

Journées Thématiques Interactives – SFMU Toulon 2019

Accidents de plongée

Mathieu Coulange^{1,2,3} , MD, PhD

Angel Lara³, IDE Hyperbare

1 - Service de Médecine Hyperbare, Subaquatique et Maritime – Hôpital de Sainte Marguerite, AP-HM

2 - C2VN, INRA, INSERM, Aix Marseille Université

3 - Institut de Physiologie et de Médecine en Milieu Maritime et en Environnement Extrême

Introduction

La plongée sous-marine consiste à évoluer en immersion à des pressions supérieures à la pression atmosphérique. Elle se pratique en milieu naturel (mer, lac, cavité souterraine...) ou en milieu artificiel (piscine, fosse de plongée, carrière). Le plongeur loisir en scaphandre autonome est équipé d'une bouteille contenant de l'air sous pression ou des mélanges nitrox (suroxygéné), héliox (oxygène - hélium) ou trimix (oxygène - hélium - azote). Il ventile par l'intermédiaire d'un détendeur (circuit ouvert) ou utilise un appareil ventilatoire à recyclage (recycleur) (fig. 1A et B). Le plongeur professionnel peut être équipé d'un narguilé et effectuer des plongées par incursion avec une bulle ou une tourelle ou encore des plongées en saturation, nécessitant plusieurs jours pour être ramené à la pression ambiante y compris en cas d'urgence médicale (fig. 1C, D, E et F). Il peut également réaliser des interventions en milieu hyperbare non humide en particulier à l'intérieur des tunneliers. L'apnée désigne la plongée sans appareil ventilatoire. L'apnéiste cherche à rester le plus longtemps possible en statique (apnée statique), à parcourir la plus longue distance horizontalement (apnée dynamique), à atteindre la profondeur la plus importante (en immersion libre, en poids constant, en poids variable ou en « no limit ») ou encore pratique l'apnée dans le cadre de la chasse sous-marine.



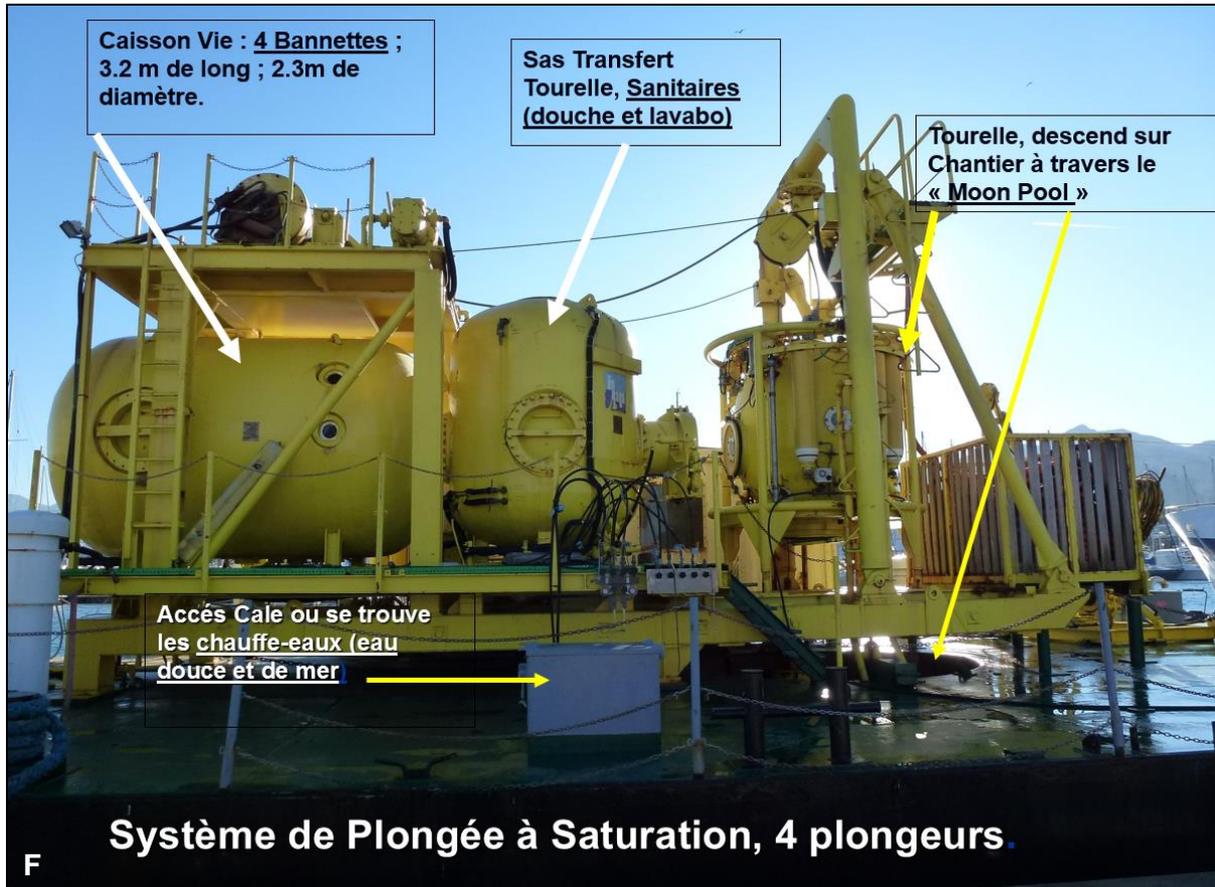


Fig. 1 : Plongeur en circuit ouvert (A), en recycleur (B), au narguilé (C), en bulle (D), en tourelle (E) et enceinte à saturation (F) (Sources : Sécurité Civile - INPP)

L'accident de plongée est une pathologie rare. Le polymorphisme clinique et la multitude des diagnostics imposent une prise en charge standardisée avec un avis spécialisé systématique et précoce. Tout signe qui apparaît dans les 24 heures qui suivent une plongée est un accident de plongée jusqu'à preuve du contraire. Toute plongée non conforme sans procédure de rattrapage, y compris en l'absence de signe clinique, doit être traitée comme un accident. Une plongée sans erreur ne met pas à l'abri d'un accident. Le transfert vers un centre référent est une urgence absolue en particulier lorsque l'oxygénothérapie hyperbare est indiquée.

L'accident en apnée doit bénéficier d'une filière de soins identique avec un avis hyperbare systématique. Il peut également nécessiter une recompression thérapeutique en urgence.

1. Epidémiologie

En France, chaque année, les centres hyperbares traitent environ 350 accidents de plongée, soit 1 accident pour 6 à 10.000 plongées (300.000 plongeurs en France). La majorité survient sur la côte méditerranéenne principalement l'été, avec des pics en Mai (reprise de la plongée, week-end prolongé, conditions météorologiques plus ou moins défavorables...), en Juillet-Août (pic de fréquence) et en Septembre (fin de saison, fatigue, période de formation...). En hiver, même si la fréquentation est moindre, les conditions météorologiques défavorables en particulier le froid majorent le risque.

