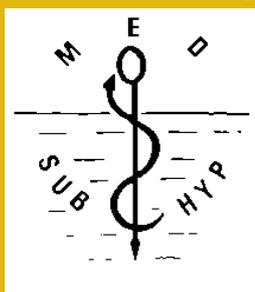


# **BULLETIN de MEDECINE SUBAQUATIQUE et HYPERBARE**

**2021. Tome 31.  
Numéro 2**

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



REVUE SEMESTRIELLE

Date de publication : décembre 2021

**SOCIETE DE PHYSIOLOGIE ET DE MEDECINE  
SUBAQUATIQUES ET HYPERBARES  
DE LANGUE FRANCAISE**

Déclarée le 24 Décembre 1968

J.O. du 11 Janvier 1969

**PRESIDENTS HONORAIRES**

Pr. J.DOR (1969-1972)	Dr. Ph. CAVENEL (1988-1991)
Pr. A. APPAIX (1972-1976)	Dr. J.C. ROSTAIN (1991-1994)
Dr. R. RISPE (1976-1979)	Pr. F. WATTEL (1994-1997)
Dr. B. BROUSSOLLE (1979-1982)	Pr J.M. SAINTY (1997-2000)
Pr. J. CORRIOL (1982-1985)	Dr J.L. MELIET (2000-2003)
Pr. Ph. OHRESSER (1985-1988)	

**BUREAU DE LA SOCIETE EN 2021**

Président:	COULANGE, M	Administrateurs :	ALBERTNI J-J.
Vice Présidents :	GEMPP, E.		BLATTEAU, J-E.
	LOUGE, P.		CARRARO J-C.
Secrétaire général :	HENCKES, A		PIGNEL, R.
Secrétaire adjoint :	JOFFRE, T		POUSSARD, J.
Trésorier :	COURAUD, F.		REGNARD, J.
Trésorier adjoint :	PARMENTIER, E.		RIU POULENC, B.
			SOUDAY, V.

**.CONSEIL SCIENTIFIQUE**

Coordinateur :	MELIET, J.L.	
Conseillers :	BARBERON, B.	BLATTEAU J-E.
	BOET S.	DEMAISTRE S.
	DUCASSE, J-L.	GUERERO, F.
	LETELLIER, P.	PONTIER J.M.
	ROSTAIN, J.C.	WENDLING, J.
	WILLEN, C.	
Membres de droit	COULANGE, M.	REGNARD J.
	Président	Président sortant

Secrétariat: Dr. A. Henckes.  
[secretaire@medsubhyp.fr](mailto:secretaire@medsubhyp.fr)

**BULLETIN de MEDECINE SUBAQUATIQUE et HYPERBARE**  
**2021. Tome 31 Numéro 2.**

Dépôt légal : 29 avril 2021  
3448 6781®

ISSN 1248 - 2846

Responsable de la rédaction  
A. Henckes

Directeur de la publication  
J.C. Rostain

Imprimeur

Pronto Offset/Sud Graphic, 22 Chem. St Jean du Désert, 13005 Marseille

Editeur

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

Centre Hyperbare, CHU de Sainte Marguerite  
270 Bd de Ste Marguerite  
13274 Marseille cedex 09

Date de publication décembre 2021



# ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE RÉTROSPECTIVE DES ŒDEMES PULMONAIRES D'IMMERSION SURVENUS A L'ÉCOLE DE PLONGÉE de 2016 à 2019

L. DAUBRESSE S. DE MAISTRE.152° AM du 9° CMA. BP 14. 83800 TOULON Cedex 9 (France)

## ABSTRACT

**Retrospective epidemiological study on immersion pulmonary edemas occurring in diving school from 2016 to 2019. L Daubresse, S de Maistre. Bull MEDSUBHYP 2021, 21(2) : 57 – 65.**

Immersion pulmonary edema (IPE) has attracted growing attention for fifteen years although firstly described thirty years ago. This accident, contextual and multifactorial, affects two quite distinct populations: young athletes and older divers with cardiovascular risk factors. All the initial training of divers of French armies takes place in the Saint-Mandrier Diving School. Diving accidents are more numerous there than in the other military diving units. In order to better understand the circumstances of occurrence of IPE on the Diving School site and to try to limit this occurrence, we analyzed IPE that occurred between 2016 and 2019. We studied 22 cases of IPE, 13 of which (59 %) occurred during a kicking effort, at variance with the circumstances in operational diving units. In the diving school the occurrence of an IPE is favored by the stress of incentive eagerness to succeed and the wealth of aquatic ease exercises, which add to other known triggering factors. Indeed, intense finning increases the pulmonary capillary pressure, which superimposes with the immersion-linked congestion of lung vessels and negative pressure breathing to bolster the occurrence of IPE. The prevention of these accidents requires mastering the environment and the activities that precede the dive.

Keywords: immersion pulmonary edema, military diving, rebreathing device, diving accident, swimming.

## INTRODUCTION

L'œdème pulmonaire d'immersion (OPI) est un accident de plongée décrit pour la première fois il y a 30 ans (Wilmshurst et coll. 1989) C'est vers la fin du vingtième siècle que l'on a commencé à identifier et à décrire cet accident dont la présentation clinique ressemble à celle d'un barotraumatisme pulmonaire mais dont les circonstances de survenue sont bien différentes. Nous savons à présent que cet accident contextuel et multifactoriel touche deux populations : les jeunes sportifs et les plongeurs plus âgés qui ont des facteurs de risques cardio-vasculaires (Gempp et coll. 2016, Wilmshurst 2021).

Les accidentés de plongée reçus à l'hôpital d'instruction des armées (HIA) Sainte-Anne sont principalement des plongeurs de loisir qui utilisent essentiellement des appareils respiratoires en circuit ouvert. Dans les armées, l'OPI représente 17 % des accidents de plongées et 59 % surviennent avec l'utilisation d'un recycleur à port dorsal.

A l'École de plongée (ECP) de Saint-Mandrier se déroulent toutes les formations initiales des plongeurs des armées. Le cours de plongeur de bord (PLB) d'une durée de 6 semaines consiste en l'apprentissage de la plongée sous-marine militaire et autorise la plongée à l'air en circuit ouvert dans la zone des 0 - 35 m. La

formation des plongeurs-démineurs comporte l'apprentissage du déminage sous-marin ainsi que la maîtrise des plongées aux mélanges suroxygénés (Nitrox) ou ternaires pour des profondeurs allant jusqu'à 80 m de profondeur et utilisant un recycleur amagnétique à port dorsal. Les cours de nageur de combat et de plongeur de combat du Génie reposent sur l'utilisation d'un recycleur à port ventral et en oxygène pur pour des plongées longues dans la zone des 0 - 7 m.

L'accidentologie en plongée à l'ECP représente 71 % des accidents de plongée militaire. Au cours des quatre années étudiées 150 accidents de plongée ont été recensés dans les armées dont 107 survenus à l'ECP (Laborde, 2019). Le nombre important de plongées réalisées chaque année ainsi que les situations d'apprentissage, de fatigabilité et de stress chez des plongeurs novices peuvent expliquer ce constat. En outre, la répartition des accidents de plongée à l'ECP est différente de celle qui est observée dans le reste des armées. Leur analyse est essentielle pour permettre de mieux les comprendre et faire évoluer les pratiques en conséquence.

Cette étude a pour but de déterminer quelles sont les activités les plus à risque de survenue d'OPI à l'ECP. Le cas échéant, nous chercherons les raisons pour lesquelles les circonstances de survenue de cet

accident sont différentes de celles qu'on observe en unités opérationnelles. Nous tenterons de proposer des mesures correctrices pour limiter ce type d'accident à l'ECP.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

Le travail proposé est une étude épidémiologique rétrospective incluant les plongeurs militaires ayant fait un OPI sur le site de l'École de plongée de Saint-Mandrier et pris en charge par l'équipe médicale affectée à la 152<sup>e</sup> Antenne Médicale sur la période du 1<sup>er</sup> janvier 2016 au 31 décembre 2019.

Dans notre étude, un OPI est évoqué devant une dyspnée, apparue au cours de la plongée ou lors de l'effort de palmage, pouvant être accompagnée d'une toux et de crachats hémoptoïques à la sortie de l'eau. Le diagnostic est confirmé lors de la réalisation d'un scanner thoracique retrouvant des images en verre dépoli, caractéristiques d'un OPI dans ce contexte.

Le diagnostic d'OPI grave est retenu sur une présentation clinique initiale de détresse respiratoire aiguë (dyspnée majeure, cyanose, tirage), une saturation initiale en oxymétrie pulsée inférieure à 90 % en air ambiant, des modifications de l'ECG, ou un arrêt cardiorespiratoire à la sortie de l'eau. Les critères hospitaliers d'OPI grave sont une PaO<sub>2</sub> basse et/ou une élévation de la troponine.

Les critères d'exclusion de l'étude sont les autres accidents de plongée comme les accidents de désaturation, les barotraumatismes et les accidents biochimiques, ainsi que les noyades et les OPI qui ne sont pas survenus sur le site de Saint-Mandrier.

Pour le recueil de données, nous avons consulté la fiche de recueil d'urgence de l'antenne médicale soutenant l'ECP, où sont renseignés l'anamnèse, les paramètres de la plongée incriminée et l'examen clinique initial. Nous avons également utilisé les données des urgences de l'HIA Sainte-Anne avec le bilan biologique d'admission lors de la prise en charge initiale et le dossier du service de médecine hyperbare et d'expertise plongée (SMHEP) lors de la visite d'expertise à un mois avec les résultats des différents examens réalisés à distance. Pour deux plongeurs les dossiers d'urgence et du SMHEP n'ont pas été retrouvés.

Trois types de paramètres ont été étudiés : les données biographiques, les circonstances de survenue de l'OPI, et les paramètres médicaux.

Les données biographiques retenues sont l'âge, le sexe et les antécédents médicaux.

Les circonstances de survenue retenues sont la saison (en relation avec la température de l'eau), le type de formation en cours, l'exercice réalisé (apnée, palmage en surface ventral ou dorsal, plongée et type d'appareil utilisé), le mélange gazeux respiré, les paramètres de la plongée (profondeur maximale, durée de travail) et le délai d'apparition des symptômes par rapport au début de l'exercice réalisé.

Les paramètres médicaux retenus sont les signes cliniques : dyspnée, toux, expectoration hémoptoïque ou mousseuse, douleur thoracique, l'auscultation pulmonaire et les constantes initiales (SpO<sub>2</sub>, TA, FC), le bilan paraclinique initial réalisé à l'ECP (ECG, échographie pulmonaire), la prise en charge médicale (O<sub>2</sub>, pression expiratoire positive (PEEP), évacuation), le bilan paraclinique hospitalier initial (TDM thoracique, échographie trans-thoracique (ETT), gaz du sang, biologie sanguine : troponine (normale < 14 ng/L) ; BNP (normale < 450 ng/L) ; leucocytes (normale < 10 000 G/L) et le bilan cardiaque réalisé à distance de l'accident (ECG, échographie cardiaque, épreuve d'effort, épreuve d'effort en immersion).

Les données sont exprimées en médiane [écart interquartile] pour les variables quantitatives, et en pourcentage [intervalle de confiance à 95 %] pour les variables dichotomiques. Un tableau de contingence a été utilisé pour les tests d'indépendance et d'association, couplé à un test de Fisher exact. Un test U de Mann-Whitney a été utilisé pour analyser les différences entre deux groupes non appariés. Une différence était considérée comme significative quand  $p < 0,05$ . Le logiciel XLSTAT a été utilisé pour l'analyse statistique.

## RÉSULTATS

Cette étude inclut 22 plongeurs militaires ayant été victime d'OPI sur le site de l'École de Plongée de Saint-Mandrier du 1<sup>er</sup> janvier 2016 au 31 décembre 2019.

### Présentation clinique et prise en charge

Les présentations cliniques sont variées ; tous les symptômes ne sont pas forcément présents lors d'un épisode.

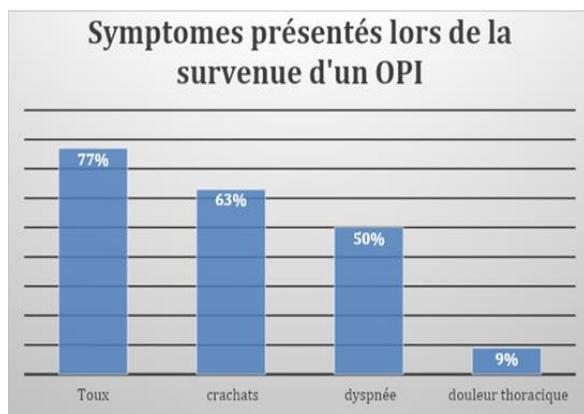


Figure 1. La toux est le symptôme le plus fréquent suivi de près par les crachats et la dyspnée. Le plus souvent, les signes sont associés mais une toux isolée peut se voir lors d'un épisode d'OPI. Lorsque la toux est présente elle est le premier symptôme à apparaître

La toux est le symptôme le plus fréquemment observé. Lorsqu'elle est rapportée, elle est, le plus souvent, le premier symptôme à apparaître. Elle peut être accompagnée de sensation de gêne respiratoire. Si la toux n'est pas prise en compte et que le sujet ne modifie pas son activité, le processus physiopathologique continu et les crachats hémoptoïques surviennent.

Lors de l'auscultation pulmonaire, des râles crépitants ont été entendus chez 16 plongeurs (72 % des cas).

A la sortie de l'eau la médiane des saturations en O<sub>2</sub> est 94 %.

La recherche de lignes B par échographie pulmonaire a été réalisée pour 6 cas d'OPI et des queues de comète trouvées dans 5 cas (84 %).

Pour tous les patients le traitement initial a débuté avec la mise sous O<sub>2</sub> à 15 L/min au masque à haute concentration. En outre au cours de l'année 2016, deux patients ont reçu en complément un aérosol de terbutaline et 60 mg de furosémide. En effet à cette époque, il n'y avait pas encore de note technique à l'usage des personnels de santé dans les armées et le traitement de l'OPI se confondait pour certains avec celui de l'OAP. A compter de 2018 l'utilisation de la PEEP s'est généralisée et a été effectuée pour 7 patients sur 11 à l'ECP. Parmi les 7 accidentés qui ont bénéficié de la PEEP, 2 étaient considérés comme des cas d'OPI grave.

Tous les accidentés ont ensuite été évacués vers l'HIA Ste Anne à Toulon.

## Le plongeur accidenté

Dans la population étudiée, l'âge médian est 27 ans et 20 victimes (91 %) sont des hommes. Un des cas d'OPI est celui d'un instructeur réserviste de 58 ans avec une HTA débutante.

Dans deux cas, il y a un antécédent d'OPI : l'un survenu en 2012 lors de l'utilisation d'un recycleur à port dorsal en formation initiale de plongeur démineur, le deuxième en 2016 lors d'un exercice de palmage durant le stage de plongeur de bord. On relève aussi deux prises d'AINS l'un pour lésion tendineuse et l'autre pour une virose ORL.

Un mois après les OPI, dix neuf bilans cardiologiques ont été réalisés, comprenant ECG, épreuve d'effort, échographie cardiaque. Trois dossiers dont celui du réserviste n'ont pas pu être exploités car ces patients étaient perdus de vue. Dix sept bilans étaient normaux. Deux bilans ont été complétés par une IRM cardiaque l'un en raison d'un doute sur une hypertrophie ventriculaire gauche en raison de modifications électrocardiographiques et l'autre pour l'exploration d'extrasystoles ventriculaires. Ces deux IRM cardiaques étaient normales.

