelles. Cela garantit la promotion des solutions adaptées et individualisées lorsqu'elles sont indispensables, en tenant compte des singularités de chaque plongeur et justifie le recours au médecin fédéral.

<sup>3</sup> Décision n° 2019-70 du 19 juillet 2019.

<sup>4</sup> Annexes III-14 a, III-17 a et III-18 a.

Pour un certain nombre de plongeurs en situation de handicap, cette notion de « besoin d'une assistance adaptée » est évolutive. Il n'est pas rare d'observer que **l'apprentissage technique, initialement orienté selon le cursus Handisub<sup>®</sup>, permette secondairement d'intégrer le cursus standard.**

Enfin, conformément aux dispositifs législatifs et réglementaires précités, l'ensemble des activités subaquatiques (apnée, plongée sportive en piscine, nage avec palmes...) deviennent progressivement accessibles à tout public et l'offre sportive s'enrichit de nouveaux cursus spécifiques pour les personnes en situation de handicap et les encadrants spécialisés. À l'instar de la plongée, une approche empirique et des équipes pilotes pluridisciplinaires sont nécessaires pour affiner progressivement les bénéfices constatés et les éventuelles contre-indications propres à chaque discipline.

### I-1. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Une revue de la littérature a été réalisée (Trape et Watelain 2018) à partir des bases de données scientifiques suivantes : *sportdiscus*, *pubmed*, *cairn*, *sciencedirect*, *bib.cnrs.fr* mais aussi *scholar.google.fr*, puis de la bibliographie des documents trouvés. Le nombre d'études obtenues est assez faible (un peu moins de cinquante) et la majorité de celles-ci sont publiées dans des revues de médecine physique et de réadaptation, des revues spécialisées sur la déficience étudiée, par exemple visuelle (DV) (Candela 1982) ou encore de médecine de la plongée (Fleming et Melamed 1977). Les études sont essentiellement centrées autour de deux groupes d'affections : motrices (blessures médullaires [BM], amputations/agénésie, infirmes moteurs cérébraux [IMC], poliomyélite, myopathie, hémiplégie) et maladies chroniques (asthme, diabète, épilepsie, troubles cardiaques...). Les objets d'études sont variés : utilisation de la plongée comme outil de rééducation, étude de la motivation, effets sur l'appareil locomoteur, la qualité de vie, les bénéfices psychosociaux (confiance en soi, prise de responsabilité...).

On ne relève cependant aucune étude de niveau de preuve 1 (grade de recommandation A), ni même d'étude comparative randomisée ; méthodologiquement le plus haut niveau de preuve concerne quelques rares études comparatives (déficients vs sains) portant, par exemple, sur la fonction respiratoire chez les sujets asthmatiques (Ivkovic et coll. 2012) ou sur les bénéfices psychologiques de la plongée chez les handicapés (Mueller 1992). Haydn et coll. (2007) ont évalué sur 6 volontaires paraplégiques les effets d'une semaine de plongée quotidienne. Les résultats montrent une diminution de la spasticité et une augmentation de la qualité de vie. Quelques études comparent les effets de la pratique de la plongée à d'autres pratiques sportives chez un public déficient. Celle de Novak et Ladurner (1999) relate chez des sujets paraplégiques des effets positifs sur la capacité vitale, le bien-être ressenti et les spasmes musculaires douloureux après deux semaines de plongée. Ces effets ne sont pas retrouvés après une pratique équivalente de voile olympique.

La plupart des documents scientifiques sont:

- soit des études de cas ou des descriptions d'expériences de plongée, menées sur des publics déficients en dehors d'une étude contrôlée (étude observationnelle de pratique de terrain), sans réelles mesures objectives, chez des PESH BM, par exemple Fleming et Melamed 1977 ou des PESH IMC (Delmas et Baye 2009). Elles montrent le plus souvent des bénéfices directs liés à la pratique, avec très peu ou pas d'effets indésirables ;

- soit des approches cliniques reposant sur la transposition sur la pratique de la plongée de connaissances propres à une pathologie, notamment dans le cas des maladies chroniques comme l'épilepsie (Almeida et coll. 2007) mais aussi le diabète, l'asthme, les troubles cardiaques... avec pour objectif de déterminer, discuter ou remettre en causes les interdictions faites aux PESH.

Au total, la plongée en situation de handicap repose encore très largement sur l'observation des pratiques de terrain et sur le sens clinique. La démarche est empirique... Cette activité offre ainsi un large champ d'études à mener.

## **I-2. LA PRISE EN CHARGE DES PLONGEURS EN SITUATION DE HANDICAP DANS DIFFÉRENTES ORGANISATIONS**

### **I-2.1. Confédération mondiale des activités subaquatiques (CMAS)**

Une commission a été créée en 2017 avec un collège de trois membres issus de fédérations nationales différentes. Son objectif est de fournir des connaissances nouvelles et actuelles sur la plongée des personnes en situation de handicap afin de promouvoir leur entière intégration dans la société mondiale de la plongée, quelles que soient leurs déficiences et incapacités.

Les formations comprennent trois niveaux de qualification tant pour les encadrants que pour les plongeurs et se réfèrent aux standards de la CMAS (*Open Water Disabled Diver Level I, II et III*), *Instructor Trainer for Disabled Divers (ITDD)*, *Instructor of Disabled Divers (IDD)* et *Disabled Diver Assistant (DDA)*.

Il n'est pas fait mention de certificat médical d'absence de contre-indication. La CMAS spécifie que la détermination de la catégorie particulière CMAS Open Water Diver, attribuée à toute personne en situation de handicap, est de la responsabilité de chaque Fédération nationale.

### **I-2.2. PADI**

Pour accéder aux formations PADI, le plongeur doit remplir un questionnaire de santé. Toute case cochée renvoie à la nécessité d'un certificat médical spécifiant l'absence de contre-indication à la plongée.

Si le moniteur détermine que la personne en situation de handicap est capable de suivre le cursus *Open diver* il n'y a pas de restriction spécifique d'accueil.

Si la personne est moins autonome dans ses capacités physiques ou sensorielles, elle devra être encadrée par un moniteur ayant une qualification spécialisée (Techniques adaptatives). Il existe également une formation spécifique pour le binôme du plongeur en situation de handicap (*Adaptative Support Diver*). Toutefois, PADI ne prend pas en charge les déficits mentaux, cognitifs ou psychiques.

### **I-2.3. ANMP – NAUI – SSI**

Il n'est fait aucune référence à la plongée pour les personnes en situation de handicap sur les sites de la *National Association of Underwater Instructors* et de la *Scuba School International*.

Pour la plupart des organismes de plongée à but lucratif, l'accueil reste à la libre appréciation de la structure de plongée en lien avec l'expérience personnelle du moniteur. Ainsi l'ANMP, syndicat de moniteurs professionnels, rappelle à ses adhérents qu'il ne suffit pas d'avoir le

droit d'accueillir tous les publics mais qu'il faut aussi pouvoir justifier de l'acquisition des compétences afférentes à ces publics particuliers.

#### **I-2.4. Société suisse de médecine hyperbare**

La Société suisse de médecine hyperbare (SSMSH), associée à la société allemande (GTÜM) et la Société autrichienne (ÖGTH) retient le principe de la coopération étroite entre le médecin et l'instructeur (Wendling et coll. 2002), adopte la classification du handicap selon trois niveaux d'autonomie, et donne des indications pour quelques handicaps : surdité, déficience visuelle, handicap mental, diabète.

#### **I-2.5. Associations spécialisées dans la plongée pour personnes handicapées**

- **International Association for Handicapped Divers**

Cette association d'origine néerlandaise (<https://www.iahd.org/>) classe le handicap selon quatre niveaux d'autonomie, de l'autonomie totale jusqu'à la dépendance complète et exige une « autorisation médicale ». Elle forme elle-même ses instructeurs et dispose de 17 centres spécialisés (Europe, Asie, Antilles néerlandaises). Aucune recommandation médicale n'est mentionnée sur son site.

- **Handicapped Scuba Association**

Association américaine (<https://www.hsascuba.com/>), elle classe les plongeurs handicapés en trois niveaux d'autonomie. Un examen médical préalable est demandé pour le premier niveau de formation, en précisant simplement que le fait de présenter un handicap ne rend pas inapte à la plongée. L'association forme des accompagnateurs et ses instructeurs. Elle dispose de centres aux Etats-Unis, au Canada, Afrique du Sud, Europe (Italie, Suisse, Royaume Uni).

- **Disabled Divers International**

Association à but non lucratif créée en 2010 (<https://www.ddivers.org>) constituée de membres bénévoles. Initialement basée à Malte elle propose désormais des programmes pour les plongeurs professionnels et non professionnels dans plus de 58 pays (principalement États-Unis, Europe, Asie, Australie). La certification des plongeurs en situation de handicap se différencie selon 3 niveaux d'autonomie (niveau 1 : plongée sans restriction, niveau 2 : plongée avec 2 plongeurs certifiés dont un spécialisé, niveau 3 : plongée avec 3 plongeurs dont un encadrant professionnel).

### **I-3.- LE MÉDECIN FACE AU SPORTIF EN SITUATION DE HANDICAP**

Les médecins doivent être des acteurs forts de ce choix sociétal affirmé par la mission d'intérêt général définie par l'article L100-1 du code du sport : *la promotion et le développement des activités physiques et sportives pour tous, notamment pour les personnes handicapées, sont d'intérêt général*. L'article R4127-7 du code de la santé publique (CSP) précise que *le médecin doit écouter, examiner, conseiller ou soigner avec la même conscience toutes les personnes quels que soient leur origine, leurs mœurs et leur situation de famille, leur appartenance ou leur non-appartenance à une ethnie, une nation ou une religion déterminée, leur handicap ou leur état de santé, leur réputation ou les sentiments qu'il peut éprouver à leur égard*.

En présence d'une personne en situation de handicap qui souhaite plonger, le médecin doit **écarter toute attitude a priori concernant les déficiences observées et leurs éventuelles répercussions médicales ou fonctionnelles**. Sa réflexion doit être objective dans l'intérêt du patient et fondée sur les données acquises de la science (article R4127-32 du CSP) pour éviter les décisions arbitraires sur le seul principe de précaution.

Dans un premier temps, il doit évaluer la cohérence de la démarche en faisant préciser le contexte de la demande, les motivations qui poussent le patient à essayer ou pratiquer la plongée, s'il s'agit d'un baptême (d'un simple essai pour voir) ou d'une volonté de s'inscrire dans un club en vue d'une pratique régulière.

L'évaluation des risques doit ensuite se faire sur des critères exclusivement médicaux. Le fait de savoir si une personne est techniquement capable de progresser sous l'eau et de gérer son matériel relève principalement de la compétence des encadrants. Cette évaluation doit intégrer le risque quotidien auquel est confrontée la personne. **Seul un risque surajouté ou majoré qui ne peut être prévenu par une adaptation matérielle ou d'encadrement doit être pris en compte**. Enfin le médecin doit **corrélér ce risque à l'ensemble des bénéfices** avérés ou escomptés (exercice physique, objectifs de vie, amélioration de l'estime de soi, de l'interaction et de la participation sociale par la mixité de la pratique).

#### **I-4.- LE MÉDECIN FACE AUX ENJEUX DE LA PLONGÉE POUR LA PERSONNE EN SITUATION DE HANDICAP**

##### **I-4.1.- Les enjeux sportifs**

La plongée fait partie des sports de loisir très éloignés de toute compétition. Il se pratique en pleine nature permettant découverte et partage dans un cadre privilégié. Les merveilles sous-marines présentent un intérêt culturel certain dans un contexte où la scolarité est souvent chaotique ou inachevée en raison de soins médicaux ou d'interventions chirurgicales récurrentes.

La plongée est aujourd'hui accessible aux personnes les moins autonomes. Avec l'expertise grandissante des moniteurs et l'individualisation des pratiques, des adaptations sont désormais toujours possibles quitte à proposer une évolution en surface qui reste synonyme d'exploit et de grandes satisfactions partagées.

##### **I-4.2.- Les enjeux physiques**

Grâce à la poussée d'Archimède, l'immersion améliore instantanément la mobilité et l'autonomie des personnes en situation de handicap à mobilité réduite. Cette pratique sportive sans fauteuil revêt alors les attraits d'une parenthèse symbolique. La mobilité provisoirement retrouvée procure au plongeur le plaisir de reprendre le contrôle partiel de son corps et de ses mouvements.

La progression subaquatique contre la résistance de l'eau permet également un travail musculaire qualitatif et des mouvements d'amplitude adaptée. Ce bénéfice contraste avec les risques d'usure prématurée liés à la surutilisation spécifique de l'appareil locomoteur dans la vie courante ou les pratiques sportives plus intensives.

### **I-4.3.- Les enjeux psychiques**

La gestion des émotions en plongée s'avère positive pour les personnes confrontées à un stress quotidien lié à leurs déficiences ou situations de handicap. Cette pratique sportive devient alors vecteur de résilience par l'image positive qu'elle génère. Elle améliore l'estime personnelle, encourage le dépassement des limites individuelles et l'acquisition de nouvelles compétences (les diplômés de plongée sont parfois les premiers succès d'une scolarité inachevée...).

### **I-4.4.- Les enjeux sociaux**

La pratique de la plongée induit de fait une mixité sociale et des échanges mutuels privilégiés entre plongeurs valides et plongeurs en situation de handicap, tant au niveau de l'encadrement qu'au sein des établissements d'activités physiques et sportives. Cette passion partagée peut également améliorer la cohésion ou la dynamique relationnelle avec les proches lorsqu'elle séduit les amis ou membres de la famille au point de les décider d'essayer la plongée à leur tour. Naissent alors parfois d'ambitieux projets de voyages qui n'auraient jamais pu émerger sans ce contexte favorable aux personnes les moins autonomes.

### **I-4.5.- Au total**

La dénomination « plongeur en situation de handicap » ne s'applique pas aux personnes présentant des incapacités sans conséquence sur leur autonomie à réaliser les aptitudes requises par le code du sport. Elles peuvent suivre un cursus standard nécessitant parfois des adaptations pour une ou plusieurs phases de la plongée : préparation, équipement, mise à l'eau, déplacement et orientation, sortie de l'eau, déséquipement.

N'ayant pas cette autonomie d'aptitudes définies par le code du sport, les plongeurs en situation de handicap doivent bénéficier d'une pratique individualisée déterminée par des encadrants spécialisés. Ces derniers sont formés à la prise en compte des singularités de chaque plongeur, quelle que soit la situation de handicap.

Cette organisation et ces modalités constituent le concept de plongée Handisub<sup>®</sup>.

## **II – LE CERTIFICAT MÉDICAL D'ABSENCE DE CONTRE-INDICATION À LA PRATIQUE DES ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES**

Il est important que le médecin garde à l'esprit que **le choix du cursus et la gestion de la situation de handicap en plongée relève de l'expertise de l'encadrant spécialisé**. Ce dernier oriente le sportif en cursus standard ou spécifique selon les capacités du plongeur à valider, seul ou avec une aide adaptée en encadrement ou en matériel, les aptitudes requises par le code du sport (art. A322-77).

Le médecin doit avoir une démarche identique pour tout plongeur. Il évalue, sans *a priori*, les éventuelles contre-indications liées à la plongée et les incidences médicales des lésions traumatiques ou des pathologies associées à la situation de handicap. Elles peuvent être stables ou évolutives et les contre-indications temporaires ou définitives.

## II-1.- DISPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES

L'obligation de présentation d'un certificat médical ne déroge pas aux prescriptions du code du sport (cf. chapitre IV – Aspects juridiques, p. 16 et suiv.).

Le code de santé publique précise : « le médecin ne doit pas [...] entreprendre ou poursuivre des soins, ni formuler de prescriptions dans des domaines qui dépassent ses connaissances, son expérience et les moyens dont il dispose »<sup>5</sup>. Par ailleurs « le médecin doit élaborer son diagnostic [...] en s'aidant [...] s'il y a lieu, de concours appropriés »<sup>6</sup>.

Il est donc recommandé que le médecin signataire du CACI justifie d'une double compétence dans le domaine de la plongée (physiologie, médecine et pratique) et dans l'évaluation de la déficience concernée. À défaut, il doit étroitement collaborer avec un spécialiste des compétences complémentaires nécessaires. Le médecin référent de la personne devrait également être associé à cet avis. Toutefois, la multiplication des intervenants ne doit pas pénaliser les chances d'accès à la pratique sportive de la personne en situation de handicap (augmentation du nombre de rendez-vous, difficultés d'accessibilité...), conformément à la loi n° 2005-102 du 11 février 2005.

Il est important de **différencier contre-indication, même momentanée, et point de vigilance** : ce n'est pas parce que le médecin n'a relevé aucune contre-indication qu'il ne faut pas rester vigilant sur les difficultés ou fragilités de chacun. Inversement une spécificité nécessitant une attention particulière ne doit pas systématiquement se transformer en contre-indication médicale.

## II-2.- LES CONDITIONS PRATIQUES DE RÉALISATION D'UN CACI

La pratique médicale doit être adaptée, notamment le lieu d'examen, les paramètres cliniques ou anamnestiques à recueillir. On estime à environ 12 millions (sur près de 67 millions), le nombre de personnes concernées par le handicap.

### II-2.1.- Accessibilité

La loi du 11 février 2005 impose une obligation très large de mise en accessibilité de tous les établissements recevant du public, dont les cabinets médicaux. Dans le cas où le cabinet médical ne serait pas encore conforme, il importe de rechercher un lieu alternatif qui pourrait être une infirmerie, une piscine, un centre médico-sportif, au sein de l'IME (institut médico-éducatif), etc.

### II-2.2.- Horaires

Les personnes en situation de handicap vivent et se déplacent avec des contraintes particulières liées au handicap. Se préparer le matin, se soumettre aux nécessités des soins corporels prend du temps. Le trajet entre le domicile et le cabinet médical est à prendre en compte, comme la disponibilité réelle de places de stationnement à proximité.

---

<sup>5</sup> Art. R4127-70 CSP, art. 70 du code de Déontologie médicale.

<sup>6</sup> Art. R4127-33 CSP, art 33 du code de Déontologie médicale.

### **II-2.3.- Aide de vie – transfert**

La préservation du secret médical doit être absolue. L'aide peut installer la personne mais retourne en salle d'attente durant l'examen. En cas de faible autonomie le transfert sur table d'examen peut être abandonné au profit d'un examen complet au fauteuil pour éviter tout risque de blessures ou d'épuisement inutile

### **II-2.4.- Durée de la consultation**

La durée moyenne d'une première consultation, souvent longue, varie entre 30 et 45 minutes. Une deuxième consultation peut s'avérer nécessaire en cas de demande d'avis ou d'examens complémentaires.

### **II-2.5.- Disponibilité du dossier médical**

Dans l'idéal, la personne doit consulter avec son dossier médical. Cette information doit être donnée au moment de la prise de rendez-vous.

### **II-2.6.- État civil – tuteur légal**

Si le plongeur est mineur ou sous tutelle, la présence du représentant légal est indispensable. Il est conseillé de garder une copie de la pièce d'identité du tuteur légal.

## **II-3.- ÉLÉMENTS À PRENDRE EN COMPTE LORS DE LA CONSULTATION MÉDICALE**

### **II-3.1.- Anamnèse de la déficience**

Elle doit notamment renseigner sur :

- la typologie (lésion médullaire, cérébrale, amputation...),
- la localisation (par exemple le niveau métamerique de la lésion médullaire),
- la cause traumatique ou médicale,
- la nature congénitale ou acquise,
- la date de la survenue,
- l'évolution stable ou dégénérative,
- le traitement médical actuel, les éventuels effets secondaires ou incidences sur la pratique de la plongée.

Si la déficience est dégénérative, l'évolution doit être évaluée dans sa gravité, ses éventuelles répercussions psychiques, cognitives et fonctionnelles ainsi que sa vitesse de progression. Le médecin pourra ainsi déterminer si elle reste, ou non, compatible avec la pratique adaptée de la plongée. Certaines évolutions de pathologies (SEP, certaines myopathies...) diffèrent significativement d'un individu à l'autre ou dans le temps. Il faut donc analyser avec précision le ratio bénéfice / risque avec le patient et lorsque c'est possible, avec l'encadrant. Une approche globale doit garantir la prise en compte de tous les enjeux individuels, physiques et psychiques de cette pratique sportive.