Une étude épidémiologique menée sur plus de 500 accidents de plongée traités à l'Assistance Publique des Hôpitaux de Marseille [1] montre que l'accidenté est significativement plus âgé (40 ans en moyenne) par rapport à la population de plongeurs affiliés à la Fédération Française d'Etude et de Sports Sous Marins (FFESSM) [2]. Soixante-quinze pour cent sont de sexe masculin ce qui correspond à la répartition normale dans la population de plongeurs loisirs, 10% ont déjà eu un accident de plongée. Tous les niveaux sont concernés y compris les encadrants qui représentent 1/5^{ème} des accidentés. Vingt pour cent surviennent au cours d'une formation. L'incidence augmente avec la profondeur. Néanmoins, plus d'un tiers des accidents surviennent lors de plongées dans l'espace médian (soit 5 à 30 mètres de profondeur). De plus, même si le danger semble quasiment nul dans l'espace proche (moins de 5 mètres), il reste présent y compris en piscine [3]. Il peut également survenir en eau intérieure et en plongée sous-terrain. Il concerne le plongeur loisir dans 85% des cas [4].

L'accident le plus fréquent est l'accident de désaturation (53%) suivi par le barotraumatisme grave (15%) et par l'accident cardio-vasculaire d'immersion (5%) [5]. L'accident cardio-vasculaire d'immersion aussi appelé œdème pulmonaire d'immersion est par contre la première cause de décès en plongée.

L'accident de désaturation survient classiquement chez un plongeur confirmé, de sexe masculin, âgé de plus de 40 ans, dans un contexte de fatigue, au décours d'une plongée successive de longue durée à une profondeur importante. Le barotraumatisme concerne plutôt un jeune plongeur débutant évoluant à faible profondeur. L'accident cardio-vasculaire d'immersion apparaît chez un plongeur de niveau intermédiaire, d'âge supérieur à 40 ans et

Accidents de plongée
présentant au moins un facteur de risque cardio-vasculaire. Il est de plus en plus fréquent et peut être potentiellement mortel lorsqu'il survient dans un contexte de cardiopathie sous-jacente. Le reste des accidents comprend les accidents toxiques, les noyades et les décompensations de pathologies intercurrentes. Par ailleurs, 15% des plongeurs adressés dans les centres hyperbares sont pris en charge à titre préventif pour une erreur de procédure sans signe clinique.

L'épidémiologie des accidents en apnée est méconnue. La syncope hypoxique est l'accident le plus sévère et probablement un des plus fréquents. Elle survient le plus souvent à proximité de la surface. Elle peut également entraîner des barotraumatismes graves, des hémoptysies ou des accidents de désaturation neurologiques (Taravana syndrome).

Le nombre de décès en plongée est d'une vingtaine par an. Dans un cas sur deux, il survient au décours d'un œdème pulmonaire d'immersion souvent compliqué d'une noyade et/ou d'une décompression explosive liées à la perte de connaissance et à la remontée rapide. Les autres causes sont la noyade secondaire à un problème technique, matériel et/ou médical, viennent ensuite l'embolie gazeuse d'origine barotraumatique et enfin la traumatologie.

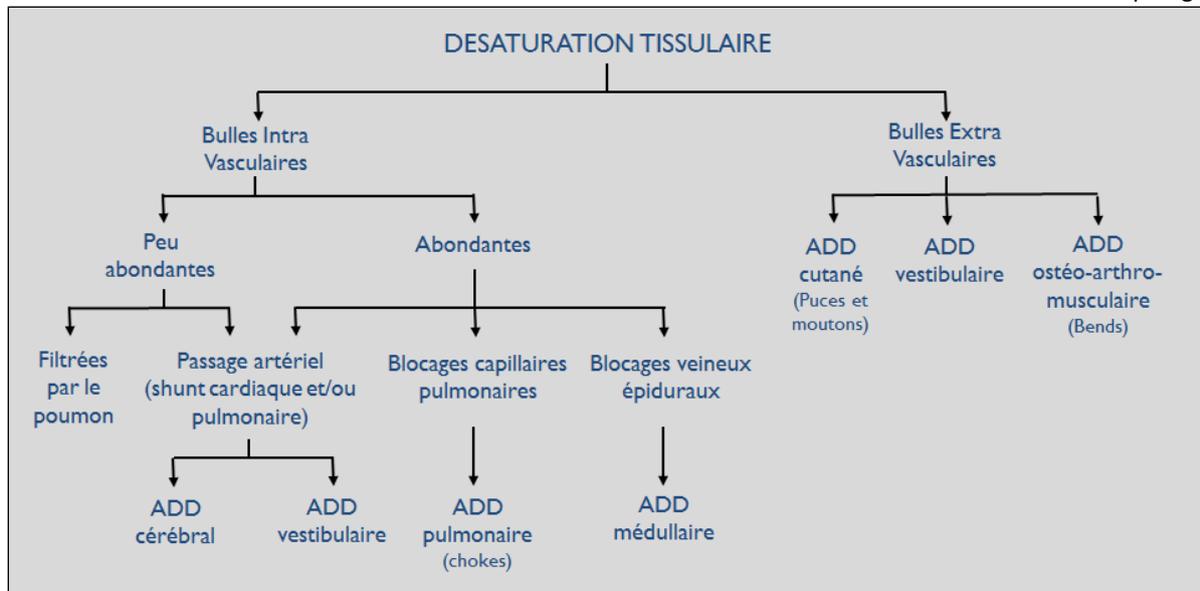
Afin de contrôler le risque, le plongeur doit réaliser systématiquement un examen médical de non contre-indication à la plongée [5] ou une aptitude médicale pour les interventions en milieu hyperbare, pratiquer la plongée dans une structure professionnelle, planifier sa plongée en fonction de ses capacités physiques et psychiques, s'adapter aux facteurs environnementaux, respecter ses procédures sans oublier de s'assurer d'une bonne hydratation en post-immersion.

2. Physiopathologie et principes thérapeutiques

2.1. Accident de désaturation (ADD)

Lors de la plongée en scaphandre autonome, l'augmentation de la pression hydrostatique majore la pression partielle des gaz neutres (azote et/ou hélium) contenus dans le mélange ventilé et ainsi crée un gradient de pression par rapport à la pression partielle d'azote dissous dans l'organisme. Les gaz neutres passent alors la barrière alvéolo-capillaire pour être distribués aux tissus par l'intermédiaire de la circulation systémique. Ce phénomène physique est décrit par la loi de Henry: « la quantité de gaz dissous dans un liquide est, à saturation, directement proportionnelle à la pression exercée par ce gaz à la surface du liquide ». Lors de la remontée, le gradient de pression s'inverse. Les gaz neutres intra-tissulaires, se trouvant en sursaturation, sont relargués dans le système veineux sous forme dissoute ou bulle puis éliminés par le filtre pulmonaire. Le mécanisme d'apparition des bulles reste encore mal connu. L'existence de noyaux gazeux à l'état basal chez l'homme et les phénomènes de cavitation pourraient faciliter la genèse de ces bulles [6].