Dix huit épreuves d'effort en immersion (exercice de palmage en piscine avec dénombrement des queues de comètes avant et après l'épreuve par échographie pulmonaire). Seize épreuves ont été considérées comme normales. Pour les deux autres, il y avait une augmentation importante du nombre de queues de comètes en fin d'épreuve.

## Les circonstances de survenue

La survenue des OPI n'a pas de saisonnalité dans notre étude de cohorte, : neuf sont survenus en été, un en automne, huit en hiver et quatre au printemps. La température de l'eau la plus basse était 12°. Aucune saison n'apparaît significativement à risque de survenue d'OPI.

11 plongeurs étaient en formation initiale au cours de plongeur de bord.

12 plongeurs étaient en formation complémentaire : 3 en formation de démineur, 6 en sélection ou en stage de nageur de combat et 1 en formation d'intervention offensive avec l'armée de terre.

1 instructeur, réserviste de 58 ans, a développé un OPI.

Différents exercices de natation (chronométrés) sont réalisés lors des formations :

- 1000 m capelé : 500 m en position dorsale puis ventrale, avec équipement de plongée complet ;
- nage sur 1 000, 2 000, 3 000, 5 000 et 10 000 m en combinaison, gilet stabilisateur de plongée, palmes, masque et tuba (PMT).

Les OPI sont apparus :

- 13 fois lors d'exercices de palmage (59 % des cas) : lors de 5 palmages ventraux pour 1000 m capelé; 2 en palmage ventral pour 1000 m non capelé ; 3 lors de palmage ventral prolongé non capelé (2 cas au 3000 m et 1 au 10 km) ; 3 lors de palmage dorsal pour 1000 m non capelé ;
- 3 lors d'apnées (13 % des cas) ;
- 1 sur circuit ouvert au Nitrox 40%
- 5 lors de l'utilisation de recycleurs (22 % des cas) : 4 plongées (18 % des cas) avec recycleur à port ventral « FROGS » à 100 % O<sub>2</sub> (une plongée de nuit et 3 plongées avec apnée expiratoire, technique consistant à expirer à fond avant de tenir l'apnée et 1 avec recycleur à port dorsal « CRABE » avec mélange à 50 % d'O<sub>2</sub>).

Sur le site de l'Ecole de Plongée, 20 100 plongées sont effectuées en un an (12 300 plongées d'élèves et 7 800 plongées d'instructeurs).

Sur la période étudiée, il y a eu (figure 2) :

- 4 992 exercices de natation avec palmes, ce qui correspond à une fréquence de survenue d'OPI de 0,2%,
- 2 256 apnées, avec une fréquence de survenue d'OPI de 0,1%,
- 80 400 plongées, soit une fréquence de survenue d'OPI de 0,007%.

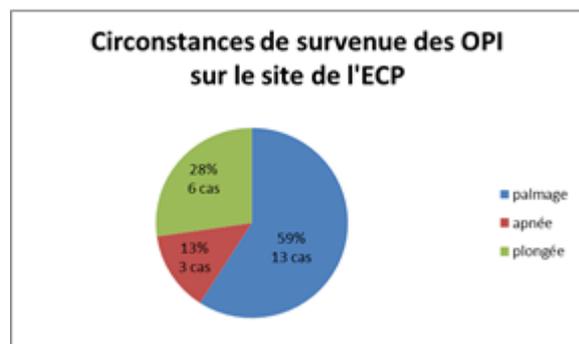


Figure 2. Ce graphique met en évidence les circonstances dans lesquelles survient un OPI. Les exercices de palmes représentent la majorité des cas sur l'ECP.

Certains exercices ont été arrêtés prématurément à cause de la survenue de l'OPI.

#### a) OPI en natation

Les cinq OPI survenus en palmage ventral lors de nage de 1000 m capelé ont eu lieu lors de la même séance à la fin de la première semaine du cours de plongeur de bord. Les élèves avaient réalisé un footing et un exercice de sustentation auparavant. Ils ont tous ressenti un essoufflement entre 500 m et 1000 m et ont été au bout de la séance ; seul un essoufflé dès 400 m a arrêté l'exercice avant son terme.

Les OPI survenus lors de deux exercices de natation PMT de 1 000 m se sont déclarés lors de deux séances différentes. Le premier sujet a ressenti un essoufflement dès 150 m et a fini la distance sur le dos (sans le tuba). Le second a parcouru les 1 000 m puis a réalisé une plongée à 15 m, terminée par un exercice de remontée sur expiration (RSE) 0-4 m ; c'est seulement lors d'une consultation dans l'après-midi pour un barotraumatisme ORL que le sujet a décrit des crachats glairo-sanglants lors de l'exercice de nage avec PMT du matin.

Au cours d'une même séance de palmage de 3 000 m, les deux accidentés ont commencé à tousser dès 2 000 m mais ont terminé l'épreuve complète.

Le plongeur qui a été victime d'un OPI lors de la nage de 10 km a arrêté l'effort au bout d'une heure, après avoir parcouru 2 km. La nuit précédente, il avait effectué une plongée de 3 h 30 avec l'appareil « FROGS ».

Pour les OPI survenus en palmage dorsal :

- dans le premier cas, arrêt de l'épreuve après 500 m et 22 min de palmage : 15 min sur le dos puis 7 min en procubitus.

- dans le second cas, le sujet a d'abord nagé 150 m sur le dos puis commencé à palmer sur le ventre et s'est interrompu après 250 m.

- le troisième sujet a commencé à tousser après 2 000 m de palmage dorsal, a eu une baisse de performance, puis a interrompu l'épreuve après avoir parcouru 2 500 m. Ce sujet avait effectué le matin un footing intense puis une plongée de 1 h 45 avec le « FROGS » avant la séance de palmage.

Pour ces trois sujets le scanner thoracique a objectivé des images en verre dépoli postérieures bilatérales.

Pour l'OPI survenu en nage ventrale, les images en verre dépoli sont antérieures et supérieures.

#### **b) OPI en apnée**

A l'ECP, plusieurs séances d'apnées sont réalisées lors du cours de plongeur de bord (PLB) réparties de la façon suivante : une première série de 4 apnées à 6 m enchaînant une apnée simple, une apnée avec 20 sec à 6 m, une apnée sans masque et une apnée sans ceinture de plomb. La deuxième séance consiste à réaliser une apnée à 6 m, une seconde à 6 m pendant 20 s, une troisième à 12 m, et une dernière à 12 m avec récupération d'un mannequin qui doit ensuite être remorqué en surface sur 100 m.

Trois épisodes sont survenus au cours de ces épreuves : 2 plongeurs ont eu des symptômes lors de la 2<sup>e</sup> apnée à 6 m et ne se sont pas réimmergés. Le 3<sup>e</sup> a eu des symptômes lors du remorquage du mannequin après l'apnée à 12 m.

#### **c) OPI en circuit ouvert**

L'OPI survenu lors d'une plongée au Nitrox 40 % est le seul accident recensé chez un instructeur, réserviste de 58 ans. Les symptômes sont apparus au bout de 45 minutes à la profondeur de 7 m.

#### **d) OPI en recycleur**

Pour les plongées au « FROGS », trois accidents ont eu lieu lors d'une séance de « nage tactique » avec huit apnées expiratoires à 4 m précédant la remise en bouche de l'embout du recycleur. L'apprentissage de la « nage tactique » est une technique d'évolution discrète en surface, essentielle dans la formation des nageurs de combat et dont l'acquisition doit être rapide, ce qui explique la répétition des apnées expiratoires (Chery, 2018)

Le 4<sup>e</sup> OPI s'est produit lors d'une plongée de nuit comportant quatre remontées contrôlées. L'expertise de l'appareil de plongée a retrouvé un mauvais réglage rendant plus dure l'inspiration donc augmentant le travail ventilatoire. Les symptômes sont apparus entre 1 h 22 et 1 h 45 de durée de travail.

Pour la plongée au « CRABE » à 50% d'O<sub>2</sub>, les symptômes sont apparus au bout de 35 min à 29 m. Cette plongée a été considérée comme une plongée avec effort. Ce plongeur avait déjà victime d'un premier épisode d'OPI en utilisant le « CRABE » en 2012.

## **DISCUSSION**

### **Profils des plongeurs accidentés**

Dans cette étude, le profil des plongeurs accidentés est différent des descriptions les plus fréquentes de la littérature actuelle. Chez les plongeurs civils, les OPI surviennent chez des plongeurs plus âgés et sur une population davantage féminine comme le montrent différentes études (Edmonds et coll. 2019, Carter et coll. 2011, Henckes et coll. 2019). L'École de plongée forme une grande majorité d'hommes jeunes. Cela s'explique par la limite d'âge pour se présenter à un cours plongeur et le faible nombre de femmes dans ce milieu. Notre étude se concentre donc sur une population de plongeurs militaires jeunes, sélectionnés physiquement et médicalement en amont, ce qui est assez éloigné de l'éventail plus large des conditions des plongeurs civils. Chez les plongeurs qui ont présenté un OPI sur le site de l'ECP, le bilan médical effectué un mois plus tard, est négatif dans la majorité des cas. La récurrence d'un OPI est imprévisible mais non négligeable (15 %). L'objectif du bilan cardiaque à distance est de détecter une cardiopathie ou une hypertension méconnues jusque-là (Romary et coll. 2020). Par le nombre limité de plongeurs inclus dans notre étude, nous ne pouvons pas mettre en évidence le rôle favorisant des AINS dans la survenue des OPI comme cela a été évoqué dans la littérature (Desgraz et coll. 2017).

### **Circonstances de survenue**

Les facteurs reconnus comme favorisant la survenue d'un OPI sont l'eau froide, l'effort, un travail ventilatoire trop important (matériel, position de travail), le stress et la présence d'une hypertension artérielle (Wilmshurst et coll. 2004, Millet et coll. 2010, Gempp et coll. 2011, Henckes et coll. 2019). Dans notre étude, la présence d'une forme de stress psychologique et d'une certaine d'anxiété semblent probables compte tenu de l'enjeu de réussite au cours car l'obtention du certificat de plongeur a un impact direct sur l'orientation de carrière pour beaucoup d'élèves. Le stress psychologique est un facteur d'hypertension artérielle et de contrainte cardiovasculaire.

### **Exercices favorisant la survenue d'un OPI**

#### **a) En plongée**

Un seul OPI s'est produit en circuit ouvert chez un instructeur réserviste plus âgé que la population étudiée. Ce cas est plus proche de ceux de la population civile, ce qui n'entre pas dans le cadre de notre étude.

Pour les quatre années étudiées, il n'y a eu qu'un seul OPI au « CRABE » contre quatre au « FROGS ». Après analyse des OPI survenus lors des plongées en « FROGS », il apparaît que trois sont survenus après une technique de nage discrète en surface qui augmente le risque d'OPI d'une part du fait de l'effort de palmage et d'autre part en majorant la pression inspiratoire négative.

S'ajoute en plus l'apnée expiratoire à 4 m pour se « rebrancher » sur le recycleur à cette profondeur.

Le 4<sup>e</sup> OPI sur FROGS est dû à un mauvais réglage qui a pour conséquence directe une augmentation du travail inspiratoire.

Le seul OPI sur « CRABE » est survenu sur un plongeur qui avait déjà fait ce type d'accident sur ce même type de plongée. Comme cela a déjà été mentionné, la récurrence d'un OPI survient de manière imprévisible et peut s'avérer plus grave que le premier épisode (Cochard et coll. 2005, Edmonds et coll. 2012)

#### **b) En natation**

A l'ECP, les plus grandes fréquences de survenue d'OPI sont observées en apnée et lors d'exercices de palmage. Ces données diffèrent des OPI recensés dans les unités de plongeurs d'arme où l'OPI survient essentiellement lors de l'utilisation de recycleurs à port dorsal.

Les exercices de palmage sont essentiellement réalisés en formation. Ils ne sont plus effectués dans les unités de plongeurs. Le palmage est une épreuve physiquement intense et prolongée, qui augmente la pression dans les capillaires pulmonaires car le travail cardiaque important se double d'efforts ventilatoires dont les effets sur la précharge cardiaque droite et la fonction cardiaque s'accroissent avec la durée de l'épreuve. Différents auteurs ont montré que cette augmentation de pression capillaire d'abord due à la congestion pulmonaire d'immersion est accentuée par l'activité physique et encore davantage par une pression inspiratoire négative ce qui favorise la survenue des OPI (Castagna et coll. 2018, Kurmar et coll. 2019). Le délai de survenue des symptômes s'échelonne entre 10 et 40 min après le début de l'exercice. Cela est cohérent avec la chronologie de la

mise en place de la symptomatologie de l'OPI. Dans la majorité des cas, les élèves ont poursuivi leur palmage malgré les symptômes. On constate ainsi le conditionnement psychologique et la motivation de l'élève qui souhaite absolument terminer l'épreuve exigée.

#### **c) En apnée**

Lors d'une plongée en apnée, la congestion pulmonaire d'immersion est fortement majorée par l'absence de la contre pression dans les voies aériennes qu'apporte le détendeur ou le recycleur. On parvient ainsi au phénomène de *lung squeeze*. Il s'agit d'une réduction du volume gazeux pulmonaire par compression en rapport avec l'augmentation de pression hydrostatique ambiante. Lorsque le volume gazeux devient inférieur au volume résiduel, la pression dans les voies aériennes (bronches et alvéoles) devient alors inférieure à la pression ambiante ce qui augmente la différence de pression entre capillaire et gaz des voies aériennes et favorise l'extravasation dans les parois bronchiques et alvéolaires et donc le développement d'œdème pulmonaire d'immersion. Les contractions diaphragmatiques involontaires en fin d'apnée ainsi que l'hypoxie aggravent le phénomène.

Les OPI survenus avec l'usage du « FROGS » lors de l'apprentissage de techniques stratégiques avec nage tactique et apnées expiratoires sont plus à rattacher à la physiopathologie des OPI en apnée qu'à celle des OPI survenant sur recycleurs. Ceci explique que ces accidents surviennent en école et non en unité (dans les unités de plongeurs la réalisation des apnées est moins exigeante et s'effectue dans un contexte beaucoup moins stressant qu'en formation).

#### **d) Mesures mises en place pour limiter la survenue de l'OPI**

On observe que certains OPI surviennent chez plusieurs sujets lors d'un même exercice de groupe. Ceci plaide en faveur de l'importance de l'environnement et des activités qui précèdent la plongée. Pour les cas groupés d'OPI, il y a toujours eu une activité physique de type course à pied ou natation précédant de quelques heures l'exercice causant l'accident. Il faut envisager qu'un début d'extravasation non symptomatique s'est produit lors du premier exercice physique ce qui a facilité l'apparition d'un OPI lors du second exercice.

Dans cette hypothèse, les mécanismes en cause restent à déterminer. Une des pistes serait le phénomène de

sub-œdème pulmonaire interstitiel qui est retrouvé chez les sportifs de haut niveau lors des entraînements de course à pied en altitude ou lors des triatlons (McKenzie, 2004 ; Raberin, 2019). Dans tous les cas, à terre, en altitude ou en immersion, un haut degré de ventilation est contributif car il augmente la précharge cardiaque droite (par augmentation du retour veineux systémique et une forte baisse inspiratoire de la pression thoracique) et donc le remplissage forcé de la circulation pulmonaire.

La survenue d'une toux après un premier exercice ou une première plongée devrait faire discuter la participation à un nouvel exercice ou à une nouvelle plongée quelques heures plus tard (Bates, 2011).