### **II-3.2.- Anamnèse des pathologies associées**

Chaque pathologie ou lésion peut entraîner des conséquences organiques ou systémiques. C'est le cas des atteintes cutanées, urinaires et orthopédiques chez le blessé médullaire, ou des

complications ORL, cardiovasculaires, respiratoires, ophtalmologiques et digestives chez une personne présentant une trisomie 21. Leur historique est précieux et les antécédents doivent être spécifiquement appréhendés selon le diagnostic initial. On recherche notamment les atteintes suivantes et leurs évolutions :

- **Neuropsychiques et cognitives** : troubles intellectuels ou cognitifs (capacités de compréhension, de communication, de mémorisation...), stabilité émotionnelle (facteur E : hypersensibilité à certaines stimulations externes chez certains infirmes moteurs cérébraux), effets secondaires des traitements, notamment des psychotropes (épisodes comitiaux, troubles tensionnels, troubles du rythme cardiaque, sécheresse de la bouche, hypersialorrhée, fatigue, vertiges, troubles de la vigilance, somnolence, maux de tête, agitation, tremblements, dyskinésie aiguë ou tardive, raideur musculaire, troubles visuels, syndrome métabolique, rétention urinaire, constipation, prise de poids...).
- **Neurologiques** : comitialité, nature du déficit moteur et/ou sensitif, partiel ou total, évolutif ou non et sa topographie ; hypotonie, spasticité (traitement par injection de toxine botulique, présence d'une pompe sous-cutanée à Baclofène...) ; douleur nociceptive ou neuropathique.
- **ORL** : otites, sinusites, abcès dentaires, certaines malformations (exemple de la trisomie 21 souvent associée à une sténose du conduit auditif externe, une malformation ossiculaire, un reliquat épidermoïde dans la cavité tympanique, une anomalie vélaire, un rétrécissement nasopharyngé, une macroglossie, une laryngo-trachéo-bronchomalacie, une sténose sous-glottique pouvant entraîner des troubles respiratoires ou de la déglutition), antécédents de vertiges (positionnels paroxystiques bénins, syndrome de Ménière...), acouphènes, perte totale ou partielle d'audition.
- **Ophtalmologiques** : survenue et évolution du déficit visuel total ou partiel ; atteintes oculaires et antécédents chirurgicaux contre-indiquant l'exposition hyperbare (pathologies vasculaires non stabilisées susceptibles de saigner) ; présence de prothèse oculaire creuse.
- **Pulmonaires et respiratoires** : tabagisme, asthme, antécédents de pneumothorax, apnées du sommeil, explorations fonctionnelles respiratoires antérieures. Pour les blessés médullaires, un niveau lésionnel compris entre C1 et C4 est synonyme d'assistance respiratoire contre-indiquant de fait la plongée subaquatique.
- **Cardio-vasculaires** : évaluation de la pratique sportive (autres sports, loisirs ou compétition, niveau, fréquence de la pratique ou des entraînements, ECG antérieur, antécédents d'HTA (éventuellement dans un contexte d'hyperréflexie autonome pour les blessés médullaires de niveau lésionnel supérieur à T6) ; antécédents d'hypotension orthostatique, de troubles du rythme cardiaque, de phlébites, d'embolies pulmonaires ; utilisation de bas ou de chaussettes de contention.
- **Digestives, maladies métaboliques** : surpoids fréquent chez les personnes en fauteuil, diabète, hyperlipidémies, addictions ; troubles du transit, lithiase biliaire...
- **Urologiques** : évaluation de la continence, type de miction (naturelle, auto ou hétérosondage par voie basse ou stomie, percussion abdominale, neurostimulateur vésical de type Brindley), fréquence et sévérité des infections urinaires, antibiorésistance, qualité du suivi médical spécialisé (bilans urodynamiques récents, échographies de contrôle), antécédents de lithiase et éventuels traitements chirurgicaux (stomies continentales, urétrotomies...) ou médicaux (injection botulique).
- **Gynécologiques** : rapports sexuels, contraception.
- **Dermatologiques** : antécédents d'escarres (causes, localisation, étendue, traitements et récurrences éventuelles, périodes d'immobilisations...), de plaies ou brûlures, d'ongles

incarnés (notamment en cas de déficit sensitif) ; évolution du moignon pour les personnes amputées.

- **Orthopédiques** : station debout ou assise, troubles de la statique vertébrale, état de la sangle abdominale ; aides à la mobilité (cane, déambulateur, fauteuil manuel ou électrique...), présence d'orthèses posturales ou de compensation (sangles de maintien au fauteuil, corset, corset-siège, têtère, minerve, cale d'abduction, orthèse de membre supérieur ou inférieur...), de prothèses ; pathologies articulaires avec limitation d'amplitudes, syndrome algique, amyotrophie (sur-sollicitation des membres supérieurs chez les personnes en fauteuil manuel), arthrose prématurée (dysplasie congénitale, ostéochondrite, nécrose avasculaire...), ostéomes, risque fracturaire ; antécédents chirurgicaux : réanimation du membre supérieur chez le tétraplégique (récupération de la pince pouce-index, de la préhension, ou l'extension du bras), ostéosynthèse, arthrodèse, ténotomie (correction des rétractions tendineuses, flessum...).

### II-3.3.- Examen clinique

Il complète l'anamnèse et permet l'évaluation actualisée du sportif et de l'évolution des différentes atteintes :

- **Neuropsychiques et cognitives** : confirmation des antécédents recueillis, appréciation des capacités de communication, de compréhension des consignes, de leur mémorisation, des apprentissages spécifiques à la plongée ; stabilité émotionnelle et psychique satisfaisantes, troubles du comportement et éventuels facteurs déclenchants compatibles avec la pratique subaquatique. L'expertise des aidants est précieuse lorsqu'ils sont présents. Un avis auprès du médecin traitant ou d'un médecin spécialisé peut s'avérer nécessaire.
- **Neurologiques** : bilan neurologique ciblé sur les antécédents pour confirmer la stabilité lésionnelle ou évaluer l'évolution positive ou dégénérative du territoire lésionnel et de la symptomatologie (déficit sensitivo-moteur total ou partiel, douleurs nociceptives ou neuropathiques, facteurs déclenchants, troubles de la coordination, dyskinésie, athétose, spasticité, hypotonie, ...).
- **ORL** : évaluation de l'état dentaire et des sinus, examen bilatéral du conduit auditif externe et du tympan (bouchon de cérumen fréquent chez les sportifs en situation de handicap mental ou cognitif). La présence de drain transtympanique contre-indique l'immersion de la tête. Bilan auditif. En cas d'appareillage, évaluation de la compréhension sans prothèse auditive. Vérification de l'efficacité de la manœuvre de Valsalva. Les difficultés de communication et d'équilibration des oreilles nécessitent une évaluation pour orientation ou non vers un cursus spécialisé.
- **Ophthalmologiques** : évaluation de l'acuité visuelle, de la sensibilité à la lumière, aux couleurs, aux contrastes, de l'angle du champ visuel et de la distance maximale pour percevoir les doigts d'une main. Même si la personne est relativement indépendante dans son environnement habituel, si le déficit visuel majeur ou total limite l'autonomie de ce sportif et ses capacités à assister d'autres plongeurs, il devra suivre un cursus spécialisé comme le prévoit l'article A322-77 du code du sport.
- **Pulmonaire** : auscultation, évaluation des capacités inspiratoires et expiratoires en cas de doute.
- **Cardio-vasculaire** : auscultation, TA, pouls, état des membres inférieurs œdèmes, bas ou chaussettes de contention.
- **Dermatologiques** : vérifier l'état cutané (inflammation, dermabrasion, infection, nécrose, qualité des pansement, état de cicatrisation...), des points d'appui, la présence d'ongle

incarné, d'escarre récente ou ancienne, de brûlure (notamment chez les personnes en fauteuil qui cumulent faible mobilité et déficit sensitif), de plaie traumatique ou chirurgicale, vérifier l'état des moignons chez les sportifs amputés ou de la zone péristomiale en cas de stomie digestive ou urinaire. Confirmer la présence de dispositifs médicaux implantés.

Cet examen est primordial pour vérifier l'absence de contre-indication (escarre, plaie infectée, pansement non hermétique...), restreindre si nécessaire la profondeur de progression (par exemple 10 m en présence d'une pompe à Baclofène implantée (recommandation du constructeur, Rat 2017), en surface pour stomie sous condition d'avis médical spécialisé et de pansement étanche). Il joue également un rôle décisif dans le dépistage d'atteintes sous-estimées qui peuvent rapidement se dégrader ou constituer une épine irritative à l'origine de troubles neurovégétatifs secondaires tels que l'hyperréflexie autonome. Enfin il peut participer à la remotivation de la personne en situation de handicap pour sa responsabilisation dans les soins de prévention.

- **Orthopédiques** : préciser l'anamnèse par un examen ciblé des capacités fonctionnelles et de l'autonomie pour la marche (avec ou sans prothèse, orthèse), le déplacement avec aide matérielle (cane, déambulateur, fauteuil manuel ou électrique...), l'équilibre debout ou assis, les amplitudes passives et actives des membres, les capacités de transfert sur un plan pour les personnes en fauteuil et les capacités de préhension. Celles-ci détermineront l'autonomie de la personne pour les aptitudes requises par la plongée, le niveau de spécialisation de son encadrement et les éventuelles adaptations nécessaires de la pratique ou du matériel. Les déficits moteurs, même majeurs sont très rarement synonymes à eux-seuls de contre-indication définitive à la plongée.
- **Poids, taille, IMC**, si possible (sensibilisation de la gestion du surpoids chez les personnes à mobilité réduite).

### II-3.4.- Examens complémentaires fréquemment nécessaires

Les examens complémentaires de base et leurs conditions de réalisation ne diffèrent pas de ceux recommandés pour les sujets valides.

- ECG et, chez le blessé médullaire, réalisation d'un doppler veineux en cas d'antécédents de maladie thromboembolique veineuse, fréquente chez ces sujets.
- Exploration fonctionnelle respiratoire recommandée surtout en cas de tabagisme, d'antécédents respiratoires, et pour un suivi régulier. Chez le blessé médullaire une mesure dans un centre expert est préconisée (difficulté des mesures en fauteuil, grande variabilité des résultats selon la posture). Une simple boucle débit-volume est suffisante.
- Biologie : NFS, mesure du DFG, glycémie, bilan lipidique.

L'IRM médullaire est un examen pratiqué dans la prise en charge des blessés médullaires (Krebs et coll. 2016, Zang et coll. 2018, Lewis et coll. 2018) quel que soit le contexte pour le dépistage d'une cavité syringomyélique (Caremel et coll. 2013). L'examen est répété pour le suivi d'une anomalie initialement dépistée ou le dépistage d'une cavité non connue (Krebs et coll. 2016). Il est recommandé que tout blessé médullaire qui souhaite pratiquer la plongée puisse bénéficier de cet examen, s'il n'en a pas eu dans les 5 dernières années. La présence d'une cavité syringomyélique, demeure en effet, dans l'état actuel de nos connaissances, un risque significatif d'aggravation du déficit neurologique, notamment par la répétition des manœuvres de Valsalva (Williams 1980, Caremel et coll. 2013).

En présence d'une cavité de syringomyélie, un avis spécialisé est recommandé. Si les petites cavités séquellaires chroniques et non évolutives ne devraient pas constituer une contre-indication, les cavités non stabilisées avec des signes neurologiques en sont une.

La réalisation de cet examen permet également de disposer d'une imagerie de référence en cas de suspicion d'accident de désaturation.

### **II-3.5.- Avis complémentaires**

Le médecin examinateur pourra s'entourer des avis circonstanciés :

- du médecin traitant, qui connaît bien la personne,
- du médecin en charge du handicap,
- éventuellement de médecins d'autres spécialités (pneumologue, cardiologue ou ORL p. ex.).

### **II-3.6.- Les conclusions de la consultation**

A l'issue de ce processus d'évaluation parfois complexe et qui peut prendre du temps, plusieurs cas sont possibles :

**1. Le sujet est porteur d'une pathologie** ou lésion qui contre-indique la plongée selon les présentes recommandations.

**2. Il présente une fragilité et/ou une vulnérabilité** qui imposent des mises en garde ou des restrictions. Le CACI peut mentionner un certain nombre de restrictions ou recommandations telles que :

- la présence d'un encadrant spécifiquement qualifié pour les personnes en situation de handicap (la nature du cursus reste à valider avec l'encadrant selon les capacités fonctionnelles en milieu subaquatique) ;
- une température minimale de l'eau à respecter en cas de trouble majeur de la thermorégulation ;
- une durée d'immersion adaptée aux faibles capacités physiques ou cognitives du plongeur. Elle doit également tenir compte des efforts fournis avant et après la plongée.
- une restriction du nombre de plongées par jour en cas de fatigabilité physique ou psychique importante ou de refroidissement conséquent (certains tétraplégiques souffrent plus de la chaleur, d'autres ne peuvent enchaîner deux plongées dans la même journée). Le rythme des plongées doit toujours être adapté aux conditions et à l'état physique et psychique du plongeur qui peuvent évoluer très rapidement selon le contexte ;
- une profondeur maximale : 3, 6, 20 ou 40 mètres sur des critères médicaux tels que la présence d'une chambre implantée, selon les indications du constructeur. Pour certains plongeurs, il est possible de préciser « évolution en surface uniquement ».

**3. La personne ne présente pas de contre-indication.** Mis à part les restrictions éventuelles imposées par le médecin, il n'y pas de limitation particulière d'accueil. Toutefois, l'espace d'évolution des plongeurs en situation de handicap mental, cognitif ou psychique sera limité en fonction de leurs capacités cognitives, leur intégration sociale, leur autonomie dans la vie civile et leur comportement en plongée (voir *infra*, § III-2).

Il est important de pouvoir, avec l'accord préalable du plongeur en situation de handicap ou de son tuteur légal, communiquer avec l'encadrant dans le respect du secret médical pour échanger sur les vulnérabilités relevées.

### **II-3.7.- Les conseils au plongeur**

Il est recommandé de prendre le temps nécessaire à la fin de la consultation pour évoquer avec le « patient-plongeur » un certain nombre d'éléments importants à prendre en compte dans sa situation de handicap, et conseiller des conduites à adopter pour la pratique :

- logistique humaine et matérielle adaptée : les personnes peu autonomes doivent anticiper leurs besoins spécifiques (véhicule ou transport adapté, aidant pour les transferts ou la mobilité, l'habillage/déshabillage, la mise à l'eau et la remontée en fin de plongée...);
- risque alimentaire lors des séjours à l'étranger (la *tourista* est compliquée à gérer chez toute personne à mobilité réduite, surtout en cas de troubles sensitifs ou neuro-végétatifs);
- nécessité d'une bonne hydratation pour la prévention des infections urinaires, mais aussi en cas de sudation importante par forte chaleur ;
- gestion de l'environnement en fonction des conditions climatiques (froid, chaleur) ;
- gestion de l'effort physique : régularité de la pratique, intérêt de l'entraînement en piscine, durée des plongées et conditions adaptées en milieu naturel (proximité du bateau, courant...);
- soins du corps, prévention des blessures cutanées ;
- intérêt du Nitrox (fatigabilité) ;
- prévention de l'hypo ou hyperthermie, selon les lieux fréquentés.

## **III – DIFFÉRENTS TYPES DE HANDICAP ET POINTS DE VIGILANCE CHEZ LE PLONGEUR**

Les principales déficiences rencontrées actuellement en plongée sont décrites ci-après selon leurs conséquences motrices et sensorielles ou mentales, cognitives et psychiques. Certaines d'entre-elles, notamment les lésions cérébrales, peuvent néanmoins présenter l'ensemble de ces déficits.

### **III-1.- DÉFICIENCES MOTRICES ET SENSORIELLES**

#### **III-1.1.- Lésions médullaires**

Plusieurs études épidémiologiques ont été effectuées ces trois dernières décades en Amérique du Nord en Europe et en Asie. L'incidence des lésions médullaires est comprise entre 10,4 et 83 par million d'habitants et par an (Wyndaele et coll. 2006). En France seules deux études ont été réalisées, dont la dernière en 2000 qui rapporte une incidence de 19,4 par million d'habitants et par an, mais cette estimation ne concerne pas les patients âgés de moins de 15 ans pour éviter les biais liés à d'éventuelles hospitalisations en service de pédiatrie (Albert et coll. 2005), soit un total de 934 nouveaux cas. Les associations évaluent actuellement à 1000 à 1500 le nombre de nouveaux cas par an en France.

Dans les années 70 la proportion de paraplégiques était nettement supérieure à celle des tétraplégiques du fait de la mortalité (86,4 %, Kurtzke 1975). Elle tend désormais à s'équilibrer voire à s'inverser notamment avec les progrès de la prise en charge (54,1 % pour Jackson et coll. 2004 contre 43 % pour Van Asbeck et coll. 2000). Le sex ratio est de 3,8 hommes pour une femme et l'âge moyen varie selon les études. Il était de 37,6 ans en 2000 (Wynadaele et coll.2006).

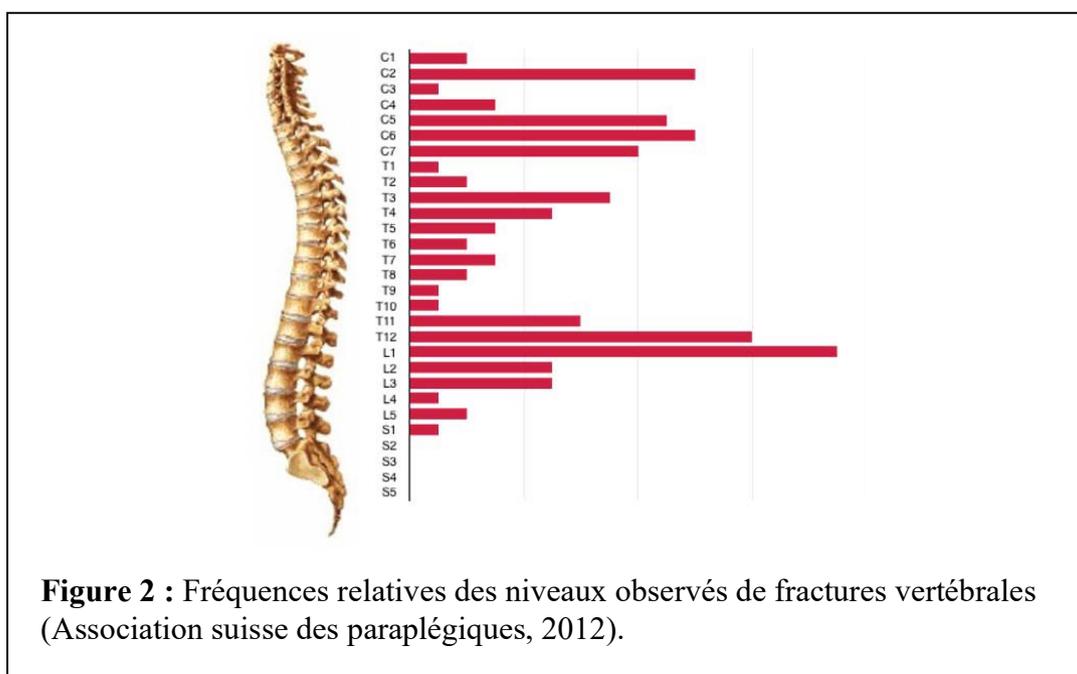
Le niveau lésionnel observé est souvent lié au mécanisme de la blessure (fig. 2) :

- **C2** : rupture de la dent de l'axis – fracture dite du pendu (souvent fatale) ;
- **C5 - C7** : la grande mobilité de la jonction cervico-thoracique rend cette région fragile en cas d'application d'une force (coup sur la tête, plongeon, coup du lapin) ;
- **T3 - T8** : trauma par hyperflexion de la colonne vertébrale ;
- **T11 - L3** : région très exposée lors de choc à partir des pieds et du bassin (chute verticale, parachutisme).

### a) Les conséquences de la lésion médullaire

Pour les lésions stabilisées, l'établissement du CACI ne nécessite pas un examen neurologique complet ni le calcul du score de l'American Spinal Injury Association (ASIA), sauf en cas de modification du tableau clinique. Un bilan complet sera alors effectué en lien avec le centre de référence du blessé médullaire pour l'évaluation et la classification du niveau neurologique et de l'éventuelle aggravation lésionnelle.