En cas de non-respect des procédures de désaturation et/ou de facteurs favorisants individuels et environnementaux, le relargage brutal de gaz neutre (tab. 1) entraîne un afflux massif de bulles responsable d'un ralentissement circulatoire dans les plexus veineux épидuraux aboutissant à un infarctus médullaire (ADD médullaire). Les bulles peuvent également emboliser la circulation pulmonaire, réduisant les échanges alvéolo-capillaires et entraîner un œdème pulmonaire lésionnel (ADD pulmonaire ou « chokes ») [7]. Parfois, elles passent sur le versant artériel par forçage du filtre pulmonaire [8] avec ouverture de shunts intra-pulmonaires ou par perméabilisation d'un foramen ovale [9] pour aller emboliser l'une des branches de l'artère cochléo-vestibulaire (ADD vestibulaire) ou la circulation cérébrale (ADD cérébral). Au niveau de ces différentes localisations, le manchon gazeux interagit avec la paroi vasculaire entraînant une cascade de réactions inflammatoires [10] responsable d'une hypercoagulation et d'une altération de la perméabilité vasculaire appelée « maladie de désaturation » [11]. Des bulles extra-vasculaires non circulantes ont également été observées lors de la désaturation. Elles peuvent distendre les capsules articulaires des grosses articulations ou générer des infarctus intra-osseux (ADD ostéo-arthro-musculaire ou « bends »), détruire les structures sensorielles de l'oreille interne (ADD vestibulaire) ou encore comprimer les terminaisons nerveuses proprioceptives de la peau (ADD cutané).



Tab. 1 : Mécanismes physiopathologiques de l'accident de désaturation (ADD : accident de désaturation)

L'ADD concerne principalement le plongeur autonome évoluant dans la zone des 20 à 40 mètres. Dans 30% des cas, aucune erreur de procédure (profil yo-yo, remontée rapide, palier écourté, effort excessif...) ou facteurs favorisants (surpoids, fatigue, sédentarité, stress psychique, déshydratation, hypothermie...) ne sont rapportés. Les premiers signes apparaissent généralement au cours des 30 premières minutes après la sortie de l'eau. Cependant, certains peuvent se manifester plus de 20 heures après. Bien que la symptomatologie initiale soit souvent peu spécifique, le caractère inhabituel doit motiver le plongeur à déclencher une alerte sans délai afin de bénéficier d'une oxygénothérapie hyperbare (OHB) en urgence.

L'OHB consiste à administrer un mélange suroxygéné par l'intermédiaire d'un masque, à une pression supérieure à la pression atmosphérique, dans une enceinte hermétique close appelée chambre hyperbare. Elle permet de fragmenter le manchon gazeux par un effet mécanique et de limiter l'hypoxie tissulaire par une augmentation de la pression partielle en oxygène. D'après la 2^{ème} Conférence Européenne de Consensus en Médecine Subaquatique et Hyperbare (Marseille 1996), « les ADD mineurs du type myo-articulaires doivent être traités par une table de recompression thérapeutique à l'oxygène pur et à une pression de 2,8 ATA maximum. En ce qui concerne la recompression initiale des ADD graves (neurologiques et

Accidents de plongée

vestibulaires), il n'existe pas de données scientifiques suffisantes pour conclure ; deux options correspondant à l'état des pratiques sont acceptables :

- tables à l'oxygène pur à 2,8 ATA avec extension possible des protocoles en fonction de l'évolution clinique,
- tables à 4 ATA aux mélanges hyperoxiques (c'est-à-dire nitrox ou héliox); toutefois la valeur optimale de la PIO_2 (2,8 bars maximum) ainsi que la nature du gaz neutre de ce mélange ne peuvent être précisés en l'état des données non concluantes disponibles.
- si le choix de l'une ou l'autre méthode dépend de l'expérience personnelle et des disponibilités locales, en aucun cas, il ne doit retarder l'application du traitement.

Un traitement médical adjuvant est mis en œuvre de façon systématique. L'apport de liquide est destiné à lutter contre la déshydratation qui peut réduire la perfusion tissulaire et aggraver les lésions neurologiques. Des traitements antiagrégants (aspirine), anticoagulants (héparine) ou anti-inflammatoires (corticoïdes) sont le plus souvent prescrits sans que leur efficacité respective ne soit évaluée par des études cliniques. En cas de manifestations vestibulaires ou neurologiques persistantes après la recompression initiale, un traitement par des séances itératives d'OHB est souhaitable et doit être mené de façon concomitante à la rééducation. Ce traitement est recommandé jusqu'à un maximum de 10 séances. La poursuite de l'OHB, après ces 10 séances, n'est licite que si une amélioration fonctionnelle objective a pu être mise en évidence. » [12]. La conférence de consensus de 2016 recommande : « l'utilisation de l'héparine de bas poids moléculaire pour la prophylaxie de la thrombose veineuse profonde dans les cas d'immobilisation ou de paralysie au cours d'un accident de décompression (Recommandation de type 1, preuve de niveau C). Elle suggère un traitement par lignocaïne (lidocaïne) et l'utilisation des tables de recompression Heliox pour les accidents de décompression neurologiques graves (Recommandation de type 2, preuve de niveau C). Elle suggère également d'utiliser du tenoxicam oral (ou un AINS similaire) pour certains cas sélectionnés d'accident de décompression (Recommandation de type 2, preuve de niveau B) » [13].

2.1.1. Accident de désaturation médullaire

L'ADD médullaire (fig. 2A) est l'un des accidents les plus fréquents. Il survient principalement au décours d'une plongée profonde. Les premiers signes apparaissent précocement dans les trente premières minutes après la sortie de l'eau. L'ADD est annoncé par une asthénie intense

inhabituelle qui s'associe rapidement à une modification de la sensibilité subjective (à type de paresthésie) ou objective (sensibilité épicrotisque et thermo-algique) et/ou de la motricité. La douleur dorso-lombaire classiquement en « coup de poignard » confirme la localisation médullaire lorsqu'elle est présente. Elle est considérée comme un signe de gravité tout comme l'atteinte sphinctérienne [13]. L'ADD médullaire est caractérisé par son polymorphisme. L'évolution est le plus souvent rapidement favorable lorsque la prise en charge initiale est conforme aux recommandations. En effet, il n'est pas rare que l'accidenté arrive au centre hyperbare avec une disparition totale des signes initiaux. Cependant, en aucun cas, la procédure de secours ne devra être arrêtée. En l'absence de traitement, les signes s'intensifient et se généralisent avec apparition d'une paraplégie voir d'une tétraplégie avec rétention aiguë d'urine et détresse respiratoire. Au décours de la recompression initiale, le patient est le plus souvent hospitalisé pendant 24 heures pour une surveillance. Il est informé d'une possibilité de réapparition des signes cliniques. Le lendemain, l'examen est généralement normal et le patient rentre à domicile avec du repos et une surveillance ambulatoire. Le patient est autorisé à reprendre une activité normale malgré la présence d'une fatigue intense pendant quelques semaines. En cas de persistance de signes, les séances d'oxygénothérapie hyperbare sont poursuivies à raison d'une à deux séances par jours pendant au moins 5 jours. Elles doivent être associées à une rééducation intensive. Dans les cas les plus graves, bien que la récupération motrice puisse être quasiment totale en quelques jours, les troubles de la sensibilité évoluent de façon fluctuante pendant plusieurs mois ou années. Ils se manifestent par des dysesthésies thermo-algiques et une atteinte proprioceptive. Ils peuvent être associés à un syndrome extra-pyramidal ainsi qu'à des troubles urinaires et digestifs. Ces perturbations, bien que rares sont à l'origine de séquelles fonctionnelles invalidantes.

