

Titres :

Évaluation des Pratiques en Plongée Trimix Recycleur en France et Accidentologie Déclarée.

An Overview of Rebreather Trimix Diving Practices in France and Self-reported Accidentology.

Titres courts :

Pratiques et accidentologie chez les plongeurs techniques français.

Practices and accidentology in French technical divers' community.

Auteurs :

E. Gouin^{1*}, F. Guerrero¹, J-É. Blatteau²

1 – Univ Brest, Laboratoire ORPHY EA 4324. 6 Av. Le Gorgeu - 29200 BREST, France

2 – Service de médecine hyperbare et d'expertise plongée (SMHEP). Hôpital d'Instruction des Armées Sainte-Anne. 2 Bvd. Sainte-Anne - 83000 TOULON, France

*Auteur correspondant :

Emmanuel Gouin

Laboratoire ORPHY, EA 4324, Université de Bretagne Occidentale, 6 Av. Le Gorgeu - 29200 BREST, France. Tel +33 2 98 01 62 67. e-mail : emmanuel.gouin@univ-brest.fr

Évaluation des Pratiques en Plongée Trimix Recycleur en France et Accidentologie Déclarée.

RESUME

Objectifs : Le développement des recycleurs, associé à l'utilisation de mélanges respiratoires à base d'hélium, a permis la démocratisation de la plongée « Tek » profonde au-delà de 50 mètres. La planification de ces plongées reste un sujet largement débattu dans la communauté. De plus, l'accidentologie pourrait différer de ce qui est classiquement observé en plongée loisir à l'air et être largement sous déclarée. L'objectif de cette étude était de faire un état des lieux des pratiques et de l'accidentologie en plongée trimix recycleur.

Méthodes : Un questionnaire anonyme a été diffusé sur les réseaux sociaux à destination des plongeurs certifiés trimix recycleur résidants en France. Les données démographiques, de planification et les symptômes anormaux au décours des plongées étaient recherchées. Il s'intéressait également au comportement des plongeurs en cas de symptômes.

Résultats : 194 questionnaires ont été analysés. La population était principalement masculine (96.4 %), majoritairement âgée de plus de 46 ans avec un haut niveau de certification et plongeant dans un cadre récréatif. La planification différait selon les profils de plongée visés avec une très grande variabilité inter-individuelle. La densité des gaz en profondeur dépassait fréquemment les recommandations. Parmi les répondants, 9.8 % déclaraient avoir expérimenté des symptômes évocateurs de toxicité des gaz, principalement liée à de la narcose à l'azote. Trente-quatre pourcents ont présenté des signes évocateurs d'accident de décompression (ADD) au cours de leur pratique pour une incidence estimée à 27 / 10 000 plongées et 3.6 % décrivaient des difficultés respiratoires persistantes pouvant évoquer un œdème pulmonaire d'immersion. En cas d'ADD seulement 42 % recevaient de l'oxygène normobare, 35 % recherchaient un avis médical et 29 % de l'oxygénothérapie hyperbare. Trois avaient déclaré conserver des séquelles.

Conclusion : La variabilité des pratiques souligne le manque de données scientifiques fortes soutenant celles-ci. L'accidentologie en plongée trimix pourrait être supérieure à la plongée loisir mais avec des tableaux le plus souvent peu sévères. Les prises en charge restent trop souvent négligées malgré le haut niveau de connaissances des plongeurs. Le pronostic semble toutefois le plus souvent favorable. Il apparaît essentiel de poursuivre les recherches sur la décompression et les effets physiologiques de ces plongées particulières. Enfin, les efforts de sensibilisation et d'éducation aux premiers soins en plongée doivent être poursuivis auprès de cette communauté exposée.

Mots clés : Plongée technique, Accident de décompression, Incidents, Épidémiologie, État de Santé

An Overview of Rebreather Trimix Diving Practices in France and Self-reported Accidentology.

ABSTRACT

Objectives: The democratization of deep technical diving beyond 50 meters was enabled by the development of rebreather and the use of helium-based breathing mixtures. Dives planification remains a widely debated topic in technical diving community. In addition, accident pattern could differ from what is classically observed in recreational scuba diving and must be largely under-reported. The aim of this investigation was to describe practices and accidentology in mixed-gas rebreather diving.

Methods: An anonymous survey was conducted on social networks in destination to French residents certified trimix rebreather divers. Demographic data, planification habits and occurrence of post-dive abnormal symptoms were sought. Actions taken regarding onset of symptoms were also investigated.

Results: 194 questionnaires were analysed. Most of respondents were male (96.4%), mostly aged over 46 years with a high level of certification and for recreational purpose. The dive plans varied depending on the dive profiles with a very high inter-individual variability. Gas density at depth frequently exceeded the recommendations. Among the respondents, 9.8% declared having experienced symptoms suggestive of gas toxicity, mainly linked to nitrogen narcosis. Thirty-four percent reported experiencing evocative symptoms of decompression sickness (DCS) in their trimix dive history for an estimated incidence of 27 / 10 000 dives and 3.6% described persistent breathing difficulties which could suggest immersion pulmonary oedema. In case of DCS evocative symptoms, only 42 % received normobaric oxygen, 35 % sought medical advice and 29 % got hyperbaric oxygen therapy. Three reported having long term residual symptoms.

Conclusion: The diversity of practices highlights the lack of strong scientific data supporting them. The accident rate in mixed-gas diving could be higher than in recreational diving, though mostly with mild severity. Treatment seems to be remained neglected despite the high level of knowledge of divers. However, the prognosis seems most often favourable. It appears essential to continue research into decompression and physiological effects of these dives. Awareness and education efforts in diving first aid must be continued among this exposed community.

Key words: Technical diving, Decompression illness, Incidents, Epidemiology, Health status

1. INTRODUCTION

Durant les 20 dernières années, nous avons observé une démocratisation de la plongée aux mélanges dans la communauté des plongeurs techniques dit « Tek » en lien avec le développement d'équipements spécialisés. Le recycleur est un dispositif permettant la réutilisation et l'épuration du gaz expiré dans une boucle fermée ou semi-fermée (c-à-d avec une perte minimale de gaz). L'apport de gaz se fait par une bouteille de gaz diluant et une bouteille d'oxygène pur compensant les besoins métaboliques. Cela permet d'adapter le mélange gazeux au cours de la plongée et augmente l'autonomie. Son expansion tend à rendre marginale l'utilisation du circuit ouvert classique pour ce type de plongée profonde au-delà de 50 m. Il n'y a pas de définition universelle de la plongée Tek, mais il est communément admis qu'elle se réfère à l'utilisation de mélanges gazeux à base d'hélium (Trimix ou HélioX) et permet des plongées plus longues et plus profondes que ce qui est habituellement permis par la plongée à l'air (1).

L'ensemble des agences de certification considère un niveau minimal avancé en plongée loisir, associé le plus souvent à une expérience aux mélanges suroxygénés (Nitrox), pour prétendre à une formation recycleur et Trimix (2,3). La communauté Tek apparaît donc expérimentée avec un niveau de connaissances plus important que celle des plongeurs loisirs dont elle dérive (4). Les caractéristiques spécifiques, les habitudes et les pratiques de plongeurs Tek sont peu documentées. Le profil de risque semble différer de ce qui est habituellement reconnu en plongée loisir (toxicité des gaz, défaillances techniques plus nombreuses, profil de plongée...) (1,5). De plus, la mortalité qui y est associée est également plus importante (6). Le haut niveau d'entraînement associé à une sensibilisation particulière aux risques pourrait influencer la planification de ces plongées et les comportements en cas d'incident ou d'accident.