En condition extrême, il est décrit les œdèmes pulmonaires de haute altitude auxquels deux phénomènes contribuent particulièrement (Milledge, 1985 ; Welsh et coll. 1993). D'une part, la vasoconstriction pulmonaire hypoxique (altitude) déroute un grand débit sanguin vers des territoires vasculaires de capacité plus limitée où la pression artérielle et capillaire augmente beaucoup. D'autre part, l'augmentation de débit de ventilation qui répond à l'hypoxie et se trouve majorée lors de l'activité physique accroît la pré-charge cardiaque droite (Richalet, 2005). En natation ou en plongée, l'hypoxie ne joue pas de rôle au début du développement de l'OPI, mais celui-ci peut déboucher sur l'hypoxie par limitation du calibre bronchique (réduction de ventilation alvéolaire) du fait de l'œdème interstitiel apparu d'abord selon l'axe vasculaire bronchiolaire, les lignes septales interlobulaires, puis ultérieurement l'inondation alvéolaire. Les échanges gazeux alvéolo-capillaires sont alors progressivement entravés et altérés.

Dès février 2016, des préconisations ont été éditées par le service de santé des armées pour limiter l'effort physique avant les plongées au « CRABE » et réduire les efforts en plongée. Ces recommandations s'appliquent essentiellement pour les plongées avec recycleur à port dorsal qui est la principale cause d'OPI en unité de plongeurs-démouilleurs (Gempp et coll, 2011). Elles portent sur une quantification de l'activité sportive avant la plongée, recommandant une pratique aérobie d'intensité modérée ne devant pas dépasser 50 à 70 % de la fréquence cardiaque maximale et d'une durée inférieure à 1 h. Il est également préconisé de limiter l'intensité de l'effort physique en plongée.

Il y est rappelé l'importance du déséquilibre hydrostatique négatif dans la survenue d'un OPI. Le risque est majoré lors de l'association de l'effort

physique et d'un déséquilibre hydrostatique négatif. Ce phénomène survient, entre autres, lors du palmage en surface capelé avec respiration au tuba (Castagna et coll, 2018).

### **Pourquoi plus d'OPI à l'ECP ces dernières années ?**

Il est intéressant d'observer que les premiers cas décrits d'OPI arrivent vers les années 1990 avec un cas mortel au début des années 2000 décrit par l'équipe de Brest (Cochard et coll, 2005) alors que les formations à l'ECP et l'usage des recycleurs (Oxygers et DC 55) dans la Marine Nationale sont plus anciens. Pour expliquer cette apparition récente, on peut envisager que l'OPI n'était pas identifié car ce syndrome n'était pas connu et donc que les manifestations cliniques étaient attribuées à d'autres physiopathologies comme une surpression pulmonaire (Daubresse et coll. 2014 ; Laborde, 2019). De plus, comme dans la majeure partie des cas, les signes sont rapidement résolutifs en surface, ils ont pu être minimisés.

La chronologie des symptômes prend toute sa place dans l'identification de cet accident. Nous avons vu que la toux, quand elle est présente, survient la première. L'extravasation débute dans les parois bronchiques (Staub, 1967) et l'œdème de la muqueuse bronchique ainsi que la stimulation de terminaisons nerveuses par le refroidissement de la muqueuse par le grand débit d'air sec stimulent des récepteurs nerveux qui déclenchent la toux. La dyspnée qui est également décrite comme symptôme, peut être due à la surcharge de la circulation pulmonaire (Naeije, 2013), Elle refléterait le commencement d'une fatigue des muscles confrontés à un travail ventilatoire important. L'hémoptysie survenant ensuite traduit des lésions capillaires dans la muqueuse bronchique et alvéolaire lors de très grands efforts ventilatoires. Mais les symptômes peuvent apparaître en ordre différent selon les sujets. Il est intéressant de noter que des observations très semblables sont faites dans les centres de formation des *Navy Seals* nageurs de combat des forces spéciales des trois armes des Etats Unis. 2 117 candidats à cette formation ont été suivis pendant 15 mois, au cours desquels 106 cas d'OPI sont survenus au cours d'épreuves de natation (soit 5% des élèves). Dans 90% des cas, la toux était présente pour une expectoration mousseuse à 36 % ou une hémoptysie à 24 % (Volk, 2021).

Donc la toux, de survenue précoce doit être considérée comme un signe d'alerte. Sa présence pourrait alors aider les instructeurs à décider d'interrompre

l'exercice aquatique et ainsi éviter le développement plus avancé et plus grave du phénomène pathologique débutant.

Une meilleure connaissance des aspects cliniques et physiopathologiques de l'OPI a fait progresser son diagnostic et sa prise en charge (Henckes et coll, 2008 ; Millet et coll, 2010 ; Castagna et coll, 2018). Les données actuelles suggèrent que les OPI surviennent du fait d'une possible prédisposition individuelle et aussi de circonstances environnementales favorisant (Wilmshurst, 2021). Pour améliorer la prévention de ces accidents, il serait peut-être possible d'effectuer une échographie pulmonaire pour rechercher des signes de surcharge pulmonaire après un épisode de toux survenu à l'exercice avant une plongée (Boussuges, 2011).

## CONCLUSION

L'étude de la survenue des OPI sur le site de l'Ecole de plongée de 2016 à 2019 a permis de mettre en évidence la surreprésentation de cet accident en école, tout en restant dans des proportions très faibles.

Les facteurs qui semblent favoriser la survenue de l'OPI apparaissent différents à l'ECP de ceux qui sont identifiés dans les unités opérationnelles de plongeurs d'armes. En école, le contexte de formations exigeantes et psychologiquement fortement investies par les élèves ainsi que les exercices physiques soutenus de palmage qui s'accompagnent de notable travail cardiaque et ventilatoire favorisent la survenue de l'OPI au sein de cette unité. Grâce à une connaissance plus fine de l'accidentologie de l'OPI et une assistance médicale au plus près des sites de plongée, il n'y a eu aucun décès au cours des quatre années analysées.

L'importance des facteurs d'environnement comme les activités qui précèdent la plongée est comprise et assimilée et il en est tenu compte dans les activités organisées à l'Ecole. La limitation des efforts physiques intenses successifs dans un intervalle de quelques heures permet d'éviter les cas d'OPI survenant au cours d'une activité de groupe. Cette dimension est essentielle à expliquer et à conserver pour réduire encore la survenue de cet accident. L'échographie pulmonaire pourrait être utilisée en prévention primaire devant un premier épisode de toux survenant lors d'une activité physique précédant une plongée.

Devant les modifications appliquées sur le site de l'ECP et dans l'attente d'un nouveau recycleur à port dorsal pour la formation des plongeurs-démineurs,

analyser l'incidence de la survenue des OPI à l'ECP au cours des prochaines années devrait permettre d'encore en améliorer la prévention.

## REFERENCES

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

Boussuges A, Coulange M, Bessereau J, Gargne O, Ayme K, Gavarry O, Fontanari P, Joulia F. Ultrasound lung comets induced by repeated breath-hold diving, a study in underwater fishermen. *Scand J Med Sci Sports* 2011, 21 : 384-392.

Carter EA, Koehle MS. Immersion pulmonary edema in female triathletes. *Pulm Med* 2011, 261404.

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

Chery M. Œdèmes pulmonaires d'immersion chez les nageurs de combats. DIU civilo-militaire de Médecine sub-aquatique et hyperbare. Nov 2018. Aix Marseille Université.

Cochard G, Arvieux J, Lacour JM, Madouas G, Mongredien H, Arvieux CC. Pulmonary edema in scuba divers: recurrence and fatal outcome. *Undersea Hyperb Med* 2005, 32: 39-44.

Daubresse L, Henckes A, Souquière L, Cochard, G. Étude épidémiologique rétrospective des accidents de plongée sous-marine autonome pris en charge au centre hyperbare du CHU de Brest de 2000 à 2009. *Bulletin MEDSUBHYP* 2014, 24, 2: 47-56.

Desgraz B, Sartori C, Saubade M, Héritier F, Gabus V. Œdème pulmonaire de l'immersion. *Rev Med Suisse* 2017, 13: 1324-1328.

Edmonds C, Lippmann J, Bove A. Immersion pulmonary edema: an analysis of 31 cases from Oceania. *Undersea Hyperb Med* 2019, 46: 603-610.

Edmonds CN, Lippmann JM, Lockley S, Wolfers DL. Scuba divers pulmonary oedema: recurrences and fatalities. *Diving Hyperb Med* 2012, 42: 40-44.

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* 2011, 176: 446-450.

- Gempp E, Louge P, Blatteau JE. Oedème pulmonaire en plongée sous-marine. Arch Mal Cœur Vaiss-Prat. 2016.
- Henckes A, Lion F, Cochard G, Arvieux J, Arvieux CC. L'oedème pulmonaire en plongée sous-marine autonome : fréquence et gravité. A propos d'une série de 19 cas. Ann Fr Anesth Réanim 2008, 27: 694-699.
- 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: 611-618.
- Kumar M, Thompson PD. A literature review of immersion pulmonary edema. Phys Sportsmed. 2019, 47: 148-151.
- Laborde L. Accidents de plongée à manifestation respiratoire en milieu militaire : signes orientant vers un œdème pulmonaire d'immersion. Thèse de médecine. 2019. Université d'Aix-Marseille.
- McKenzie DC, O'Hare TJ, Mayo J. The effect of sustained heavy exercise on the development of pulmonary edema in trained male cyclists. Respir Physiol Neurobiol 2005, 145: 209-218.
- Milledge, J.S. Acute mountain sickness: pulmonary and cerebral oedema of high altitude. Intensive Care Med 1985, 11: 110-114.
- Miller CC, Calder-Becker K, Modave F. Swimming-induced pulmonary edema in triathletes. Am J Emerg Med 2010, 28: 941-946 .
- Naeije R, Vanderpool R, Dhakal BP, Saggar R, Saggar R, Vachier JL, Lewis GD. Exercise-induced Pulmonary Hypertension: physiological basis and methodological concerns. Am J Respir Crit Care Med 2013, 187: 576-583.
- Raberin A. Hypoxémie induite à l'exercice (HIE) et adaptations à l'exercice d'athlètes entraînés en endurance lors de l'acclimatation en altitude modérée : approche globale, systémique et cellulaire. Thèse de Sciences, 2019. Université de Perpignan.
- Richalet JP, Gratadour P, Robach P, Pham I, Déchaux M, Joncquiert-Latarjet A, Mollard P, Brugniaux J, Cornolo J. Sildenafil inhibits altitude-induced hypoxemia and pulmonary hypertension. Am J Respir Crit Care Med 2005, 171 : 275-281.
- Romary E, Marmin J, Castagna O. Bases physiopathologiques de l'œdème pulmonaire d'immersion. Ann Fr Med Urgence 2020, 10: 103-109.
- Staub NC, Nagano H, Lee Pearce ML. Pulmonary edema in dogs, especially the sequence of fluid accumulation in lungs. J Appl Physiol 1967, 22: 222-227.
- Volk C, Spiro J, Boswell G, Lindholm P, Schwartz J, Wilson Z, Burger S, Tripp M. Incidence and impact of swimming-induced pulmonary edema on Navy SEAL candidates. Chest 2021, 159: 1934-1941.
- Welsh CH, Wagner PD, Reeves JT, Lynch D, Cink TM, Armstrong J, Malconian MK, Rock PB, Houston CS. Operation Everest. II: Spirometric and radiographic changes in acclimatized humans at simulated high altitudes. Am Rev Respir Dis 1993, 147: 1239-1244.
- Wilmshurst PT, Nuri M, Crowther A, Webb-Peploe MM. Cold-induced pulmonary oedema in scuba divers and swimmers and subsequent development of hypertension. Lancet 1989, 1(8629):62-65.
- Wilmshurst PT. Pulmonary oedema induced by emotional stress, by sexual intercourse, and by exertion in a cold environment in people without evidence of heart disease. Heart 2004, 90: 806-807.
- Wilmshurst PT. Immersion pulmonary edema. Chest 2021, 159: 1711-1712.

## RESUME

**Etude épidémiologique rétrospective sur les œdèmes pulmonaires d'immersion survenus à l'Ecole de Plongée de 2016 à 2019. L Daubresse, S de Maistre. Bull MEDSUBHYP 2021,31(2) : 57- 65.**

L'œdème pulmonaire d'immersion (OPI) est un accident de découverte récente. Cet accident, contextuel et multifactoriel, touche deux populations bien distinctes : les jeunes sportifs et les plongeurs plus âgés avec des facteurs de risques cardio-vasculaires. A l'Ecole de Plongée de Saint-Mandrier, se déroulent toutes les formations initiales des plongeurs des armées. L'accidentologie en plongée y est plus importante que dans les autres unités. Pour mieux comprendre les circonstances de survenue des OPI sur le site de l'Ecole de Plongée et essayer de limiter l'incidence, nous avons étudié les OPI survenus entre 2016 et 2019. Nous avons recensé 22 cas d'OPI dont 59 % sont survenus lors d'un effort de palmage en surface, données différentes des unités de plongeurs opérationnelles. La survenue d'un OPI est favorisée sur ce site, en plus des autres facteurs connus, par le stress et les différents exercices d'aisance aquatique. Effectivement, le palmage pratiqué de manière intense augmente la pression capillaire pulmonaire ce qui avec la surcharge de la circulation thoracique causée par l'immersion et une forte baisse inspiratoire de la pression dans les voies aériennes favorise la survenue des OPI. La prévention de ces accidents passe par la maîtrise de l'environnement et des activités qui précèdent la plongée.

**Mots clés :** OPI/ palmage/ recycleur/ accident de plongée/ plongée militaire

Daubresse et coll.

# ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE FRANÇAISE DES PLONGEURS EN SITUATION DE HANDICAP SUR LA SAISON 2019-2020

L. VILIJN, M. COULANGE, Service de cardiologie du CHU Toulouse, Rangueil, 1 avenue du professeur Jean Poulhès, 31400 Toulouse, Service de médecine hyperbare du CHU Sainte Marguerite, 270 Bd Ste Marguerite, 13009 Marseille.

## ABSTRACT

French epidemiological study of divers with disabilities during the 2019-2020 season L Vilijn, M Coulange. Bull. MEDSUBHYP 2021, 31(2): 67-75.

**Introduction:** The practice of diving for people with disabilities is booming and has many recognized physical and psychological benefits.

**Goals:** To evaluate the accessibility of scuba diving for divers with disabilities (SDDD) for the 2019-2020 season.

**Methods:** Between April and August 2021, we included all SDDD who participated in our study questionnaire.

**Results:** 126 SDDD participated. They were mostly men aged 35-65 (80), with an acquired disability (72); experience < 5 years (70) or 10 to 50 dives (52), half were qualified. They had a motor (77), mental, cognitive or psychic (32) or sensory (9) disability. The certificate of absence of contraindication (CACI) was signed by a federal or hyperbaric doctor (84), or general practitioner (31). Twelve had difficulties in obtaining the CACI.

**Conclusion:** In France, during the 2019-2020 season, the practice of scuba diving was accessible to people with disabilities, whether motor, sensory, mental, cognitive or psychic, with half of them a qualification and for a minority difficulties in obtaining the CACI. The quality of life improvement by scuba diving practice could allow to propose more widely this activity as a rehabilitation process.

## INTRODUCTION

En 2011, trois fédérations, la Fédération Française d'Etudes et des Sports Sous-Marins (FFESSM), la Fédération Française Handisport (FFH) et la Fédération Française du Sport Adapté (FFSA), ont fait naître Handisub® pour permettre à toute personne en situation de handicap, et quel que soit le handicap, de pratiquer la plongée en scaphandre autonome, sous réserve de présenter comme habituellement le CACI à la plongée sous-marine. La notion de PESH est alors née. Cette activité est en plein essor ces dernières années.