Il est possible de traduire les conséquences de la lésion selon son niveau en termes de capacités pour la pratique de la plongée :



- **Niveau C5** : flexion de l'avant-bras. Avec les mouvements de l'épaule il permet une propulsion de base. Ce niveau lésionnel assure l'autonomie respiratoire par innervation diaphragmatique.

- **Niveau C6** : extension du poignet. Préhension passive par effet ténodèse (flexion passive des doigts par extension du poignet) qui permet la saisie et manipulation de certains objets comme l'inflateur du *direct-system*. La manœuvre de Valsalva est possible par opposition des deux mains. Elle est également possible par récupération d'une pince après chirurgie de réanimation de la main (Friden et Gohritz 2012).
- **Niveau C7** : extension de l'avant-bras. Le mouvement complet de brasse pour la propulsion subaquatique est possible, de même que la possibilité de soulever le bassin du plan d'assise (*push-up*) pour la prévention d'escarres ischiatiques et la possibilité de transferts (lit/douche/fauteuil/voiture...), essentielles pour l'autonomie et la qualité de vie. L'extension peut également être obtenue pour les tétraplégiques C5-C6 par une chirurgie de réanimation des membres supérieurs avec transfert du deltoïde postérieur ou du biceps sur le tendon tricipital (Jaspers Focks-Feenstra et coll. 2011).
- **Niveau C8-T1** : préhension. La pince pollici-digitale (pouce-index) est conservée avec innervation du muscle opposant du pouce (nerf médian) et de l'adducteur du pouce par les fibres du nerf ulnaire issues des racines C8-T1 (Robinson et coll. 2010). Ceci permet une autonomie pour les actes de la vie courante et une amélioration considérable de la qualité de vie sociale. En plongée, il est possible d'effectuer simultanément une équilibration des oreilles (manœuvre de Valsalva avec une seule main) et une gestion de la stabilisation à l'aide du gilet.

### **b) Les points de vigilance chez le blessé médullaire**

- **Fragilité cutanée**

Le principal risque cutané est le risque d'escarre, nécrose ischémique des tissus comprimés entre un relief osseux et un plan de contact (Kruger et coll. 2013). Les blessés médullaires constituent le groupe de population ayant le risque le plus élevé, proportionnel au niveau lésionnel : plus la lésion est haute, plus le risque cutané est important. 85 % des blessés médullaires sont susceptibles d'avoir au moins une escarre au cours de leur vie et 15 % des blessés médullaires ont eu au moins deux escarres au cours des 12 derniers mois (McKinley et coll. 1999) : l'escarre est la complication la plus fréquente chez les blessés médullaires avec une prévalence de 15,2 % la première année et 29,4 % au bout de 20 ans. Outre le coût élevé de la prise en charge, l'impact est majeur sur la qualité de vie de la personne et l'escarre est la 2<sup>e</sup> cause de réhospitalisation pour les paraplégiques après les troubles urinaires (Cardenas et coll. 2004, Lala et coll. 2014).

La physiopathologie associe un processus ischémique focalisé résultant de l'état du patient et des causes extrinsèques tels que la pression (essentiellement), le cisaillement et le frottement. La conjonction du déficit sensitif et de la mobilité réduite crée des situations à risque cutané du fait de la pression exercée sur les zones d'appui, notamment dans les phases prolongées de position assise ou les transferts depuis et vers le fauteuil. Une escarre peut survenir en quelques dizaines de minutes et nécessitera des soins et un alitement de plusieurs mois. La prévention est donc primordiale : il est essentiel d'être vigilant sur les talons et les fesses (ischions) en position assise, et sur les coudes en position allongée (Krause et coll. 2001). Pour la pratique des activités subaquatiques, on accordera une attention particulière au moment de l'habillage si la personne doit s'allonger, et à tous les moments en position assise (chaque plongeur en situation de handicap doit rester le plus possible sur son coussin anti-escarre spécifique et veiller, si nécessaire, à le préserver du milieu humide). Des tapis de mousse sur le sol sont également recommandés pour protéger le sacrum lors de la mise à l'eau et de la sortie.

Le médecin est un acteur clef de cette prévention en rappelant régulièrement les enjeux essentiels aux sportifs en situation de handicap : d'après une étude hollandaise, 29,9 % des escarres auraient pu être évitées avec une auto-inspection et une hygiène quotidienne appropriée (van Loo et coll. 2010).

Sont également possibles plaies ou hématomes qui sont des risques spécifiques en cas de chute lors des transferts (vestiaires, mises à l'eau). De même, il importe de toujours protéger les extrémités et les genoux durant l'immersion.

Les risques de brûlures sont liés aux déficits sensitifs (anesthésie, hypoesthésie, dysesthésie...). Elles sont généralement consécutives à la proximité de sources de chaleur (douche trop chaude, coussin resté au soleil...).

#### • Le risque infectieux et mécanique de la vessie

Le blessé médullaire a systématiquement des troubles urinaires. Il lui est impossible d'uriner de manière volontaire en raison de la déconnexion de la régulation suprasacrée et l'activation de réflexes archaïques. On parle alors de vessie neurologique ou neurovessie. La motricité vésicale est complexe et requiert la coordination de la commande volontaire (cortex cérébral, centres cérébraux de la miction) et l'action du système nerveux autonome. L'interruption de la régulation cérébrale sur la moelle sacrée induit une hyperréactivité du détrusor, aboutissant à des contractions anarchiques et fréquentes. La dyssynergie entre le sphincter urétral, hyperactif, et la contraction du détrusor augmente la pression dans la vessie et favorise le reflux vésico-urétéral. Dans le même temps, la vessie se vide incomplètement ce qui favorise les infections urinaires à répétition.

Ce risque infectieux est avec l'escarre le plus gros risque de morbidité chez les blessés médullaires (McKinley et coll. 1999), et il a tendance à s'aggraver nettement avec l'âge : sa prévalence atteint 25,9 % 20 ans après la lésion. Malgré les progrès de prises en charge, les problèmes urinaires restent récurrents et la plupart des blessés médullaires ont une bactériurie permanente. 40 à 50 % d'entre eux sont colonisés par des bactéries résistantes dues notamment à des antibiothérapies successives (Evans et coll. 2017). Les complications urinaires représentent le plus important taux de réhospitalisation (Davidoff et coll. 1990, Waites et coll. 2001). Pour cela il est important de limiter au maximum le résidu vésical post-mictionnel et des bilans urodynamiques doivent être effectués régulièrement avec échographie rénale. Le suivi régulier par un neuro-urologue est impératif. L'absence de contrôle sphinctérien nécessite une vidange vésicale par auto ou hétérosondage, ou miction réflexe par percussion abdominale.

**Toute plongée doit débiter vessie vide**, il est donc essentiel de disposer de WC accessibles à proximité du lieu de plongée ou au minimum d'un lieu d'intimité où le plongeur peut effectuer dignement les gestes requis. L'intervalle entre deux mictions dépend de plusieurs facteurs (prise hydrique, diurèse, spasticité vésicale...) mais on prévoit généralement 4 h. La logistique des plongées doit impérativement intégrer ce paramètre essentiel y compris lorsqu'il s'agit de départ à la journée sur un bateau. Pour toutes ces raisons et la lutte contre l'hyperthermie, l'habillage des plongeurs s'effectue au dernier moment.

Certaines personnes seraient tentées de limiter l'apport hydrique pour limiter les contraintes de vidange vésicale ; or l'hydratation régulière est essentielle pour lutter contre le risque d'infection urinaire et d'hyperthermie. Un globe vésical important ou une infection urinaire

débutante font courir le risque d'une HRA (hyperréflexie autonome) chez les blessés médullaires de lésion supérieure à T6 (cf. infra).

#### • Les troubles de la thermorégulation

Du fait de l'atteinte motrice et neurovégétative (perte du contrôle supraspinal du système sympathique avec perte d'effecteurs vasomoteurs et sudoraux), le territoire sous-lésionnel présente paralysie motrice, anhidrose (absence de sudation) et vasoplégie. Les mécanismes mis en jeu par la thermorégulation y sont donc impossibles.

Ces troubles sont proportionnels à l'étendue du territoire sous-lésionnel et augmentent chez les tétraplégiques (Khan et coll. 2007), avec cependant une grande variabilité interpersonnelle. Ces sujets présentent un comportement poïkilotherme qui entraîne un risque de refroidissement lors d'expositions à de basses températures (Krassioukov et coll. 2007). L'hypothermie est réalisée lorsque la température centrale devient inférieure à 35° C (voir chapitre VII, p. 38).

Sur le plan pratique, la thermométrie tympanique est inexploitable pour le contrôle des activités nautiques (Rogers et coll. 2007). La mesure rectale reste la plus fiable. Toutefois, il n'a pas été rapporté d'hypothermie objectivée en plongée Handisub, ni même pour les sports d'hiver à la fédération française Handisport (FFH).

**L'hyperthermie** est établie pour une température rectale > 38° C (Price 2006). Chez le blessé médullaire le stockage de chaleur dans la zone sous lésionnelle peut vite entraîner une hyperthermie par anhidrose, notamment chez le tétraplégique (Krassioukov et coll. 2007) L'augmentation de la température environnementale est le principal stress thermique et peut entraîner très rapidement un « coup de chaleur » (Collins 1999). C'est pourquoi une **forte exposition au soleil ou une attente prolongée en combinaison** peuvent représenter un vrai danger d'hyperthermie avec polypnée et nécessiter un refroidissement (humidification, baignade, ingestion de boissons fraîches ou glace). Comme pour l'hypothermie, de grandes variabilités interindividuelles sont constatées y compris pour des niveaux lésionnels identiques (Andersen et coll. 1992).

#### **La prévention des troubles de la thermorégulation est essentielle.**

Pour l'hypothermie on dispose de moyens techniques efficaces (combinaison intégrale épaisse ou sèche, gants, chaussons, masque facial...) et on évite de plonger en eau trop froide.

Pour l'hyperthermie, on recommandera la prévention avec protection solaire (casquette, abris...), et habillage au dernier moment. Du fait de l'anhidrose sous-lésionnelles les pertes hydriques sont moins importantes, mais l'hydratation doit être maintenue avec des boissons fraîches pour lutter contre le risque d'infection urinaire (même si la restriction hydrique est tentante pour minimiser le nombre de sondage). Le refroidissement général peut également être envisagé (brumisation, immersion, pièce climatisée...).

#### • Les troubles respiratoires

Chez le sujet valide, 65 % de la capacité vitale forcée est mobilisée par le diaphragme. Pour les niveaux lésionnels au-dessus de C4, l'atteinte diaphragmatique empêche toute activité de plongée. Entre C4 et C5, la capacité vitale peut être réduite jusqu'à 30 % de la valeur prédite (Ledsome et Sharp 1981). 40 % des tétraplégies hautes sont sous assistance respiratoire et les

complications respiratoires sont supérieures à 80 % (Winslow et Rozovsky 2003). En dessous, l'altération de la ventilation va dépendre du niveau lésionnel et de l'atteinte des muscles intercostaux et abdominaux.

Le muscle inspirateur le plus important est le diaphragme, innervé par le nerf phrénique (racines C3-C5). Les autres muscles inspireurs sont les intercostaux externes innervés par les racines thoraciques. Les muscles inspireurs accessoires sont le grand pectoral, les scalènes, le trapèze, les sterno-cléido-mastoïdiens et les dentelés.

Les muscles expirateurs sont les muscles de la paroi abdominale, grands droits, obliques et abdominaux transverse, innervés par les racines thoraciques basses et lombaires. Normalement, l'expiration n'utilise pas ces muscles mais leur activité est cruciale en cas d'expiration forcée, durant l'effort ou la toux. Quand la toux n'est plus possible par déficit des muscles expiratoires, le drainage des sécrétions bronchiques en excès n'est plus assuré (Jackson et Groomes 1994, Winslow et Rozovsky 2003). **L'inhalation accidentelle d'eau, par exemple lors de la mise à l'eau, peut s'avérer problématique.** Ces muscles expirateurs sont par ailleurs utiles pour le fonctionnement diaphragmatique, pour stabiliser la cage thoracique et éviter son collapsus durant la contraction diaphragmatique, pour servir de point d'appui au diaphragme lors de sa contraction, pour garder au diaphragme sa forme en coupole, importante pour la force de sa contraction (McCool et coll. 1986).

Si la lésion siège entre C6 et C8, la fonction diaphragmatique est intacte (Winslow et Rozovsky 2003). L'expiration est essentiellement passive liée au retour élastique de la cage thoracique et des poumons puisque les intercostaux externes et les muscles de la paroi abdominale sont paralysés (De Troyer et coll. 1986). La toux est quasiment impossible et le risque de fatigue des muscles respiratoires est notable en cas d'excès de sécrétions ou d'infection bronchopulmonaire.

La compliance de la paroi thoracique et des poumons est diminuée chez le tétraplégique. La rigidité accrue de la cage thoracique est expliquée par l'ankylose des articulations costales et la spasticité des muscles intercostaux. La diminution des volumes pulmonaires et l'altération du surfactant pourraient expliquer la diminution de la compliance pulmonaire (Brown et coll. 2006).

Les tétraplégiques ont fréquemment un trouble ventilatoire obstructif réversible après bronchodilatateurs en raison de la perte de l'activité sympathique postganglionnaire. La réversibilité généralement observée après administration d'un agent anticholinergique tel que le bromure d'ipratropium souligne l'hyperactivité vagale cholinergique observée (Almenoff et coll. 1995).

Chez les tétraplégiques, la réponse des centres respiratoires au stimulus hypercapnique est diminuée en position assise, en rapport avec une baisse de la pression artérielle (Ben-Dov et coll. 2009). Un risque accru de syndrome d'apnée du sommeil a également été rapporté chez ces personnes (Biering-Sørensen et coll. 2009).

### Évaluation de la fonction ventilatoire

La mesure des volumes pulmonaires et des débits bronchiques n'est pas aisée chez le blessé médullaire, particulièrement le tétraplégique. Il importe de faire appel à des centres spécialisés et équipés. La question de la comparaison des valeurs obtenues avec celle des valeurs prédites chez les valides reste débattue. La position a un impact significatif sur la

mécanique pulmonaire des blessés médullaires. En effet les muscles respiratoires participent activement et simultanément à l'équilibre de la posture en raison de la paralysie motrice sous-lésionnelle. Typiquement, la capacité vitale augmente entre la position assise et la position allongée, ce qui est l'inverse du sujet valide. La plupart des travaux publiés font état d'une baisse de 25 % en moyenne des volumes pulmonaires chez le blessé médullaire (Estenne et De Troyer 1987).

**Les adaptations à retenir pour la plongée :** la respiration diaphragmatique est essentielle ce qui nécessite un équipement adapté avec si possible pas de ceinture de plombs autour de la taille mais des plombs intégrés au gilet stabilisateur. La combinaison ne doit pas être trop serrée pour permettre la meilleure compliance abdominale possible, l'idéal étant d'opter pour une combinaison sur mesure. La **prévention de l'essoufflement** est fondamentale : la baisse des volumes pulmonaires, la moindre réponse des centres respiratoires à l'hypercapnie, la propulsion sans palmes en s'aidant des membres supérieurs peuvent favoriser un essoufflement qui peut apparaître plus ou moins rapidement selon la forme physique du plongeur et son niveau lésionnel. On évitera donc toute fatigue avant la plongée (proximité du parking, limitation des transferts, parcours sans dénivelé, aide éventuelle pour l'habillage), on préviendra les coups de chaleur qui génèrent une polypnée et on adaptera la plongée (proximité du lieu de plongée avec le bateau, éviter les forts courants, pauses d'observation au cours de la plongée, possibilité d'assistance humaine à la propulsion lorsque la personne est fatiguée...).

- **Les troubles cardiovasculaires**

Toute lésion supérieure à T6 peut se compliquer de dysréflexie végétative, liée à la perte de la régulation centrale sous la lésion. Il s'agit d'une **hyperréflexie autonome (HRA)**, réponse sympathique exagérée à un stimulus prenant naissance en dessous du territoire lésé et conduisant à une vasoconstriction diffuse et à une hypertension artérielle parfois sévère (Bycroft et coll. 2005).

Il se produit une réponse compensatrice parasympathique exagérée au-dessus de la lésion pour diminuer la fréquence cardiaque et produire une vasodilatation, qui n'est pas suffisante pour abaisser la pression artérielle. Ce phénomène ne se produit pas pour les lésions en dessous de T6 car la mise en jeu des nerfs splanchniques, intacts chez ces personnes, est suffisante pour assurer une dilatation adaptée du lit vasculaire splanchnique (Bycroft et coll. 2005). La fréquence de ces manifestations varie entre 20 et 70 % des blessés médullaires supérieurs à T6 (Helkowski et coll. 2003). Les stimuli en cause sont nombreux, on parle « d'épines irritatives ». Le plus fréquent est la distension vésicale par défaut de sondage (75 % des cas). Il peut s'agir également d'une fracture occulte (attention à la chute possible des blocs de plongée mal arrimés sur le bateau) ou d'un organe abdominal en souffrance (*tourista*). Les manifestations cliniques habituelles sont des céphalées, une hypertension artérielle, une vasodilatation cutanée avec chair de poule, une sudation profuse et un risque de choc volémique (Krassioukov et coll. 2007). Une vision floue, une anxiété, des nausées, des vomissements peuvent apparaître. Typiquement, il existe une bradycardie. L'attaque peut être sévère avec un risque de bradycardie profonde, d'arrêt cardiaque, d'hémorragie cérébrale ou de crises comitiales. **Toute crise de HRA ou épisode de céphalée non étiqueté impose l'arrêt de la pratique et une investigation médicale rapide.**

Sur le plan thérapeutique, la mise en position demi-assise et l'administration de nifédipine (10 mg *per os* ou en sublingual) sont recommandées, en même temps que le traitement de la cause (sondage vésical, etc.).

Le risque de **cardiopathie ischémique** est **3 à 10 fois supérieur** chez le blessé médullaire à celui de la population générale (Myers et coll. 2007) en raison de la perte de la masse musculaire, de l'augmentation de la masse grasse et de la sédentarité forcée (Bauman et Spungen 2000). Un bilan cardiologique régulier est recommandé.

#### • Les douleurs chroniques

De nombreux blessés médullaires (65 % en moyenne, selon Siddall et Loeser, 2001) ont des douleurs chroniques de type neuropathique (Bauman et Spungen 2000). S'il apparaît clairement que ces douleurs sont liées à l'hyperexcitabilité neuronale, leur mécanisme précis n'est pas bien compris. Il existe deux types principaux de douleurs neuropathiques chez le blessé médullaire :

- Les douleurs au niveau de la lésion sont généralement dues aux lésions directes des racines nerveuses lors du traumatisme initial. Ce type de douleurs doit systématiquement faire rechercher, surtout si elles se modifient ou changent de niveau, la **présence d'une syringomyélie post-traumatique** dont la présence peut constituer une contre-indication à la pratique de la plongée (Caremel et coll. 2013)
- Les douleurs sous-lésionnelles sont plutôt en rapport avec un phénomène de désafférentation thalamique (Wasner et coll. 2008). Leur présence peut nécessiter, si elles sont gênantes, la prise de médicaments à forte dose (opiacés, antidépresseurs, anticonvulsivants) isolés ou en association, dont l'impact sur la capacité de plonger devra être évalué.

#### • Les troubles musculosquelettiques

Les lésions médullaires induisent une altération rapide du métabolisme osseux. On note une accélération de la perte de densité et une désorganisation de l'architecture trabéculaire osseuse quelques mois à quelques années après la blessure (Jiang et coll. 2006). L'étiologie de ces troubles n'est pas connue avec précision mais on évoque la réduction de la charge mécanique et la modification des ostéocytes par immobilisation (Maimoun et coll. 2019), ainsi qu'un stress oxydatif et une inflammation (Zhang et coll. 2015). Il en résulte un risque fracturaire accru encore mal quantifié par manque d'étude sur des échantillons de grande taille (Zleik 2018). La plus grande attention doit être portée sur ce danger par l'ensemble des moniteurs prenant en charge ces plongeurs (manipulation de la personne, rangement et sécurisation du matériel, etc.).

La sur-utilisation des membres supérieurs est la règle chez les blessés médullaires surtout en raison des transferts itératifs et de l'utilisation du fauteuil roulant. L'apparition d'un syndrome de la coiffe des rotateurs est fréquente, jusqu'à 75 % des cas (Sinnott et coll. 2001). En plongée, la préservation des épaules doit impérativement être respectée par l'encadrement.