L'optimisation de la décompression des plongées aux mélanges reste un des sujets les plus débattus en plongée Tek et s'appuie sur des modèles empiriques non validés dans ce cadre de pratique (7). L'augmentation des profondeurs et des durées de plongée entraînent une augmentation de l'absorption de gaz inertes par l'organisme. Lors de la remontée, la pression ambiante diminue, ce qui peut conduire à la formation de bulles circulantes. Celles-ci sont présumées être le facteur déclenchant des mécanismes physiologiques à l'origine des accidents de décompression (ADD) et l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) en reste le traitement de référence (8). Une étude récente a montré, chez des plongeurs Tek finlandais, que la majorité des symptômes anormaux était soit négligés, soit pris en charge par les plongeurs eux-mêmes sans recherche d'un avis médical ni d'OHB (9). Une sous-déclaration des accidents est probable dans cette population comme cela a déjà été mis en évidence chez les plongeurs loisirs (10). Un nombre important de plongées Tek sont réalisées en sécurité mais l'incidence des accidents ainsi que leur prise en charge restent à ce jour mal connues. L'analyse des cas ayant recours à un centre hyperbare n'en serait alors qu'une vision parcellaire. La compréhension de cette activité améliorerait l'évaluation et l'analyse des risques spécifiques par la communauté médicale. Il semble important d'avoir des connaissances sur la démographie, la formation, les habitudes et les données de santé pour mieux répondre aux besoins des plongeurs.

L'objectif de notre travail était de décrire le profil des plongeurs recycleurs résidents en France ainsi que leurs pratiques habituelles en plongée profonde trimix. Il s'intéressait également à l'apparition de symptômes évocateurs d'accidents dans le cadre de cette pratique et les réactions des plongeurs vis-à-vis de ceux-ci.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Participants

Une enquête transversale a été menée sous forme d'un questionnaire anonyme en ligne Google Forms (Google LLC, Ca, USA). Celui-ci a été préalablement testé par un échantillon de 10 plongeurs recycleur pour réduire le risque de mauvaise interprétation des questions. Il a été diffusé au travers de groupes Facebook® dédiés à la plongée technique (mots clés : plongée technique, tek, trimix, recycleur, etc.) du 21 décembre 2021 au 20 février 2022 auprès des plongeurs résidants en France. Seuls ceux ayant une qualifications trimix recycleur étaient invités à répondre. La participation était volontaire et le temps de réponse était estimé à dix minutes. Seuls les questionnaires complètement remplis étaient envoyés puis analysés. Cette étude a été approuvée par l'Officier de Protection des Données de l'Université de Brest en accord avec la législation européenne RGPD (ref-21042). Elle adhère aux principes de la déclaration d'Helsinki et respecte la méthodologie de référence MR004 de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL).

2.2 Questionnaire

La première partie du questionnaire s'intéressait aux données démographiques et aux pratiques des plongeurs en termes d'expérience, d'activité, de matériel et d'environnement de plongée. Les potentiels facteurs de risque en plongée étaient recherchés comprenant l'obésité (définie par un indice de masse corporelle $IMC \geq 30 \text{ kg.m}^{-2}$), le tabagisme, l'hypertension artérielle (HTA), le diabète, les pathologies cardiaques (antécédant d'infarctus du myocarde, pathologie valvulaire ou trouble du rythme) et la faible activité physique (définie par une activité d'intensité modérée inférieure à 60 minutes par semaine).

La deuxième partie portait sur les approches individuelles en termes de planification et comprenait le choix des gaz, l'algorithme de décompression utilisé, les pressions partielles d'oxygène (P_{O_2}) ainsi que l'auto-ajustement des limites d'exposition par l'utilisation des facteurs de gradient (GF). Plusieurs profils classiques de plongée étaient proposés pour examiner ces habitudes : 50 mètres avec une durée totale de remontée (DTR) < 60 minutes, 50 mètres avec une DTR > 60 minutes, 80 et 100 mètres. La densité du mélange respiratoire était calculée en prenant en compte le mélange diluant et la P_{O_2} déclarés à la profondeur maximale. La profondeur narcotique était également calculée tout comme la P_{O_2} du mélange diluant (1).

La troisième partie explorait la survenue de symptômes inhabituels, leur prise en charge ainsi que les éventuelles séquelles à distance. Le questionnaire était conçu pour décrire des symptômes cliniques subjectifs pouvant évoquer une pathologie en lien avec la plongée plutôt que de porter un diagnostic qui nécessiterait une évaluation clinique systématique par un médecin. Cette description reposait sur les données médicales actuelles (8,10). La classification actuelle des ADD permettait de séparer les symptômes évocateurs d'atteintes suspectées « modérées » (fatigue et douleur musculosquelettique) ou « sévères » (vestibulaire et neurologique) (8).

2.3 Analyse statistique

L'analyse statistique a été effectuée avec le logiciel GraphPad Prism v9.0.2 (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA). Les données quantitatives étaient exprimées en moyenne \pm écart type et les données qualitatives étaient présentées en pourcentages et effectifs. Les comparaisons multiples de variables quantitatives non appariées étaient effectuées par un test

99 non paramétrique de Kruskal-Wallis suivie d'une analyse post hoc par un test de Dunn. Les
100 données qualitatives du comportement des plongeurs face à des symptômes évocateurs
101 d'accident étaient analysées par un test du χ^2 lorsque les effectifs le permettaient ou un test
102 exact de Fischer le cas échéant. Le seuil de significativité était fixé à $p < 0,05$.

103 104 **3. RESULTATS**

105
106 Au total, 195 questionnaires ont été complétés. Un questionnaire a été exclu de l'analyse pour
107 données incohérentes. Parmi les répondants, 96,4 % (n=187) sont des hommes et 3,6 % (n=7)
108 des femmes. Le tableau 1 montre les données démographiques et de santé de la population. Au
109 moins un fait de santé considéré comme un facteur de risque en plongée est déclaré par 41,8 %
110 (n=81) et concerne exclusivement des hommes dont 23,5 % (n=19) cumulent plusieurs de ces
111 facteurs. Parmi eux, 73,7 % (n=14) cumulent obésité avec un ou deux autres facteurs de risque
112 sans que cette association ne soit significative ($\chi^2 = 2$, $df = 1$, $p = 0,2$).

113 114 **3.1 Habitudes de pratiques et expérience en plongée Trimix**

115
116 Le lieu de résidence principal est situé en France métropolitaine pour 89,7 % (n=174) des
117 plongeurs et 10,3 % (n=20) dans les territoires d'Outre-Mer. La pratique se fait principalement
118 dans le pays de résidence pour 79,9 % (n=155) d'entre eux et 4,6 % (n=9) à l'étranger. Trente
119 (15,5 %) indiquent une répartition à peu près égale. Les plongées sont réalisées uniquement en
120 mer pour 51 % (n=99) des plongeurs. La plongée en carrière est pratiquée par 28,9 % (n=56) et
121 la plongée sous-terrain par 30,4 % (n=59) des répondants. Une combinaison étanche est
122 utilisée par 79,4 % (n=154) des plongeurs dont 31,2 % (n=48) qui l'associent à un système de
123 chauffage.