La pratique d'une activité physique en général présente de nombreux bénéfices démontrés entre autres chez des patients blessés médullaires (Hicks et coll. 2003, Anneken et coll. 2010, Latimer et coll. 2004, You et coll. 2017) ou avec des troubles neuromusculaires (Vita et coll. 2020). La pratique de la plongée sous-marine, comme de l'immersion (Thomaz et coll. 2005), présente de nombreux bénéfices physiques et

psychologiques (Sancassiani et coll. 2018, Carin-Levy et Jones 2007, Lin 1987, Risberg 1991) reconnus pour les personnes en situation de handicap, vers une meilleure qualité de vie (Sliwinski et coll. 2020), permettant le dépassement du handicap (Cheng et Diamond 2005, Madorsky 1988), le développement de l'estime personnelle, le renforcement de l'intégration sociale (Yarwasky and Furst 1996), et le partage d'un monde sous-marin riche d'apprentissage et de découvertes. Elle favorise le renforcement cardio-respiratoire (Popok et coll. 2017, Sheel et coll. 2008, Leal et coll. 2010, West et coll. 2014) et musculaire contre la résistance de l'eau (Higgins et coll. 2014). Pour des profils de plongée sécurisés à des profondeurs inférieures à 30 m et de durée limitée, le risque d'accident de désaturation chez les sujets porteurs de lésions médullaires chroniques et sains sur le plan cardio-vasculaire, ne semble pas supérieur à celui encouru par des sujets sains (Breskovic et coll. 2008).

L'objectif de cette étude était donc d'évaluer l'accessibilité de la plongée en scaphandre autonome pour les personnes en situation de handicap sur la saison 2019 - 2020, en recueillant les caractéristiques des plongeurs, leur pratique et expérience et leurs difficultés dans l'obtention du CACI.

## **MATÉRIELS ET MÉTHODES**

### **Conception de l'étude et population de patients :**

Nous avons créé un questionnaire sur la plateforme « Google Forms » afin de recueillir des données épidémiologiques des PESH, en scaphandre autonome, en France sur la saison 2019-2020. La période concernée a volontairement été rétrospective devant les restrictions sanitaires récentes liées au COVID-19, pouvant perturber les pratiques de tous.

Ce questionnaire comprenait 21 questions. Il s'agissait d'un questionnaire entièrement anonyme. Il pouvait être renseigné par le PESH lui-même ou le représentant légal (obligatoire si mineur) ou tuteur/tutrice du plongeur.

Trois grandes thématiques ont été créées :

- les caractéristiques du PESH avec son sexe, son âge (exprimé en tranches d'âge), et sa région d'origine ;
- le handicap présenté, classé en 4 catégories :
  - moteur, définit comme une altération des fonctions motrices (se mouvoir, parler...),
  - sensoriel, définit comme une perte totale ou partielle de l'acuité visuelle, auditive, tactile, ou olfactive,

- mental, cognitif ou psychique, définit comme la conséquence d'une déficience intellectuelle, de dysfonctionnements des fonctions cognitives ou de troubles psychiques invalidants. Le handicap cognitif n'implique pas de déficience intellectuelle mais des difficultés à mobiliser ses capacités,
- autre handicap (pouvant correspondre à tout handicap ou maladies invalidantes ne rentrant pas dans les 3 catégories ci-dessus) ;
- la plongée (pratique antérieure au handicap en cas de handicap acquis), l'expérience en tant que PESH (nombre d'années de pratique et de plongées, qualifications), l'accessibilité au CACI (qualification du médecin, les éventuelles difficultés rencontrées, limitation de la poursuite de la plongée à cause du handicap).

La nature de chaque handicap présenté par le PESH a été précisée au travers de réponses courtes. Les caractéristiques des plongeurs mineurs ont également été étudiées.

Nous avons transmis le lien informatique du questionnaire dans toute la France métropolitaine et départements, régions et collectivités d'outre-mer (DROM-COM) à un total de 1275 clubs associatifs et centres commerciaux de plongée recensés depuis les sites de la FFESSM et avec l'aide de l'annuaire de la plongée, puis nous avons élargi le message d'information aux différents comités départementaux (CODEP) par mail, appels téléphoniques et via les réseaux sociaux.

Tous les PESH ayant répondu au questionnaire entre le 28 avril et le 31 juillet 2021 ont été inclus. L'étude était conforme aux principes énoncés dans la Déclaration d'Helsinki. Selon les dispositions de la législation française, les patients ont été informés que leurs données codifiées seraient utilisées pour l'étude.

### Analyse statistique

Nous avons analysé les données des PESH directement depuis les réponses du questionnaire, via la plateforme « Google Forms ». Les données numériques étaient exprimées en effectifs (avec leur pourcentage). Les réponses courtes ont été intégrées comme réponses à part entière et

rendues sous forme de tableau.

## RESULTATS

Au total, 126 plongeurs ont participé à l'étude en répondant au questionnaire. Sur la saison 2019-2020, en France, les PESH étaient majoritairement des hommes (89 ; 70 %), âgés de 35 à 65 ans (80 ; 63 %), présentant un handicap acquis (72 ; 57 %). Un tiers des personnes avaient déjà plongé avant de contracter leur handicap (24 ; 33 %). Les PESH avaient pour la plupart une expérience inférieure à 5 ans (70 ; 56 %) ou 10 à 50 plongées (baptêmes inclus) (52 ; 42 %) et la moitié avait une qualification ou

**Tableau I : Caractéristiques des plongeurs en situation de handicap. Légende : N2 (Niveau 2 de plongée), N3E1 (Niveau 3 de plongée et enseignant niveau 1).**

		Nombre (total = 126)
<b>Sexe masculin</b>		89 (70 %)
<b>Age</b>	< 18 ans	12 (10 %)
	18 - 35 ans	31 (25 %)
	35 - 65 ans	80 (63 %)
	> 65 ans	3 (2 %)
<b>Handicap acquis</b>		72 (57 %)
<b>Plongée antérieure au handicap (acquis)</b>		24 (33 %)
<b>Expérience en plongée</b>	< 5 ans	70 (56 %)
	5 – 10 ans	30 (24 %)
	> 10 ans	26 (20 %)
<b>Nombre total de plongées et/ou baptêmes</b>	< 10	18 (14 %)
	10 - 50	52 (42 %)
	50 - 100	19 (15 %)
	100 - 500	18 (14 %)
	> 500	19 (15 %)
<b>Qualification PESH</b>	Aucune	64 (50 %)
	PESH 6 mètres	25 (21 %)
	PESH 12 mètres	13 (11 %)
	PESH 20 mètres	16 (13 %)
	PESH 40 mètres	3 (2 %)
	Autonome	3 (2 N2 et 1 N3E1)
	Autre	1 (instructeur)

niveau de plongée (Tableau I). La répartition des PESH par région est également indiquée (Tableau II).

généraliste (31 ; 25 %, dont 6 avaient une qualification PESH, et la moitié un handicap moteur), ou bien par un médecin du sport ou rééducateur, voire un autre spécialiste.

	) )
	<b>Nombre (total = 126)</b>
Auvergne-Rhône-Alpes	8
Bourgogne-Franche-Comté	6
Bretagne	15
Centre-Val de Loire	5
Corse	0
Grand Est	11
Hauts-de-France	3
Île-de-France	25
Normandie	6
Nouvelle-Aquitaine	8
Occitanie	17
Pays de la Loire	2
Provence-Alpes-Côte d'Azur	17
Guadeloupe	1
Martinique	0
Guyane	0
La Réunion	0
Mayotte	1

**Tableau II : Répartition des PESH par région.**

Le handicap moteur était le plus rapporté (77 ; 61 %) ; un quart d'entre eux étaient paraplégiques (19 ; 26 %). Le handicap mental, cognitif ou psychique représentait un quart des PESH (32 ; 26 %), avec pour la moitié d'entre eux des troubles autistiques ou une trisomie 21 (17 ; 55 %). Enfin, un handicap sensoriel était mentionné chez 9 (7 %) des PESH, associé à une perte totale ou partielle de l'audition, de l'acuité visuelle mais aussi à des troubles sensitifs médullaires. Par ailleurs, 7 plongeurs avaient un cancer et un plongeur une maladie auto-immune (Tableau III).

Le certificat médical était signé par un médecin fédéral ou hyperbariste dans la majorité des cas (84 ; 67 %), par un médecin

Seulement 12 (9 %) des plongeurs ont eu des difficultés dans l'obtention du CACI, essentiellement par manque de connaissance ou compétence du médecin ou difficultés à identifier un médecin homologué.

Un petit effectif des plongeurs (6 ; 5 %) n'envisageaient pas de poursuivre l'activité, pour les deux tiers du fait de leur handicap (Tableau IV).

Afin d'étudier l'accessibilité de cette pratique dès le plus jeune âge, nous avons recueilli les caractéristiques des 12 plongeurs mineurs ayant répondu au questionnaire avec l'aide de leur représentant légal. Ils présentaient essentiellement un handicap inné, à la différence des adultes. Même si leur

<b>Handicaps</b>	<b>Nombre (total = 126)</b>
<b>Moteur</b>	<b>77 (61 %)</b>
Paraplégie	19 (25 %)
Hémiplégie	7 (9 %)
Tétraplégie	1 (1 %)
Amputations ou agénésies de membre	9 (12 %)
Infirmité motrice cérébrale	9 (12 %)
Myopathies	6 (8 %)
Maladies neurodégénératives	11 (15 %)
Trouble de l'expression orale ou écrite	5 (6 %)
Troubles articulaires à mobilité réduite	10 (13 %)
<b>Sensoriel</b>	<b>9 (7 %)</b>
Perte totale ou partielle de l'acuité visuelle	2 (23 %)
Perte totale ou partielle de l'acuité auditive	3 (33 %)
Perte totale ou partielle de l'acuité visuelle et auditive	1 (11 %)
Trouble sensitif médullaire	3 (33 %)
<b>Mental, cognitif ou psychique</b>	<b>32 (26 %)</b>
Autisme	10 (32 %)
Trisomie 21	7 (22 %)
Trouble déficitaire de l'attention ou dyspraxie ou dyslexie	4 (13 %)
Autre retard mental (IMC, autres maladies génétiques)	6 (19 %)
Trouble psychologique	4 (13 %)
<b>Autres</b>	<b>8 (6 %)</b>
Cancer	7 (88 %)
Maladie auto-immune	1 (12 %)

**Tableau III : Handicaps des PESH**  
Légende : IMC : Infirmité motrice cérébrale.

expérience se limitait en général à moins de 5 ans, ils avaient pour une majorité déjà réalisé un nombre important de plongée et/ou baptêmes, et avaient une qualification. Le handicap le plus rapporté dans cette population était mental, à la différence des adultes. (**Tableau V**).

## DISCUSSION

Notre étude montre une réelle dynamique dans l'accessibilité de la plongée aux personnes en situation de handicap sur la saison 2020-2021, caractérisée par une qualification en plongée pour la moitié des plongeurs recensés et peu de difficultés dans

l'obtention du CACI.

Inévitablement, notre étude n'est pas exhaustive, du fait que le recueil des données était basé sur le volontariat de participer et renseigner ce questionnaire avec de réelles difficultés à contacter les plongeurs concernés et ce en pleine crise sanitaire qui impacte, encore ce jour, la pratique de la plongée.

Afin d'améliorer la représentativité de la pratique, il aurait été intéressant de recenser en amont les plongeurs licenciés par région en France sur la période concernée.

	<b>Nombre (total = 126)</b>
<b>Qualification du médecin signant le CACI</b>	
Médecin fédéral de plongée ou hyperbare	84 (67 %)
Médecin généraliste	31 (25 %)
Médecin rééducateur ou du sport	7 (5 %)
Autre spécialiste (ORL, neurologue)	4 (3 %)
<b>Difficultés pour l'obtention du CACI</b>	<b>12 (9 %)</b>
Compétences, connaissances du médecin	6 (50 %)
Difficultés à identifier, trouver un médecin homologué	3 (25 %)
Non précisé	2 (17 %)
Refus	1 (8 %)
<b>Non poursuite de la plongée</b>	<b>6 (5 %)</b>
A cause du handicap	4 (67 %)

Tableau IV : CACI et PESH

Cet essor a également été étudié en 2017 en Île de France, où il avait été possible de recenser 78 PESH dont le handicap moteur était le plus représenté avec 52 % des plongeurs, 35 % un handicap mental, cognitif ou psychique et 13 % un handicap sensoriel (Millet 2017). A la différence de notre étude, ce mémoire portait également sur le niveau et le milieu de pratique, l'équipement, le degré d'autonomie, les motivations et obstacles rencontrés. Des études récentes ont également montré que la plongée sous-marine pouvait être un outil intéressant dès la prise en charge en centre de rééducation (Dagorn 2021, Le Pollès 2019).

Parmi nos plongeurs, quatre d'entre eux seulement ont arrêté la pratique de la plongée, majoritairement à cause de l'évolution de leur handicap. Ceci est encourageant et nous incite à rendre la plongée rapidement accessible aux personnes en situation de handicap afin qu'elles puissent en tirer le meilleur bénéfice.

Pour l'avenir, nous pourrions évaluer au travers d'une étude qualitative les bénéfices de la plongée pour les personnes de situation

de handicap, en termes de bienfaits physiques, mentaux et sociaux. Il serait en particulier intéressant de considérer des PESH n'ayant jamais plongé avant leur handicap en évaluant leur qualité de vie avant et après une plongée, pour promouvoir plus largement cette activité dès la prise en charge en centres de rééducation.

## CONCLUSION

En France, sur la saison 2019-2020, la pratique de la plongée sous-marine en scaphandre autonome était accessible à des personnes en situation de handicap, qu'il soit moteur, sensoriel, mental, cognitif ou psychique, avec pour moitié d'entre eux l'obtention d'une qualification et pour une minorité (moins de 10 %) des difficultés pour se faire délivrer le CACI.

Cette étude a relevé qu'il existe en France une réelle dynamique pour faire vivre cette activité et la rendre accessible autant que possible à toutes les personnes en situation de handicap. Il reste à évaluer l'amélioration de leur qualité de vie avant et après la pratique

	Nombre (total = 12)
<b>Sexe masculin</b>	10
<b>Handicap acquis</b>	1
<b>Plongée antérieure au handicap (acquis)</b>	0
<b>Expérience en plongée</b>	
< 5 ans	10
5 – 10 ans	2
> 10 ans	0
<b>Nombre total de plongées et/ou baptêmes réalisés</b>	
< 10	1
10 - 50	9
50 - 100	2
<b>Qualification PESH</b>	
Aucune	7
PESH 6 mètres	5
<b>Handicaps</b>	
Autisme	5
TDAH, dyspraxie	2
Trisomie 21	1
Dyslexie	1
Infirmité motrice cérébrale	2
Myopathie	1
Dystonie	1
<b>Délivrance du CACI</b>	
Médecin fédéral de plongée ou hyperbariste	8
Médecin généraliste	2
Médecin rééducateur ou du sport	1
Médecin spécialiste (non précisé)	1
Difficulté obtention (identifier médecin)	1
<b>Non poursuite de la plongée</b>	2
A cause du handicap	2*

**Tableau V : Caractéristiques des plongeurs mineurs en situation de handicap**

\* Ces deux abandons sont compatibles dans le tableau IV portant sur l'ensemble des plongeurs.

de la plongée, en particulier chez celles et ceux qui n'avaient jamais plongé avant leur handicap.

## RÉFÉRENCES

Anneken V, Hanssen-Doose A, Hirschfeld S, Scheuer T, Thietje R. Influence of physical exercise on quality of life in individuals with spinal cord injury. *Spinal Cord* 2010; 48(5): 393-399.