#### • La spasticité

La spasticité est liée à l'interruption des voies descendantes inhibitrices issues des motoneurons alpha et se manifeste par une augmentation du tonus musculaire et des spasmes (Adams et Hicks 2005). Elle a des effets négatifs et des effets positifs. Parmi les effets négatifs, douleurs, contractures et spasmes musculaires importants sont possibles pouvant altérer la qualité du sommeil et l'activité quotidienne. À l'inverse, la **spasticité peut permettre de faciliter la station debout, les transferts et améliorer le retour veineux** des

membres inférieurs ce qui contribue à diminuer le risque de thrombose veineuse profonde (Nair et Marsden 2014). Dans certains cas, un traitement médicamenteux peut être prescrit pour atténuer les douleurs dues à la spasticité (baclofène, tinazidine, diazepam) (Hugenholtz et coll. 1992, Siddall et Loeser 2001). Certains patients bénéficient de l'injection intrathécale de baclofène par l'intermédiaire d'un dispositif implanté. Le retentissement de ces thérapeutiques sur la capacité à plonger doit être évalué, et conduire à limiter la profondeur à 10 m en présence d'une pompe sous-cutanée (Rat 2017), en raison de sa résistance mécanique.

- **Syringomyélie**

La syringomyélie est une dégénérescence kystique intramédullaire. Son incidence varie chez les blessés médullaires selon la nature diagnostique : 3 à 4 % pour les études cliniques (Brodbelt et Stoodley 2003) contre 25 à 30 % pour les dépistages par IRM (Caremel et coll. 2013). Parmi les mécanismes évoqués figure l'obstruction par la cicatrice gliale à la circulation du liquide céphalorachidien. Le principal risque est l'extension de cette cavité syringomyélique vers le haut par augmentation récurrente des pressions intrathoraciques (efforts, manœuvres de Valsalva...) qui aggraverait les déficits moteurs et sensitifs. **Chez le plongeur, en cas de doute avec aggravation des déficits neurologiques, l'imagerie (IRM)** permet de faire le bilan et, en cas de suspicion d'ADD, d'avoir des clichés comparatifs. Toute modification clinique du territoire sus-lésionnel doit entraîner une investigation minutieuse, sachant que le délai moyen entre l'apparition d'une cavité syringomyélique et le traumatisme initial est de 2,8 ans avec des extrêmes allant de 3 mois à 34 ans (Caremel et coll. 2013).

### **III-1.2.- Autres pathologies**

#### **a) Sclérose en plaques**

La sclérose en plaques (SEP) est une maladie du jeune adulte qui représente la première cause de handicap sévère non traumatique chez les trentenaires. L'âge moyen de début des symptômes est 30 ans. Environ 80 000 personnes sont touchées en France. La maladie fait intervenir des mécanismes auto-immuns complexes dirigés vers les oligodendrocytes, cellules synthétisant la gaine de myéline des axones du système nerveux central. Ils se traduisent par une démyélinisation et souvent le début d'une dégénérescence axonale (Lublin et coll. 2013).

Les symptômes varient beaucoup d'une personne à l'autre et se modifient au cours de l'évolution de la maladie. Les signes neurologiques (troubles moteurs, sensitifs ou sensoriels) sont souvent associés à une fatigue extrême et inhabituelle, des troubles de la mémoire, de la concentration ou des épisodes dépressifs.

- **Les points de vigilance en plongée en cas de SEP**

En dehors des poussées, la plongée est parfaitement possible sans difficulté particulière. Aucune donnée ne permet de relier l'activité sportive et les poussées de la maladie. En cas de troubles fixés, l'adaptation et les recommandations suivent celles du blessé médullaire.

#### **b) Paralysie cérébrale**

Le terme de paralysie cérébrale fait référence à un groupe hétérogène de conditions associant de manière permanente et non évolutive un déficit moteur central qui affecte le tonus musculaire, la posture et les capacités de mouvements (Rosenbloom 2007). Ces déficiences

sont la conséquence d'anomalies du développement cérébral chez le fœtus ou le jeune enfant. Les causes en sont multiples. L'atteinte motrice, de gravité variable, affecte les capacités fonctionnelles et l'activité quotidienne. Des symptômes associés sont fréquents tels que troubles cognitifs, difficultés de communication, troubles du comportement, musculosquelettiques ou épilepsie (Biorgaas et coll. 2012).

Les troubles fréquents de communication résultent en général d'une dysarthrie. Ces difficultés de locution souvent associées à des mouvements athétosiques ne doivent pas être confondus avec un déficit intellectuel qui serait alors synonyme de polyhandicap. Ces troubles de la coordination ne sont pas une contre-indication médicale. L'encadrant évaluera s'il doit adapter le matériel pour une tenue en bouche correcte de l'embout, notamment avec l'usage d'un masque facial.

Sauf en cas d'épilepsie (25 à 45 % des patients), la plongée est généralement possible.

- **Les points de vigilance chez le paralysé cérébral**

Les troubles du comportement, les troubles psychiatriques avec labilité émotionnelle, les difficultés d'attention et l'anxiété marquée conduisent à recommander un encadrement stable et chevronné.

### **c) Amputation traumatique et agénésie**

Ces pathologies sont généralement stables et non évolutives, y compris pour les lésions traumatiques après la phase de cicatrisation et la mise en place de prothèse définitive. Elles diffèrent par leur étiologie (congénitale ou acquise) et de possibles douleurs de désafférentation de type algohallucinose (douleur du membre fantôme). Les études chez les militaires américains rapportent que 85 % des sujets présentent des douleurs post-amputation modérées à sévères (Cohen et coll. 2019). Les étiologies vasculaires peuvent atteindre 80 % dans la pratique hospitalière courante (Hsu et Cohen 2019), ce qui les différencie des traumatismes de guerre.

Les capacités fonctionnelles sont logiquement généralement supérieures pour une personne agénésique qui n'est pas confrontée aux adaptations psychologiques, motrices et sensitives d'une amputation.

Le principal enjeu médical est l'état cutané du moignon. Le médecin doit veiller à sensibiliser le plongeur en situation de handicap à la nécessité d'une hygiène renforcée en milieu humide, et de se déplacer avec la plus grande prudence s'il enlève sa prothèse pour l'activité subaquatique. Les risques de chute et de blessures sont plus élevés pour les personnes très autonomes qui sous-estiment souvent les glissades accidentelles au bord d'une piscine ou sur un bateau.

En dehors des plaies cutanées du moignon et des contre-indications générales définies pour tout sportif valide, les activités subaquatiques sont tout à fait possibles en tenant compte précisément des atteintes associées. La prise en charge peut initialement être proposée par l'encadrant dans un cursus spécialisé pour permettre une approche individualisée dans un environnement adapté (matériel spécifique, expérience des encadrants spécialisés pour compenser les difficultés de propulsion ou préhension). La progression de ces plongeurs est généralement rapide et ils rejoignent habituellement le cursus standard s'ils valident les aptitudes requises par le code du sport.

#### **d) Déficience visuelle**

Les déficients visuels constituent un groupe hétérogène de personnes en situation de handicap. Les recommandations présentées dans le chapitre XXII Ophtalmologie concernent les pratiquants valides. Hors de ces limites, la plongée est possible dans un parcours spécifique, sous réserve de respecter quelques précautions. En particulier, la communication entre le pratiquant et son encadrant, essentielle pour la prévention des accidents, doit passer par un autre canal que visuel. Il est recommandé d'utiliser des codes de toucher ou acoustiques.

Le médecin doit également sensibiliser les plongeurs déficients visuels et les encadrants aux risques spécifiques de chutes et de blessures, nécessitant parfois un guidage et dans tous les cas une grande discipline dans la libération des voies de passage.

#### **e) Déficience auditive**

Les déficients auditifs ont généralement accès à l'ensemble des activités sportives. Seules les difficultés de communication nécessitent parfois des adaptations. L'intégration dans un cursus standard sera aisée pour :

- toute personne présentant un déficit partiel, si l'environnement n'est pas trop bruyant et que l'usage d'une audioprothèse permet un échange verbal en dehors des phases subaquatiques ;
- toute personne sourde qui peut lire sur les lèvres et s'exprimer oralement.

L'enjeu est de préserver, le cas échéant, une audition résiduelle et de ne pas exposer le sujet à un risque de troubles de l'équilibre permanents en cas de système de compensation altéré. L'examen médical peut requérir l'avis d'un spécialiste ORL.

Dans tous les cas, l'examen médical et la pratique de l'activité imposent un moyen de communication adapté (interprète en langue des signes française, lecture labiale, communication écrite...). Des restrictions techniques, voire une pratique exclusivement en surface sont à envisager si un risque médical est avéré.

Les contre-indications et recommandations sont précisées dans le chapitre XII. Si nécessaire, une pratique sportive adaptée peut-être proposée en cursus adapté, par exemple en cas de limitation à une évolution en surface.

### **III-2.- DÉFICIENCES MENTALES, COGNITIVES ET PSYCHIQUES**

Les handicaps mentaux, cognitifs et psychiques affectent les comportements et la relation aux autres et sont de ce fait bien souvent perçus par beaucoup comme difficiles à intégrer dans le monde sportif en général et dans celui de la plongée en particulier.

#### **III-2.1.- Terminologie et nomenclature**

Pour éviter toute confusion il convient de revenir sur les différentes dénominations et classifications.

L'OMS répertorie les troubles de la santé mentale par pathologies dans la classification internationale des maladies (CIM)<sup>7</sup>. Elle propose également une approche complémentaire sur les capacités fonctionnelles avec la classification internationale des capacités fonctionnelles, du handicap et de la santé (ICF)<sup>8</sup>.

La classification des pathologies mentales est souvent controversée et fait l'objet de nombreux remaniements qui participent aux difficultés diagnostiques (l'autisme initialement intégré dans les troubles envahissants du développement fait maintenant partie des troubles neurodéveloppementaux en tant que troubles du spectre autistique).

L'approche fonctionnelle de l'ICF rejoint, quant à elle, la notion de situation de handicap de la loi de 2005. Elle regroupe notamment toutes les fonctions mentales dans un même chapitre et distingue les fonctions mentales globales (conscience, fonctions intellectuelles, fonctions psychosociales globales...) des fonctions mentales spécifiques (attention, mémoire, fonctions psychomotrices...).

Les deux approches diagnostique (CIM) et fonctionnelle (ICF) sont donc complémentaires, mais ne peuvent se superposer. C'est pourquoi les conséquences intellectuelles, cognitives et psychiques sont envisagées ici dans les principales pathologies mentales actuellement rencontrées. Comme pour les situations de handicap moteur, certaines atteintes restent compatibles avec le cursus standard. C'est notamment le cas pour les troubles cognitifs comme la dyslexie, la dyscalculie, lorsqu'ils sont modérés.

### III-2.2.- Déficiences intellectuelles

La déficience intellectuelle est une pathologie à part entière, un désordre neurodéveloppemental qui débute dans l'enfance et correspond à l'ancienne terminologie de « retard mental ». Il se caractérise principalement par le test psychométrique du quotient intellectuel (QI) qui permet une évaluation standardisée de l'intelligence. Les conséquences sont très variables d'une personne à l'autre et dépendent du niveau d'atteinte, hiérarchisé de « limite » à « profond ». Les atteintes cognitives se caractérisent par de possibles déficits du langage, de la compréhension, de l'attention, de la mémoire. Elles sont souvent associées à des difficultés d'adaptation sociale engendrées notamment par des troubles de l'humeur ou du comportement : diminution de la tolérance à la frustration, à l'échec, diminution des contrôles avec réaction exagérée aux stimulations, baisse du niveau d'autocritique, comportement social inadapté, désinhibition...

**La trisomie 21**, comme d'autres pathologies complexes, est associée à un déficit intellectuel. Elle est la maladie génétique la plus touchée par ce type d'atteinte (Bull et coll. 2011). Elle se caractérise par une variété de troubles dysmorphiques, d'anomalies congénitales (cardiaques notamment) ou de pathologies associées, très variables, d'un individu à un autre. La déficience intellectuelle est constante avec un QI généralement compris entre 50 et 70. Dans certains cas, assez rares, des troubles psychiatriques sont associés ce qui peut rendre l'activité difficile. Environ 40 % de ces personnes ont une pathologie cardio-vasculaire congénitale (Irving et Chaudhari 2012) qui doit être soigneusement évaluée avant d'autoriser la plongée. Les troubles de l'audition sont présents chez 38 à 78 % des patients selon les études (Shott et coll. 2001). Un grand nombre d'entre eux peuvent porter des aérateurs transtympaniques (Manickam et coll. 2016). La récurrence des épisodes d'otite moyenne est courante,

---

<sup>7</sup> [https://www.who.int/fr/news-room/detail/18-06-2018-who-releases-new-international-classification-of-diseases-\(icd-11\)](https://www.who.int/fr/news-room/detail/18-06-2018-who-releases-new-international-classification-of-diseases-(icd-11))

<sup>8</sup> <https://www.who.int/classifications/icf/en/>

pratiquement chez une personne sur deux. L'évaluation attentive de la sphère ORL est cruciale pour éviter que ne s'installe ou s'aggrave une perte de l'audition.

En outre, hypothyroïdie et diabète de type 1 sont fréquemment retrouvés dans cette population (Bull et coll. 2011).

- **Les points de vigilance en cas de déficience intellectuelle**

**La plongée est possible** pour les personnes à qui une déficience intellectuelle légère laisse une capacité suffisante de communication et d'apprentissage, même s'il persiste des difficultés d'acquisition des gestes, d'adaptation au changement, ou un temps de réaction à une situation nouvelle ralenti.

Outre l'adaptation du langage et l'apprentissage par imitation, le moniteur doit accepter de devoir parfois « tout recommencer » à chaque séance. La fréquence des problèmes ORL, en particulier en cas de trisomie, doit imposer la vigilance à chaque séance car la personne peut ne pas être en mesure de s'exprimer.

Il est recommandé d'avoir une approche très progressive, pas à pas, avec un temps d'apprentissage en surface qui peut être long avant toute immersion.

### **III-2.3.-Autisme**

On évoque l'autisme devant des troubles sévères et précoces du développement de l'enfant qui surviennent avant l'âge de 3 ans et qui comportent trois symptômes principaux (triade) : des troubles de la communication et du langage (y compris les troubles de la communication non verbale), des troubles des interactions sociales (perturbations des interactions sociales, isolement) et des comportements répétitifs (répertoire d'intérêts et d'activités restreint, stéréotypé et répétitif). Le sujet est vaste et ne sera pas détaillé ici. Il se caractérise en effet par une très grande diversité de tableaux cliniques de gravité variable. Face aux formes plus ou moins sévères présentées par ce handicap et devant la diversité des pathologies rencontrées, on parle de troubles du spectre de l'autisme<sup>9</sup>. Selon la Haute Autorité de Santé (HAS 2010), la prévalence des troubles irait, selon les critères diagnostiques retenus, de 2 à 7 pour 1000 personnes de moins de 20 ans. Elle était de 0,4/1000 dans la décade 1960-1970. Cette forte augmentation ne s'explique qu'en partie par l'évolution des critères de diagnostic et une amélioration de la formation des professionnels au dépistage (Xu et coll. 2016).

- **Incidence de l'autisme sur la plongée**

Une déficience intellectuelle est notée chez 70 % des enfants atteints d'autisme infantile avec pour conséquence **un déficit dans la saisie de l'information** (Zwaigenbaum et Penner 2018). La saisie de l'information sensorielle (visuelle, auditive, tactile) peut-être inhabituelle et l'encodage de départ est déterminant. Par exemple, un enfant qui a l'habitude de manger un biscuit refusera de le manger s'il est coupé car il ne correspond plus à sa perception habituelle. L'autiste éprouve de grandes difficultés à comprendre la pensée des autres. Ceci explique les difficultés à comprendre l'ironie, le 2<sup>e</sup> degré, le mensonge qui nécessitent une analyse subtile des états mentaux d'autrui. Ce dysfonctionnement l'empêche de remarquer ou d'avoir conscience de l'expression du visage, du langage corporel ou des nuances de langage comme

---

<sup>9</sup> <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/autisme>

la moquerie. **On ne peut guère attendre que l'autiste communique sur ce qui ne va pas (froid, fatigue p. ex.).**

L'autiste a un retard dans l'apprentissage du langage sans tentative de communication par le geste ou la mimique. Certains peuvent avoir un langage fonctionnel mais avec des particularités telles que l'écholalie (répétition en écho d'un énoncé), l'inversion des pronoms (je / tu), le langage idiosyncrasique (langage propre à soi-même qui n'est pas forcément fait pour être compris ni partagé avec la communauté qui entoure la personne). Les sujets d'intérêt sont restreints avec un **non-respect des codes sociaux comme la distance interpersonnelle ou le contact visuel** (hypersélectivité visuelle avec utilisation préférentielle de la vision périphérique, difficulté à maintenir le regard direct). La communication de l'autiste a peu de finalité sociale. Elle se limite souvent à la finalité d'obtenir un objet ou un comportement ; elle est très rarement utilisée pour échanger avec un partenaire, **empêchant la communication par signes en plongée**. Les difficultés comportementales (auto ou hétéro-agression) et psychologiques sont liées aux difficultés de communication et d'expression des besoins et désirs.

La mémoire n'est pas nécessairement perturbée dans son ensemble chez les personnes autistes (Zwaigenbaum et Penner 2018). Seuls certains sous-types semblent altérés avec d'importantes différences selon les études. La mémoire de travail (à court terme) peut être altérée chez l'autiste d'autant plus que les tâches sont complexes ou spatiales. Cette difficulté pourrait s'expliquer soit par une réelle supériorité du traitement perceptif (la personne cible les nombreux détails plutôt que la globalité), soit par un défaut de cohérence centrale (difficultés dans la création de liens entre les différentes informations cibles).

La mémoire épisodique (à long terme) permet d'apprendre sans garder le souvenir de l'apprentissage (mémoire implicite ou procédurale), ou de garder les souvenirs d'événements familiaux, de livres lus, de voyages (mémoire explicite ou déclarative). Pour les personnes autistes les actions explorant **le rappel libre et la reconnaissance de matériel simple sont généralement correctement réalisées**. En revanche les actions explorant le rappel de stimuli plus complexes, verbaux et spatiaux sont souvent plus perturbées. La mémorisation de certains types d'informations liées au contexte est également déficitaire notamment dans les aspects sociaux (**difficultés pour l'évolution en palanquée**).

La mémorisation visuelle chez les personnes autistes peut être supérieure à la norme (facilité impressionnante à mémoriser des listes de nombres, à reproduire des dessins, à réaliser un puzzle de 2000 pièces). Néanmoins elle est souvent focalisée sur des détails plus que sur la globalité ; certains parlent de cécité contextuelle. Pour reconnaître un lieu, une personne autiste pourra mémoriser un détail (couleur de la chaise, son emplacement, l'intensité lumineuse). Si un détail est changé, elle peut avoir des difficultés à reconnaître le lieu ou la situation, ce qui rend son environnement hautement instable (**difficultés dans la reconnaissance du matériel de plongée par exemple**).

Hyper ou hypo sensorialité : l'autiste peut être très sensible aux variations sensorielles (lumière, bruit, odeur, texture...). Il existe plusieurs théories qui font appel soit à la sur stimulation (les informations sensorielles stimulent davantage les personnes autistes : elles peuvent ne pas s'habituer aux stimuli de l'environnement comme le tic-tac de l'horloge), soit à la sous-stimulation (les stimuli qui arrivent au cortex seraient traités de manière plus sélective).

Il découle de tous ces éléments qu'il importe, pour la pratique de la plongée subaquatique, de garder présente à l'esprit la nécessité de précautions particulières lors des contacts cutanés, la mise en place de la combinaison ou du masque, le contact avec l'eau... (Daclin 2010). Les difficultés de reconnaissance de l'environnement et du matériel et les spécificités visuelles limitent la surveillance habituelle de l'état psychique par échange de regards.

### **III-2.4 – Schizophrénie**

La schizophrénie est une maladie psychiatrique qui concerne environ 0,7 % de la population mondiale, dont 600 000 personnes en France. Elle est caractérisée par un ensemble de symptômes très variables tels que délires, hallucinations, retrait social et difficultés cognitives. Si la schizophrénie est une maladie chronique qui évolue en général par phases aiguës dans les premières années, elle se stabilise généralement avec des symptômes résiduels d'intensité variable selon les sujets. Au final, environ un tiers des patients sont en rémission durable après quelques années de traitement ce qui leur permet de reprendre une vie sociale, professionnelle, affective et donc sportive.