124
125 La plongée recycleur trimix est pratiquée dans un cadre récréatif pour 75,5 % (n=139) des
126 répondants. Trente-deux (16,5 %) cumulent plusieurs cadres de pratique. L'activité
127 professionnelle est répartie entre moniteur/instructeur pour 19,6 % (n=38) et les autres activités
128 professionnelles (militaire, science, média...) pour 11,9 % (n=23). Aucune femme ne déclare
129 d'activité professionnelle en plongée aux mélanges. Cent-dix (58,8 %) déclarent une affiliation
130 à plus d'une agence de certification en plongée. Les agences les plus représentées sont
131 respectivement la FFESSM (n=124, 63,9 %), Technical Diving International (TDI) (n= 122,
132 62,9 %) et International Association of Nitrox and Technical Divers (IANTD) (n=63, 32,5 %).
133 La figure 1 montre l'expérience en nombre d'années de pratique en plongée sous-marine loisir
134 à l'air et au trimix ainsi que le niveau de certification maximale. La première formation en
135 plongée remonte à plus de 20 ans chez 63,9 % (n=124) des plongeurs tandis que 38,1 % (n=74)
136 ont une expérience en plongée trimix de moins de cinq ans. L'âge n'influence pas le niveau de
137 certification maximale en trimix ($\chi^2 = 2$, $df = 3$, $p = 0,6$). La pratique est continue au cours des
138 années ou avec des interruptions courtes de moins de 6 mois chez 95,4 % (n=185) des
139 répondants. Habituellement, 32 % (n=62) des plongeurs déclarent réaliser moins de 10 plongées
140 en trimix par an et respectivement 24,2 % (n=47), 19,1 % (n=37) et 24,7 % (n=48) entre 11 et
141 20, entre 21 et 30 et plus de 30 par année. Les recycleurs à circuit fermé électroniques (eCCR)
142 sont utilisés par 82 % (n=159) des plongeurs et ceux mécaniques (mCCR) par 17,5 % (n=34).
143 Un seul déclare utiliser un recycleur à circuit semi-fermé mécanique pour sa pratique du trimix.
144 Trente-sept (19,1 %) utilisent, au moins occasionnellement, des appareils en circuit ouvert pour
145 la pratique du Trimix.

146 147 **3.2 Habitudes de planification des plongées Trimix**

148

149 Concernant le choix des gaz, la fraction en oxygène diminue avec la profondeur avec des
150 moyennes respectives de $16\pm 4\%$, $11\pm 4\%$, $8\pm 2\%$ à 50, 80 et 100 m ($p < 0,0001$) et celle en
151 hélium augmente respectivement à $34\pm 14\%$, $54\pm 9\%$, $66\pm 7\%$ ($p < 0,0001$). La densité calculée
152 du mélange respiré à la profondeur maximale est présentée dans le tableau 2. Parmi les
153 plongeurs n'utilisant que des recycleurs, $8,3\%$ ($n=13$) déclarent utiliser de l'air (21% oxygène,
154 78% azote) comme gaz diluant pour les plongées à 50 mètres. Pour gérer leur décompression,
155 $86,6\%$ ($n=168$) des plongeurs ont recours au modèle de Bühlmann tandis que $5,7\%$ ($n=11$)
156 utilisent le modèle VPM-B (Varying Permeability Model) et $6,2\%$ ($n=12$) le RGBM (Reduced
157 Gradient Bubble Model). Trois plongeurs ($1,6\%$) déclarent ne pas savoir le modèle utilisé. Le
158 choix des GF en fonction des profils de plongée est présenté dans le tableau 2. La DTR
159 n'impacte pas ce choix pour les plongées à 50 m ($\chi^2 = 12$, $df = 11$, $p = 0,4$). Les plongeurs en
160 recycleur déterminent une P_{O_2} fixe qui ne varie pas en fonction de la profondeur et pouvant être
161 ajustée en fonction des phases de plongée (figure 2).

162

163 **3.3 Incidents et symptômes évocateurs d'accidents dans le cadre de plongées Trimix**

164

165 Les symptômes inhabituels rapportés par les plongeurs sont présentés dans le tableau 3. Parmi
166 les plongeurs ayant déjà effectués des plongées au-delà de 100 m, $3,2\%$ ($n=4$) ont ressenti,
167 probablement ou avec certitude, des symptômes neurologiques à type de tremblements
168 incontrôlés à grande profondeur. Cent vingt-huit (66%) plongeurs déclarent n'avoir jamais
169 présenté aucun signe évocateur d'accident de décompression. A l'inverse, $19,1\%$ ($n=37$) ont
170 expérimenté au moins une fois des symptômes avec certitude.

171 Sept ($3,6\%$) plongeurs rapportent des symptômes respiratoires persistants après des plongées
172 en recycleur. Parmi eux, trois ont développé les symptômes à la surface, un à 10 m, un à 40 m
173 et deux ne s'expriment pas. Cinq plongeurs effectuaient une plongée en eau tempérée ou
174 tropicale ($>20^\circ\text{C}$) et un rapporte un effort intense au cours de la plongée.

175

176 **3.4 Comportements des plongeurs exposés à des symptômes évocateurs d'accident**

177

178 En cas de déclaration de symptômes évocateurs d'ADD, quel que soit le degré de certitude, les
179 plongeurs ont pris d'eux-mêmes ou ont reçu de l'oxygène normobare dans $41,9\%$ ($n=36$) des
180 cas. Un avis médical était recherché par $34,9\%$ ($n=30$) des plongeurs et $29,1\%$ ($n=25$)
181 recevaient un traitement par OHB. En cas de douleur ostéoarticulaire, une automédication
182 antalgique était prise par $24,4\%$ ($n=10$) des plongeurs. Les symptômes apparaissaient
183 totalement négligés dans $48,8\%$ ($n=42$) des cas, pour lesquels aucun traitement n'était
184 entrepris. Le recours à des soins médicaux était significativement plus fréquent lorsque le
185 plongeur identifiait ses symptômes comme certains. A l'inverse, seul le traitement par OHB et
186 le risque de séquelle apparaissent significativement plus fréquents lorsque les symptômes sont
187 considérés comme sévères (Figure 3). A distance, trois plongeurs déclaraient conserver des
188 séquelles. Tous avaient reçu de l'oxygène normobare et un seul un traitement par OHB. Ce
189 dernier décrivait des symptômes évocateurs d'une atteinte neurologique. En cas de symptômes
190 respiratoires persistants à la surface, seul un plongeur a eu recours à de l'oxygène normobare
191 associé à un avis médical.

192

193 **4. DISCUSSION**

194

195 Cette étude s'intéresse à une population spécifique de la communauté de plongeurs sous-marins
196 dont il est difficile de connaître les conditions de pratique et l'accidentologie. Il est indéniable

197 que la demande de formation et de sorties spécifiques pour ce type de plongée explose,
198 principalement dans le sud de la France. Au niveau international, on considère 20 à 25 000
199 plongeurs recycleurs qui représenteraient moins de 0,3 % de la population totale de plongeurs
200 dans le monde (11). On estime actuellement qu'il y a 340 000 plongeurs en France mais il est
201 difficile de savoir avec précision le nombre de plongeurs Tek et surtout, parmi ces plongeurs
202 certifiés, lesquels ont une pratique active. Notre échantillon pourrait ainsi représenter près de
203 15 à 20% des plongeurs recycleurs sans que nous puissions connaître la proportion de ceux
204 certifiés trimix dans cette population.

205

206 **4.1 Comparaison avec la population générale de plongeurs de loisir**

207

208 Les caractéristiques de la population générale des plongeurs européens et plus particulièrement
209 français retrouvent un âge moyen autour de 37 ± 10 ans et une proportion de femmes allant de
210 16 à 32% (10,12). Les niveaux de certification sont souvent peu élevés et la pratique
211 occasionnelle.

212 A l'inverse, les plongeurs Tek apparaissent plus âgés avec près des 2/3 des répondants qui ont
213 plus de 46 ans. Une étude récente s'intéressant à 55 plongeurs Tek finlandais retrouve ces
214 mêmes résultats avec un âge moyen compris entre 43 et 47 ans (9). Une expérience importante
215 en plongée apparaît encore comme un prérequis à la plongée Tek. Cette tendance pourrait être
216 amenée à évoluer avec la possibilité de se former en trimix léger (fraction d'hélium < 35 % du
217 mélange) dès le niveau 2 de la Fédération française d'études et de sports sous-marins (FFESSM)
218 ou équivalent et une expérience minimum de 40 plongées (2). Dans notre population, plus de
219 2/3 des plongeurs ont une certification avancée équivalente à un « trimix hypoxique »
220 (prérogative ≥ 100 mètres). Tuominen retrouve cependant un résultat identique avec 75% de sa
221 population ayant ce niveau de certification « maximale » (9). L'âge plus avancé associé à des
222 profondeurs de pratique importante en lien avec ces niveaux de certification pourraient
223 participer à augmenter le risque d'accident de décompression dans cette population.