Breskovic T, Denoble P, Palada I *et al.* Venous gas bubble formation and decompression risk after scuba diving in persons with chronic spinal cord injury and able-bodied controls. *Spinal Cord* 2008; 46(11): 743-747.

Carin-Levy G, Jones D. Psychosocial Aspects of Scuba Diving for People with Physical Disabilities: An Occupational Science Perspective. *Can J Occup Ther* 2007; 74(1): 6-14.

Cheng J, Diamond M. SCUBA Diving for Individuals with Disabilities: *Am J Phys Med Rehabil* 2005; 84(5): 369-75.

Dagorn L. La plongée sous-marine : un outil à la croisée des

disciplines au service du patient en centre de rééducation, enquête qualitative auprès de neuf professionnels de santé - Mémoire d'initiation à la recherche en masso-kinésithérapie. Université de Rennes; 2021.

Hicks AL, Martin KA, Ditor DS, Latimer AE, Craven C, Bugaresti J, McCartney N. Long-term exercise training in persons with spinal cord injury: effects on strength, arm ergometry performance and psychological well-being. *Spinal Cord* 2003; 41(1): 34-43.

Higgins TJ, Janelle CM, Manini TM. Diving Below the Surface of Progressive Disability: Considering Compensatory Strategies as Evidence of Sub-Clinical Disability. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 2014; 69(2): 263-274.

Latimer AE, Martin-Ginis KA, Hicks AL, McCartney N. An examination of the mechanisms of exercise-induced change in psychological well-being among people with spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev* 2004; 41(5): 643.

Le Polles S. L'activité plongée sous-marine en ergothérapie : un catalyseur pour l'engagement occupationnel de patients en rééducation.. Institut de Formation en ergothérapie, IFPEK Rennes 2019.

Leal JC, Mateus SRM, Horan TA, Beraldo PSS. Effect of graded water immersion on vital capacity and plasma volume in patients with cervical spinal cord injury. *Spinal Cord* 2010; 48(5): 375-379.

Lin LY. Scuba Divers With Disabilities Challenge Medical Protocols and Ethics. *Phys Sportsmed* 1987;15(6): 224-235.

Madorsky JG. Scuba diving for the handicapped. *West J Med* 1988; 149(2): 204-205.

Millet F. Qui sont les plongeurs en situation de handicap en Ile de France ? Mémoire MFEH2. 2017.

Popok DW, West CR, McCracken L, Krassioukov AV. Effects of early and delayed initiation of exercise training on cardiac and haemodynamic function after spinal cord injury: Effects of exercise after spinal cord injury. *Exp Physiol* 2017; 102(2): 154-163.

Risberg J. [Diving of patients with spinal cord injuries]. *Tidsskr Nor Laegeforen*. 1991; 111(19): 2461. Norvégien.

Sancassiani F, Machado S, Preti A. Physical Activity, Exercise and Sport Programs as Effective Therapeutic Tools in Psychosocial Rehabilitation. *Clin Pract Epidemiol Ment Health*. 2018; 14(1): 6-10.

Sheel W, Reid WD, Townson A, Ayas N, Konnyu K. Effects of Exercise Training and Inspiratory Muscle Training in Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *J Spinal Cord Med*. 2008; 31(5): 500-508.

Sliwinski MM, Akselrad G, Alla V, Buan V, Kaemmerlen E. Community exercise programing and its potential influence on quality of life and functional reach for individuals with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2020; 43(3): 358-363.

Thomaz S, Beraldo P, Mateus S, Horan T, Leal JC. Effects of Partial Isothermic Immersion on the Spirometry Parameters of Tetraplegic Patients. *Chest*. 2005; 128(1): 184-189.

Vita GL, Stancanelli C, La Foresta S, Faraone C, Sframeli M, Ferrero A, Fattore C, Galbo R, Ferraro M, Ricci G, Cotti Piccinelli S, Pizzighello S, Filosto M, Martinuzzi A, Padua L, Trimarchi G, Siciliano G, Mongini T, Lombardo ME, Berardinelli A, Vita G.. Psychosocial impact of sport activity in neuromuscular disorders. *Neurol Sci*. 2020; 41(9): 2561-2567.

West CR, Taylor BJ, Campbell IG, Romer LM. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in Paralympic athletes with cervical spinal cord injury: Inspiratory muscle training in spinal cord injury. *Scand J Med Sci Sports*. 2014; 24(5): 764-772.

Yarwasky L, Furst DM. Motivation to participate of divers with and without disabilities. *Percept Mot Skills*. 1996; 82(3 Pt 2): 1096-1098.

You J-S, Kim YL, Lee SM. Effects of a standard transfer exercise program on transfer quality and activities of daily living for transfer-dependent spinal cord injury patients. *J Phys Ther Sci*. 2017; 29(3): 478-483.

## RESUME

**Étude épidémiologique française des plongeurs en situation de handicap sur la saison 2019-2020. L Vilijn, M Coulange. Bull. MEDSUBHYP 2021, 31 (2) : 67-75.**

**Introduction :** La pratique de la plongée pour les personnes en situation de handicap est en plein essor et présente de nombreux bénéfices physiques et psychologiques reconnus.

**Objectif :** Évaluer l'accessibilité de la plongée en scaphandre autonome pour les plongeurs en situation de handicap (PESH) sur la saison 2019-2020.

**Méthodes :** Nous avons inclus, entre avril et août 2021, tous les PESH qui ont participé au questionnaire de notre étude.

**Résultats :** 126 PESH ont participé. Ils étaient majoritairement des hommes de 35-65 ans (80), avec un handicap acquis (72) ; une expérience < 5 ans (70) ou 10 à 50 plongées (52), la moitié étaient qualifiés. Ils présentaient un handicap moteur (77), mental, cognitif ou psychique (32) ou sensoriel (9). Le certificat d'absence de contre-indication (CACI) était signé par un médecin fédéral ou hyperbare (84), ou généraliste

## Étude épidémiologique de plongeur handicapé de 2019 à 2020

(31). Douze ont eu des difficultés dans l'obtention du CACI.

**Conclusion** : En France, sur la saison 2019-2020, la pratique de la plongée en scaphandre autonome était accessible à des personnes en situation de handicap, qu'il soit moteur, sensoriel, mental, cognitif ou psychique, avec pour la moitié d'entre eux une qualification et pour une minorité des difficultés dans l'obtention du CACI. L'étude de l'amélioration de la qualité de vie par la pratique de la plongée permettrait de proposer plus largement cette activité au titre des méthodes de rééducation.

[l.vilijn@gmail.com](mailto:l.vilijn@gmail.com)



# **SURVENUE D'UNE SERIE DE CAS INHABITUELS DE SYMPTOMES NEUROLOGIQUES AU DECOURS DE PLONGEES DE FORMATION DANS UN CONTEXTE DE MESURES PREVENTIVES LIEES AU SARS-COV2**

**L. DAUBRESSE<sup>1</sup>, J. AMARA<sup>2</sup>, M. GRAU<sup>3</sup>, S. DE MAISTRE<sup>4</sup>, G. CASSOURRET<sup>3</sup>, H. LEHOT<sup>1</sup>, G. TEXIER<sup>3</sup>, J.E. BLATTEAU<sup>1</sup>.** <sup>1</sup>Service de médecine hyperbare et d'expertise plongée de l'HIA Sainte-Anne, BP 600 - 83800 Toulon Cedex 9. <sup>2</sup>Ecole du Val de Grâce. 1 Place Alphonse Laveran, 75005 Paris. <sup>3</sup>Centre d'Epidémiologie et de Santé Publique des Armées. Camp de Sainte Marthe, 408 rue Jean Queillau, 13014 Marseille. <sup>4</sup>152e Antenne Médicale du 9<sup>e</sup> Centre Médical des Armées. BCRM Toulon (France).

## **ABSTRACT**

**Case series of unusual neurologic symptoms after scuba diving training sessions, in the context of SARS-COV2 preventive measures. L Daubresse, J Amara, M Grau, S De Maistre, G Cassourret, H Lehot, G Texier, JE Blatteau. Bull. MEDSUBHYP 2021, 31 (2) : 77-85.** In July 2020, 8 cases presented neurologic symptoms after scuba diving during military training course. These dives were characterized by a maximum depth of 30 meters, « yo-yo » depth variations and a duration of less than ten minutes. Given this unique situation of successive accidents occurring within a week, an investigation was carried out to identify contributing factors. The objective of this article is to describe the clinical presentation of these case series with the main contributive factors identified. The 8 student divers presented neurologic symptoms 5 to 50 hours after the last dive. These 8 cases were diagnosed as decompression sickness and received hyperbaric treatment. The last « yo-yo » dive is considered to be at risk of decompression sickness. Lack of aerobic physical training stemming from lockdown measures as well as insufficient water intake appear to be contributing factors. The significant time delay between emersion and symptoms onset remains unexplained. We can discuss the influence of extended exposure to increased levels of inhaled CO<sub>2</sub> due to wearing surgical masks after diving activity.

## **KEY WORDS**

Decompression sickness - scuba diving - "yo-yo" diving - Covid 19 - therapeutic recompression

## **INTRODUCTION**

En juillet 2020, 8 sujets ont présenté des symptômes neurologiques au décours de plongées de formation lors du cours Plongeur de Bord (PLB) à l'Ecole de Plongée (ECP) de Saint-Mandrier. Le cours PLB, d'une durée de 6 semaines, correspond au premier niveau d'apprentissage de la plongée sous-marine militaire. Il permet de plonger à l'air en circuit ouvert jusqu'à 35 mètres de profondeur.

Pour l'ensemble des accidents, la dernière plongée avant l'apparition des symptômes était une plongée d'une durée de travail de moins de 10 min pour une profondeur maximale de 30 mètres avec une vitesse de remontée de 15m/min, conformément aux règles appliquées dans les armées en juillet 2020. Lors de cette plongée d'entraînement, il y a eu réalisation d'un aller-retour fond-surface appelé « yo-yo », suivi d'un second retour en surface. Ce type de plongée est considéré comme un facteur de risque d'accident de désaturation (Gempp et Peny, 2016).

La survenue de signes neurologiques au décours de ce

type de plongée fait suspecter en première intention un accident de décompression ; cependant l'apparition tardive de symptômes entre 5 à 50 heures après la plongée n'est pas du tout habituelle.

Compte tenu de la nature exceptionnelle de ce groupement ou *cluster* d'accidents sans précédent à l'Ecole de Plongée, tant sur le plan de l'incidence que sur la présentation clinique, une enquête a été réalisée pour identifier les facteurs favorisants. En particulier, toutes les modifications liées au contexte « COVID 19 » mises en place dans l'organisation de ce cours PLB ont été analysées dans le détail ainsi que des causes environnementales pouvant être à l'origine de la survenue de symptômes cliniques neurologiques.

L'objectif de cet article est de décrire la présentation clinique de cette série de cas ainsi que les principaux facteurs favorisants identifiés lors de l'enquête. L'enquête et l'analyse épidémiologique relatives à cette série de cas sont présentées dans une publication distincte.

## RESULTATS

### PRESENTATION DES CAS

Lors des deux dernières semaines du stage PLB, des plongées à 30 mètres pour une durée de travail inférieure à 10 min sont réalisées dans le cadre de l'apprentissage de l'assistance à un plongeur en détresse. Les élèves réalisent leurs plongées à l'air et les instructeurs plongent au mélange suroxygéné Nitrox 40 % (oxygène 40 % - azote 60 %).

La plongée d'assistance à plongeur en détresse comprend la réalisation d'une variation d'immersion de type « yo-yo ».

Le samedi, une plongée non saturante a été réalisée dans la zone des 15 m pour s'initier aux travaux sous-marins.

Sept élèves et un instructeur ont présenté des signes neurologiques survenus 5 h à 50 h après la sortie de l'eau à la suite de ce type de plongée.

#### Cas n° 1 :

Le 16/07/20, un élève consulte à l'infirmerie de l'ECP pour sensation d'engourdissement d'un membre supérieur. La veille, le 15/07/20, il avait ressenti 5 heures après la sortie de l'eau d'une plongée à 30 mètres d'une durée de travail (DT) de 9 min avec un yo-yo, la même sensation mais n'avait pas consulté. Les signes ayant diminué le matin du 16/07, il refait une plongée identique avec réapparition des signes à la sortie de l'eau. L'examen clinique a été réalisé 3 heures après la sortie de l'eau retrouvant des paresthésies du membre supérieur gauche et une irritation pyramidale avec la présence d'une trépidation épileptoïde du membre inférieur gauche. L'élève est évacué sous oxygène normobare au masque à haute concentration pour prise en charge thérapeutique au centre hyperbare de l'hôpital Sainte-Anne. L'examen clinique ne met en évidence que des signes subjectifs à type de paresthésies du membre supérieur gauche. Une table thérapeutique de type B18 (durée totale 2 h 30 à 18 et 9 m, proche de l'USN T5) est réalisée avec une amélioration au décours, mais persistance de signes *a minima* fluctuant les jours suivants.

*Le 20 juillet matin, une plongée d'entraînement pour valider l'exercice d'assistance à un plongeur en détresse par 30 mètres de fond pour une durée de travail de 9 min est réalisée. C'est la dernière plongée à 30 mètres de ce cours PLB. Aucun palier n'est prévu pour ce type de plongée. Suite au nombre important d'accidents, les plongées pour ce cours ont été*

*suspendues jusqu'à la fin du stage, qui survenait 4 jours plus tard.*

#### Cas n° 2 :

Un élève se présente à 16 h 20, le 20 juillet à l'infirmerie de l'ECP car il ressent depuis 14 h 30 (5 h après sa sortie d'eau) des picotements sur l'ensemble d'un membre supérieur et des contractures musculaires. L'examen clinique initial ne retrouve pas de signes objectifs. Il est décidé de réaliser une recompression thérapeutique avec une table USN T5. Lors de la remontée, au palier à 9 m, une aggravation de l'état de l'accidenté avec présence de signes objectifs à type d'hypoesthésie de la cuisse gauche et de l'épaule gauche avec contraction du grand dentelé droit, nécessite de prolonger la durée du palier selon le profil de la table USN T6 (table d'une durée de 4 h 45 à la profondeur de 18 m et 9 m). A la sortie du caisson, l'examen clinique est strictement normal. Il est transféré dans la soirée vers le centre hyperbare de l'HIA Ste Anne, en air ambiant, pour poursuite de la prise en charge.

#### Cas n° 3 :

Dans la nuit du 20 au 21 juillet, un instructeur présente suite à cette même plongée, vers 4 h 00 du matin (soit 16 h après la sortie de l'eau), des picotements des membres supérieurs. Il n'avait pas plongé dans les 70 heures précédentes. Il est pris en charge au centre hyperbare de l'HIA Sainte-Anne. L'examen clinique retrouve des signes objectifs de trouble de la sensibilité à type d'hypoesthésie du bras droit sur le territoire de C6. Une table thérapeutique B18 est réalisée. A l'issue du traitement hyperbare, il persiste *a minima* des troubles de la sensibilité à type de paresthésie sur le territoire de C6 de manière bilatérale.

#### Cas n° 4 :

Le 21 juillet, un autre élève se présente à 7 h 30 à l'infirmerie. Il se plaint depuis 21 h la veille, de troubles de la sensibilité d'un membre supérieur gauche. L'examen clinique retrouve des signes objectifs neurologiques à type d'irritabilité pyramidale gauche et d'ataxie proprioceptive. Une table USN T6 est réalisée. On constate une amélioration partielle des signes à l'issue avec disparition de l'irritation pyramidale mais persistance de l'ataxie proprioceptive. Il est transféré à l'hôpital Sainte-Anne, en air ambiant, pour poursuite de la prise en charge et réaliser des séances d'oxygénothérapie hyperbare de consolidation.