La littérature rapportant des expériences de plongée chez ces personnes est particulièrement rare. Des initiatives locales très intéressantes ont été rapportées : l'équipe de H. Brosseau (Auboire et coll. 2013) propose depuis plus de 10 ans d'utiliser la pratique de la plongée comme une approche thérapeutique chez des patients schizophrènes. L'hypothèse est que le milieu sous-marin est particulièrement adapté pour le patient psychotique et serait mobilisateur de mémoire archaïque et ancestrale. Le soignant plongeur va aider le patient à construire son cheminement personnel, le milieu sous-marin jouant une sorte de rôle de médiateur thérapeutique et de « mobilisateur » corporel. Un certain nombre de ces patients psychotiques sont traités par des médicaments psychotropes qui provoquent souvent ralentissement psychique et moteur et des troubles de la vigilance. Ils peuvent donc entraîner une baisse des capacités cognitives, ce qui peut poser des problèmes de sécurité en plongée, d'autant qu'ils sont parfois prescrits à des posologies très importantes.

Le patient psychotique bien stabilisé avec un traitement équilibré ne présente pas de troubles cognitifs liés au traitement. Bien au contraire, l'effet antidopaminergique des neuroleptiques permet au patient de mieux utiliser ses facultés psychiques (Auboire et coll. 2013). Plusieurs neuroleptiques sont réputés allonger la durée de l'intervalle QT faisant courir le risque de torsade de pointes (Ray et coll. 2009, Nielsen et coll. 2011). Un avis cardiologique pour guider le choix du médicament utilisé dans l'optique d'une pratique de la plongée est recommandé, même si la profondeur d'évolution est peu importante.

### **III-2.5-Points de vigilance en plongée communs aux handicaps mentaux, cognitifs et psychiques**

Compte tenu de la labilité clinique et des interactions individuelles et environnementales, le CACI ne peut présager l'état de la personne en situation de handicap mental cognitif ou psychique au moment de pratiquer une activité subaquatique.

L'encadrant ne peut se reposer uniquement sur le CACI, et doit mettre en œuvre une approche pédagogique adaptée :

- découvrir les intérêts et les motivations (point de départ),
- rendre les événements prévisibles (pas de surprise),
- ne pas hésiter à guider « physiquement »,

- veiller à ce que le regard vise bien ce que l'on propose, (difficultés de coordination oculo-manuelle),
- privilégier la progressivité en structurant les apprentissages, en ajoutant une difficulté à la fois, multiplier les étapes en décomposant et en fractionnant les tâches à réaliser,
- veiller à élargir les contextes : la même notion sera apprise successivement dans des contextes différents, pour espérer accéder à la généralisation.

**Il est recommandé que le médecin intervienne auprès de l'encadrant et insiste sur l'importance de rester vigilant et d'interroger à chaque séance l'entourage familial et éducatif sur les éventuels troubles psychiques ou comportementaux récents ou les améliorations perçues.**

#### **IV – CONCLUSION**

Les activités subaquatiques occupent une place privilégiée dans l'offre parfois très restreinte des pratiques sportives accessibles aux personnes les moins autonomes. Leur santé est souvent largement impactée par une faible mobilité ou des affections chroniques et les médecins ont un rôle essentiel dans la promotion de l'égalité des chances pour l'accès à la pratique sportive, conformément à la *loi n°2005-102 du 11 février 2005*. Plusieurs dispositifs de santé publique comme celui du Sport-Santé et leurs déclinaisons permettent désormais de relever ce défi.

Au-delà des contre-indications médicales développées par ailleurs dans cet ouvrage, et qu'il faudra dans tous les cas rechercher, la situation de handicap ne constitue pas en soi une contre-indication à la pratique des activités subaquatiques. Si la personne ne peut valider seule les aptitudes requises par le code du sport elle peut alors pratiquer avec un cursus adapté (tel Handisub<sup>®</sup>) et un encadrement spécialisé justifiant d'une formation spécifique. La détermination des capacités de la personne en situation de handicap doit résulter d'une évaluation conjointe entre le médecin et l'encadrant spécialisé de l'activité subaquatique, en tenant compte de la précieuse expérience des aidants et de la famille.

Chaque plongeur en situation de handicap peut passer d'un cursus spécialisé à un cursus standard et inversement selon ses compétences et ses capacités fonctionnelles qui peuvent varier selon de nombreux facteurs (type d'activité, dégradation du tableau clinique ou au contraire récupération post-traumatique, entraînements bénéfiques...).

#### **Dans cette optique, il est recommandé :**

- que le médecin examinateur ait des compétences spécifiques en plongée et dans la prise en charge du handicap et s'entoure de toutes les ressources complémentaires nécessaires ;
- que le suivi médical de la personne en situation de handicap soit recueilli dans un dossier. Il pourrait inclure les éléments transmis par l'encadrant spécialisé (nature des activités subaquatiques pratiquées, cursus spécialisé ou standard pour chacune d'entre elles, niveaux de compétences acquis, et progrès ou difficultés rapportés...). Si elle le souhaite, la personne en situation de handicap pourrait transmettre ces informations directement ou par l'intermédiaire de son représentant légal à ses encadrants spécialisés non-médecins.

### Recommandation n° 18

L'existence d'un handicap ne peut à elle seule constituer une contre-indication à la pratique des activités subaquatiques. Au contraire, ces dernières sont souvent le meilleur rempart contre les effets délétères de la sédentarité ou de l'isolement fréquemment observés chez les personnes en situation de handicap.

Le médecin doit s'assurer en premier lieu de l'absence de contre-indications conformément aux présentes recommandations. Si les capacités fonctionnelles du plongeur lors des activités avec immersion ne semblent, a priori, pas compatibles avec les aptitudes requises par le code du sport ou un cursus fédéral standard, il recommande sur le CACI une évaluation individuelle, en situation, par un encadrant spécialisé qui déterminera si le plongeur doit être orienté vers un cursus spécifique. Cette orientation peut évoluer dans le temps selon les progrès du plongeur ou l'aggravation de ses incapacités.

Cette évaluation de la situation de handicap requiert une double expertise médicale et technique conditionnée par une étroite coopération entre l'encadrant qualifié pour la prise en charge spécialisée des personnes en situation de handicap et le médecin possédant les connaissances nécessaires en médecine, physiologie et pratique des activités subaquatiques (techniques et procédures) et pour le suivi des déficiences et incapacités concernées. À défaut, il doit solliciter l'avis de confrère(s) spécialiste(s) de la discipline.

La consultation médicale doit se dérouler dans des conditions tenant compte des contraintes spécifiques de chaque situation de handicap (accessibilité, aide de vie, communication...) dans le respect du secret médical. L'interrogatoire et l'examen porteront sur l'analyse de la déficience et des pathologies associées.

Les examens complémentaires habituellement prescrits pour les plongeurs valides peuvent être complétés par des investigations complémentaires selon la pathologie concernée.

Pour les blessés médullaires :

- une IRM médullaire est recommandée en l'absence d'examen de référence de moins de 5 ans, à la recherche d'une cavité syringomyélique dont la présence et les caractéristiques peuvent justifier une contre-indication à la plongée en raison d'un risque accru d'aggravation du déficit neurologique par la répétition des manœuvres de Valsalva (2B) ;

- les points de vigilance à prendre en compte sont :

- la fragilité cutanée (escarres, brûlures, dermabrasions...),
- les troubles urinaires (infections, troubles vésico-sphinctériens...),
- les troubles de la thermorégulation,
- les troubles respiratoires (prévention de l'essoufflement),
- les troubles cardiovasculaires (risque d'hyperréflexie autonome pour les lésions supérieures à T6),
- les troubles digestifs (constipation, diarrhée, ballonnements, incontinence...),
- les douleurs chroniques (sus-lésionnelles nociceptives ou sous-lésionnelles neurogènes),
- la spasticité (la présence d'une pompe à perfusion implantée limite la plongée à 10 m),
- les troubles musculo-squelettiques (fractures, usure prématurée de l'appareil locomoteur par surutilisation des membres supérieurs...).

La déficience visuelle impose de mettre en place un moyen de communication fiable utilisant un autre canal que visuel.

La déficience auditive profonde devra faire appel à la langue des signes.

Pour les handicaps mentaux, cognitifs et psychiques, le rôle de l'encadrant est prépondérant : le certificat ne peut présager de l'état de la personne au moment de pratiquer l'activité subaquatique. La pratique repose sur une approche pédagogique adaptée, réévaluée à chaque séance, avec l'entourage familial et éducatif.

A l'issue de l'examen, le médecin transmet au pratiquant une synthèse de son évaluation et en informe son médecin traitant (s'il est différent) et les spécialistes sollicités pour l'expertise ou en charge du suivi du patient. Cette analyse résume les enjeux de la pratique sportive envisagée en listant les éventuels points de vigilance, les différents bénéfices attendus et confirme l'absence de contre-indication.

Des restrictions techniques justifiées par les données de l'examen médical peuvent être précisées sur le CACI et doivent permettre à l'encadrant d'adapter la pratique en tenant compte des difficultés techniques. Les activités de surface devront être privilégiées dans les situations extrêmes et la contre-indication définitive doit rester une exception.

---

## Références

- Adams MM, Hicks AL. Spasticity after spinal cord injury. *Spinal Cord* 2005; 43: 577-86.
- Albert T, Ravaut JF, Tetrafigap g. Rehabilitation of spinal cord injury in France: a nationwide multicentre study of incidence and regional disparities. *Spinal Cord*. 2005;43(6):357-65.
- Almeida MRG, 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.
- Almenoff PL, Alexander LR, Spungen AM, Lesser MD, Bauman WA. Bronchodilatory effects of ipratropium bromide in patients with tetraplegia. *Paraplegia*. 1995; 33(5): 274-7.
- Andersen LS, Biering-Sørensen F, Müller PG, Jensen IL, Aggerbeck B. The prevalence of hyperhidrosis in patients with spinal cord injuries and an evaluation of the effect of dextropropoxyphene hydrochloride in therapy. *Paraplegia*. 1992; 30(3): 184-91.
- Association suisse des paraplégiques. Paralyse médullaire. CH 6207 Nottwil; 2012. 16 p. Disponible sur : [https://www.spv.ch/\\_/frontend/handler/document.php?id=413&type=42](https://www.spv.ch/_/frontend/handler/document.php?id=413&type=42) (sept. 2019).
- Auboire G, Brosseau H, Hemmen JM, Guillard A, Gouriou F. La plongée sous-marine, une thérapie innovante pour les patients schizophrènes. *Revue Institutions* 2013; 52.
- Bauman WA, Spungen AM. Metabolic changes in persons after spinal cord injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2000; 11(1): 109-40.
- Ben-Dov I, Zlobinski R, Segel MJ, Gaides M, Shulimzon T, Zeilig G. Ventilatory response to hypercapnia in C(5-8) chronic tetraplegia: the effect of posture. *Arch Phys Med Rehabil*. 2009; 90(8): 1414-7.
- Biering-Sørensen F, Jennum P, Laub M. Sleep disordered breathing following spinal cord injury. *Respir Physiol Neurobiol*. 2009; 169(2): 165-70.

- Bjorgaas HM, Hysing M, Elgen I. Psychiatric disorders among children with cerebral palsy at school starting age. *Res Dev Disabil* 2012; 33(4): 1287-93.
- Brodbelt AR, Stoodley MA. Post-traumatic syringomyelia: a review. *J Clin Neurosci*. 2003; 10(4): 401-8.
- Brown R, DiMarco AF, Hoit JD, Garshick E. Respiratory dysfunction and management in spinal cord injury. *Respir Care*. 2006; 51(8): 853-68; discussion 869-70.
- Bull MJ, Committee on Genetics. Health supervision for children with Down syndrome. *Pediatrics* 2011; 128(2): 393-406.
- Bycroft J, Shergill IS, Chung EA, Arya N, Shah PJ. Autonomic dysreflexia: a medical emergency. *Postgrad Med J*. 2005 Apr;81(954):232-5. Review. Erratum in: *Postgrad Med J*. 2005 Oct;81(960):672. Choong, E A L [corrected to Chung, E A L].
- Candela AR. SCUBA diving for blind and visually impaired people. *J Visual Impair Blind* 1982; 76(5): 186-9.
- Cardenas DD, Hoffman JM, Kirshblum S, McKinley W. Etiology and incidence of rehospitalization after traumatic spinal cord injury: a multicenter analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004; 85(11): 1757-63.
- Caremél R, Hamel O, Gerardin E, *et al*. Syringomyélie post-traumatique : ce que doit savoir l'urologue ? *Prog Urol*. 2013; 23(1): 8-14.
- Cohen SP, Gilmore CA, Rauck RL, *et al*. Percutaneous Peripheral Nerve Stimulation for the Treatment of Chronic Pain Following Amputation. *Mil Med*. 2019; 184(7-8):e 267-e74.
- Collins, K. Temperature regulation in the autonomic nervous system. *In*: Mathias CJ, Banister R. (eds). *Autonomic Failure. A Textbook of Clinical Disorders of the Autonomic Nervous System*. Oxford University Press, Oxford. 1999, p. 92-9.
- Daclin C. La plongée subaquatique avec des enfants qui présentent un handicap mental : Conditions de réalisation, intérêt et limites. Mémoire DIU. 67 p. <https://tdah-dys-ted.com/2015/10/21/plongee-subaquatique-les-troubles-du-spectre-autistique-se-diffractent-ils-en-milieu-aquatique/> [19 août 2019].
- Davidoff G *et al*. Rehospitalization after initial rehabilitation for acute spinal cord injury: incidence and risk factors. *Arch Phys Med Rehabil* 1990; 71(2): 121-4.
- De Troyer A, Estenne M, Heilporn A. Mechanism of active expiration in tetraplegic subjects. *N Engl J Med*. 1986; 314(12): 740-4.
- Delmas L, Baye B. Réflexion sur les bénéfices de la plongée en bouteille chez les infirmes moteurs cérébraux. *Mot Cérébrale* 2009; 30: 135-41.
- Estenne M, De Troyer A. Mechanism of the postural dependence of vital capacity in tetraplegic subjects. *Am Rev Respir Dis*. 1987; 135(2): 367-71.
- Evans CT, Fitzpatrick MA, Jones MM, *et al*. Prevalence and Factors Associated With Multidrug-Resistant Gram-Negative Organisms in Patients With Spinal Cord Injury. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2017; 38(12): 1464-71.
- Fleming NC, Melamed Y. Report of a scuba diving training course for paraplegic and double leg amputees with an assessment of physiological and rehabilitation factors. *SPUMS J* 1977; 7: 19-35.
- Fridén J, Gohritz A. Novel concepts integrated in neuromuscular assessments for surgical restoration of arm and hand function in tetraplegia. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2012 Feb;23(1):33-50, ix-x.
- HAS. Autisme et autres troubles envahissants du développement. État des connaissances hors mécanismes physiopathologiques, psychopathologiques et recherche fondamentale. Haute

autorité de santé 2010. 32 p. [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2010-03/autisme\\_etat\\_des\\_connaissances\\_synthese.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2010-03/autisme_etat_des_connaissances_synthese.pdf) [17 sept 2019].

Haydn T, Brenneis C, Schmutzhard J, Gerstenbrand F, Saltuan L, Schmutzhard E. [Scuba diving – a therapeutic option for patients with paraplegia]. *Neuropsychiatr* 2007; 21(3): 226-9 [Allemand].

Helkowski WM, Ditunno JF Jr, Boninger M. Autonomic dysreflexia: incidence in persons with neurologically complete and incomplete tetraplegia. *J Spinal Cord Med.* 2003; 26(3): 244-7.

Hughenoltz H, Nelson RF, Dehoux E, Bickerton R. Intrathecal baclofen for intractable spinal spasticity--a double-blind cross-over comparison with placebo in 6 patients. *Can J Neurol Sci.* 1992; 19(2): 188-95.

Hsu E, Cohen SP. Postamputation pain: epidemiology, mechanisms, and treatment. *J Pain Res.* 2013; 6: 121-36.

Irving CA, Chaudhari MP. Cardiovascular abnormalities in Down's syndrome: spectrum, management and survival over 22 years. *Arch Dis Child* 2012; 97(4): 326-30.

Ivkovic D, Markovic M, Todorovic BS, Balestra C, Marroni A, Zarcovic M. Effect of a single pool dive on pulmonary function in asthmatic and non-asthmatic divers. *Diving Hyperb Med* 2012; 42(2): 72-7.

Jackson AB, Groomes TE. Incidence of respiratory complications following spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994; 75(3): 270-5.

Jackson AB, Dijkers M, Devivo MJ, Poczatek RB. A demographic profile of new traumatic spinal cord injuries: change and stability over 30 years. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(11):1740-8.

Jaspers Focks-Feenstra JH, Snoek GJ, Bongers-Janssen HM, Nene AV. Long-term patient satisfaction after reconstructive upper extremity surgery to improve arm-hand function in tetraplegia. *Spinal Cord* 2011; 49(8): 903-8.

Jiang SD, Jiang LS, Dai LY. Mechanisms of osteoporosis in spinal cord injury. *Clin Endocrinol (Oxf).* 2006; 65(5): 555-65.

Khan S, Plummer M, Martinez-Arizala A, Banovac K. Hypothermia in patients with chronic spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2007; 30(1): 27-30.

Kirshblum SC et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (revised 2011). *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 2011, 34:535-546. doi: <http://dx.doi.org/10.1179/204577211X13207446293695> PMID:22330108

Krassioukov AV, Karlsson AK, Wecht JM, Wuermsler LA, Mathias CJ, Marino RJ; Joint Committee of American Spinal Injury Association and International Spinal Cord Society. Assessment of autonomic dysfunction following spinal cord injury: rationale for additions to International Standards for Neurological Assessment. *J Rehabil Res Dev.* 2007; 44(1): 103-12.

Krause JS, Vines CL, Farley TL, Sniezek J, Coker J. An exploratory study of pressure ulcers after spinal cord injury: relationship to protective behaviors and risk factors. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001; 82(1):107–13.

Krebs J, Koch HG, Hartmann K, Frotzler A. The characteristics of posttraumatic syringomyelia. *Spinal Cord.* 2016; 54(6): 463-6.

Kruger EA, Pires M, Ngann Y, Sterling M, Rubayi S. Comprehensive management of pressure ulcers in spinal cord injury: current concepts and future trends. *J Spinal Cord Med.* 2013; 36(6): 572-85.

Kurtzke JF. Epidemiology of spinal cord injury. *Exp Neurol.* 1975; 48(3 pt. 2): 163-236.