2.1.2. Accident de désaturation thoracique (chokes)

L'ADD thoracique grave est devenu exceptionnel grâce à la fiabilité du matériel qui évite des décompressions explosives. Cependant, certaines formes mineures sont probablement sous évaluées ou confondues avec d'autres pathologies telles que les barotraumatismes thoraciques ou les œdèmes pulmonaires d'immersion. Les premiers signes apparaissent après la sortie de l'eau. L'accidenté présente une dyspnée, une douleur thoracique et/ou une toux plus ou moins hémoptoïque. Cette symptomatologie thoracique pourrait également

s'associer à une aéroportie selon les données récentes de la littérature [14]. Dans les cas les plus graves, l'ADD thoracique se complique d'une défaillance circulatoire associée à un syndrome de fuite capillaire systémique et à des ADD multiples (moelle, cerveau, oreille interne...). L'évolution est rapidement péjorative. Le chokes nécessite en urgence des gestes de réanimation afin de préparer au mieux une recompression thérapeutique délicate mais indispensable pour traiter les ADD associés. Le patient est ensuite hospitalisé en unité de soins continus pendant plusieurs jours. Le pronostic vital et fonctionnel est alors dépendant des complications respiratoires et des lésions associées.

2.1.3. Accident de désaturation cérébral

L'ADD cérébral est un accident rare souvent confondu avec un aéroembolisme cérébral d'origine barotraumatique ou un ADD médullaire. Les premiers signes surviennent rapidement après la sortie de l'eau. Ils correspondent à une atteinte de la sensibilité et/ou de la motricité d'un membre ou d'un hémicorps pouvant être associée à des troubles visuels, une paralysie faciale, des difficultés d'élocution... . L'évolution est souvent favorable en quelques jours. Les cas les plus péjoratifs évoluent vers un coma, une crise convulsive et/ou une quadriplégie pouvant rapidement engager le pronostic vital et fonctionnel.

2.1.4. Accident de désaturation vestibulaire

L'ADD vestibulaire est l'un des ADD les plus fréquents. Son incidence a récemment diminué grâce à la limitation du nombre de « yoyo » lors d'une même plongée. L'ADD vestibulaire est généralement annoncé par une asthénie avec des nausées et une sensation vertigineuse intense, quelques dizaines de minutes après la sortie de l'eau. Cette symptomatologie peut faire évoquer à tort une naupathie, toutefois, le vertige se latéralise très rapidement du côté atteint et s'associe à un syndrome vestibulaire harmonieux voire à une atteinte cochléaire. Dans les cas les plus sérieux, le plongeur est contraint au décubitus car tout mouvement de la tête entraîne un vertige très mal toléré avec vomissement, pâleur, malaise voir sensation de mort imminente. Cette situation est souvent à l'origine d'une anxiété majeure de l'entourage qui altère la qualité de la prise en charge initiale. Bien que le pronostic soit le plus souvent excellent, la plupart des accidentés présentent un tableau initial très bruyant avec impossibilité à se verticaliser pendant 48 heures malgré des séances d'OHB biquotidiennes.

Au troisième jour, le patient peut se mobiliser et reprendre une alimentation quasi normale. La marche est généralement pénible et se caractérise par une déviation latérale. Après dix séances d'OHB, le patient est sortant de l'hôpital. Il est informé du risque de fatigue intense pouvant perdurer pendant plusieurs semaines notamment en cas de marche prolongée ou de trajet en voiture. Il lui est également déconseillé de se mettre dans des situations à risque de chute (conduite de moto, utilisation d'une échelle...). A un mois, la reprise de l'ensemble des activités de la vie quotidienne est possible. En cas de troubles invalidants, une rééducation vestibulaire peut être discutée.

2.1.5. Accident de désaturation ostéo-arthro-musculaire (*bends*)

L'ADD ostéo-arthro-musculaire (fig. 2B) a une incidence proche de celle des ADD vestibulaires. L'utilisation des mélanges type trimix et la tendance à accumuler plus de deux plongées par jour facilitent ce type d'accident. L'os est considéré comme un tissu « lent », ainsi les premiers signes peuvent apparaître plusieurs heures après la sortie de l'eau. Le plongeur signale alors une gêne articulaire plus ou moins associée à une douleur voire une impotence fonctionnelle, au niveau de l'épaule, de la hanche ou du genou. Les signes sont souvent minimisés par le patient et peuvent être assimilés à une tendinopathie par un médecin non averti. Toutefois, la majoration de la douleur, malgré la prise de médicaments antalgiques, motive l'accidenté à consulter un service spécialisé en médecine de plongée. L'OHB précoce permet une régression voire une disparition de la douleur. Le patient est alors sortant avec un traitement antalgique (anti-inflammatoire et/ou paracétamol). Lorsque la recompression est tardive, les résultats thérapeutiques sont mauvais avec un risque de majoration de la douleur malgré l'OHB. Le patient est alors hospitalisé pour bénéficier d'une antalgie forte à base de morphine. Dans certains cas, des séances d'OHB itératives peuvent être discutées avec une prise en charge rhumatologique. A distance, l'ADD ostéo-arthro-musculaire peut évoluer vers une ostéonécrose dysbarique en particulier lorsque s'associent un surpoids, des problèmes de cholestérol, une consommation excessive d'alcool et/ou une prise de corticoïde. L'IRM à 4 semaines permet d'éliminer une lésion osseuse débutante.

2.1.6. Accident de désaturation cutané (puces & moutons)

L'ADD cutané (fig. 2C) est rare mais probablement sous-évalué. En effet, considéré comme bénin, il fait rarement l'objet d'une consultation spécialisée. Il est favorisé par un vêtement trop serré. Il apparaît généralement dans les deux premières heures et se localise principalement au niveau des bras, du torse et des lombes. L'ADD lymphatique peut également provoquer chez la femme des douleurs très intenses au niveau de la poitrine. L'ADD cutané disparaît spontanément en moins d'une heure. En cas de persistance ou de localisation distale, d'autres diagnostics doivent être évoqués. En effet, une dysesthésie au niveau d'une articulation ou d'une extrémité peut être en réalité un ADD ostéo-arthro-musculaire ou un ADD neurologique, tandis qu'un érythème cutané peut annoncer une réaction allergique ou une défaillance hémodynamique. Il est donc impératif de considérer l'ADD cutané comme un signe de décompression anormale et par conséquent d'adopter une prise en charge initiale similaire à n'importe quel ADD. L'évolution est le plus souvent excellente en quelques heures.