Cas n° 5 :

Dans la nuit du 21 au 22 juillet, un 4<sup>e</sup> élève présente des picotements et des troubles de la sensibilité au niveau de la main gauche à type d'engourdissement. Il est dirigé directement vers le centre hyperbare de l'hôpital Sainte Anne, sous oxygène normobare au masque à haute concentration, où il est pris en charge. Des signes objectifs sont retrouvés au niveau de la main gauche à type de trouble thermo-algique sur le territoire de C7 gauche. Une table thérapeutique B18 est réalisée. A l'issue, persistance des signes subjectifs à type d'engourdissement de la main gauche mais disparition du trouble objectif thermo-algique.

Cas n° 6 :

Le 22 juillet, un 5<sup>e</sup> élève consulte à 7 h 15 pour troubles de la sensibilité à type de paresthésie du membre supérieur gauche et des orteils gauches, apparus à 3 h du matin. L'examen clinique ne retrouve aucun signe objectif. Coéquipier du cas n° 5, il avait eu un examen neurologique complet la veille qui n'avait retrouvé aucune anomalie clinique. Une table USN T5 est réalisée. A la sortie du caisson, le tableau clinique est inchangé avec persistance des signes subjectifs. Il est transféré vers l'HIA Ste-Anne, en air ambiant, pour poursuite de la prise en charge.

Cas n° 7 :

La même matinée du 22, un 6<sup>e</sup> élève consulte pour des picotements et des fourmillements au niveau d'une main apparus depuis 2 h soit 48 h après la dernière plongée (plongée du 20/7). L'examen clinique retrouve une ataxie proprioceptive et des paresthésies au niveau de la main gauche. Une table USN T5 est réalisée. A la sortie du caisson, les signes sont progressivement régressifs pour être totalement amendés lors de l'admission à l'HIA Ste-Anne.

Cas n° 8 :

Le 22 après-midi, un 7<sup>e</sup> élève se présente pour picotements et troubles de la sensibilité des membres supérieurs depuis 13 h 15 (soit près de 50 h après la sortie de l'eau) avec un état pseudo confusionnel transitoire rapporté par son entourage. A l'examen clinique, des signes objectifs neurologiques sont observés à type d'irritation pyramidale du membre inférieur gauche et d'ataxie proprioceptive. Une table thérapeutique USN T6 est réalisée. Au décours de la table, les signes cliniques régressent jusqu'à l'admission à l'HIA Sainte-Anne.

**Evolution et bilan hospitalier**

Tous les accidentés ont été hospitalisés à l'HIA Sainte-Anne et ont bénéficié de tables de consolidation à 2,5 ATA à raison d'une séance par jour avec un nombre total de séances variable en fonction de l'évolution clinique.

La biologie sanguine ne retrouve pas de signe de déshydratation ou de perturbation métabolique. Une PCR et une sérologie SARS CoV2 ont été systématiquement réalisées et sont revenues négatives. Il n'avait pas été réalisé de gazométrie pour ces patients.

Les examens complémentaires ont retrouvé la présence d'une communication droite-gauche pour les accidentés 2 et 8. (Scherzmann et coll. 2001 ; Gempp et coll. 2009). Les sujets 5 et 7 qui présentaient une recherche de communication droite-gauche non contributive ont subi une échographie trans-oesophagienne qui n'a pas objectivé de foramen ovale perméable.

Un vidéonystagmogramme (VNG) a été demandé pour les accidentés 4 et 7 pour explorer la fonction vestibulaire. Le VNG du cas 7 est revenu perturbé signant l'atteinte de l'oreille interne gauche. Pour le sujet 4, l'examen était strictement normal.

Dans le cadre de la recherche des facteurs favorisants d'un accident de décompression médullaire, une IRM de la moelle épinière a été prescrite pour rechercher d'éventuels facteurs compressifs médullaires. Un processus compressif a été mis en évidence pour le sujet 4 (Louge et coll. 2010).

A l'issue de la prise en charge au centre hyperbare, l'évolution a été favorable pour l'ensemble des accidentés avec une durée moyenne d'hospitalisation de 6 jours ( $\pm$  3 à 9 jours).

**Décision de reprise de la plongée**

L'ensemble des plongeurs accidentés, à l'issue de leur hospitalisation, ont été déclarés inaptes temporaires 3 mois à la plongée.

Les huit plongeurs ont été revus en visite au centre d'expertise plongée de l'HIA Ste-Anne. Les trois élèves présentant une communication droite-gauche ou une compression médullaire ont été déclarés inaptes définitifs à la plongée militaire. Les quatre autres élèves ont récupéré l'aptitude à la plongée militaire compte tenu de la bonne récupération clinique et des examens complémentaires normaux.

ACCIDENTE	DELAI 1ers signes (h)	SIGNES INITIAUX	EXAMEN CLINIQUE	TABLE INITIALE	EVOLUTION	BILAN PARACLINIQUE
1	5	Engourdissement MSG	Signes neurologiques subjectifs	B18	Fluctuation des signes Disparition progressive après tables de consolidation	EDTC - IRM MEDULLAIRE -
2	5	Hypoesthésie épaule Dte, contraction grand dentelé Dt	Signes neurologiques objectifs et subjectifs	T6	Fluctuation des signes Disparition progressive après tables de consolidation	EDTC + IRM MEDULLAIRE -
3	16	Engourdissement MSD	Signes neurologiques objectifs et subjectifs	B18	Fluctuation des signes Disparition progressive après tables de consolidation	EDTC - IRM MEDULLAIRE -
4	9	Paresthésie MSG	Signes neurologiques objectifs et subjectifs	T6	Normalisation de l'examen clinique le 22.07	EDTC - IRM MEDULLAIRE + (compression)
5	26	Paresthésie fluctuante des 4 membres, engourdissement MSG	Signes neurologiques objectifs et subjectifs	B18	Normalisation de l'examen clinique après la table initiale	EDTC DOUTEUX ETO - IRM MEDULLAIRE -
6	36	Engourdissement MS et orteil G	Signes neurologiques subjectifs	T5	Normalisation de l'examen clinique après la table initiale	EDTC - IRM MEDULLAIRE - VNG +
7	48	Paresthésie main G	Signes neurologiques objectifs et subjectifs	T5	Normalisation de l'examen clinique après la table initiale	EDTC DOUTEUX ETO - IRM MEDULLAIRE -
8	50	Confusion, paresthésie MSD et MSG	Signes neurologiques objectifs et subjectifs	T6	Fluctuation des signes Disparition progressive après tables de consolidation	EDTC + IRM MEDULLAIRE et CEREBRAL - VNG -

**Tableau I** : Présentation des cas, évolution clinique et paraclinique

La table initiale a une appellation différente si elle est réalisée en secteur hospitalier ou en unité.

Tables thérapeutiques :

Table B18 (secteur hospitalier) : O2 pur, 18m avec palier à 9m pour une durée de 2h30. Réalisée pour des accidents de plongée neurologiques estimés peu sévères

Table USN T5 (secteur unité) : O2 pur, 18m avec palier à 9m pour une durée de 2H45. Réalisée pour des accidents de plongée neurologiques estimés peu sévères

Table USN T6 (secteur unité) : O2 pur, 18m avec palier à 9m pour une durée de 4H45. Réalisée pour des accidents de plongée neurologiques estimés sévères

EDTC: écho doppler transcrânien à la recherche d'une communication droite gauche

VNG : Vidéonystagmogramme

MSD : Membre supérieur droit

MSG : Membre supérieur gauche

L'instructeur accidenté est actuellement inapte temporaire dans l'attente d'examen complémentaire. Les informations cliniques, paracliniques et thérapeutiques sont présentées dans le tableau I.

## DISCUSSION

Ce stage PLB était le premier stage post confinement réalisé à l'ECP. De nombreuses mesures ont été prises pour permettre sa réalisation dans les meilleures conditions possibles tout en respectant le protocole sanitaire en vigueur. Cela a entraîné des modifications d'organisation du cours par rapport aux précédentes sessions avec notamment la suppression des séances quotidiennes de sport en groupe, le passage à six jours de plongées par semaine (au lieu de cinq) avec une plongée le samedi, un confinement des stagiaires sur site le soir et les week-ends, le port du masque permanent en dehors des activités de plongée.

Cette série de plongeurs militaires présentant des signes neurologiques à l'issue de plongées de formation avec yo-yo est un événement inédit sur l'ECP, de par son incidence et le délai d'apparition des signes.

Deux éléments apparaissent exceptionnels :

- le regroupement de huit cas d'accidents de décompression neurologiques sur des plongées qui n'engendrent pas habituellement de pathologie.

Deux accidents de désaturation neurologiques seulement ont eu lieu à l'ECP au cours des cinq dernières années. Le premier en 2015 sur une plongée d'instruction avec yo-yo et en 2019 chez un plongeur belge après une plongée profonde à l'air (Pmax : 34 m / DT : 30 min). On a retrouvé pour ces deux accidentés la présence d'un FOP.

- Le délai entre la sortie de l'eau et la déclaration des symptômes. Il est communément décrit dans la littérature que les accidents de désaturation neurologiques surviennent pour la majorité des cas dans l'heure suivant la sortie de l'eau avec quelques rares cas tardifs jusqu'à 24 heures après la plongée (Francis et coll. 1988 ; Méliet et Mayan 1990 ; Gempp et coll. 2015). Sur cette série, des symptômes se sont déclarés jusqu'à 50 heures après la plongée inaugurale.

Ceci pose la question de l'origine de ces symptômes neurologiques : sommes-nous devant un réel accident de désaturation neurologique ou devant des symptômes attribuables à d'autres causes ? Pour cela, une enquête a été réalisée par le centre d'épidémiologie et de santé publique des armées (CESPA) pour balayer de nombreuses hypothèses

(environnement, hygiène, alimentaire...) pouvant provoquer des manifestations neurologiques sans lien avec la plongée. Nous avons également pris en compte toutes les modifications liées au contexte appliquées sur ce cours. Les résultats de l'enquête sont détaillés ci-après.

### Impact des plongées yo-yo

La plongée est une plongée d'entraînement d'assistance à un plongeur en détresse. La profondeur maximum est de 30 mètres pour une durée de travail inférieur à 10 min. Comme il s'agit de plongées d'apprentissage en binôme, la réalisation d'un yo-yo est nécessaire afin que chaque élève puisse réaliser l'exercice à tour de rôle avec pour sa réalisation deux décompressions successives de 30 m avec moins de trois minutes en surface, pour une vitesse de remontée de 15 m/min.

Ces plongées avec yo-yo sont identifiées comme étant accidentogènes. En effet, si le taux d'incidence global des accidents de désaturation est de 1/30 000 plongées pour les plongeurs militaires utilisant la table MN90, il s'avère en revanche que les plongées avec yo-yo ont un taux d'incidence plus élevé de 1/3 000 plongées (Blatteau et coll. 2005 ; Gempp et Peny, 2016).

De plus, la vitesse de remontée de 15 m/min appliquée dans la Marine nationale utilisant les tables MN90 peut également être incriminée dans la survenue d'accidents. Cette série d'accident plaide pour une vitesse de remontée moins rapide, correspondant plus aux vitesses de désaturation utilisées dans les algorithmes des ordinateurs civils.

### Impact des modifications d'organisation du stage en période COVID

Ce stage PLB a été conduit en cinq semaines avec des mesures de protection lourdes vis-à-vis du risque COVID, alors qu'habituellement un stage « standard » est mené en 6 semaines, hors contexte COVID. Les différences relevées pourraient, jusqu'à preuve du contraire, être identifiées comme des causes concourantes possibles. Le rythme des plongées était plus soutenu que pour les autres cours avec une plongée par jour (voire deux en cas de plongée de nuit) pendant 6 jours sur 7. Sur ce cours, les élèves avaient juste 24 h de repos physiologique contrairement aux 48 h habituelles. La fatigue physique et physiologique accumulée est un élément à prendre en compte comme facteur favorisant l'accident de désaturation.

Plusieurs facteurs décrits comme protecteurs (Blatteau

et coll. 2005 ; Pontier et Guerrero 2009 ; Castagna et coll. 2010), la pratique du sport d'endurance avant la plongée ou une bonne hydratation ont fait défaut au cours de ce stage. Il a en effet été montré que ces facteurs entraînent moins de bulles circulantes à l'issue de la plongée probablement en diminuant le nombre de noyaux gazeux à l'état basal (Carturan et Boussuges 2002 ; Nishi et coll. 2003). La pratique d'activités physiques quotidiennes (footing, natation) a été supprimée. Le manque d'hydratation pour les accidentés est un élément qui ressort de l'enquête épidémiologique. Il a été évalué depuis le questionnaire de ressenti réalisé par téléphone. Ce défaut d'hydratation a peut-être été majoré par le port du masque permanent qui semble avoir limité l'hydratation libre pour certains plongeurs accidentés. Plusieurs élèves accidentés (les sujets 3 et 8) ont réalisé des efforts immédiatement après la plongée pour remonter sur les embarcations pneumatiques. L'augmentation du risque d'accident de désaturation après un exercice post-plongée est connue depuis longtemps avec une exacerbation de la croissance des bulles dans un organisme saturé en azote et également la possibilité de passage artériel par l'intermédiaire d'un shunt droite-gauche lors de l'effort (Gempp et Blatteau 2008).

Par ailleurs, la plupart des stagiaires envisageaient de réaliser des formations complémentaires à la plongée militaire. Cette orientation fait peser un stress sur le stagiaire qui voit dans ce premier stage « sanctionnant », un passage obligé pour accéder à son souhait de carrière en tant que plongeur militaire.

Pour trois accidentés des facteurs favorisants comme la présence d'un shunt droite-gauche (sujet 2 et 8) ou d'une compression médullaire (sujet 4), ont été mis en évidence. Ces anomalies anatomiques sont connues pour augmenter le risque de survenue d'un accident de désaturation (Blatteau et coll. 2005 ; Louge et coll. 2010).

Mais même si certains facteurs favorisants ont pu être identifiés, cela n'explique pas l'augmentation du délai d'apparition des symptômes.

### **Impact potentiel du CO<sub>2</sub>**

Une hypothèse évoquée concerne le CO<sub>2</sub> inhalé post-plongée, lié au port permanent du masque anti-projection imposé par la crise sanitaire en cours. Ces valeurs, tout en étant dans les normes acceptées par la médecine du travail (INRS 1999), sont tout de même 10 fois plus élevées que celles admises pour les gaz de plongée (ANSES 2015). On peut discuter de l'hypothèse d'une exposition chronique à des faibles

niveaux d'élévation de CO<sub>2</sub> qui serait susceptible d'influencer la survenue d'accidents de désaturation et peut être de décaler l'apparition des symptômes.

L'hypercapnie est un facteur favorisants identifiés d'accidents de plongée comme la narcose ou la crise hyperoxique, ainsi que l'accident de désaturation (ANSES 2015). Mano et coll. montrent en 1978 qu'il existe une augmentation de l'incidence d'accidents de désaturation en travaillant en ambiance hyperbare avec un taux de CO<sub>2</sub> élevé (Mano et coll. 1978).

Il est important de rappeler les normes de la médecine du travail concernant le CO<sub>2</sub>. La valeur limite d'exposition professionnelle du CO<sub>2</sub> est de 0,5 % (5000 ppm). Il s'agit de la concentration maximale moyenne admissible dans l'air ambiant sur le lieu de travail, pendant une durée de travail quotidienne de 8 heures. Concernant les normes européennes, des incursions à des valeurs de CO<sub>2</sub> plus élevées ne sont pas recommandées (Louis and coll. 1999).