224

225 Les femmes ne représentent que 3,6 % de répondants dans notre étude mais doit être interprété
226 avec prudence car le mode de diffusion du questionnaire pourrait peut-être expliquer le faible
227 niveau de réponses. L'utilisation des réseaux sociaux semblant être différente selon le genre
228 (13). La plus faible proportion de femmes, déjà présente dans la plongée loisir, semble
229 s'accroître dans la communauté Tek et représente 16,4 % de la population dans l'étude
230 finlandaise (9). Les aspects techniques et matériels pourraient influencer cette répartition en
231 favorisant culturellement une population masculine. Les différences psychologiques dans
232 l'appréhension du risque et l'exposition à celui-ci pourrait également impacter cette sous-
233 représentation féminine et notamment en plongée très profonde (14,15). Les effectifs ne nous
234 permettent pas d'étudier statistiquement les différences de pratiques selon le genre. Les femmes
235 ayant répondu semblent toutefois être plus jeunes que le reste de la population. La moitié a
236 moins de 35 ans et aucune ne déclare de facteurs de risque en plongée. Malgré un début de
237 pratique en plongée sous-marine identique, leurs formations en plongée trimix semblent plus
238 récentes. Cela pourrait s'expliquer par l'expansion actuelle de la plongée Tek et l'apparition
239 d'une nouvelle génération de plongeuses rejoignant des pratiques « classiquement
240 masculines ».

241

242 **4.2 Statut médical des plongeurs**

243

244 Historiquement, la plupart des pathologies cardiorespiratoires et le diabète étaient des contre-
245 indications à la plongée sous-marine. Cette approche a néanmoins progressivement évolué (16).

246 Pour la plupart des conditions médicales déclarées par les plongeurs Tek, la prévalence reste
247 inférieure à la population générale française et sont souvent en lien avec le vieillissement
248 (17,18). Toutefois, la prévalence de l'obésité est doublée par rapport à la population générale
249 adulte française (19). Une étude portant sur 497 instructeurs néerlandais, dont l'âge moyen est
250 également plus élevé, retrouve ces mêmes résultats (20). Nombre de ces facteurs sont
251 statistiquement associés à l'accidentologie en plongée mais peuvent faire l'objet d'actions
252 préventives (12,21). Ainsi, ces résultats doivent encourager la communauté médicale à
253 poursuivre la sensibilisation auprès de ces plongeurs en favorisant l'exercice physique et les
254 règles hygiéno-diététiques pour limiter le risque d'incidents médicaux.

255

256 **4.3 Gestion des gaz et planification**

257

258 Le choix du gaz est adapté à la profondeur. Afin de limiter la densité du mélange et la narcose
259 à l'azote, on observe un enrichissement en hélium avec l'augmentation de la profondeur associé
260 à un appauvrissement en oxygène. Il est intéressant de noter que 8,3 % des plongeurs recycleurs
261 n'utilisent pas d'hélium pour des plongées à 50 mètres, ce qui sort des standards de formation
262 (2,3). A l'inverse aucun plongeur ne déclare utiliser d'Héliox. Le coût du gaz pourrait en partie
263 expliquer ce résultat. La densité du mélange respiratoire entraîne une augmentation du travail
264 respiratoire et une altération des échanges gazeux avec un risque d'hypercapnie ou d'œdème
265 pulmonaire d'immersion (OPI) à l'issue potentiellement fatale (22,23). Une densité idéale de
266 5,2 g.l⁻¹ semble recommandée avec une limite maximale « absolue » à 6,2 g.l⁻¹ (24). Plus de la
267 moitié des répondants dépasseraient cette limite pour les plongées à 80 et 100 m. A l'inverse,
268 le calcul de profondeur narcotique équivalente et de P_{O2} du gaz diluant, respectivement
269 recommandée à un maximum de 35 mètres et à 1.1 bar, semblent bien prise en compte dans le
270 choix des gaz par les plongeurs (2). De ce point de vue, un enrichissement en hélium des
271 mélanges semble à considérer associé à une sensibilisation de la communauté à cette
272 problématique.

273

274 Les plongées en trimix, souvent profondes et longues, vont entraîner des paliers de
275 décompression obligatoires. Leurs planifications vont dépendre du profil de plongée visé
276 comme le confirme nos résultats. Toutefois, il apparaît que les pratiques diffèrent selon les
277 plongeurs avec des grandes variations inter-individuelles. Celles-ci semblent parfois plus
278 s'appuyer sur de l'expérience et des croyances que sur des bases scientifiques validées. Il est
279 admis que les choix réalisés relèvent d'un compromis entre le désir de prolonger le temps
280 d'exploration en profondeur et de limiter celui de décompression tout en restant dans les limites
281 de sécurité que le plongeur s'impose (7). A ce jour, aucun algorithme de décompression n'a été
282 développé ni validé pour ce type de plongée. Les modèles doivent gérer la décompression de
283 l'hélium et de l'azote qui ont des propriétés physico-chimiques différentes. L'utilisateur, et
284 notamment le plongeur Tek, modifie souvent le conservatisme de sa décompression pour
285 adapter les niveaux de sursaturation des tissus qu'il considère acceptables en s'aidant des GF
286 de façon empirique (25). La diminution du GF bas augmente la profondeur du premier palier
287 (pour diminuer la sursaturation des tissus rapides) et celle du GF haut augmente la durée du
288 dernier palier (qui prend en compte les tissus lents). Nos données montrent que ces GF vont
289 avoir tendance à être abaissés en lien avec la profondeur visée. Le recours à des paliers profonds
290 « Deep Stop » a largement été remis en cause et notamment lors de plongée à l'air où la charge
291 azotée est importante (26). Les propriétés des gaz étant très différentes, lors de charge en hélium
292 importante et ses vitesses de diffusion rapide, il apparaît utile de débiter les paliers de
293 décompression à plus grande profondeur (7). On observe toutefois une dispersion inter-

294 individuelle très importante dans les choix de ces paramètres. Peu de données fiables en plongée
295 Tek et loisir permettent d'orienter l'adaptation des réglages des ordinateurs de plongée.

296

297 Les standards internationaux de formation préconisent des valeurs de P_{O_2} maximales dans
298 le mélange respiré de 1,3 à 1,4 bar durant la plongée et permet l'utilisation de l'oxygène pur à
299 partir de 6 m pour une P_{O_2} maximale de 1,6 bar (2,3). Le risque principal est la toxicité aiguë
300 neurologique pouvant conduire à une crise convulsive et une noyade. Des symptômes
301 neurologiques ont toutefois été rapportés lors de la respiration d'oxygène pur à 3 m (P_{O_2} à 1,3
302 bar) mais sont le plus souvent observés au-delà de 1,6 bar et il existe une sensibilité inter-
303 individuelle à l'oxygène (27). Au niveau pulmonaire, le dépassement des limites d'exposition
304 recommandées à l'oxygène du fait de la durée des plongées semble ne pas entraîner d'altération
305 spirométrique chez les plongeurs Tek (28). Notre étude montre que la grande majorité des
306 plongeurs respectent les limites recommandées durant le temps en profondeur et ont tendance
307 à l'augmenter dès la phase de remontée avec 20,6 % des répondants qui indiquent une $P_{O_2} \geq$
308 1,5 bar. Durant les paliers à 6 mètres, 81,4 % règlent également leur P_{O_2} au-dessus de 1,5 bar.
309 Cela permettrait de réduire le phénomène bullaire en optimisation la fenêtre oxygène (29).
310 Toutefois, du fait des durées de décompression, l'exposition dès la phase de remontée à des P_{O_2}
311 élevées pourrait rapidement dépasser les seuils de toxicité neurologique (30). D'autres facteurs
312 tels que l'exercice, l'hypercapnie, l'augmentation du travail respiratoire, le stress thermique ou
313 la prise de médicaments augmentent également cette susceptibilité (31).