D'après des données récentes de la littérature, les signes cutanés seraient en réalité liés le plus souvent à un défaut d'épuration du gaz contenu dans la peau au niveau des zones grasses (bras, abdomen, cuisses...) consécutif à un ADD cérébral responsable d'une modification de la circulation cutanée par atteinte du système neurovégétatif. Il s'agit alors d'un cutis marmorata [15].

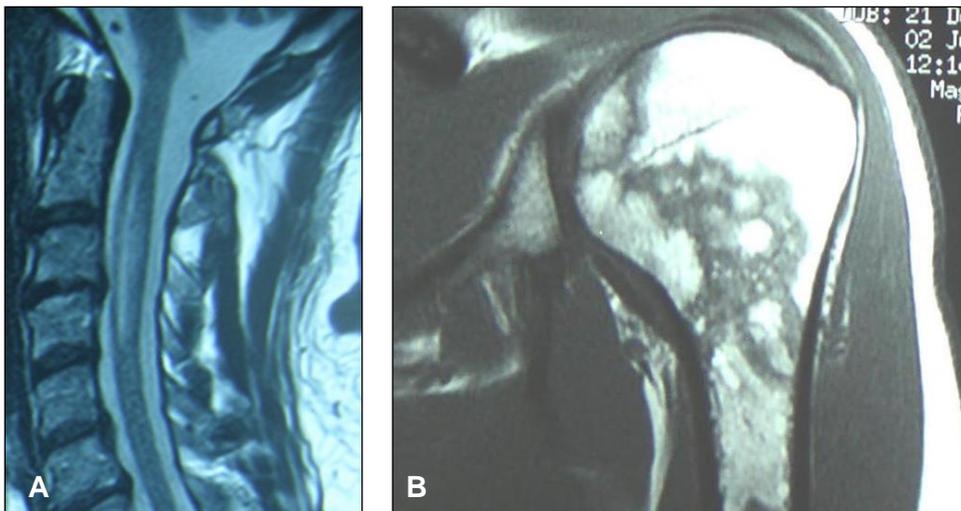




Fig. 2 : ADD médullaire localisé au niveau de la moelle cervicale (A), ADD osseux avec atteinte de la tête humérale (B), ADD cutané du bras gauche(C) (Source : APHM)

2.1.7. Taravana syndrome

En plongée libre, la répétition d'apnées profondes peut entraîner selon certains auteurs une saturation suffisante des tissus en azote pour provoquer un ADD neurologique aussi appelé « Taravana syndrome » [16].

2.2. Accident barotraumatique

Lors de la descente, l'élévation de la pression hydrostatique entraîne une diminution des volumes gazeux (tab. II) selon la loi de Boyle & Mariotte ($\text{Pression} \times \text{Volume} = \text{constante}$) et inversement lors de la remontée. Ainsi, toutes les cavités aériques du corps humain (naturelles : sinus, oreille moyenne, poumon, estomac, intestin et/ou pathologiques : carie dentaire, laryngocèle, emphysème...) peuvent être concernées. Le barotraumatisme survient principalement chez le plongeur débutant, le plus souvent à proximité de la surface où la variation de pression est la plus importante.

Profondeur (m.)	Pression (bar)	Volume (V - %)
0	1	1 V - 100%
10	2	1/2 V - 50%
20	3	1/3 V - 33%
30	4	1/4 V - 25%
40	5	1/5 V - 20%
50	6	1/6 V - 17%
60	7	1/7 V - 14%

Tab. II : Variation des volumes en fonction de la profondeur et de la pression selon la loi de Boyle & Mariotte

Lors de la descente, la diminution du volume d'air dans l'oreille moyenne entraîne une gêne, secondaire à la mise en tension du tympan. Le plongeur doit effectuer des manœuvres d'équilibration afin d'éviter une otite barotraumatique. Il doit également souffler de l'air par le nez dans son masque afin de prévenir un placage de masque. Lors de la remontée, un blocage expiratoire peut aboutir à une surpression pulmonaire avec pneumothorax, pneumomédiastin, emphysème sous-cutané et dans le cas le plus grave ; embolie gazeuse coronarienne et/ou cérébrale. De façon exceptionnelle, une distension brutale du volume des gaz intra-gastrique peut se compliquer d'un pneumopéritoire et/ou d'une embolie gazeuse systémique plus ou moins associés à une rupture gastrique. Le plongeur peut également être victime d'une pneumencéphalie, d'un barotraumatisme sinusien, cochléo-vestibulaire ou dentaire. L'OHB doit être proposée en urgence en cas de barotraumatismes thoracique ou gastrique compliqués d'embolie gazeuse artérielle.

2.2.1. Accident barotraumatique de l'oreille

L'otite barotraumatique est la lésion la plus classique du plongeur débutant. Elle est secondaire à une non maîtrise de la vitesse de descente ou à une manœuvre de Valsalva intempestive à la remontée. Elle peut être facilitée par une dysperméabilité tubaire transitoire consécutive à un épisode infectieux de la sphère ORL. Les premiers signes sont concomitants de l'incident. Généralement, le patient se plaint d'une otalgie plus ou moins intense apparue lors des variations de pression. A la sortie, il ressent une sensation d'eau dans l'oreille. Le barotraumatisme de l'oreille moyenne est classé en cinq stades otoscopiques selon la classification de Haines et Harris ; de la simple hyperhémie du manche du marteau (stade I) à l'hématome rétro-tympanique (stade IV) et la perforation tympanique (stade V). L'otite barotraumatique peut se compliquer d'une paralysie faciale périphérique ou d'une atteinte cochléo-vestibulaire. L'évolution est le plus souvent favorable en quelques jours avec un traitement local à base d'antiseptiques, d'anti-inflammatoires et d'anesthésiants associés à des décongestionnants nasaux. En cas d'hématome rétrotympanique, une antibiothérapie per os et un suivi spécialisé doivent être discutés. La perforation tympanique met plusieurs semaines pour cicatriser spontanément. Elle contre-indique la plupart des traitements locaux ainsi que l'immersion de la tête. Elle nécessite parfois une chirurgie avec greffe tympanique. La paralysie faciale doit bénéficier d'une corticothérapie et d'une prise en charge ORL tout comme les complications cochléo-vestibulaire. Une OHB peut être débutée dans les 24 h en cas de barotraumatisme de l'oreille interne, en l'absence de fistule labyrinthique. En cas de doute diagnostique avec un ADD vestibulaire, le patient doit être adressé vers un centre hyperbare pour une recompression en urgence. Le vertige alternobarique est par contre sans gravité. Il se manifeste par un vertige transitoire, lors de la remontée, secondaire à un déséquilibre de pression entre les deux oreilles. Il cède immédiatement lorsque le plongeur redescend de quelques mètres.