- Lala D, Dumont FS, Leblond J, Houghton PE, Noreau L. Impact of pressure ulcers on individuals living with a spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014 Dec;95(12):2312-9.
- Ledsome JR, Sharp JM. Pulmonary function in acute cervical cord injury. *Am Rev Respir Dis.* 1981; 124(1): 41-4.
- Lewis MJ, Cohen EB, Olby NJ. Magnetic resonance imaging features of dogs with incomplete recovery after acute, severe spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2018; 56(2): 133-41.
- Lublin FD, Reingold SC, Cohen JA, et al. Defining the clinical course of multiple sclerosis: the 2013 revisions. *Neurology* 2014; 83(2): 278-86.
- Maimoun L, Ben Bouallegue F, Gelis A, *et al.* Periostin and sclerostin levels in individuals with spinal cord injury and their relationship with bone mass, bone turnover, fracture and osteoporosis status. *Bone.* 2019; 127: 612-9.
- Manickam V, Shott GS, Heithaus D, Shott SR. Hearing loss in Down Syndrome revisited - 15 years later. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2016; 88: 203-7.
- McCool FD, Pichurko BM, Slutsky AS, Sarkarati M, Rossier A, Brown R. Changes in lung volume and rib cage configuration with abdominal binding in quadriplegia. *J Appl Physiol* (1985). 1986; 60(4): 1198-202.
- McKinley WO, Jackson AB, Cardenas DD, DeVivo MJ. Long-term medical complications after traumatic spinal cord injury: a regional model systems analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999; 80(11): 1402-10.
- Mueller ME. Psychological benefits of scuba diving in the disabled: a survey. *Arch Phys Med Rehabil* 1992; 73(10): 1014.
- Myers J, Lee M, Kiratli J. Cardiovascular disease in spinal cord injury: an overview of prevalence, risk, evaluation, and management. *Am J Phys Med Rehabil.* 2007; 86(2): 142-52.
- Nair KP, Marsden J. The management of spasticity in adults. *BMJ.* 2014 Aug 5;349: g4737.
- Nielsen J, Graff C, Kanters JK, Toft E, Taylor D, Meyer JM. Assessing QT interval prolongation and its associated risks with antipsychotics. *CNS Drugs.* 2011; 25(6): 473-90.
- Noreau L, Noonan VK, Cobb J, Leblond J, Dumont FS. Spinal Cord Injury Community Survey: Understanding the Needs of Canadians with SCI. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2014; 20(4): 265-76.
- Novak HF, Ladurner G. [Scuba diving as a rehabilitation approach in paraplegia]. *Rehab (Stuttg)* 1999; (3): 181-4 [Allemand].
- OMS. Lésions de la moelle épinière – Perspectives internationales. Organisation mondiale de la santé. Genève ; 2013 : 276 p. Disponible sur : [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/131503/9783033046399\\_fre.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/131503/9783033046399_fre.pdf) [septembre 2019].
- Price MJ. Thermoregulation during exercise in individuals with spinal cord injuries. *Sports Med.* 2006; 36(10): 863-79.
- Rat D. Barotraumatisme d'une pompe à Baclofène en plongée sous-marine : à propos de deux cas. Mémoire pour l'obtention du DES de médecine physique et réadaptation. Université Rennes 1, 2017. 36 p.
- Ray WA, Chung CP, Murray KT, Hall K, Stein CM. Atypical antipsychotic drugs and the risk of sudden cardiac death. *N Engl J Med.* 2009; 360(3): 225-35. Erratum in: *N Engl J Med.* 2009; 361(18): 1814.
- Robinson MA, Barton GJ, Lees A, Sett P. Analysis of tetraplegic reaching in their 3D workspace following posterior deltoid-triceps tendon transfer. *Spinal Cord.* 2010; 48(8): 619-27.

- Rogers IR, Brannigan D, Montgomery A, Khangure N, Williams A, Jacobs I. Tympanic thermometry is unsuitable as a screening tool for hypothermia after open water swimming. *Wilderness Environ Med.* 2007 Fall;18(3):218-21.
- Rosenbloom L. Definition and classification of cerebral palsy. Definition, classification, and the clinician. *Dev Med Child Neurol Suppl* 2007; 109: 43.
- Shott SR, Joseph A, Heithaus D. Hearing loss in children with Down syndrome. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2001; 61(3): 199-205.
- Siddall PJ, Loeser JD. Pain following spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2001; 39(2): 63-73.
- Sinnott KA, Milburn P, McNaughton H. Factors associated with thoracic spinal cord injury, lesion level and rotator cuff disorders. *Spinal Cord* 2001; 38: 748-53.
- Trape P, Watelain E. Plongée sous-marine et déficience motrice : état de l'art. *Science & Sports* 2018 ; 33(supp 1) : S8-S10.
- van Asbeck FW, Post MW, Pangalila RF. An epidemiological description of spinal cord injuries in The Netherlands in 1994. *Spinal Cord.* 2000; 38(7): 420-4.
- van Loo MA, Post MW, Bloemen JH, van Asbeck FW. Care needs of persons with long-term spinal cord injury living at home in the Netherlands. *Spinal Cord.* 2010; 48(5): 423-8.
- Waites KB, Canupp KC, Chen Y, DeVivo MJ, Moser SA. Bacteremia after spinal cord injury in initial versus subsequent hospitalizations. *J Spinal Cord Med.* 2001; 24(2): 96-100.
- Wasner G, Lee BB, Engel S, McLachlan E. Residual spinothalamic tract pathways predict development of central pain after spinal cord injury. *Brain.* 2008; 131(Pt 9): 2387-400.
- Wendling J, Ehram R, Knessl P *et al.* Tauchtauglichkeit Manual Annex 3. Hyperbaric Editions, CH 2502 Biel-Bienne. 2002; p. 197-201. ISBN 3-9522284-0-0.
- Williams B. On the pathogenesis of syringomyelia: a review. *J R Soc Med.* 1980; 73(11): 798-806.
- Winslow C, Rozovsky J. Effect of spinal cord injury on the respiratory system. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003; 82(10): 803-14.
- Wyndaele M, Wyndaele JJ. Incidence, prevalence and epidemiology of spinal cord injury: what learns a worldwide literature survey? *Spinal Cord.* 2006; 44(9): 523-9.
- Xu G, Strathearn L, Liu B, O'Brien M, Kopelman TG, Zhu J, Snetselaar LG, Bao W. Prevalence and Treatment Patterns of Autism Spectrum Disorder in the United States, 2016. *JAMA Pediatr.* 2019; 173(2): 153-159.
- Zhang C, Chen K, Han X, Fu J, Douglas P, Morozova AY, et al. Diffusion Tensor Imaging in Diagnosis of Post-Traumatic Syringomyelia in Spinal Cord Injury in Rats. *Med Sci Monit.* 2018; 24: 177-82.
- Zhang XX, Qian KJ, Zhang Y, *et al.* Efficacy of coenzyme Q10 in mitigating spinal cord injury-induced osteoporosis. *Mol Med Rep.* 2015; 12(3): 3909-15.
- Zleik N, Weaver F, Harmon RL, *et al.* Prevention and management of osteoporosis and osteoporotic fractures in persons with a spinal cord injury or disorder: A systematic scoping review. *J Spinal Cord Med.* 2018: 1-25.
- Zwaigenbaum L, Penner M. Autism spectrum disorder: advances in diagnosis and evaluation. *BMJ.* 2018 May 21;361:k1674. doi: 10.1136/bmj.k1674.

## CHAPITRE XXVII

### LA PLONGÉE APRÈS L'ÉPIDÉMIE 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 subaquatiques 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](http://www.medsbhyp.fr).

La démarche repose sur les réponses fournies par les intéressés au questionnaire n° 1 : dépistage des cas suspects ou asymptomatiques. Après anamnèse et examen clinique complet, le médecin pourra, s'il le juge nécessaire, s'appuyer sur un examen sérologique pour orienter sa démarche.

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<sup>er</sup> janvier 2020 et n'ayant pas été en contact avec une personne infectée.

Le bilan médical sera effectué dans le cadre de la délivrance du CACI prévu par la réglementation. 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, test de marche de 6 minutes par exemple).

En présence d'éléments d'orientation au questionnaire ou d'une désaturation à l'effort (diminution de la SpO<sub>2</sub> d'effort de plus de 5 % par rapport à la SpO<sub>2</sub> 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 subaquatiques 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 tomodensitométrique 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.

**5. Enfin, si le sujet présente le jour de l'examen médical un épisode infectieux compatible CoViD-19,** le médecin pourra s'appuyer sur un examen par PCR pour établir le diagnostic selon les recommandations en vigueur. Le sujet sera revu après guérison.

Dans tous les cas où la reprise de la plongée est décidée alors qu'un antécédent d'infection CoViD-19 est certain ou probable, les plongées devraient privilégier des profils « non saturants », c'est-à-dire produisant peu ou pas de bulles, compte tenu de l'incidence élevée de l'agression endothéliale qui pourrait favoriser une réponse pathologique à une éventuelle agression bullaire.

En outre, en raison du déconditionnement lié à la période de confinement ou à la maladie elle-même et des inconnues qui existent sur la persistance de séquelles sur l'adaptation

physiologique du système cardio-pulmonaire aux contraintes de la plongée (immersion, ventilation sous pression, décompression) il est recommandé d'effectuer la reprise de manière très progressive pour les différents paramètres de la plongée (temps de plongée, profondeur, température de l'eau, efforts physiques).

<b>Questionnaire n° 1</b>			
<b>DÉPISTAGE DES CAS SUSPECTS OU SYMPATOMATIQUES</b>			
	OUI	NON	COMMENTAIRE
<b>Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2020, avez-vous ou quelqu'un de votre entourage a-t-il eu ou ressenti :</b>			
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			
<b>Avez-vous été :</b>			
Testé positif pour le Covid 19 ?			
En contact étroit <sup>1</sup> avec une personne positive pour le COVID-19 ou ayant eu certains des signes précédents ?			
<i><sup>1</sup> 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 :			

<b>Questionnaire n° 2 :</b>			
<b>DÉPISTAGE D'UNE SYMPTOMATOLOGIE À L'EFFORT</b>			
<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			
- A l'effort modéré (marche)			
- A 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: cvaa106.

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.

## CHAPITRE XXVIII

# RECOMMANDATIONS POUR LA FORMATION DES MÉDECINS DÉLIVRANT DES CERTIFICATS DE NON CONTRE-INDICATION AUX ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES

La plongée subaquatique, avec ou sans appareil de protection respiratoire, expose l'organisme à un certain nombre de contraintes exposées dans les chapitres VII et VIII.

Un organisme adulte jeune en bonne santé et condition physique pourra sans difficulté particulière autre que celle de l'apprentissage s'adapter à ces contraintes physiologiques en dessous d'une limite au-delà de laquelle, selon les paramètres de l'exposition et la fonction concernée, l'homéostasie n'est plus possible.

À l'inverse, un organisme atteint d'une pathologie quelconque, d'un déficit, d'un handicap, ou de séquelles d'une maladie ou d'un accident, verra ses capacités d'adaptation réduites et augmenter le risque d'une désadaptation au cours de la pratique, entraînant une augmentation du risque d'accident ou de sa gravité.

### 1.- NÉCESSITÉ D'UNE FORMATION MÉDICALE SPÉCIFIQUE

Il appartient au médecin de se prononcer sur l'état de santé de ces personnes et de délivrer un conseil ou une décision (selon le contexte réglementaire dans lequel il intervient) quant à la pratique des activités subaquatiques. Il peut s'agir de restrictions concernant la durée, la profondeur, les procédures ou le matériel, ou à l'extrême d'une éviction complète d'une ou plusieurs activités subaquatiques.

Délivrer de telles recommandations nécessite de posséder un corpus de connaissances englobant la physiologie de la plongée et de l'hyperbarie en général, la physiopathologie, la nosologie et la symptomatologie des accidents et leur prise en charge thérapeutique ainsi que les conditions dans lesquelles les sujets atteints de pathologies diverses peuvent ou non pratiquer la plongée. Un tel programme fait appel à des connaissances du domaine de différentes spécialités médicales : pneumologie, cardiologie, ORL, neurologie, psychiatrie, réanimation, physiologie de l'exercice et du sport, médecine d'urgence et aborde des domaines peu connus comme la physiopathologie de l'immersion ou les interactions ventilation – circulation.

La connaissance des activités et des pratiques de plongée, des programmes et de la progression des formations, des prérogatives des différentes catégories de plongeurs, du matériel et des procédures mises en œuvre est également nécessaire pour pouvoir prendre une décision et proposer des aménagements personnalisés.

Pour les pratiquants de la plongée récréative (c'est-à-dire à l'exclusion des compétitions), le code du sport<sup>1</sup> indique que les médecins qui participent aux actions de prévention et donc peuvent délivrer le certificat d'absence de contre-indication (CACI) sont les médecins de santé scolaire, les médecins du travail, les médecins militaires et les médecins généralistes en liaison avec les médecins spécialisés. Il précise toutefois qu'ils doivent avoir bénéficié de la *formation initiale [...] contenue dans le deuxième cycle des études médicales et [d'une] formation continue adaptée*. La formation initiale délivrée par les études médicales n'est donc pas suffisante aux yeux de la loi. La formation continue n'est pas optionnelle : il s'agit d'une obligation légale. Elle doit être adaptée.

De fait, les connaissances spécifiques nécessaires (effets de l'immersion sur les fonctions cardiovasculaires et ventilatoires au repos et à l'effort, thermorégulation immergée, fonctions microcirculatoire, saturation-désaturation en gaz inertes) ne sont en réalité pas abordées dans le cursus « normal » ou « habituel » de la plupart des UFR médicales car le temps disponible ne permet pas de les évoquer et jusqu'à présent la plupart des enseignants sont eux-mêmes très peu informés. Il en est de même en capacité de médecine de l'exercice et du sport. Pareillement, l'incidence de la croissance (enfance, développement) et du vieillissement physiologiques, du sexe sur les capacités nécessaires pour les activités physiques fréquentes (course, vélo, sports collectifs...) et *a fortiori* particulières (immersion, plongée) n'est jamais évoquée dans le cursus « de base » et encore très peu en capacité de médecine du sport. Or l'évolution des fonctions physiologiques impacte fortement l'adaptation et la tolérance aux contraintes spécifiques.

## 2.- LES FORMATIONS EXISTANTES

Il existe depuis plusieurs années en France des formations spécifiques dans le domaine de la médecine de la plongée.

Historiquement, la Marine nationale a été depuis Le Prieur, Cousteau et Dumas le moteur du développement de la plongée sous-marine autonome en France et au-delà. Le corps médical a accompagné ce développement et dès 1965, Lucien Barthélémy mettait en place au GERS (Groupe d'études et de recherches sous-marines) un stage de formation complémentaire pour les médecins ayant des plongeurs sous leur responsabilité. Sur une durée de deux semaines (environ 48 h de théorie et 12 h de pratique), étaient abordés la physiologie, la physiopathologie, les accidents de plongée et leur traitement, ainsi que les questions relatives à l'aptitude médicale et à la recherche des contre-indications. Plus de cinquante ans plus tard, cette formation perdure sous la forme d'un DPC intégré public, proposé par l'École du Val-de-Grâce (EVDG).

Il est rapidement apparu que la formation de base de deux semaines était insuffisante pour statuer sur les cas difficiles et suivre au plus près les plongeurs professionnels de la marine et des autres armées. C'est pourquoi le service de santé des armées créait en 1975 une filière de formation de spécialistes de médecine de la plongée comprenant, sur un cursus de formation continue durant 6 à 7 ans, outre la formation de base ci-dessus, une formation approfondie à la plongée, une formation universitaire, des périodes d'affectation dans les unités de plongeur de la marine et dans un service hospitalier de médecine hyperbare (hôpital Sainte-Anne à Toulon). Le cursus universitaire, initialement limité au DU de médecine hyperbare, a été étendu au DIU, à un DEA puis Mastère 2 et peut conduire à la soutenance d'une thèse. Ce

---

<sup>1</sup> Code du sport, art. L. 231-1.

Le cursus de formation a connu son couronnement en 2015 avec la création d'une agrégation de médecine de la plongée.

Les formations universitaires<sup>2</sup> délivrant les connaissances complémentaires spécifiques à la médecine de la plongée et le diplôme correspondant sont apparues dans les années 70 dans plusieurs universités pour répondre aux besoins locaux, liés au développement de la plongée de loisir ou professionnelle, aux chantiers de creusement de tunnels avec interventions hyperbares et au déploiement d'installations d'oxygénothérapie hyperbare dans un certain nombre d'hôpitaux. Ces enseignements ont été fédérés en 1992 par F. Wattel à Lille sous la forme d'un diplôme interuniversitaire (DIU) de médecine subaquatique et hyperbare. À l'heure actuelle :

- 13 universités organisent le DIU de médecine subaquatique et hyperbare ;
- le DESIU (diplôme d'études spécialisées interuniversitaires) de médecine hyperbare et médecine de plongée est organisé à Aix-Marseille II.

Le programme de ces enseignements se déroule sur un an, avec 100 h d'enseignement théorique et 40 h d'enseignement pratique.

Le CESU (Certificat d'Études Supérieures Universitaires) d'aptitude et de soutien sanitaire à la plongée d'Aix Marseille II reprend les modules généraux et de plongée du DIU.

Le programme du DESC de médecine du sport aborde la plongée subaquatique mais ne lui accorde qu'une place minime (2 à 5 heures selon les universités).

Dans le programme de la capacité de médecine et biologie du sport, le volume horaire consacré à la plongée subaquatique est extrêmement variable selon les universités : de 2 h 30 à 20 h (Université de Bretagne occidentale).

Les programmes de développement continu consacrés à la plongée répertoriés par l'ANDPC sont au nombre de deux pour 2020<sup>3</sup> (formations continues).

Au sein de la FFESSM, les commissions médicales régionales organisent des sessions d'information pour les médecins licenciés (médecins fédéraux) qui participent aux activités des clubs et en suivent les plongeurs. D'une périodicité variable (trimestrielle à annuelle), sans programme officiel ou formel, sans autre obligation que déontologique, ces sessions sont inégalement suivies, ne font pas l'objet d'un contrôle des connaissances et ne donnent pas lieu à une quelconque certification. Cependant, la liste des médecins fédéraux est rendue publique, et le règlement fédéral prévoit que dans un certain nombre de cas, le certificat d'absence de contre-indication à la plongée subaquatique doit être établi par un médecin fédéral.

### 3.- LES RECOMMANDATIONS EXISTANTES

Au niveau européen, le comité mixte ECHM-EDTC (*European Committee for Hyperbaric Medicine – European Diving Technology Committee*)<sup>4</sup>, association non gouvernementale d'experts, a défini trois niveaux de formation (ECHM-EDTC 2011) en médecine de la plongée et médecine hyperbare :

---

<sup>2</sup> Liste disponible sur : <https://www.conseil-national.medecin.fr/medecin/carriere/titres-mentions-autorises-plaques-ordonnances>

<sup>3</sup> <https://www.agencedpc.fr/formations-dpc-rechercher-un-dpc>

<sup>4</sup> <http://www.echm.org>

### **- Niveau 1 : Examen médical des plongeurs**

Réalisation des examens périodiques, recherche des contre-indications, décisions d'aptitude ou restrictions à l'issue. Ce niveau correspond à une formation spécifique mais limitée en médecine subaquatique et hyperbare (25 h de théorie, 3 h de pratique).

### **- Niveau 2<sup>5</sup> : Praticien en médecine de la plongée**

Réalisation des visites initiales pour la plongée (avant l'accès à la première formation) et des examens périodiques, recherche des contre-indications et décisions d'aptitude ou restrictions subséquentes. Évaluation pour la reprise après accident ou maladie.

Préparation des plans de sécurité pour les opérations de plongée, prise en charge des accidents de plongée.

Théorie : 56 h – Pratique : 24 h.

### **- Niveau 3 : Expert en médecine hyperbare ou médecine de la plongée**

Compétences de chef de service hospitalier (traitements et encadrement du personnel).

Compétent en management de la recherche.

Compétent en enseignement.

En France, MEDSUBHYP et la Société française de médecine du travail ont adopté et publié des recommandations conjointes pour le suivi en santé au travail des professionnels de la plongée et de l'hyperbarie (Méliet 2016). Elles s'adressent aux médecins du travail et préconise que ceux d'entre eux qui sont appelés à se prononcer sur l'aptitude de salariés à un poste de travail hyperbare (en plongée comme en atmosphère sèche) reçoivent une formation au moins équivalente au niveau 1 de l'ECHM-EDTC.

Pour la plongée de loisir, il n'existe actuellement pas de recommandation en la matière, hors les obligations déontologiques, et donc aucune assurance qualité du service médical rendu.

## **4.- QUELLE FORMATION RECOMMANDER ?**

La réglementation en vigueur accorde à tout médecin le droit de délivrer un CACI, pour peu qu'il ait suivi une formation continue adaptée.

Parmi les formations disponibles, celle offerte par le DIU (120 h) équivaut au niveau 2 de l'ECHM, tant pour la plongée que pour la médecine hyperbare. Le programme couvre largement le besoin et son volume est tel qu'il peut constituer un frein pour des médecins en exercice. Il présente cependant l'avantage d'être reconnu et validé par le CNOM, et de pouvoir être porté sur les ordonnances, lui conférant ainsi une sorte de publicité.

Le besoin existe cependant, à côté de cette formation que l'on pourrait qualifier de complète, d'une formation de niveau 1 ciblée sur l'aptitude médicale ou la recherche de contre-indications à la pratique de la plongée et des activités subaquatiques. Les objectifs pédagogiques seraient l'acquisition des connaissances et des compétences nécessaires à la délivrance du CACI et au conseil médical par les médecins généralistes.