314

315 **4.4 Accidentologie déclarée**

316

317 Le questionnaire donne une vision démographique et des pratiques actuelles des plongeurs alors
318 qu'il recherche la survenue de symptômes anormaux au cours de leur expérience de plongée
319 trimix. Cela ne permet pas de faire de lien entre les potentiels pratiques à risque et l'apparition
320 de symptômes. Il implique également un biais potentiel de mémorisation sur la reconnaissance
321 et le comportement en cas de symptômes du fait de son caractère rétrospectif.

322

323 Les symptômes de toxicité liés aux gaz respirés apparaissent rares dans notre étude avec
324 seulement 7,7 % de cas rapportés et concernent principalement des signes évocateurs de narcose
325 à l'azote. L'utilisation de mélanges gazeux expose au risque d'hypoxie, d'hyperoxie ou
326 d'hypercapnie dont les conséquences peuvent être une perte de connaissance et une noyade.
327 Ces résultats sont très différents de ce qui est retrouvé chez les militaires où le matériel et le
328 cadre de pratique (effort physique notamment) sont très différents. La toxicité des gaz (67%) y
329 est alors retrouvée comme l'incident majoritaire. La survenue d'hypercapnie mais également
330 de crises convulsives hyperoxiques apparait fréquente (5). L'utilisation de recycleur est
331 suspectée d'augmenter le risque d'OPI du fait d'une augmentation du travail inspiratoire
332 principalement lorsque les faux poumons sont en position dorsale (23,32). A l'inverse, très peu
333 de symptômes respiratoires persistant à la sortie de la plongée pouvant évoquer ce type
334 d'atteinte ne sont rapportés dans notre étude. Cela est d'autant plus surprenant que la densité
335 des gaz souvent élevée pourrait majorer ce risque. Une plus faible intensité des efforts dans ce
336 cadre de pratique récréative pourrait expliquer cette différence puisque la majorité des études
337 ayant incriminé les recycleurs provenaient également du milieu militaire (33).

338

339 L'ADD se caractérise par une grande variabilité en termes de symptômes et de gravité. Les
340 tableaux cliniques sont souvent incomplets et évolutifs (8). L'incidence des ADD en plongée
341 loisir est classiquement estimée entre 0,2 à 3,1 / 10 000 plongées (8,10,15). Toutefois, une étude
342 portant sur l'analyse d'une base de données du DAN Europe retrouvait une incidence de 82 /

343 10 000 plongées (12). En plongée Tek, peu de données sont disponibles mais le risque paraîtrait
344 plus important. Nos résultats permettent d'estimer l'incidence à 27 / 10 000 plongées alors
345 qu'elle est de 91/10 000 plongées dans l'étude finlandaise (9). Dans notre étude, 34 % des
346 plongeurs ont présenté, au moins une fois, des symptômes au cours de leur pratique contre 18,3
347 % dans une population de plongeurs loisirs, également très expérimentés pour la plupart (10).
348 Les douleurs ostéoarticulaires apparaissent prédominantes chez les plongeurs trimix
349 correspondant à 47,7 % des symptômes déclarés ce qui est en accord avec les données de la
350 littérature (9,34). Une sursaturation prolongée au niveau des tissus de l'oreille interne avec
351 l'hélium semble favoriser le risque d'ADD cochléo-vestibulaires lors de ces plongées profondes
352 (7). Bien que rares, les symptômes peuvent survenir dès la phase de décompression et
353 apparaissent donc comme une problématique importante du fait des symptômes vestibulaires
354 constants et du risque de noyade (35). A l'inverse l'atteinte neurologique semble beaucoup
355 moins fréquente que ce qui est classiquement retrouvé en plongée à l'air (36).

356
357 De nombreuses études montrent que les premiers secours en cas d'ADD sont insuffisants (37).
358 Dans son étude, Monnot retrouve que 32 % de plongeurs loisirs présentant des symptômes
359 n'entreprennent aucun traitement et ne les déclarent pas alors même que la majorité
360 apparaissent dans les 30 minutes suivant la sortie de l'eau en présence de leurs instructeurs (10).
361 Les plongeurs recycleur à circuit fermé disposent, par définition, systématiquement d'oxygène
362 pur sur le site de plongée nécessaire au fonctionnement de leurs appareils. Dans notre étude, la
363 moitié n'entreprennent aucun traitement et seulement 41,9 % des plongeurs prenaient une
364 oxygénothérapie normobare en cas d'apparition de symptômes contre 22,2 % chez les
365 plongeurs finlandais (9). Ces chiffres apparaissent encore plus faibles que ce qui est déclaré
366 par les plongeurs loisirs puisque 58 % en recevaient (10). La reconnaissance avec certitude des
367 symptômes conduit toutefois à une prise en compte et réaction plus fréquente que lorsque le
368 plongeur a un doute sur sa symptomatologie. Le recours aux soins reste toutefois insuffisant.
369 Parmi les plongeurs loisirs ayant présentés des symptômes d'accidents, 26 % conservent des
370 séquelles à distance contre seulement 3.5 % dans notre population (10). La prédominance de
371 symptômes peu sévères en plongée Tek pourrait expliquer cette différence. La négligence de
372 ceux-ci semble en lien avec le niveau de gravité estimé comme cela a déjà été mis en avant par
373 Monnot (10). Ce comportement pourrait conduire à l'apparition de complications à distance de
374 type ostéonécrose dysbarique chez les plongeurs Tek (38).

375
376 Les causes de non-déclaration peuvent être multiples avec une méconnaissance du potentiel
377 pathologique des symptômes avec des tableaux le plus souvent atypiques ou incomplets, la
378 sous-estimation des conséquences de l'absence de traitement, le déni ou l'espoir d'une
379 résolution spontanée. Dans son étude, Tuominen montre que 96 % des plongeurs Tek
380 considèrent que leurs symptômes sont peu sévères et ne nécessitent pas d'avis médical. Ils
381 présentent tous une résolution complète de leurs symptômes (9). Ces éléments plaident en
382 faveur de la possibilité de gérer des ADD (en milieu isolé ou si l'évacuation est à risque ou
383 difficile), considéré comme modéré et non évolutif (douleur, fatigue, rash ou œdème cutané),
384 en l'absence d'OHB avec un pronostic favorable (8,39). Un examen médical reste recommandé
385 afin d'exclure tout signe neurologique à risque d'évolution défavorable. L'oxygénothérapie
386 normobare associée à une hydratation doivent également être le plus rapidement administrées
387 (39). Nos données montrent encore un recours trop faible à ces thérapeutiques de première
388 intention. Une sensibilisation sur la reconnaissance et la prise en charge de ces accidents
389 apparaît encore nécessaire auprès des plongeurs.

390
391

5. Conclusion

392

393 Ce questionnaire en ligne offre un aperçu des pratiques et de l'accidentologie déclarées en
394 plongée trimix recycleur en France. Il permet de voir que les habitudes en termes de
395 planification sont extrêmement variables selon les plongeurs mettant en avant que celles-ci
396 reposent parfois plus sur des habitudes ou croyances que sur des données scientifiques réelles
397 unanimes. Il apparaît essentiel de poursuivre les travaux sur les effets de ces plongées et la
398 décompression afin de sécuriser ces plongées particulières et en plein développement. La
399 problématique de la densité des gaz semble ne pas être une préoccupation des plongeurs alors
400 qu'elle pourrait avoir des conséquences délétères. Près d'un tiers des plongeurs déclare avoir
401 présenté des symptômes évocateurs d'ADD dans leur pratique, parfois de façon répétée. Les
402 données confirment le manque de prise en compte par les plongeurs avec une non-déclaration
403 fréquente et un défaut de prise en charge adaptée. Les efforts de sensibilisation et d'éducation
404 aux premiers soins en plongée avec la recherche immédiate d'un avis médical pour évaluation
405 en cas de survenue de symptômes anormaux au décours d'une plongée doivent être poursuivies
406 afin de permettre une prise en charge adaptée et une reprise sécuritaire de leur activité.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