2.2.2. Accident barotraumatique sinusien

Les barotraumatismes sinusiens sont facilités par des épisodes infectieux ou allergiques de la sphère ORL. Ils sont toutefois moins fréquents que les otites barotraumatiques. Ils surviennent dès les premiers mètres et empêchent la descente. Ils se manifestent par des douleurs progressives plus ou moins intenses périorbitaires. Ils peuvent s'associer à un saignement nasal ou oropharyngé voire à une perte de connaissance provoquée par l'intensité de la douleur. Ils peuvent également apparaître lors de la remontée et ainsi gêner le retour vers la

surface. L'évolution est le plus souvent spontanément favorable en quelques jours. Un hématome surinfecté peut apparaître secondairement et imposer un avis spécialisé voire une chirurgie de drainage.

2.2.3. Accident barotraumatique de la face (placage de masque)

Le plaquage de masque est un accident rare. Les premiers signes apparaissent lors de la descente. Le plongeur ressent une vive douleur de la face qui peut s'associer à un flou visuel et à une épistaxis. Dans les cas les plus graves, le flou visuel est remplacé par une perte totale de la vision. La plongée est généralement interrompue. Le plongeur présente une hémorragie sous-conjonctivale associée à un œdème palpébral majeur. L'entourage doit impérativement rechercher un trouble visuel ou une atteinte oculomotrice qui imposent un avis spécialisé pour discuter d'une prise en charge chirurgicale en urgence. En dehors des urgences chirurgicales, l'évolution est rapidement favorable sous traitement local avec application de glace sur le visage. Dans les cas les plus graves, le plongeur peut présenter des séquelles, en particulier lorsque la prise en charge ophtalmologique est retardée.

2.2.4. Accident barotraumatique dentaire

Cet accident est rarissime. Il débute par une douleur lors de la descente ou de la remontée. L'intensité de la douleur peut provoquer une syncope vagale. Dans de rares cas, la dent éclate et peut obstruer les voies aériennes. Il peut être également associé à un emphysème sous-cutané en cas de passage d'air en sous-cutané par l'intermédiaire d'une carie ou d'un kyste pulpaire (fig. 3).

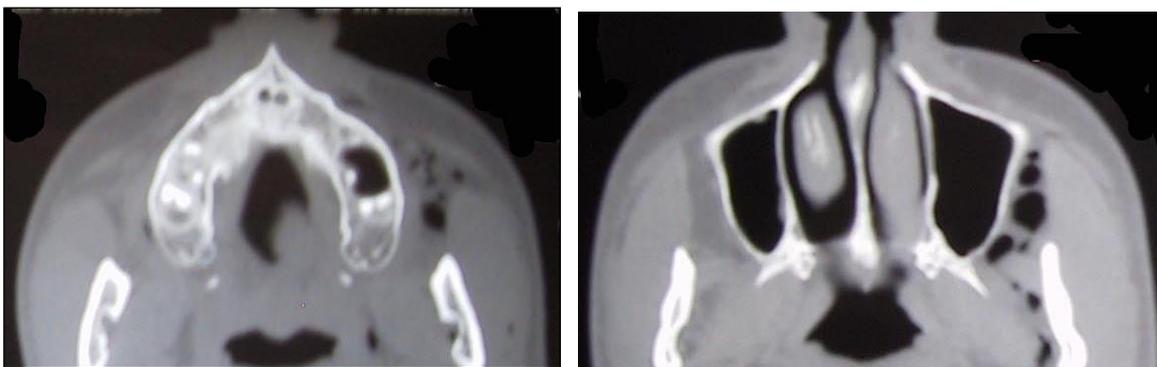


Fig. 3 : Barotraumatisme dentaire compliqué d'un emphysème sous cutané (source : APHM)

2.2.5. Pneumencéphalie

La pneumencéphalie peut être consécutive à une fistule cérébro-méningée post traumatique (fig. 4A), à un barotraumatisme du sinus sphénoïdal (fig. 4B) ou à une hyperpneumatisation des os du crâne [17]. Elle peut nécessiter une prise en charge neurochirurgicale en urgence.

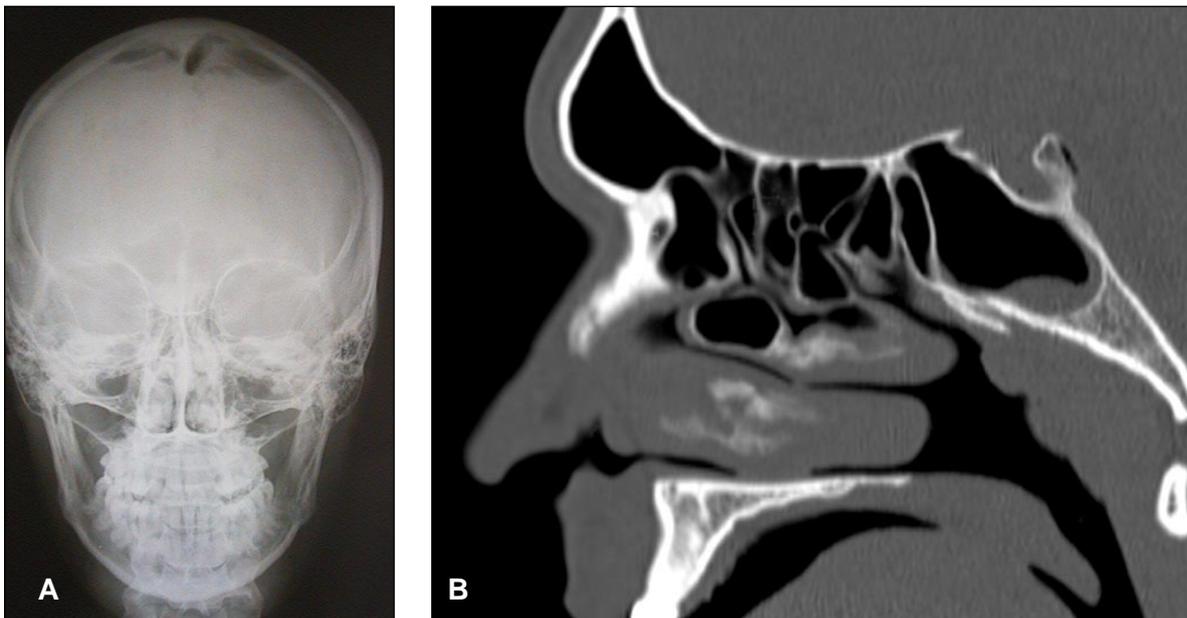


Fig. 4 : Pneumencéphalie compliquant une fistule cérébro-méningée consécutive à une fracture du nez (A). Barotraumatisme du sinus sphénoïdal avec pneumencéphalie en arrière du dorsum sellae (B) (source : APHM)

2.2.5. Barotraumatisme thoracique

Le barotraumatisme thoracique [18] représente moins de 5% des accidents. Il est secondaire à un blocage respiratoire associé à une remontée rapide engendrée par un problème technique ou un accès de panique.