Le programme de cette formation devrait couvrir, sur une durée limitée (1 semaine ouvrable semble un optimum), la physiologie, la physiopathologie et les accidents, les recommandations pour la recherche de contre-indications et la détermination de l'aptitude médicale et faire l'objet de plusieurs sessions annuelles de manière à s'adapter aux différents

---

<sup>5</sup> D comme *Diving*. Il existe également défini un niveau 2H pour les praticiens de médecine hyperbare.

agendas. Les organismes désireux de mettre en place ce type de formation devraient soumettre à l'ANDPC leurs éléments pédagogiques et faire reconnaître leur action comme formation intégrée.

Dans la mesure où la possession d'une compétence spécifique pour l'établissement d'un CACI (la formation continue adaptée prévue par l'art. L231-1 du code du sport) relève d'une disposition réglementaire, la Société de physiologie et de médecine subaquatique et hyperbare de langue française (MEDSUBHYP) aurait la possibilité juridique et technique de tenir à jour un fichier public des médecins compétents en médecine de la plongée, ayant fait la démarche de s'y inscrire.

### **Cas particulier de la prise en charge des personnes en situation de handicap**

Comme indiqué au chapitre XXVI, le médecin examinateur d'une personne en situation de handicap devrait également avoir bénéficié d'une formation lui permettant d'évaluer le handicap auquel il est confronté.

#### **Recommandation n° 19**

Il est fortement recommandé que les médecins qui délivrent des certificats d'absence de contre-indication aux activités subaquatiques sportives ou de loisir ou qui suivent l'état de santé des pratiquants d'activités subaquatiques aient reçu une formation de base correspondant au niveau 2 européen (standards ECHM-EDTC), entretenue par une pratique régulière et une formation continue.

Des formations spécifiques, plus courtes, centrées sur la recherche des contre-indications et la délivrance du CACI, pourraient être organisées et faire l'objet d'un enregistrement par la Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française.

---

### **Références**

ECHM-EDTC. Educational and training standards for physicians in diving and hyperbaric medicine 2011. Joint Educational Subcommittee of the European Committee for Hyperbaric Medicine (ECHM) and the European Diving Technical Committee. 2011; 62 p. <http://www.echm.org/ECHM-Documents.htm> [9 avril 2018].

Méliet JL. Recommandations de bonne pratique pour la prise en charge en santé au travail des travailleurs intervenant en conditions hyperbares. Bull Med Sub Hyp 2016, 26(2): 33-40. <https://www.medsubhyp.fr> [janvier 2019].

## ANNEXES

- Annexe I Tableau récapitulatif des examens médicaux recommandés
- Annexe II Les lois physiques régissant le milieu subaquatique et leurs conséquences physiologiques
- Annexe III Questionnaire de santé préalable à un examen médical pour la pratique d'activités subaquatiques
- Annexe IV Questionnaire de santé « QS-Sport »
- Annexe V Gille de lecture de l'ECG
- Annexe VI Notice d'information et questionnaire à l'adresse des chirurgiens-dentistes traitants
- Annexe VII Liste des contributeurs
- Annexe VIII Liste des relecteurs
- Annexe IX Table des abréviations
- Annexe X Fiche de retour d'expérience ou d'information

## Annexe I

### Tableau récapitulatif des examens médicaux recommandés

Quel que soit le cadre de l'examen médical (primo-accédant, renouvellement, reprise après accident ou maladie) la consultation du médecin généraliste comprend un interrogatoire avec administration du questionnaire de santé et un examen clinique complet et détaillé.

	Examens recommandés		Examens optionnels	Observations
	Primo-accédants	Renouvellement		
App. cardio-circulatoire	ECG  Bilan biologique à partir de 40 (H) ou 50 (F) ans.	Tous les 3 ans entre 12 et 20 ans puis tous les 5 ans jusqu'à 35 ans et au-delà si indication	Épreuve d'effort pour les sujets à risque Échocardiographie (sujets symptomatiques ou HTA) Recherche de FOP après ADD neurologique	Pas d'indication de recherche systématique du FOP
App. respiratoire	EFR ou courbe débit-volume si symptomatologie fonctionnelle au repos ou à l'effort	En fonction du contexte initial Si changement de tolérance à l'activité physique ou survenue d'épisode pathologique	EFR tous les 5 ans après 40 ans TDM faible dose sur indication (dépistage primaire) Pléthysmographie et TDMHD si antécédent de pneumothorax	Pas d'indication de la radiographie thoracique systématique
ORL	Voix chuchotée en champ libre ou acoumétrie Romberg sensibilisé	Si accident / élément pathologique intercurrent	Tympanométrie si Valsalva < 0 Audiométrie tonale si déficit suspecté	Pas d'indication de la radiographie systématique des sinus
App. locomoteur			IRM après accident de désaturation ostéo-articulaire	
Affections dentaires	Examen endo-buccal par chirurgien dentiste si anomalies		Radiographie ou TDM panoramique	
Gynécologie et grossesse				Pas de dépistage systématique de la grossesse
Gastro-entérologie	Avis spécialisé selon le contexte			
Neurologie et psychiatrie	EEG si antécédent épileptique		Recherche de FOP après accident neurologique / cutané de désaturation	
Dermatologie et allergologie	Avis spécialisé selon le contexte			
Hématologie			NFS Crase sanguine	En présence d'éléments évocateurs

Diabète	Glycémie à jeun HbA1c	À chaque examen périodique		Avis du diabétologue indispensable
Reins et fonction rénale	Créatinine plasmatique et DFG Protéinurie Rapport Albuminurie/créatinine urinaire	À chaque examen périodique		Sur indications : Diabète – HTA – maladie métabolique – rein unique – âge > 50 ans
Ophtalmologie	Acuité visuelle en vision de près et de loin	Autant que de besoin		
Enfant et adolescent (8 – 18 ans)	DEP  ECG 12 dérivations à partir de 12 ans	Tous les 3 ans	Boucle débit-volume si éléments évocateurs d'asthme Tympanogramme si immobilité tympanique	
Après 50 ans	ECG 12 dérivations  Épreuve d'effort	Annuel en cas de facteur de risque associé En présence de signes d'appel	EFR Radiographies articulaires Tests neurologiques	Recherche des altérations fonctionnelles liées à l'âge et des effets à long terme
Handicap	Évaluation individuelle en situation par encadrant spécialisé	Autant que de besoin		

## Annexe II

# LES LOIS PHYSIQUES RÉGISSANT LE MILIEU SUBAQUATIQUE ET LEURS CONSÉQUENCES PHYSIOLOGIQUES

## I – NOTION DE PRESSION

### 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 :  $P_{rel} = P_{abs} - P_{atm}$ .

### 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. Une ATA est par convention égale 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** :

## II – 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 en plongée. 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 ou prévoir les quantités de gaz contenu dans les récipients à haute pression.

## III – AUGMENTATION DE LA MASSE VOLUMIQUE DES GAZ AVEC LA PRESSION

L'augmentation de pression appliquée à une masse de gaz, contenue 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.

## IV – COMPOSITION D'UN GAZ

### IV.1.- PRESSION PARTIELLE, LA LOI DE DALTON

Lorsqu'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 :

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

## IV.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).

## V – DISSOLUTION DES GAZ DANS LES LIQUIDES

### V.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 l'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 :

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

## V.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.

## Annexe III

## QUESTIONNAIRE DE SANTÉ PRÉALABLE À UN EXAMEN MÉDICAL POUR LA PRATIQUE D'ACTIVITÉS SUBAQUATIQUES

Ce questionnaire est une aide à la décision médicale. Il restera confidentiel : les réponses relèvent du secret professionnel du médecin que vous consultez.

Nom : ..... Prénom : .....

Né(e) le : .....

Taille : ..... Poids : .....

Niveau de plongée ou activité subaquatique détenu : .....

Niveau de plongée ou activité subaquatique postulé : .....

Pour pratiquer la plongée, l'apnée ou une activité subaquatique, vous ne devez pas avoir de problème de santé qui risquerait d'être aggravé par cette activité ou de favoriser un accident.

La grossesse est une contre-indication temporaire à la pratique de la plongée et des sports subaquatiques. Elle ne contre-indique pas la pratique des activités en surface comme la nage avec palmes.

Il est recommandé de faire vérifier ses dents et de faire soigner les caries dentaires avant de plonger.

Toute prise de médicament, de produits dopants ou stupéfiants pouvant modifier le comportement, ou la consommation exagérée d'alcool est incompatible avec la pratique des activités subaquatiques.

Remplissez avec attention ce questionnaire en cochant la case "OUI" ou "NON". Si vous ne comprenez pas la question ou avez un doute, ne cochez pas de case, le médecin examinateur vous demandera des précisions.

	OUI	NON
Êtes-vous fumeur ou ancien fumeur ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fumez-vous du cannabis ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consommez-vous des boissons alcoolisées ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Êtes vous atteint(e) d'un handicap physique ou psychique ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Si vous êtes plongeur, avez-vous déjà été victime d'un accident de plongée ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Devez-vous bénéficier d'un traitement médical long, d'une intervention chirurgicale ou endoscopique, d'une hospitalisation dans les 6 prochains mois ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prenez-vous habituellement des médicaments ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avez-vous eu ou avez-vous :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- des problèmes d'audition, une surdité, des bourdonnements, des vertiges ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- des douleurs des oreilles dans l'eau, en avion ou en altitude ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- déjà fait un malaise grave, une perte de connaissance, une chute inexplicée ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- déjà fait des convulsions, une crise d'épilepsie, de tétanie ou de spasmophilie ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- des difficultés à monter un escalier, un essoufflement, une gêne pour des petits efforts ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- des difficultés pour certains gestes de la vie courante, besoin d'une aide ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- de problèmes de dépression, d'anxiété, des attaques de panique ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- un accident ou traumatisme grave (fracture, traumatisme crânien, thoracique ou abdominal) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avez-vous déjà consulté, été traité(e) ou opéré(e) pour :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- des problèmes cardiaques (insuffisance cardiaque, souffle au cœur, arythmie...) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- des problèmes circulatoires (artère ou veine bouchée, phlébite...) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- une hypertension artérielle (HTA) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- des problèmes respiratoires, de l'asthme, une bronchite chronique ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- une opération ou un traumatisme des poumons ou du thorax, un pneumothorax ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- une maladie métabolique ou endocrinienne (problème de glande ou d'hormones) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- du diabète, de l'hyperglycémie (excès de sucre) ou de l'hypoglycémie ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- des problèmes d'oreille (otite, perforation du tympan, surdité...) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- une affection des sinus ou du nez (sinusite, polype...), un autre problème ORL ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- une affection des yeux, une myopie sévère, anomalie de la cornée ou de la rétine ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- des problèmes dermatologiques, une affection cutanée ou de la peau ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- des problèmes neurologiques ou psychiatriques ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- une paralysie, une attaque ou un accident cérébral ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- une hernie discale, un problème de colonne vertébrale ou du rachis ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- une maladie de l'intestin, de l'estomac, de l'œsophage, du foie, de la vésicule biliaire ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- une tumeur, un cancer ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Disposez-vous d'une reconnaissance du handicap ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Commentaires libres :

*"Je certifie avoir lu et compris les questions auxquelles j'ai répondu ci-dessus et je certifie que mes réponses sont exactes et sincères".*

Fait le .....à .....

Signature :  
(du parent ou tuteur s'il s'agit d'un mineur)

## ANNEXE IV

Réf. : Code du sport

Annexe II-22 (art. A231-1) créé par arrêté du 20 avril 2017 - art. 2.

### QUESTIONNAIRE DE SANTÉ « QS-SPORT » RENOUVELLEMENT DE LICENCE D'UNE FÉDÉRATION SPORTIVE

Ce questionnaire de santé permet de savoir si vous devez fournir un certificat médical pour renouveler votre licence sportive.

**RÉPONDEZ AUX QUESTIONS SUIVANTES PAR OUI OU PAR NON.**

**DURANT LES DOUZE DERNIERS MOIS :**

**OUI NON**

- |   |                          |                          |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1) Un membre de votre famille est-il décédé subitement d'une cause cardiaque ou inexpliquée ?                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) Avez-vous ressenti une douleur dans la poitrine, des palpitations, un essoufflement inhabituel ou un malaise ?                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) Avez-vous eu un épisode de respiration sifflante (asthme) ?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) Avez-vous eu une perte de connaissance ?   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) Si vous avez arrêté le sport pendant 30 jours ou plus pour des raisons de santé, avez-vous repris sans l'accord d'un médecin ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) Avez-vous débuté un traitement médical de longue durée (hors contraception et désensibilisation aux allergies) ?               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

À ce jour :

- |  |                          |                          |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 7) Ressentez-vous une douleur, un manque de force ou une raideur suite à un problème osseux, articulaire ou musculaire (fracture, entorse, luxation, déchirure, tendinite, etc.) survenu durant les 12 derniers mois ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8) Votre pratique sportive est-elle interrompue pour des raisons de santé ?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9) Pensez-vous avoir besoin d'un avis médical pour poursuivre votre pratique sportive ?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

NB : Les réponses formulées relèvent de la seule responsabilité du licencié.

Si vous avez répondu NON à toutes les questions :

Pas de certificat médical à fournir. Simplement atteste, selon les modalités prévues par la fédération, avoir répondu NON à toutes les questions lors de la demande de renouvellement de la licence.

Si vous avez répondu OUI à une ou plusieurs questions :

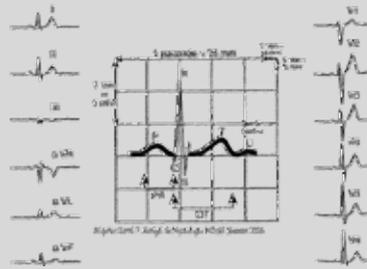
Certificat médical à fournir. Consultez un médecin et présentez-lui ce questionnaire renseigné.

**ANNEXE V**

**GRILLE DE LECTURE DE L'ECG**

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

1 petit carreau = 1 mm = 40 ms

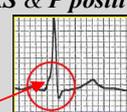
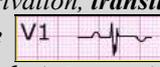


Date : .....  
 Nom : .....  
 Prénom : .....  
 Examineur : .....

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

**GRILLE DE LECTURE**

<input type="checkbox"/> Fréquence cardiaque	<i>50 &lt; fc &lt; 80 (1 carreau = 300, 2 = 150, 3 = 100, 4 = 75, 5 = 60) on tolère 1 ESSV (si arythmie penser HTA)</i>
<input type="checkbox"/> Absence d'arythmie	<i>rythme sinusal (P devant chaque QRS &amp; P positive en D1)</i>
<input type="checkbox"/> Onde P	<i>120 &lt; d &lt; 200 ms (3-5 mm)</i>
<input type="checkbox"/> Durée P-R	<i>Normal (positif en I &amp; aVF)</i>
<input type="checkbox"/> Axe QRS	<i>&lt; 120 ms (3 mm), pas d'onde delta,</i>
<input type="checkbox"/> Durée QRS	<i>tous identiques sur chaque dérivation, transition en V3-4</i>
<input type="checkbox"/> Complexe QRS	<i>si BBDi : point J isoélectrique</i>
<input type="checkbox"/> Onde Q	<i>NON ou de très faible amplitude (&lt;5 mm, &lt;1/3 onde R)</i>
<input type="checkbox"/> Point J et S-T	<i>Isoélectrique (sus ST en lat : repol précoce fréquente chez le sportif)</i>
<input type="checkbox"/> Ondes T	<i>Positives partout (sauf AVr et parfois V1) &amp; asymétriques</i>
<input type="checkbox"/> Durée intervalle Q-T	<i>320 &lt; d &lt; 440 ms (8 à 11 mm) à corriger avec la fréquence</i>
<input type="checkbox"/> Onde U	<i>NON ou de très faible amplitude</i>

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

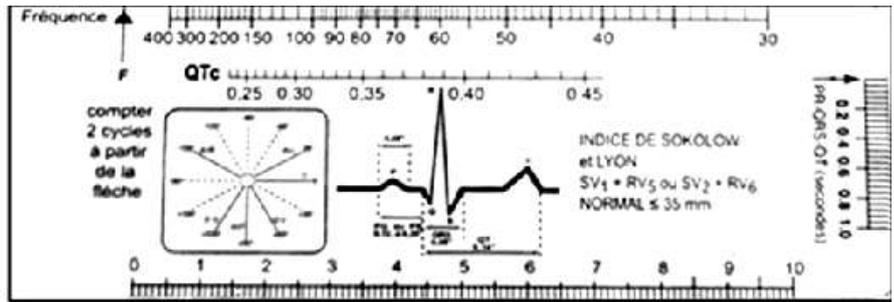
**1 case non cochée → RELECTURE ECG PAR CARDIOLOGUE, avec informations ci dessous**

<input type="checkbox"/> Obésité	<input type="checkbox"/> Tabac actif ou sevré < 3 ans	<input type="checkbox"/> HTA	<input type="checkbox"/> Dyslipidémie	<input type="checkbox"/> Diabète
----------------------------------	---	------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------

Age : ..... ATCD familiaux : .....

Traitement : .....

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



## 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 rabotage 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)

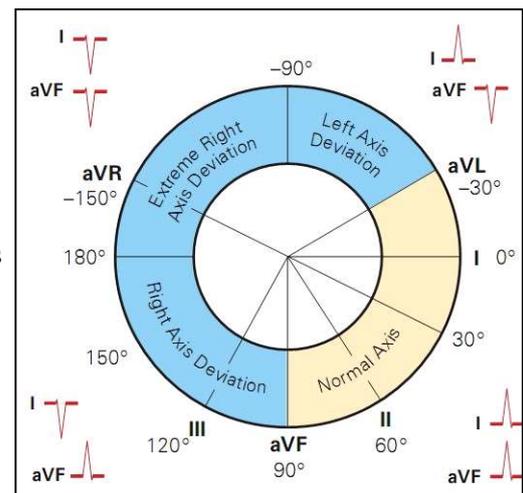
**Sus ST en V1, V2, raide, en selle + BBDi + ATCD familiaux = DANGER = Brugada.** Sus ST en « hamac », sans trouble repol, sans ATCD familiaux : RAS.

### 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 supraventriculairte
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

**ANNEXE VI****Notice d'information et questionnaire à l'adresse des chirurgiens-dentistes traitants**

Le patient que vous recevez en consultation pratique la plongée subaquatique à titre de loisir ou professionnel. Il existe un lien étroit entre cette pratique et la santé bucco-dentaire :

- Les variations de pression atmosphérique peuvent être à l'origine de fractures d'odontes, ou d'obturations (barotraumatismes dentaires) et de douleurs (barodontalgies).
- La pratique de la plongée constitue un facteur de risque de dégradation de certains états bucco-dentaires. Elle peut avoir un effet négatif sur la cicatrisation des tissus après un acte chirurgical (extraction, implantation, etc.).
- Les pressions exercées par les dents sur l'embout buccal peuvent être à l'origine de fractures dentaires, d'aggravation de mobilités dentaires, d'ADAM, etc.

Ces situations peuvent survenir chez des patients présentant ou non des pathologies bucco-dentaires. Elles justifient une prise en charge spécifique des patients plongeurs (tableau I). Des délais doivent être respectés entre la réalisation de certains soins bucco-dentaires et la pratique de la plongée (tableau II).