1. Mitchell SJ, Doolette DJ. Recreational technical diving part 1: an introduction to technical diving methods and activities. *Diving Hyperb Med.* juin 2013;43(2):86-93.
2. RESA standards v2.0. [Internet]. 2018 [cité 5 janv 2024]. Disponible sur : https://www.rebreather.org/wp-content/uploads/2018/12/RESA-_V2.0.pdf
3. RTC Standard Technical Rebreather Diver Level Three. [Internet]. 2018 [cité 5 janv 2024]. Disponible sur: <http://rebreathertrainingcouncil.org/wp-content/uploads/2018/11/RTC-Technical-Rebreather-Diver-Level-3-2018-11-09.pdf>
4. Richardson D. Taking 'tec' to 'rec': the future of technical diving. *SPUMS J.* déc 2003;33(4):202-5.
5. Gempp E, Louge P, Blatteau JE, Hugon M. Descriptive Epidemiology of 153 Diving Injuries With Rebreathers Among French Military Divers From 1979 to 2009. *Mil Med.* avr 2011;176(4):446-50.
6. Fock AW. Analysis of recreational closed-circuit rebreather deaths 1998-2010. *Diving Hyperb Med.* juin 2013;43(2):78-85.
7. Doolette DJ, Mitchell SJ. Recreational technical diving part 2: decompression from deep technical dives. *Diving Hyperb Med.* juin 2013;43(2):96-104.
8. Mitchell SJ, Bennett MH, Moon RE. Decompression Sickness and Arterial Gas Embolism. Hardin CC, éditeur. *N Engl J Med.* 31 mars 2022;386(13):1254-64.
9. Tuominen LJ, Sokolowski S, Lundell RV, Räisänen-Sokolowski AK. Decompression illness in Finnish technical divers: a follow-up study on incidence and self-treatment. *Diving Hyperb Med.* 30 juin 2022;52(2):78-84.
10. Monnot D, Michot T, Dugrenot E, Guerrero F, Lafère P. A survey of scuba diving-related injuries and outcomes among French recreational divers. *Diving Hyperb Med J.* 30 juin 2019;49(2):96-106.
11. Tillmans F. Accident Review: The Safety Situation conference. In Malte; 2023 [cité 27 nov 2023]. Disponible sur: https://gue.tv/programs/accident-review-the-safety-situation?category_id=1106
12. Cialoni D, Pieri M, Balestra C, Marroni A. Dive Risk Factors, Gas Bubble Formation, and Decompression Illness in Recreational SCUBA Diving: Analysis of DAN Europe DSL Data Base. *Front Psychol.* 19 sept 2017;8:1587.
13. Chan TKH, Cheung CMK, Shi N, Lee MKO. Gender differences in satisfaction with Facebook users. *Ind Manag Data Syst.* 2 févr 2015;115(1):182-206.
14. Harris CR, Jenkins M. Gender Differences in Risk Assessment: Why do Women Take Fewer Risks than Men? *Judgm Decis Mak.* juill 2006;1(1):48-63.
15. Dunford RG, Denoble PD, Forbes R, Pieper CF, Howle LE, Vann RD. A study of decompression sickness using recorded depth-time profiles. *Undersea Hyperb Med J Undersea Hyperb Med Soc Inc.* 2020;47(1):75-91.
16. Medsubhyp, SFMES. Recommendations de bonne pratique pour le suivi médical des pratiquants d'activités subaquatiques sportives et de loisir [Internet]. 2020 [cité 5 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.medsubhyp.fr/wp-content/uploads/2022/12/RBP-Plonge-de-loisir-2020-Texte-complet.pdf>
17. Vallée A, Gabet A, Grave C, Sorbets E, Blacher J, Olié V. Patterns of hypertension management in France in 2015: The ESTEBAN survey. *J Clin Hypertens.* avr 2020;22(4):663-72.
18. Jossieran L. Le tabagisme en France : quelle est la situation ? *Rev Pneumol Clin.* juin 2018;74(3):124-32.
19. Stival C, Lugo A, Odone A, van den Brandt PA, Fernandez E, Tigova O, et al. Prevalence and Correlates of Overweight and Obesity in 12 European Countries in 2017–2018. *Obes Facts.* 2022;15(5):655-65.
20. Komdeur P, Wingelaar TT, van Hulst RA. A survey on the health status of Dutch scuba diving instructors. *Diving Hyperb Med J.* 31 mars 2021;51(1):18-24.
21. 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.* juin 2015;47(6):1128-34.
22. Mitchell SJ, Cronjé FJ, Meintjes WAJ, Britz HC. Fatal respiratory failure during a « technical »

- rebreather dive at extreme pressure. *Aviat Space Environ Med.* févr 2007;78(2):81-6.
23. Castagna O, Regnard J, Gempp E, Louge P, Brocq FX, Schmid B, et al. The Key Roles of Negative Pressure Breathing and Exercise in the Development of Interstitial Pulmonary Edema in Professional Male SCUBA Divers. *Sports Med - Open.* déc 2018;4(1):1.
 24. Anthony G, Mitchell S. Respiratory physiology of rebreather diving. In Durham, NC: Pollock NW, Sellers SH, Godfrey JM, eds.; p. 66-79.
 25. Baker E. Clearing up the confusion about “deep stops”. *Immersed.* 1998;3:23-31.
 26. Bennett PB, Wienke B, Mitchell S. Decompression and the Deep Stop Workshop. In 2008.
 27. Arieli R, Shochat T, Adir Y. CNS toxicity in closed-circuit oxygen diving: symptoms reported from 2527 dives. *Aviat Space Environ Med.* mai 2006;77(5):526-32.
 28. Fock A. Health status and diving practices of a technical diving expedition. *Diving Hyperb Med.* déc 2006;36(4):179-85.
 29. Blatteau JE, Hugon J, Gempp E, Castagna O, Pény C, Vallée N. Oxygen breathing or recompression during decompression from nitrox dives with a rebreather: effects on intravascular bubble burden and ramifications for decompression profiles. *Eur J Appl Physiol.* juin 2012;112(6):2257-65.
 30. Hamilton Jr RW. Tolerating oxygen exposure. *SPUMS J.* mars 1997;27(1):43-7.
 31. Pollock N. Oxygen Partial Pressure - Hazards and Safety. In: Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences 38th Symposium [Internet]. Disponible sur: https://www.gue.com/blog/wp-content/uploads/2022/05/PollockNW_PO2_hazards_and_safety_AAUS_CAUS_Proceedings_2019_33_39.pdf
 32. Wilmshurst PT. Immersion pulmonary oedema: a cardiological perspective. *Diving Hyperb Med J.* 31 mars 2019;49(1):30-40.
 33. Wolff D, Castagna O, Morin J, Lehot H, Roffi R, Druelle A, et al. Characterizing Immersion Pulmonary Edema (IPE): A Comparative Study of Military and Recreational Divers. *Sports Med - Open.* 18 nov 2023;9(1):108.
 34. Lundell RV, Arola O, Suvilehto J, Kuokkanen J, Valtonen M, Räisänen-Sokolowski AK. Decompression illness (DCI) in Finland 1999–2018: Special emphasis on technical diving. *Diving Hyperb Med J.* 20 déc 2019;49(4):259-65.
 35. Guenzani S, Mereu D, Messersmith M, Olivari D, Arena M, Spanò A. Inner-ear decompression sickness in nine trimix recreational divers. *Diving Hyperb Med.* juin 2016;46(2):111-6.
 36. Meusnier B. Contribution à l'analyse sémiologique et diagnostique des accidents de plongée survenant sur la côte méditerranéenne française : à propos de 1014 cas admis au centre hyperbare de l'HIA Sainte-Anne à Toulon de 2011 à 2018. [Marseille]: Faculté des sciences. Médicales et paramédicales de Marseille; 2020.
 37. Bessereau J, Genotelle N, Brun PM, Aboab J, Antona M, Chenaitia H, et al. Decompression sickness in urban divers in France. *Int Marit Health.* 2012;63(3):170-3.
 38. Coleman B, Davis FM. Dysbaric osteonecrosis in technical divers: The new ‘at-risk’ group? *Diving Hyperb Med J.* 30 sept 2020;50(3):295-9.
 39. Mitchell SJ, Bennett MH, Bryson P, Butler FK, Doolette DJ, Holm JR, et al. Consensus guideline: Pre-hospital management of decompression illness: expert review of key principles and controversies. *Undersea Hyperb Med J Undersea Hyperb Med Soc Inc.* 2018;45(3):273-86.