Il provoque une hémorragie alvéolaire (fig. 5A), un pneumothorax (fig. 5B), un pneumomédiastin (fig. 5C) et/ou un emphysème sous cutané (fig. 5D). Il peut se compliquer d'une embolie gazeuse cérébrale (fig. 6) et/ou coronarienne [19].

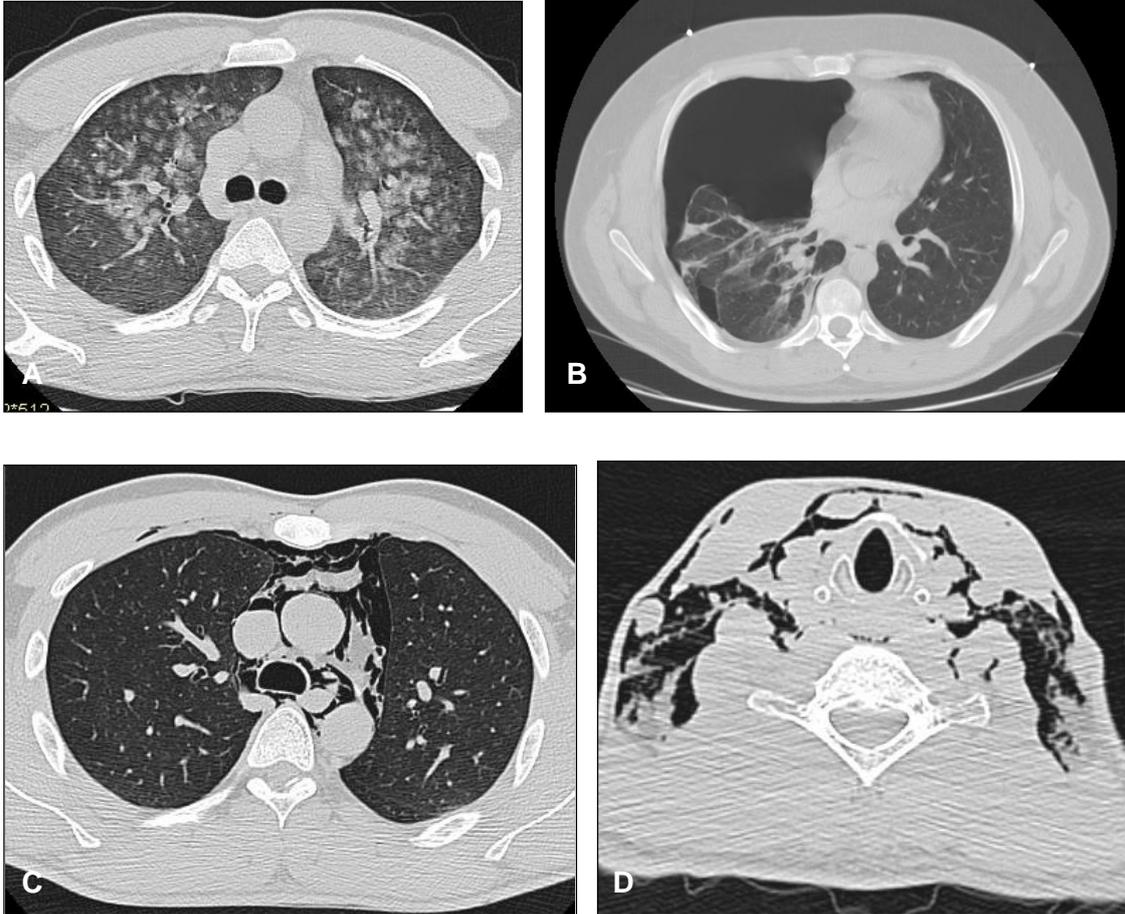


Fig. 5 : Barotraumatisme thoracique compliqué d'une hémorragie alvéolaire (A), d'un pneumothorax compressif (B), d'un pneumomédiastin (C) et/ou d'un emphysème sous cutané (D) (source : APHM)

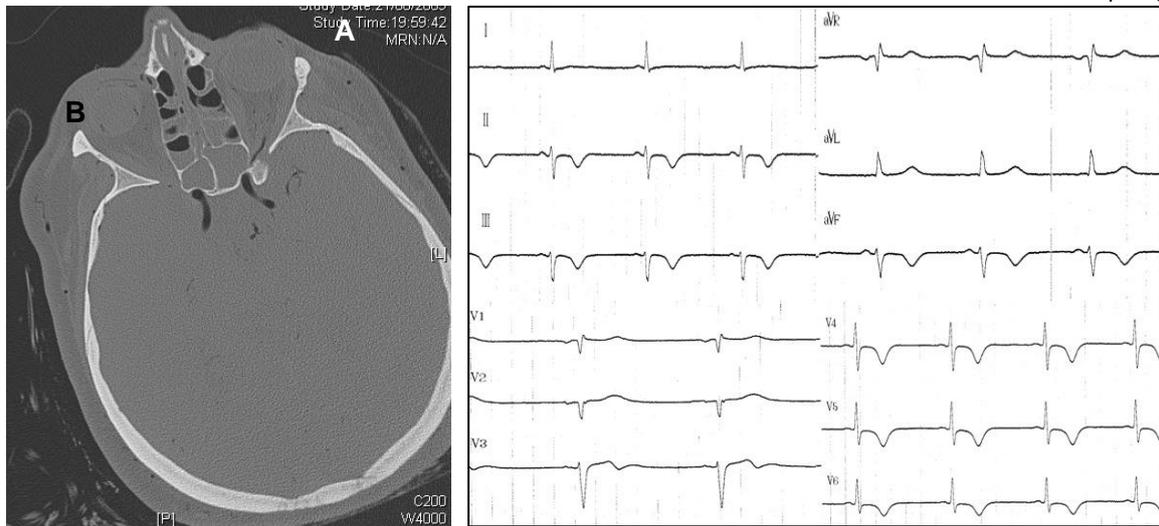


Fig. 6 : Barotraumatisme thoracique compliqué d'une embolie gazeuse cérébrale (A) et coronarienne (B) (source : APHM)