L'inhalation de concentrations de CO<sub>2</sub> plus élevées peut provoquer différents symptômes, en fonction de la fraction de CO<sub>2</sub> inspirée : entre 1 et 2 %, on retrouve une accélération de la réponse ventilatoire, des céphalées et une fatigue plus marquée. Des cas d'intoxication au CO<sub>2</sub> avec perte de conscience sont rapportés pour des concentrations supérieures à 5 % (50 000 ppm). Pour des concentrations nettement supérieures aux alentours de 10 % (100 000 ppm), l'ambiance devient toxique (Mastrodicasa et coll., 2018).

Par ailleurs, dans la littérature, en fonction du moment de l'exposition au CO<sub>2</sub> et de la nature de la variation de pression (exposition hypobares ou hyperbares), les effets sont différents. Egalement, l'impact d'une exposition chronique au CO<sub>2</sub> à des niveaux plus faibles n'est, à ce jour, pas connu. Andicochea, en 2019, suggère un possible lien entre la survenue d'accidents de désaturation et l'exposition chronique à de faibles taux de CO<sub>2</sub> (Andicochea et coll., 2019). Des aviateurs, exposés de manière prolongée à des concentrations de CO<sub>2</sub> aux alentours des 1000 ppm avant leur vol, ont présenté des manifestations cliniques cognitives pouvant relever de la maladie de décompression d'altitude.

Il manque dans la littérature, des données biologiques de mesures des gaz du sang pouvant mesurer la PACO<sub>2</sub>, la PaCO<sub>2</sub> ainsi que le comportement des systèmes tampons de l'organisme pour maintenir l'équilibre acido-basique en ambiance hypercapnique.

### **Le délai de survenue des symptômes**

Un fait marquant dans l'ensemble de ces accidents est

le délai de survenus des symptômes neurologiques allant jusqu'à cinquante heures après la sortie de l'eau. Ce délai n'a jamais été décrit jusqu'à présent, sachant que les accidents de désaturation surviennent, pour 75 % des cas, dans l'heure qui suit la sortie de l'eau (Gempp et coll. 2015).

Une première hypothèse évoquée est la non déclaration des symptômes dans un contexte de stage validant et le risque d'inaptitude définitive à la plongée. En reprenant la chronologie des symptômes avec chaque accidenté, à distance de la phase de traitement, cette hypothèse est écartée.

Une deuxième hypothèse peut être une modification de la dénitrégation avec un retard de celle-ci causée par le port du masque obligatoire. En effectuant une respiration en air ambiant sans entrave, le taux d'azote résiduel dans l'organisme diminue de manière linéaire dès que le corps n'est plus soumis à l'ambiance hyperbare. Il est possible de considérer que, si la respiration ne peut s'effectuer de manière libre, le taux d'azote résiduel met plus de temps à diminuer. Il est donc possible, dans ce contexte, que la survenue des symptômes neurologiques arrive plus tard que les six heures habituelles.

#### **MESURES CORRECTRICES APPORTEES A L'ISSUE DE L'ENQUETE**

##### **Au niveau des plongées réalisées durant le cours, les recommandations suivantes ont été formulées :**

- Limitation à une plongée « yo-yo » par jour avec limitation stricte de trois yo-yos dans la zone des 0-20 m et un yo-yo dans la zone de 21-35 m. Favoriser la réalisation d'un palier de sécurité systématique lors d'une plongée yo-yo.
- Proscrire le travail de force dans l'heure suivant une plongée.

##### **Au niveau de l'organisation générale du cours, les recommandations ont été les suivantes :**

- Recours à la programmation habituelle à 6 semaines avec un repos physique et physiologique le week-end sans activité subaquatique ;
- Activités physiques aérobie régulière et durant l'ensemble du cours ;
- Hydratation régulière et continue durant la journée et en soirée ;
- Consigne de bonnes pratiques sportives durant la période de confinement avant le stage, en privilégiant des exercices d'endurance réguliers pour maintenir une bonne capacité physique ;
- Dans l'attente de résultats complémentaires sur l'impact éventuel de la rétention de CO<sub>2</sub> lié au

port du masque anti-projection, enlever le masque dans l'heure suivant la plongée sous réserve du respect de la distanciation.

#### **CONCLUSION**

Un cluster d'accidents de désaturation neurologiques avec symptômes tardifs est survenu dans un contexte post-confinement lié à la pandémie Sars-CoV-2 avec des mesures sanitaires strictes en vigueur. L'enquête épidémiologique réalisée a permis de faire ressortir des facteurs ayant pu potentialiser la survenue des accidents et ainsi proposer des mesures correctrices à applications immédiates. Néanmoins, le délai important entre la sortie de l'eau et la survenue des symptômes reste inexpliqué. Cela amène à réfléchir sur de possibles phénomènes non identifiés entraînant soit un retard de dénitrégation soit une perturbation métabolique pouvant déclencher une maladie de désaturation retardée. En regard de la littérature assez ancienne sur le rôle du CO<sub>2</sub> en milieu hyperbare, il serait intéressant de poursuivre cette réflexion autour d'une étude évaluant l'impact d'une élévation modérée du CO<sub>2</sub> liée au port du masque anti projection sur l'organisme et ses conséquences sur la décompression.

#### **REFERENCES**

Andicochea CT, Henriques ME, Fulkerson J, Jay S, Chen H, Deaton T. Elevated environmental carbon dioxide exposure confounding physiologic events in aviators? *Military Medicine* 2019; 184: 863-867.

ANSES. Effets sanitaires liés aux expositions professionnelles à des mélanges gazeux respiratoires autres que l'air dans le cadre des activités hyperbares. Avis et rapport d'expertise. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort: 2014. 352 p.

Blatteau JE, Gempp E, Galland FM, Pontier JM, Sainty JM, Robinet C. Aerobic exercise 2 hours before a dive to 30 msw decreases bubble formation after decompression. *Aviat Space Environ Med.* 2005;76(7): 666-669.

Blatteau JE, Guigues JM, Hugon M. Air diving with decompression table MN90 : 12 years of use by the French Navy. Study about 61 decompression sickness

for 1990-2020. *Science & Sport* 2005; 20: 119-123.

Blatteau JE. Compte-rendu de la 8<sup>e</sup> réunion du groupe de suivi permanent des questions de santé relatives à la plongée humaine. Lettre GSP\_PH N°8 (V2) SMHEP/HIA 7.08.2020.

Carturan D, Boussuges A, Vanuxem P, Bar-Hen A, Burnet H, Gardette B. Ascent rate, age, maximum oxygen uptake, adiposity, and circulating venous bubbles after diving. *J Appl Physiol* 2002; 93: 1349-5136.

Castagna O, Brisswalter J, Vallée N, Blatteau JE. Endurance exercice immédiatement before sea diving reduces bubble formation in scuba divers. *Eur J Appl Physiol* 2010; 111: 1047-54.

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): 403-417.

Gempp E, Blatteau JE, Influence of exercise on decompression sickness. *App Physiol Nutr Metab* 2008; 33 (4): 666-670.

Gempp E, Blatteau JE, Stephan E, Louge P. Relation between right-to-left shunts and spinal cord decompression sickness in divers. *Int Sports Med* 2009; 30(2): 150-3.

Gempp E, Louge P, De Maistre S. Manifestations neurologiques après plongée sous-marine : attitude pratique. *Médecine et armées* 2015; 43(1): 61-8.

Gempp E, Peny C. Yo-Yo diving and risk of decompression sickness in trainee military divers. *J Occup Environ Med.* 2016; 58 (9) : e336-337.

INRS. Intoxication par inhalation de dioxyde de carbone. Dossier médico-technique INRS. Documents

pour le médecin du travail, n° 79, 3e trimestre 1999.

Louge P, Gempp E, Constantin P, Hugon M. Problématique des accidents de décompression médullaire. *SFMU Urgences* 2010. Session carum SSA : hypo et hyperbarie en médecine militaire Cha 73 ; 829-839

Louis F, Guez M, Le Bacle C. Intoxication par inhalation de dioxyde de carbone. *Documents pour le médecin du travail* ; 1999, 79.

Mano Y, D'Arrigo JS. Relationship between CO2 levels and decompression sickness: implication for disease prevention. *Aviat Space Environ Med* 1978; 49 (2): 349-355.

Mastrodicasa A, Cuenoud A, Pasquier M, Carron P.N. Intoxication aiguë au dioxyde de carbone. *Ann. Fr. Med. Urgence.* 2018; 8 : 326-331.

Méliet JL, Mayan PY. Le pronostic des accidents de décompression dans la marine nationale. Influence du délai d'apparition et du délai de recompression. *MEDSUBHYP* 1990; 9 (3): 63-75.

Nishi RY, Brubakk AO, Eftedal OS. Bubble detection. *In: Brubakk AO, Neuman TS (eds). The Bennett and Elliot's Physiology and Medicine of Diving.* 5<sup>th</sup> ed. London: WB Saunders; 2003. p. 501-529.

Pontier JM, Guerrero F. Effet d'une exposition répétée à l'exercice physique et au stress de la décompression sur la réduction du phénomène bullaire. *Medsubhyp* 2009; 19 (1): 67-77.

Schwerzmann M, Seiler C, Lipp E, *et al.* Relation between directly detected patent foramen ovale and ischemic brain lesions in sports divers. *Ann Intern Med* 2001; 134; 21-24.

## RESUME

Survenue d'une série de cas inhabituels de symptômes neurologiques au décours de plongées de formation dans un contexte de mesures préventives liées au Sars-Cov2. L Daubresse, J Amara, M Grau, S De Maistre, G Cassouret, H Lehot, G Texier, JE Blatteau. *Bull. MEDSUBHYP* 2021, 31 (2) : 77 - 85.

En juillet 2020, huit sujets ont présenté des symptômes neurologiques au décours de plongées à l'occasion d'une formation à la plongée militaire. Il s'agissait de plongées avec variation d'immersion de type « yo-yo » à la profondeur de 30 mètres et de durées inférieures à 10 minutes. Compte tenu de la nature exceptionnelle de ces accidents consécutifs survenue en l'espace d'une semaine, une enquête a été réalisée pour identifier les facteurs favorisants. L'objectif de cet article est de décrire la présentation clinique de cette série de cas avec les principaux facteurs favorisants identifiés. Les huit élèves plongeurs ont présentés des symptômes neurologiques 5 à 50 heures après la dernière plongée. Ces huit cas ont été diagnostiqués comme accident de désaturation neurologique et ont bénéficié d'un traitement hyperbare. La dernière

## Accidents neurologiques et mesure préventive contre SARSCOV2

plongée réalisée de type « yo-yo » est considérée comme à risque d'accident de désaturation. Un défaut d'entraînement physique de type aérobie lié au confinement ainsi qu'un défaut d'hydratation ressortent également comme facteurs favorisants. Le délai important entre l'émergence et l'apparition des symptômes demeure inexpliqué. L'influence d'une exposition prolongée à des niveaux augmentés de CO<sub>2</sub> inhalé, liée au port du masque anti-projection en dehors des activités de plongée, est discutée.

### **MOTS CLES**

plongée sous-marine - plongée « yo-yo »- accident de décompression – bulles – symptômes neurologiques - Covid 19 - recompression hyperbare – CO<sub>2</sub>

Daubresse et coll.

# **REGLES DE BON USAGE POUR LA PRESENTATION D'UN ARTICLE MEDICAL OU SCIENTIFIQUE A MEDSUBHYP**

ou

## ***La forme est garante du fond***

(principe juridique)

**J.—L. MELIET, J. REGNARD, J.-C ROSTAIN.** (omité de lecture du conseil scientifique de Medsubhyp)

Le comité de lecture du Bulletin Medsubhyp reçoit de plus en plus des propositions de publication d'articles rédigés par de jeunes confrères. Il faut les en remercier chaleureusement et les encourager à persévérer.

Malheureusement, certains de ces manuscrits demandent de nombreuses corrections, voire modifications, pour les rendre publiables. Les observations formulées par le comité de lecture peuvent apparaître frustrantes ou dévalorisantes. Il n'en est rien. Elles sont destinées à rendre la publication parfaitement compréhensible, sans équivoque, de manière à soutenir l'intérêt du lecteur et, dans un objectif pédagogique, à permettre aux auteurs de s'améliorer.

On trouve sur internet de nombreux guides pour la rédaction d'articles scientifiques (ex. : lepcam.fr). Le présent document en rappelle les règles essentielles.

### **1.- REGLES GENERALES REDACTIONNELLES**

Les articles publiés dans le Bulletin Medsubhyp doivent être écrits en langue française et exempts de fautes d'orthographe (se relire, activer le correcteur orthographique du traitement de texte). Les phrases doivent être courtes : sujet, verbe, complément(s). Le complément d'objet direct est placé avant les autres compléments. Une phrase de quatre lignes est trop longue. Elle pourrait être remplacée par quatre phrases d'une ligne. Les adverbes, utilisés avec parcimonie, sont le plus souvent placés après le verbe dont ils modifient le sens. Les rédacteurs doivent être attentifs aux règles de concordance des temps.

Le jargonage doit être évité. Le vocabulaire familier d'une discipline au sein d'une communauté peut être différent de celui employé dans une autre et risque de créer des erreurs d'interprétation. Les sigles et abréviations non conventionnels (au sens d'une convention nationale ou internationale) doivent être explicités à leur première apparition.

Les formes elliptiques, d'un usage fréquent dans la langue parlée (« plongée loisir » au lieu de « plongée de loisir », « médecin de plongée » au lieu de « médecin de la plongée », « activités nature » au lieu de « activités en milieu naturel ») sont incorrectes à l'écrit.

L'usage de verbes autres que *être* et *avoir* comme auxiliaires doit être limité (ex. : *je vais aller courir* au lieu de *je vais courir*).

Les mots étrangers passés dans la langue française forment leur pluriel conformément aux règles grammaticales françaises ; ex. : un forum, des forums ; un stimulus, des stimulus ; un scénario, des scénarios ; un opéra, des opéras.

Les traductions erronées des faux amis de la langue anglaise doivent être évitées. Ex. : *rationale* traduit par « rationnel » au lieu « d'argumentaire » ou « raisonnement ».

Les usages de la typographie française, rappelés en annexe, doivent être respectés. Ils sont différents de la typographie anglaise ou américaine en usage dans les publications en langue anglaise. Ils sont destinés à faciliter la lecture. Ce ne sont pas des règles ; il s'agit d'une convention que l'on retrouve dans toutes les publications de langue française (livres, magazines, journaux, etc.)

Les notations internationales des variables, des constantes et de leurs unités doivent être respectées (on pourra se référer aux « Tables de physiques », Broussolle et coll. 2006<sup>1</sup>).

## **2.- LE PLAN**

Un article scientifique est articulé en un plan quasi immuable comprenant introduction, objectifs, méthodologie, résultats, discussion, conclusion et bibliographie. Les volumes respectifs des différentes parties sont donnés à titre indicatif.

### **2.1.- Le titre**

Il ne doit pas être trop long et doit exprimer le sujet de l'article de manière à retenir l'attention dès la lecture de la table des matières.

### **2.2.- Les auteurs**

Le rédacteur figure en premier auteur. Le superviseur du travail (chef de service ou directeur de recherche) figure en dernier. Cependant, pour tenir compte de la possibilité de ne citer que trois auteurs dans les listes bibliographiques, il est possible de le faire figurer en troisième position.

Les affiliations des auteurs sont indiquées, de même que les coordonnées de l'auteur correspondant (le premier auteur le plus souvent, mais pas nécessairement).