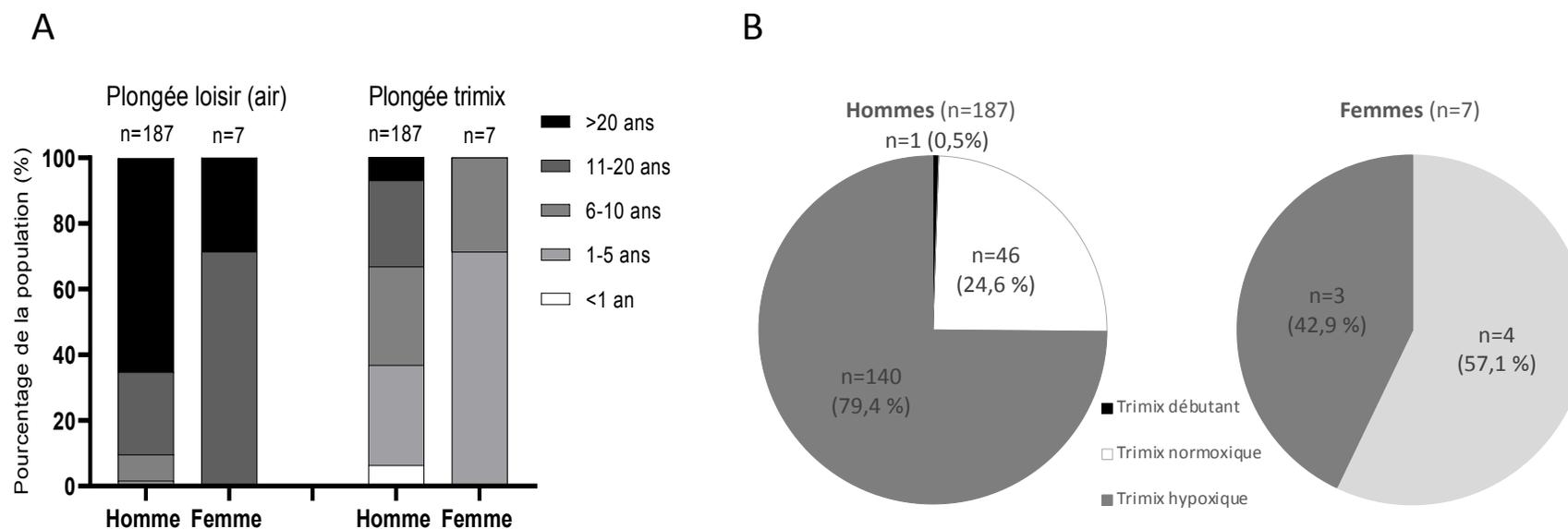


Figure 1. Répartition des durées de pratique en plongée sous-marine à l'air et en plongée trimix (A) avec le niveau de certification maximale associée (B) chez les plongeurs recycleur selon le sexe. *Prérogatives (selon agence) : Trimix débutant/Hélitrox ; profondeur maximale 45 m. Fraction Hélium maximale 35% dans le mélange. Trimix normoxique ; profondeur maximale 60-70 m. Fraction oxygène minimale 16-19 % dans le mélange. Trimix hypoxique : profondeur maximale 100-120 m.*

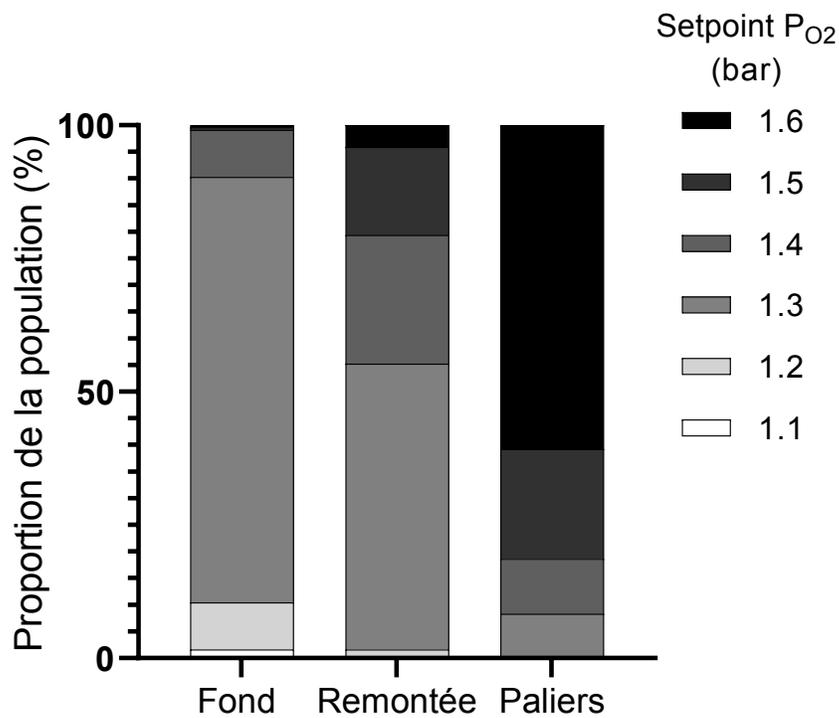


Figure 2. Répartition du choix de pression partielle d'oxygène dans le mélange respiré (P_{O_2}) par les plongeurs recycleur trimix en fonction des différentes phases de plongée.