**Tableau I. Prise en charge odontologique du patient plongeur.**

<b>Domaines</b>	<b>Principes</b>
Examen périodique	Dépister les obturations défectueuses, les restaurations peu rétentives et les reprises de caries Dépister les ADAM et le bruxisme Réaliser des tests de vitalité pulpaire au niveau des dents porteuses d'obturations volumineuses Dépister les foyers infectieux (parodontaux et dentaires) Réaliser des clichés radiographiques ( <b>rétroalvéolaires</b> et si nécessaire un panoramique dentaire)
Traitement restaurateur	Cureter la totalité du tissu carieux et mettre en place un fond de cavité sous le matériau d'obturation Les obturations défectueuses (non étanches) doivent être déposées et refaites même en l'absence de reprise de carie
Traitement endodontique (plongée contre-indiquée pendant le traitement)	Proscrire les coiffages pulpaire directs Éviter les restaurations temporaires Éviter de laisser une cavité sous une obturation (coton, par exemple) Éviter de laisser des canaux non obturés
Traitement prothétique (plongée contre-indiquée pendant le traitement)	Optimiser la rétention des prothèses amovibles (privilégier les prothèses implantoportées) Éviter les scellements avec des ciments provisoires Sceller les prothèses à l'aide de ciments résine
Traitement parodontal	Réaliser une contention en cas de mobilité dentaire non physiologique
Chirurgie buccale	Éviter toute communication buccosinusienne Fermer de façon étanche le site opératoire en cas de communication buccosinusienne

**Tableau II. Traitements buccodentaires et durées de restriction de plongée.**

<b>Type d'acte</b>	<b>Durée de la restriction de plongée</b>
Endodontie	Éviter de plonger de la pose du diagnostic justifiant le traitement endodontique jusqu'à 24 heures après la disparition des symptômes une fois le traitement définitif réalisé
Soins conservateurs	De 24 à 72 heures après tout soin ayant nécessité une anesthésie locale (en fonction de la complexité du soin)
Chirurgie buccale simple (extraction)	1 ou 2 semaines de restriction de plongée
Chirurgie buccale complexe (greffes, interventions sur les sinus, etc.)	De 6 semaines à 2 mois après une greffe osseuse (en fonction du volume de la greffe) De 6 semaines à 2 mois après une chirurgie du sinus (comblement de sinus, etc.) Idéalement jusqu'à la cicatrisation confirmée par un chirurgien-dentiste
Communication buccosinusienne	2 semaines de restrictions de plongée Idéalement jusqu'à la cicatrisation confirmée par un chirurgien-dentiste
Prothèse fixée (couronnes, bridges)	Éviter de plonger durant le traitement prothétique Éviter de plonger avec une prothèse provisoire ou scellée provisoirement
Implantologie	À déterminer par l'implantologiste, au minimum de 5 à 8 semaines de restriction de plongée

## Questionnaire dentaire

**Merci de bien vouloir compléter ce questionnaire afin de fournir au médecin les informations lui permettant de statuer quant à l'absence de contre-indication chez votre patient à la pratique de la plongée subaquatique.**

Nom du patient : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

Date de naissance : \_\_\_\_\_

### Le patient présente-t-il :

Lésion carieuse	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Obturation défectueuse (non étanche)	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Obturation provisoire	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Hypersensibilité dentinaire	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Prothèse amovible (partielle ou totale)	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Prothèse scellée provisoirement	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Douleur ou gêne au niveau des ATM	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Mobilité dentaire non physiologique	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Traitement orthodontique en cours	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Traitement orthodontique programmé	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Des signes cliniques et/ou radiologiques de :		
Foyer infectieux endodontique	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Foyer infectieux parodontal	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>

**Le patient est-il en cours de soins ?** Oui  Non

Si oui, quel(s) type(s) reste(nt) à réaliser :

Implant  Avulsion  Autre chirurgie  Traitement endodontique  Prothèse

Autre  Précisez : \_\_\_\_\_

**Le patient a-t-il eu des soins dentaires au cours des 2 derniers mois :** Oui  Non

Si oui, quel(s) type(s) de soins :

Implant  Avulsion  Autre chirurgie  Traitement endodontique  Prothèse

Autre  Précisez : \_\_\_\_\_

Des clichés radiographiques rétrocoronaires ont-ils été réalisés durant la consultation ?

Oui  Non

Un panoramique dentaire a-t-il été réalisé ou consulté durant la consultation ?

Oui  À quelle date ? \_\_\_\_\_ Non

Des tests de vitalité ont-ils été réalisés sur les dents porteuses d'obturations volumineuses ?

Oui  Non

Date de l'examen : \_\_\_\_\_

Cachet du praticien : \_\_\_\_\_

**ANNEXE VII****Contributeurs****1/ Groupe de travail (créé le 27 janvier 2017)**

Blatteau Jean-Eric	Professeur agrégé du Val-de-Grâce Chef du service de médecine hyperbare, hôpital Sainte-Anne, Toulon
Barberon Bruno	Praticien hospitalier Service de médecine hyperbare, hôpital Sainte-Marguerite, Marseille
Borgnetta Marc	Chef du service médical de l'Institut national de la plongée professionnelle, Marseille
Constantin Pascal (jusqu'au 31/12/2018)	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) Ancien responsable du service de médecine hyperbare, hôpital du Val-de-Grâce, Paris
Couraud Fabrice	Médecin des Sapeurs-pompiers, Angoulême
D'Andréa Cyril (jusqu'au 15/11/2019)	Praticien hospitalier (réanimation) responsable du service de médecine hyperbare, centre hospitalier Sud, Saint-Pierre, Réunion
Di Meglio Fred	Oto-rhino-laryngologiste, Médecin du comité directeur national de la FFESSM (2017-2020)
Ducassé Jean-Louis (depuis le 30/6/2017)	Médecin des hôpitaux (réanimation – urgences) Hôpital Purpan, Toulouse
Galland François-Michel (jusqu'au 16/3/2018)	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) Médecin du travail, Toulon
Guerrero François	UFR Sciences du sport et de l'éducation, Université de Bretagne occidentale, Brest
Hugon Michel	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) Ancien chef du service de médecine hyperbare, hôpital Sainte-Anne, Toulon
Lafay Vincent	Cardiologue, Marseille
Letellier Pierre	Professeur Emérite Laboratoire Interfaces et Systèmes Electrochimiques (LISE, UMR8235) Sorbonne Université, Paris
Loddé Brice	Maître de conférence - Praticien hospitalier Université de Bretagne occidentale, Brest
Luis David (depuis le 22/2/2019)	Praticien hospitalier (réanimation médicale) Beauvais
Méliet Jean-Louis	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) Médecin du travail, Toulon

Pontier Jean-Michel	Spécialiste du service de santé des armées (médecine de la plongée) Conseiller santé pour la plongée humaine, Marine nationale, Toulon Médecin fédéral national de la FFESSM (2017-2020)
Regnard Jacques	Praticien hospitalier – Professeur des universités Université de Franche-Comté, Besançon
Rostain Jean-Claude	Directeur de recherche CNRS Faculté de Médecine Nord, Marseille
Thomas Emilie (jusqu'au 31/12/2017)	Service de Médecine Hyperbare, CHU Sainte Marguerite, Marseille
Wendling Jürg	Spécialiste en médecine de la plongée, Bienne, Suisse

## 2/ Experts rédacteurs

Abadie Isabelle	Praticien hospitalier – pédopsychiatre CH de Montauban
Calvet-Lefevre Jocelyne	Praticien hospitalier – pédopsychiatre CH Gérard Marchant - Toulouse
Guenin Michel	Médecin fédéral de plongée Handisport Annecy <a href="mailto:m.guenin@handisport.org">m.guenin@handisport.org</a>
Gunepin Mathieu	Equipe Résidente de Recherche Subaquatique Opérationnelle (ERRSO) Institut de Recherches Biomédicales des Armées, Toulon
Izard Philippe	Département d'anesthésiologie IUCT – Oncopole, Toulouse
Jaeck François	Avocat à la Cour Directeur exécutif du DAN EUROPE Legal Network (Diver Alert Network) 41000 Blois
Joulia Frédéric	Université de Toulon
Lormeau Boris	Diabétologue 93160 Noisy le Grand
Marmion Nicolas	Dermatologue PH CHU Sud - Saint Pierre (Île de la Réunion)
Meller Renaud	Praticien hospitalier Oto-Rhino-Laryngologiste Hôpital Nord - Marseille
Micoulaud-Franchi Jean-Arthur	Psychiatre CHU Pellegrin - Bordeaux
Orsini Frédéric	Ophtalmologiste Marseille
Pillet Bernard	Gastro-entérologie et hépatologie 77400 Lagny sur Marne
Piquet Jacques	Chef du pôle spécialités médicales DU de médecine subaquatique GHI Le Raincy-Monfermeil (93370) <a href="mailto:jg.piquet@orange.fr">jg.piquet@orange.fr</a>

Poncin Valérie	Ophtalmologiste Centre hospitalier - Dax
Schved Jean-François	PU-PH Hématologue CHU – 34295 Montpellier cedex 5 <a href="mailto:schvedjf@aol.com">schvedjf@aol.com</a>
Trape Pierre	DIU de médecine subaquatique et hyperbare Toulon <a href="mailto:pierre.trape@orange.fr">pierre.trape@orange.fr</a>

### 3/ Rédaction préparatoire

#### Introduction

Préambule J.L. Méliet

Méthodologie J.L. Méliet

#### État des lieux

Les différentes activités subaquatiques F. Di Meglio

À l'étranger J. Wendling

Aspects juridiques F. Jaeck

Étude des risques J.L. Méliet

Physiopathologie - Accidents J.E. Blatteau

Plongée en apnée F. Joulia

État des pratiques J. Wendling

#### Recommandations médicales

Conduite de l'examen médical J.L. Méliet – F. Di Meglio

ORL R. Meller – F. Di Meglio

Pneumologie B. Loddé – J. Regnard

Cardiologie V. Lafay

Appareil locomoteur J. Wendling

Neurologie et psychiatrie J.A. Micoulaud-Franchi

Ophtalmologie V. Poncin – F. Orsini

Affections dentaires M. Gunepin

Gynécologie – obstétrique E. Thomas

Dermatologie N. Marmion

Gastro-entérologie B. Pillet

Hématologie J.F. Schved

Fonction rénale J. Regnard

Diabète M. Borgnetta – B. Lormeau – J.L. Méliet

La plongée de loisir chez l'enfant et Ph. Izard – J.L. Ducassé – J. Regnard –

chez l'adolescent I. Abadie – J. Calvet

La plongée après 50 ans J.L. Ducassé – J. Regnard

Handicap et plongée J. Piquet – P. Trape – M. Guenin

Orientation de l'examen médical en F. Di Meglio

fonction de l'activité subaquatique

La plongée après l'épidémie CoViD-19 J. Regnard – J.L. Méliet

#### Recommandations pour la formation des médecins

J.L. Méliet

#### Annexes

Les lois physiques et leurs P. Letellier  
conséquences physiopathologiques

**ANNEXE VIII****Liste des relecteurs****MÉDECINS**

<b>Nom Prénom</b>	<b>Spécialité</b>	
Brouant Benoît	Cardiologue	Médecin fédéral national FFESSM 2016-17 57120 Creutzwald
Dall'Aqua David	Médecine d'urgence	Praticien hospitalier 03200 Vichy
Dubourg Laurence	Physiologie rénale et néphrologie	PU-PH Service d'exploration fonctionnelle rénale – néphrologie Hôpital Edouard Herriot 69003 Lyon
Finet Gérard	Cardiologue	PU-PH Cardiologie interventionnelle Hôpital cardiologique Louis Pradel 69500 Bron
Fortis André	Médecine générale DU médecine hyperbare	Médecin régulateur Centre de réception et de régulation des appels du SAMU 31 Toulouse
Grandjean Bruno	Médecine polyvalente Médecine hyperbare et subaquatique	Praticien hospitalier contractuel Service de médecine hyperbare Centre hospitalier Notre Dame de la Miséricorde 20303 Ajaccio
Grousset André	Médecine générale Médecine du sport	Médecin fédéral FFESSM 83260 La Crau
Henckes Anne	Médecine hyperbare Médecine du sport	Cheffe du service de médecine hyperbare CHRU Brest Présidente de la commission médicale et de prévention nationale de la FFESSM
Joffre Thierry	Médecine d'urgence Médecine hyperbare	Centre de médecine hyperbare Hôpital Edouard Herriot 69003 Lyon
Lévy Alain	Cardiologue DIU de physiologie et médecine de la plongée	Médecin fédéral FFESSM 75009 Paris
Louge Pierre	Médecine du sport Médecine d'urgence DIU de médecine subaquatique et hyperbare	Hôpital Sainte-Anne - Toulon Hôpitaux universitaires Genève
Lyoen Michel	Anesthésie – réanimation	PH (e.r.) CHU Saint-Etienne
Panchard Marc- Alain	Pédiatre – hyperbariste	Médecin associé au programme de médecine hyperbare Hôpitaux universitaires de Genève

Pauget Pierre	Médecine physique et rééducation Médecine du sport	38660 Saint Hilaire
Pignel Rodrigue	Médecine hyperbare	Hôpitaux universitaires Genève
Scavenec Catherine	ORL	PH chef de service Centre hospitalier de la Dracénie 83300 Draguignan
Schittly Bernard	Médecine générale Médecine du sport	Médecin fédéral FFESSM 67240 Bischwiller
Similowski Thomas	Pneumologie	PU-PH Chef du service de pneumologie, médecine intensive et réanimation Hôpital Pitié-Salpêtrière Paris
Souday Vincent	Réanimation Pneumologie Médecine subaquatique et hyperbare	Médecine intensive et réanimation Médecine hyperbare CHU 49933 Angers

**REPRÉSENTANTS DU MONDE SOCIO-PROFESSIONNEL**

<b>Nom Prénom</b>	<b>Fonction</b>	<b>Organisme</b>
Breton ép. Imbert Patricia	Professeur de sport, cadre technique national spécialisée en plongée subaquatique de loisirs	UCPA 06410 Biot
Chavas Eric	Moniteur de plongée Secrétaire général du syndicat des moniteurs de plongée salariés - CGT	SMPS-CGT- FERC 97125 Bouillante
Doll Thierry	Président de FranceActive Syndicat patronal professionnel national Fédération nationale des activités de plein air	FNEAPL 20233 Sisco
Lamarzelle Patrice	Secrétaire général de l'association nationale des moniteurs de plongée.	ANMP 06600 Antibes

**ANNEXE IX****Abréviations**

AAS	Acide acétylsalicylique
ADAM	Algie et dysfonctionnement de l'appareil manducateur
ADD	Accident de désaturation
AE	Angioœdème
AFLD	Agence française de lutte contre le dopage
AFNOR	Association française de normalisation
AINS	Anti-inflammatoire non stéroïdien
ALD	Affection de longue durée
ANDPC	Agence nationale du développement continu
ANMP	Association nationale des moniteurs de plongée
ANSM	Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ARA	Antagoniste des récepteurs de l'angiotensine
ARESUB	Association réunionnaise
AS	<i>Australian Standard</i>
ASIA	<i>American Spinal Injury Association</i>
ATA	Atmosphère absolue
ATM	Articulation temporo-mandibulaire
ATP	Autre titre de participation
AUT	Autorisation d'usage à des fins thérapeutiques
AVC	Accident vasculaire cérébral
BDV	Boucle débit - volume
BPCO	Bronchopneumopathie chronique obstructive
BSAC	<i>British Subaqua Club</i>
CACI	Certificat d'absence de contre-indication
CCAM	Classification commune des actes médicaux
CE	Commission européenne
CEN	Comité européen de normalisation
CEPHISMER	Cellule plongée humaine et intervention sous la mer de la marine nationale
CI	Contre-indication
CIM	Classification internationale des maladies
CMAS	Confédération mondiale des activités subaquatiques
CMPN	Commission médicale et de prévention nationale (de la FFESSM)
CMV	Cytomégalovirus
CNOM	Conseil national de l'Ordre des médecins
COVID	<i>Coronavirus disease</i>
CPAP	<i>Continuous positive airway pressure.</i>
CPT	Capacité pulmonaire totale
CRSC	Chorio-rétinopathie séreuse centrale
CVF	Capacité vitale fonctionnelle
DAN	<i>Divers Alert Network</i>
DEM	Débit expiratoire maximum
DES	Diplôme d'études spécialisées
DESC	Diplôme d'études spécialisées complémentaires
DESIU	Diplôme d'études supérieures interuniversitaires
DIU	Diplôme interuniversitaire

DLCO	Diffusion libre du monoxyde de carbone : capacité de diffusion alvéolo-capillaire pour le CO
DMLA	Dégénérescence maculaire liée à l'âge
DPC	Développement personnel continu
DRASSM	Département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines du ministère de la culture
DU	Diplôme d'université
DV	Déficience visuelle
EAPS	Établissement d'activité physique et sportive
ECG	Électrocardiogramme
ECHM	<i>European Committee for Hyperbaric Medicine</i>
EDTC	<i>European Diving Technical Committee</i>
EEG	Électroencéphalogramme
EFR	Exploration fonctionnelle respiratoire
FFESSM	Fédération française d'études et de sports sous-marins
FFH	Fédération française Handisport
FFSA	Fédération française du sport adapté
FNPSA	Fédération nationale de la pêche sportive en apnée
FOP	<i>Foramen ovale perméable</i>
FR	Fréquence respiratoire
FSGT	Fédération sportive et gymnique du travail
GNPU	Groupement national de plongée universitaire
GT	Groupe de travail
GTÜM	<i>Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin</i> (Société allemande de médecine de plongée et hyperbare)
HAS	Haute autorité de santé
HCG	Hormone chorionique gonadotrope
HTA	Hypertension artérielle
IANTD	<i>International Association of Nitrox and Technical Divers</i>
ICF	<i>International classification of functioning, disability and health</i>
IEC	Inhibiteur(s) de l'enzyme de conversion
IgE	Immunoglobuline E
IMC	Infirmes moteurs cérébraux
IMC	Indice de masse corporelle
IME	Institut médico-éducatif
INR	<i>International Normalised Ratio</i>
INRS	Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des maladies professionnelles et des accidents du travail
IRM	Imagerie par résonance magnétique
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JO	Journal officiel
JORF	Journal officiel de la République Française
LDL	<i>Low Density Lipoprotein</i>
LRPO	Lentille rigide perméable à l'oxygène
LSH	Lentille souple hydrophile
MAPA	Mesure ambulatoire de la pression artérielle
MEDSUBHYP	Société de physiologie et de médecine subaquatiques et hyperbares de langue française
MICI	Maladie inflammatoire chronique intestinale
NAP	Nage avec palmes
NAUI	<i>National Association of Underwater Instructors</i>

NFS	Numération formule sanguine
OAP	Œdème aigu du poumon
ÖGTH	<i>Österreichische Gesellschaft für Tauch- und Hyperbarmedizin</i> (Société autrichienne de médecine de plongée et hyperbare)
OND	Ostéonécrose dysbarique
OPI	Œdème pulmonaire d'immersion
ORL	Oto rhino laryngologie
PA	Pression artérielle
PADI	<i>Professional Association of Diving Instructors</i>
PESH	Plongeur en situation de handicap
PPC	Pression positive continue
PSP	Plongée sportive en piscine
QI	Quotient intellectuel
QS	Questionnaire de santé
RSTC	<i>Recreational Scuba Training Council</i>
SA	Semaines d'aménorrhée
SaO <sub>2</sub>	Saturation en oxygène du sang artériel
SAOS	Syndrome d'apnées obstructives du sommeil
SDG	Shunt droite - gauche
SEP	Sclérose en plaques
SFMES	Société française de médecine de l'exercice et du sport
SIMSI	<i>Società Italiana di Medicina Subacquea ed Iperbarica</i>
SNHP	Syndrome nerveux des hautes pressions
SNMP	Syndicat national des moniteurs de plongée
SPLF	Société de pneumologie de langue française
SPUMS	<i>South Pacific Underwater Medicine Society</i>
SSI	<i>Scuba Schools International</i>
SSMSH	Société Suisse de médecine subaquatique et hyperbare
SUHMS	<i>Swiss Undersea and Hyperbaric Society</i>
TA	Tension artérielle
TDM	Tomodensitométrie
TLCO	Transfert libre du monoxyde de carbone ( <i>idem</i> DLCO)
UCI	Urticaire chronique inductible
UCPA	Union nationale des centres sportifs de plein air
UCS	Urticaire chronique spontanée
UFR	Unité de formation et de recherche
UHMS	<i>Underwater and Hyperbaric Medical Society</i>
UKDMC	<i>United Kingdom Diving Medical Council</i>
UVPP	Uvulo-vélo-pharyngo-plastie
VD	Espace mort (ventilatoire)
VDST	<i>Verband Deutscher Sporttaucher</i> (fédération allemande de plongée)
VEGF	<i>Vascular Endothelial Growth Factor</i> – Facteur de croissance de l'endothélium vasculaire.
VEMS	Volume expiratoire maximum par seconde
VF	Volume de fermeture
VR	Volume résiduel
VT	Volume courant
WHO	<i>World Health Organization</i> – Organisation mondiale de la santé

## ANNEXE X

### Fiche de retour d'expérience ou d'information

Fiche à adresser à : [conseilscientifique@medsubhyp.fr](mailto:conseilscientifique@medsubhyp.fr) (une fiche par recommandation)

**Rédacteur :**

**Date :**

Nom :

Prénom :

Qualité ou spécialité :

Adresse :

Concerne la recommandation n° : ...

Texte concerné	Observations, propositions de modification ou d'évolution
Bibliographie à l'appui :	

Un modèle de cette fiche en format \*.doc est disponible sur le site [www.medsubhyp.fr](http://www.medsubhyp.fr).

© Medsubhyp 2020