### **2.3.- L'introduction** (environ 10 % du texte)

Elle indique et motive les raisons pour lesquelles l'étude est entreprise. L'hypothèse de départ est exposée clairement et justifiée.

---

<sup>1</sup> Broussolle B, Méliet JL, Coulange M (éd.). Tables de physiques. *In* : Physiologie et médecine de la plongée. 2<sup>e</sup> éd. Ellipses Editions Marketing. Paris : 2006. p. 858-66.

#### **2.4.- Les objectifs du travail**

Si cette partie est incluse dans l'introduction, elle doit apparaître clairement.

Les objectifs doivent être clairement identifiés (ce qui nécessite une réflexion préalable) et exposés en distinguant si besoin le ou les objectifs principaux et le ou les objectifs secondaires. S'ils sont atteints, ils doivent permettre de répondre à l'hypothèse de départ.

#### **2.5.- La méthodologie** (environ 20 % du texte)

L'exposé de la méthodologie doit justifier les méthodes employées en se référant si besoin à des travaux antérieurs, du même auteur ou de la littérature. Les travaux issus de la littérature sont présentés par ordre chronologique. Il est préférable de rapporter la publication *princeps*, même si elle date du XIX<sup>e</sup> siècle (Paul Bert en est le meilleur exemple pour notre discipline), que de citer un auteur contemporain qui lui-même la rapporte.

Dans certains cas, cet exposé et cette justification peuvent nécessiter un article complet préalable à l'exposé de l'étude.

#### **2.6.- Les résultats** (environ 20 % du texte)

Ils sont présentés autant que possible dans un tableau récapitulatif (même ceux qui ne sont pas significatifs). Ils sont décrits et commentés dans un texte synthétique du type « On observe... » renvoyant au tableau.

Ils sont exprimés en suivant un ordre logique : les observations, puis les mesures. Les variables mesurées doivent être distinguées des grandeurs calculées qui sont présentées dans un tableau séparé ou au moins dans une colonne clairement identifiée. Les unités sont toujours précisées. Le cas échéant, la proportion de la population concernée peut être exprimée en pourcentage, entre parenthèse après les effectifs.

Le nombre de décimales des nombres exprimant les résultats doit être adapté à la précision de la mesure et à l'effectif.

Le degré de significativité (valeur  $p$ , de préférence à  $p$ -value) n'est pas un résultat, mais une validation (ou non) de la différence observée. Les intervalles de confiance s'écrivent entre crochets [xx, yy].

#### **2.7.- La discussion** (environ 40 % du texte)

Elle a quatre aspects :

- la validation des mesures ou observations (validité de l'échantillon, étalonnages, précision, dispersion, significativité, etc.) ;
- la comparaison avec les données de la littérature (confirmations, différences, méthodes utilisées, échantillons, etc.) ;
- l'interprétation des résultats : proposition d'une explication aux variations observées.
- Enfin, on y indique si l'hypothèse de départ est confirmée ou non. Des travaux complémentaires peuvent être mentionnés comme nécessaires.

#### **2.8.- La conclusion** (environ 10 % du texte)

Elle reprend les principales conclusions de la recherche. La relation entre l'hypothèse de départ et les résultats doit être rappelée (Peut-on réellement tirer de telles conclusions à partir des résultats ? Quelles preuves apportons-nous ?)

## **2.9.- La bibliographie**

Les auteurs auxquels on fait référence doivent être cités dans le texte avec la date de publication. Les références sont présentées par ordre alphabétique des noms d'auteurs et, pour un même auteur ou groupes d'auteurs, par ordre chronologique. La notation doit être conforme aux normes en vigueur (voir les recommandations aux auteurs). La notation de la *National Library of Medicine (PubMed)* peut servir de modèle.

Son objet est de permettre au lecteur de se procurer le document en question. Le cas échéant, l'adresse internet sur laquelle on peut consulter le document doit être vérifiée avant publication. La date de la dernière consultation doit être indiquée.

## **2.10.- Les résumés**

Les articles publiés dans le Bulletin Medsubhyp doivent être accompagnés d'un résumé en français et d'un résumé en anglais. Ils sont destinés à retenir l'attention du lecteur et à lui donner envie de lire l'article.

D'un volume de 400 mots (en français), ils reprennent les différentes parties de l'article (introduction et objectifs - méthodologie - résultats - discussion - conclusion). Ils ne comportent ni illustration, ni bibliographie.

## **2.11.- L'iconographie**

Elle doit être appelée dans le texte. Les tableaux sont numérotés en chiffres romains, les figures en chiffres arabes. Les figures sont au format \*.jpg avec la meilleure définition possible (300 dpi<sup>2</sup> de préférence). L'éditeur se réserve le droit de refuser une figure ayant une définition insuffisante.

L'iconographie est présentée dans un document Word séparé, un tableau ou figure par page. Le titre et les commentaires et légendes du tableau ou de la figure sont en traitement de texte séparé.

## **3.- LA RELECTURE**

Cette étape est essentielle. Nul ne peut prétendre rédiger du premier jet un article parfait. La relecture critique doit porter tant sur le fond que sur la forme.

---

<sup>2</sup> *dot per inch* : point par pouce

La première relecture est celle de l'auteur lui-même puis de tous les co-auteurs, en particulier du directeur du travail.

Il est de plus vivement conseillé de soumettre l'article à un relecteur extérieur au travail, qui devra en particulier apprécier la clarté du message et sa compréhension.

#### **4.- LA SOUMISSION AU COMITE DE LECTURE**

Deux documents doivent être adressés sous format Word au conseil scientifique de Medsubhyp ([conseilscientifique@medsubhyp.fr](mailto:conseilscientifique@medsubhyp.fr)) : le texte de l'article et le document des tableaux et figures.

Les membres du comité de lecture proposent s'il y a lieu à l'auteur principal des corrections ou modifications. L'article ne peut être publié si les observations du comité de lecture ne sont pas prises en compte.

---

## Annexe

### Règles de typographie française applicables à l'écriture d'articles, de comptes rendus de réunions, de projets, de messages électroniques ou de pages HTML

---

Les quelques règles qui suivent sont extraites du *Manuel de typographie française élémentaire* d'Yves Perrousseau\*.

#### Abréviations

- Une abréviation qui ne se compose que des premières lettres du mot se termine par un point : référence = réf.
- Une abréviation qui se termine par la dernière lettre du mot ne comporte pas ce point final : boulevard = bd
- L'abréviation des groupes de mots ne comporte pas de point final : s'il vous plaît : SVP ou svp
- On abrège :
  - article, par art. (ne s'abrège pas lorsqu'il s'agit de l'article premier de statuts ou de titres de lois)
  - c'est-à-dire, par c.-à-d. ou c-à-d
  - confer, par cf.
  - environ, par env.
  - et cætera, par etc. (pas de points de suspension ni de répétition)
  - exemple, par ex.
  - figure, par fig.
  - siècle, par s.
  - société, par sté ou Sté
  - suivant(e)(s), par suiv.
  - supplément, par suppl.
  - téléphone, par Tél. ou tél.

#### Nombres ordinaux

- premier, premiers, première, premières : 1<sup>er</sup>, 1<sup>ers</sup>, 1<sup>re</sup>, 1<sup>res</sup> ;
- deuxième, deuxièmes : 2<sup>e</sup>, 2<sup>es</sup> ; deuxième ou second : on emploie deuxième quand l'énumération peut aller au delà de deux et second quand l'énumération s'arrête à deux.  
Ex. : deuxième République, seconde mi-temps ;
- troisième, troisièmes : 3<sup>e</sup>, 3<sup>es</sup> ;
- primo, secundo, tertio : 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup>.

#### Mots étrangers

Les mots de langue étrangère non francisés sont écrits en italique : un *e-mail*.

#### Majuscules et minuscules

---

\* Perrousseau Y. Manuel de typographie française élémentaire, 5<sup>e</sup> éd. Atelier Perrousseau, Gap. 2000. 127 p.

On compose avec une capitale initiale :

- les noms des peuples, les habitants des régions ou des agglomérations : les Espagnols, les Alsaciens, les Grenoblois. Par contre le nom des langues commence par une minuscule : l'espagnol, le français, le russe, l'arabe, etc.

On écrira donc : un agent de police, la commission des finances, l'état-major ;

- les organismes d'État (l'Académie de médecine, le Muséum d'histoire naturelle, le Collège de France, le ministre de l'Éducation nationale).

### **Chiffres**

- Séparation des milliers avec une espace insécable : la version 48 de l'EMBL contient 700 169 610 bases, 1 046 026 séquences, 181 343 sous-séquences, 114 821 références.

- Notation décimale avec une virgule : 995,55. La notation décimale avec un point et la séparation des milliers avec des virgules appartiennent à la typographie américaine.

On compose en lettres les nombres inférieurs à 10 : ce document comprend trois parties. Il y a quatre ans et deux mois, avait lieu...

Le nombre indiquant la mesure et le symbole des unités sont séparés par une espace : 125 m, 21 h 15, 95 %, 37,2 °C.

### **Unités**

Les unités du système international doivent être employées. Les unités qui n'en font pas partie doivent être explicitées ( ex. ATA : atmosphère absolue).

### **Ponctuation**

Les guillemets typographiques « ... » sont utilisés pour un dialogue ou une citation. Le point final se met avant ou après le guillemet fermant suivant le contexte. Il n'est pas doublé. Les guillemets informatiques "..." ou anglo-saxons "... " ne sont pas utilisés en typographie française.

### **Les énumérations**

- elles sont introduites par un deux-points ;
- les énumérations de premier rang sont introduites par un tiret et se terminent par un point-virgule, sauf la dernière par un point final ;
- les énumérations de second rang sont introduites par un tiret décalé et se terminent par une virgule.

### **Les titres et intertitres**

Quand le découpage des lignes permet d'en comprendre le sens, on ne met pas de point, de virgule ou de point virgule.

### **Espaces en usage avant et après les signes de ponctuation**

- Point et virgule sont suivis d'une espace.
- Point d'interrogation, point d'exclamation, point-virgule et deux-points sont suivis d'une espace et précédés d'une « espace fine insécable ». Ce caractère, auquel les professionnels de

l'édition de texte sont justement attachés, existe dans la version française des traitements de texte.

- Les guillemets ouvrants ou fermants sont, respectivement, précédés ou suivis d'une espace insécable.
- Les parenthèses ou crochets ouvrants sont précédés d'une espace.
- Les parenthèses ou crochets fermants sont suivis d'une espace.
- Les apostrophes et traits d'union ne sont ni précédés ni suivis d'espace.
- Le tiret est précédé et suivi d'une espace.
- Les points de suspension sont suivis d'un blanc.

## RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

### MANUSCRIT:

Le manuscrit soumis pour publication sera adressé, à l'Editeur du Bulletin (Dr JC ROSTAIN - Physiopathologie et Action Thérapeutique des Gaz Sous Pression - UPRES - EA 3280 - Faculté de Médecine Nord - 13344 Marseille Cedex 15 -), avec les tableaux, figures, annexes et résumés (total de 10 pages maximum, sauf accord préalable) de préférence par courriel à jean-claude.rostain@univ-amu.fr

Le texte sera écrit en français, en Times New Roman 12, simple interligne, texte justifié, début de paragraphe sans retrait, saut d'une ligne entre chaque paragraphe. Les pages seront numérotées dès la page de titre (pagination automatique Word). Les titres seront précédés et suivis d'un saut de ligne. Pas de ponctuation en fin de titre.

Eviter les caractères italiques, les soulignements et les notes de bas de page. Seules les abréviations internationales connues peuvent être utilisées. En ce qui concerne les signes peu courants, il faudra signaler leur justification, entre parenthèses, la première fois qu'ils apparaîtront dans le texte.

Un bref résumé de l'article en français et en anglais avec un titre en anglais, sera joint au manuscrit (150 mots ou 1000 caractères espaces compris pour chacun des résumés).

Chaque manuscrit devra comporter :

- les noms exacts et les prénoms des auteurs, ainsi que leurs adresses complètes avec l'e-mail du premier auteur
- le nom et l'adresse de l'hôpital, du centre ou de l'institut où a été réalisé le travail.
- le titre et le résumé en anglais, l'introduction, les matériels et méthode, les résultats, la discussion, les références et le résumé en français.

### REFERENCES:

Les citations dans le texte se feront entre parenthèses de la façon suivante :

- 1 auteur : (Bennett 1975)
- 2 auteurs : (Rostain et Naquet 1974)
- 3 auteurs et plus : (Brauer et coll. 1974)

Les références bibliographiques seront présentées par ordre alphabétique :

- pour un mémoire : 1/ le nom des auteurs et les initiales de leurs prénoms ; 2/ le titre intégral du mémoire dans la langue originale ; 3/ le nom du journal (abrégé selon les normes internationales) ; 4/ l'année de parution ; 5/ le tome ; 6/ la première et la dernière page
- pour un livre : 1/ le nom des auteurs et les initiales de leurs prénoms ; 2/ le titre de l'ouvrage ; 3/ le numéro d'édition à partir de la seconde édition ; 4/ le nom de la maison d'édition ; 5/ la ville ; 6/ l'année de parution ; 7 / le nombre de pages
- pour un article dans un livre : 1/ le nom des auteurs et les initiales de leurs prénoms ; 2/ le titre intégral de l'article ; 3/ le nom de l'éditeur ; 4/ le titre de l'ouvrage ; 5/ le numéro d'édition à partir de la seconde édition ; 6/ le nom de la maison d'édition ; 7/ la ville ; 8/ l'année de parution ; 9/ le nombre de pages

### Exemples

#### REVUE :

Rostain JC, Gardette B, Naquet R. Effects of exponential compression curves with nitrogen injection in man. *J Appl Physiol* 1987, 63 : 421-425.

#### LIVRE :

Jannasch HW, Marquis RE, Zimmerman AM, (eds). *Current perspectives in High Pressure Biology*. Academic Press, London. 1987, 341 p.

#### ARTICLE DANS UN LIVRE :

Rostain JC, Lemaire C, Naquet R. Deep diving, neurological problems. *In* : P. Dejours, (ed). *Comparative physiology of environmental adaptations*. Karger, Basel. 1987, p 38-47.

### ILLUSTRATIONS:

Ne fournir que des photographies sur papier, des figures et schémas aux dimensions prévues pour la publication ou des reproductions de bonne qualité sur ordinateur. Envoyer les figures au format JPEG.

Tenir compte du degré de réduction avant de fixer la dimension des lettres figurant sur le dessin.

Les schémas et illustrations seront numérotés en chiffres arabes. Les tableaux seront notés en chiffres romains. En ce qui concerne la radiologie, ne fournir que d'excellents tirages sur papier.

Dactylographier sur une feuille à part les légendes des figures. Légendes et figures sont à envoyés séparées du texte.

**SOMMAIRE**

- Etude épidémiologique rétrospective sur les œdèmes pulmonaires d'immersion survenus à l'école de Plongée de 2016 à 2019.  
L Daubresse, S de Maistre. 57 - 65.
- Étude épidémiologique française des plongeurs en situation de handicap sur la saison 2019-2020.  
L Vilijn, M Coulange. 67 - 75.
- Survenue d'une série de cas inhabituels de symptômes neurologiques au décours de plongées de formation dans un contexte de mesures préventives liées au Sars-Cov2.  
L Daubresse, J Amara, M Grau, S De Maistre, G Cassourret, H Lehot, G Texier, JE Blatteau. 77 - 85.
- Règles de bon usage pour la présentation d'un article médical ou scientifique à MEDSUBHYP  
JL Méliet, J Regnard, JC Rostain 87 - 94.