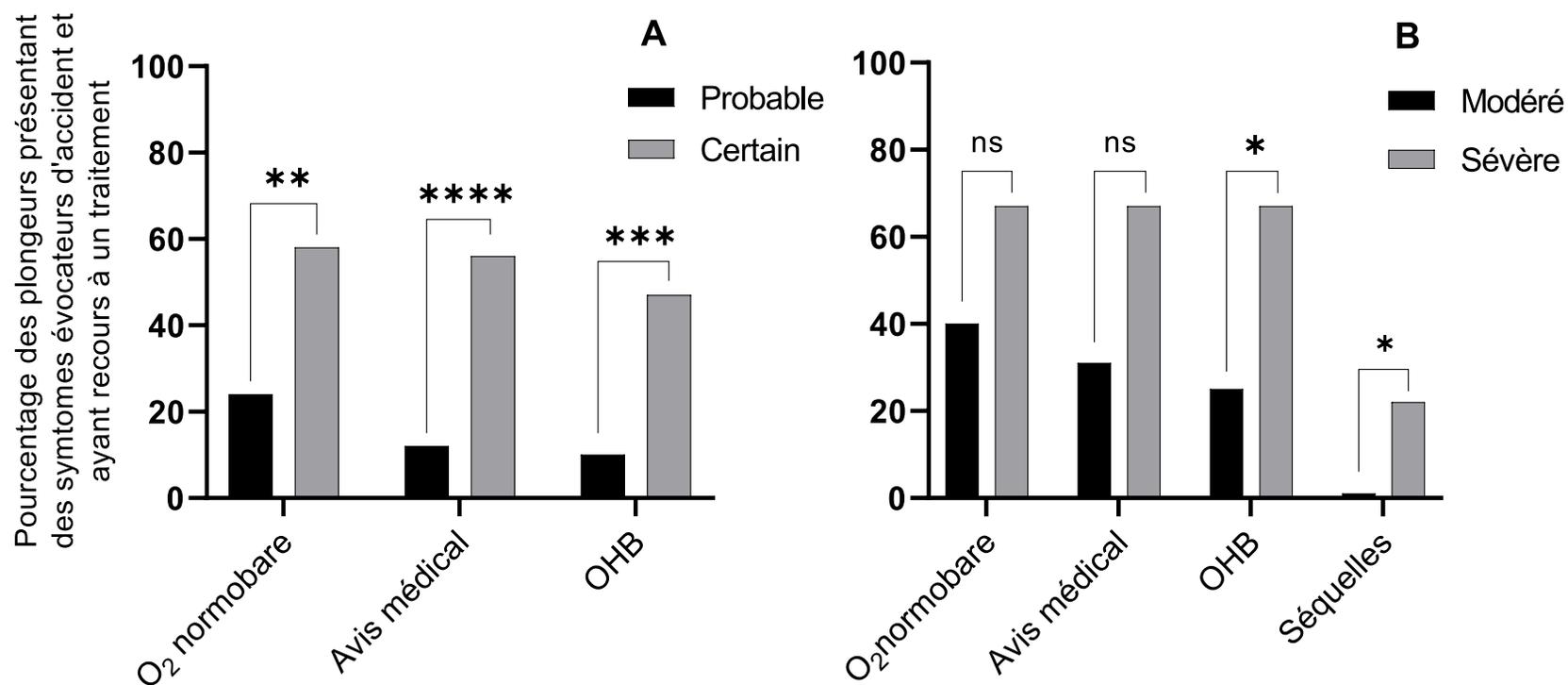


Figure 3. Prise en charge médicale des symptômes évocateurs d'ADD en fonction du degré de certitude exprimé par le plongeur recycleur trimix (A). Noir probable (n = 41), Gris certain (n = 45). * p < 0.05, *** p < 0.001 **** p < 0.0001. Et en fonction de la sévérité présumée des symptômes (B). Noir modéré (n = 9), Gris sévère (n = 77). * p < 0.05.

Tableau 1. Principales caractéristiques et antécédents médicaux déclarés par les plongeurs recycleur trimix

	Homme (n = 187)	Femme (n = 7)
Catégories d'âge (années)	n (%)	n (%)
18 – 25	4 (2,2)	0 (0)
26 – 35	20 (10,7)	0 (0)
35 – 45	41 (21,9)	5 (71,4)
46 – 55	75 (40,1)	1 (14,3)
> 56	47 (25,1)	1 (14,3)
Données anthropométriques		
Taille (cm)	178,5±6.9	164,4±5.8
Poids (kg)	85,5±12.4	63,1±5.1
IMC (kg.m ⁻²)	26,8±3.9	23.4±2.1
Facteurs de risque		
Obésité	33 (17.6)	0 (0)
Tabagisme	12 (6.4)	0 (0)
Hypertension artérielle	19 (10.2)	0 (0)
Diabète	5 (2.7)	0 (0)
Pathologie cardiaque	5 (2.7)	0 (0)
Activité physique faible	34 (18.2)	0 (0)
Aucun	106 (56,7)	7 (100)

Les facteurs de risque déclarés peuvent être cumulés.

Tableau 2. Caractéristiques des mélanges respiratoires à la profondeur maximale et choix des paramétrages des gradient factor (GF) par les plongeurs recycleur trimix en fonction des profils de plongée

	50 m (n = 192)	80 m (n = 149)	100 m (n = 129)	
Densité du mélange (g.l⁻¹)	5.7 ± 0.8	6.5 ± 0.7	6.5 ± 0.8	
(min – max)	(3.3 – 7.8)	(4.8 – 7.9)	(4.8 – 9.4)	
Densité > 5.2 g.l⁻¹ n (%)	147 (76.6)	141 (94.6)	125 (96.9)	
Densité > 6.2 g.l⁻¹ n (%)	23 (12)	94 (63.1)	69 (53.5)	
PNE du mélange (m)	26 ± 9	28 ± 8	25 ± 9	
(min – max)	(0 – 52)	(9 – 48)	(4 – 58)	
PNE > 35 m n (%)	18 (9.4)	15 (10.1)	11 (8.5)	
P_{O2} > 1.1 bar n (%)	56 (29.2)	23 (15.4)	8 (6.2)	
GF (%)	DTR < 60min (n = 168)	DTR < 60min (n = 165)	(n = 147)	(n = 137)
20/60	0 (0)	0 (0)	1 (0.7)	7 (5.1)
20/70	1 (0.6)	4 (2.4)	12 (8.2)	21 (15.3)
30/70	18 (10.7)	28 (17.0)	46 (31.3)	38 (27.7)
30/80	14 (8.3)	14 (8.5)	13 (8.8)	9 (6.6)
40/70	6 (3.6)	10 (6.1)	15 (10.2)	14 (10.2)
40/80	6 (3.6)	11 (6.7)	10 (6.8)	9 (6.6)
50/70	13 (7.7)	16 (9.7)	9 (6.1)	4 (2.9)
50/80	45 (26.8)	37 (22.4)	19 (12.9)	11 (8.0)
60/80	6 (3.6)	4 (2.4)	2 (1.4)	0 (0)
70/80	8 (4.8)	7 (4.2)	2 (1.4)	1 (0.7)
80/80	21 (12.5)	12 (7.3)	2 (1.4)	2 (1.5)
80/90	8 (4.8)	3 (1.8)	0 (0)	0 (0)
90/90	7 (4.2)	4 (2.4)	0 (0)	0 (0)
Autre	15 (8.9)	15 (9.1)	16 (10.9)	21 (15.3)

PNE : profondeur de narcose équivalente à l'azote rapportée à la respiration d'un mélange d'air (21% d'oxygène et 78% d'azote).
PO2 : Pression partielle du gaz diluant. Gradient factor exprimé en GF bas % / GF haut %. DTR : durée totale de remontée

Tableau 3. Occurrence des symptômes évocateurs d'accident rapportés par les plongeurs recycleur trimix (n=194)

	OUI avec certitude		OUI, probablement	NON, probablement	Non avec certitude	Remarque
Perte de connaissance en immersion	1 (0.5)		1 (0.5)	2 (1.0)	190 (98.0)	
État d'euphorie anormale, de perte de contrôle ou de difficulté de concentration et de prise de décision durant l'immersion	6 (3.1)		7 (3.6)	17 (8.8)	164 (84.5)	
A grande profondeur (>100m), tremblements non contrôlables des membres ou de tout le corps (autre que des frissons liés au froid) associés ou non à des troubles de la vue et disparaissant lors de la remontée	2 (1.0)		2 (1.0)	5 (2.6)	109 (56.2)	76 (39.2) Profondeur jamais atteinte
	OUI avec certitude, unique	OUI avec certitude, répétée	OUI, probablement	NON, probablement	Non avec certitude	
État de fatigue intense anormale après une plongée	6 (3.1)	11 (5.7)	19 (9.8)	48 (24.7)	110 (56.7)	
Douleur aiguë au niveau d'un bras, d'une jambe ou d'une articulation même transitoire (d'allure osseuse ou musculaire) après une plongée	12 (6.2)	10 (5.2)	19 (9.8)	13 (6.7)	140 (72.2)	
Vertiges, vomissements, bourdonnements dans les oreilles ou une perte de l'audition non liés à une otite après une plongée	4 (2.1)	0 (0)	1 (0.5)	7 (3.6)	182 (93.8)	
Douleur brutale dans le dos, des picotements ou une perte de force dans une (ou les) jambe(s) ou les bras après une plongée	2 (1.0)	0 (0)	2 (1.0)	5 (2.6)	185 (95.4)	

Pendant ou après une plongée, difficultés respiratoires persistantes après la sortie de l'eau associées ou non à des crachats mousseux ou de sang	4 (2.1)	1 (0.5)	2 (1.0)	3 (1.5)	184 (94.9)	
---	---------	---------	---------	---------	------------	--