Il survient le plus souvent sur un poumon sain (absence d'asthme, absence d'emphysème ou de dystrophie bulleuse, absence d'antécédent de pneumothorax). Contrairement aux idées reçues, il concerne tous types de plongeurs y compris le plongeur confirmé et l'encadrant. Dans deux cas sur trois, le plongeur est en formation et effectue un exercice de remontée sans embout ou d'assistance avec échange d'embout [20]. Il peut également survenir à de faibles profondeurs lors d'un baptême de plongée [21]. Les premiers signes apparaissent dès la sortie de l'eau. Dans les cas les plus graves, le plongeur présente une douleur thoracique, une dyspnée avec une toux hémoptoïque associées à des troubles neurologiques et/ou cardiologiques. Toutefois, le barotraumatisme pulmonaire se manifeste le plus souvent par une symptomatologie fruste à type de toux sèche, de dyspnée d'effort, de gêne thoracique ou d'emphysème sous cutané isolé. La tomodensitométrie doit être systématiquement réalisée pour rechercher un pneumothorax infra-clinique. L'évolution est le plus souvent spontanément favorable en quelques jours. En cas de pneumothorax isolé, le plongeur est hospitalisé pour une surveillance voire un drainage. Dans les cas les plus graves, le barotraumatisme thoracique peut nécessiter une exsufflation à l'aiguille en pré-hospitalier. En cas d'embolie gazeuse coronarienne et/ou cérébrale, l'OHB doit être débutée le plus tôt possible. En cas de pneumothorax associé, le drainage thoracique doit être réalisé sans délai pour ne pas retarder la recompression thérapeutique. La thérapeutique hyperbare sera poursuivie et une rééducation intensive sera débutée précocement afin de limiter les séquelles neurologiques.

2.2.7. Barotraumatisme digestif

La survenue de troubles digestifs aux décours d'une plongée est rapportée chez un pourcentage non négligeable de sujets. La plupart du temps il s'agit de troubles bénins en rapport avec une distension des gaz contenus dans le tube digestif (colique du scaphandrier). De façon exceptionnelle, la distension brutale d'un volume gazeux intra-gastrique entraîne la fermeture de l'angle de His et la coudure du bas oesophage contre le pilier droit du diaphragme ainsi que le ralentissement de la vidange pylorique [18]. Ce mécanisme peut être aggravé par une déglutition accidentelle d'eau de mer ou une sténose duodénale et provoquer un pneumopéritoine compliqué d'un aéroembolisme systémique [22] plus ou moins associé à une rupture gastrique. La prise d'un repas copieux peu de temps avant l'immersion et/ou la présence d'un ulcère gastrique en phase aiguë facilitent ce type d'évènement. Le barotraumatisme gastrique nécessite un avis chirurgical en urgence. En cas de pneumopéritoine massif compliqué d'une détresse ventilatoire, une exsufflation à l'aiguille peut se discuter en pré-hospitalier.

2.2.8. Barotraumatisme en plongée apnée

L'apnéiste est soumis aux mêmes contraintes barotraumatiques que le plongeur en scaphandre autonome en particulier au niveau de la sphère ORL. Toutefois, Les barotraumatismes pulmonaires [23] sont beaucoup plus rares en apnée. Ils surviennent si l'apnéiste remonte à glotte fermée après une inspiration sur l'embout d'un plongeur. Ils peuvent également apparaître chez des chasseurs sous-marins qui, après avoir atteint des profondeurs importantes, remontent très rapidement. Ainsi, la réexpansion des gaz alvéolaires se fait brutalement alors que la redistribution de la masse sanguine du poumon vers la grande circulation est plus lente. La distension brutale des volumes gazeux piégés dans des zones mal ventilées et comprimées par les volumes sanguins peut entraîner une effraction alvéolaire. La technique de la carpe qui consiste à un remplissage forcé des poumons en fin d'inspiration grâce à des mouvements répétés de bascule arrière de la langue, peut également favoriser le barotraumatisme thoracique [24].

2.3. Œdème pulmonaire d'immersion (OPI)

Lors de l'immersion [25], la pression hydrostatique génère une contention des tissus mous périphériques responsable d'une redistribution des volumes sanguins vers le thorax. Le froid entraîne une vasoconstriction et une bradycardie. L'augmentation de la quantité d'oxygène consécutive à la majoration de la pression ambiante aggrave les phénomènes précédents et provoque un inotropisme négatif [26].

Au cours de la remontée, le changement de position modifie la répartition de charge au niveau cardio-vasculaire et stimule le système neuro-végétatif. Il génère en parallèle une pression négative intrathoracique [27]. Cette hypothèse est également évoquée lors de l'utilisation d'un recycleur avec port dorsal des faux poumons [28][29]. En effet, la majoration des contraintes ventilatoire par l'immersion est due aux différences de niveaux de pression entre les systèmes de délivrance des gaz (détendeur ou faux poumons) et le centre pneumoïque c'est-à-dire le barycentre des volumes pulmonaires. Cette différence est aussi appelée Déséquilibre Hydrostatique (DH) ou Gradient Hydrostatique (GH) ou encore delta P (ΔP). En position allongée avec un recycleur avec port ventral des faux poumons, le delta P est positif c'est-à-dire que l'inspiration est facilitée et l'expiration durcie puisque la pression dans les faux poumons est plus élevée que celle dans les poumons des plongeurs. A contrario, en cas de port dorsal, le delta P est négatif avec par conséquent une inspiration durcie et une expiration facilitée. Ces contraintes entraînent une dépression intra alvéolaire et augmentent le remplissage des cavités droites cardiaques et donc la pression dans les capillaires pulmonaires [30].

La combinaison de ces facteurs hémodynamiques, mécaniques et inflammatoires peut générer un « œdème pulmonaire d'immersion » qui se manifeste par une gêne respiratoire, une toux, une expectoration mousseuse voire une hémoptysie. Les premiers signes sont rarement intenses et la distinction avec une surpression pulmonaire ou un chokes n'est pas toujours évidente. Ainsi, toute symptomatologie cardio-thoracique en plongée doit bénéficier d'une médicalisation précoce pour faciliter la démarche diagnostique et discuter de l'orientation. L'échographie pré hospitalière peut optimiser la prise en charge initiale (fig. 7A). L'échographie pulmonaire recherche des images en queue de comètes et élimine une perte du glissement pleural. Un trouble de la cinétique ou une insuffisance cardiaque à l'échocardiographie impose un transfert urgent en unité de soin intensif de cardiologie, tout

Accidents de plongée
comme des signes électriques ou biologiques d'ischémie. La réalisation d'une TDM thoracique permet d'éliminer formellement un pneumothorax (fig. 7B). Lorsque la fonction cardiaque est conservée, l'évolution est rapidement favorable après arrêt de la contrainte environnementale, mise sous oxygène normobare pendant 24 à 48 heures et réhydratation prudente. L'indication d'une ventilation non invasive doit être évaluée pour favoriser la récupération précoce. L'intensité des signes initiaux peut entraîner un non-respect de la procédure de décompression et ainsi faire discuter un transfert rapide vers un centre hyperbare pour une recompression préventive. L'œdème pulmonaire d'immersion peut également être rapidement mortel lorsque le patient présente une pathologie cardiaque sous-jacente méconnue, non avouée ou non recherchée lors de la visite d'aptitude [31]. En cas d'arrêt cardiaque sur le site de la plongée, l'utilisation précoce d'un DAE par l'entourage est fortement conseillée avec les précautions d'usage liées au milieu humide.

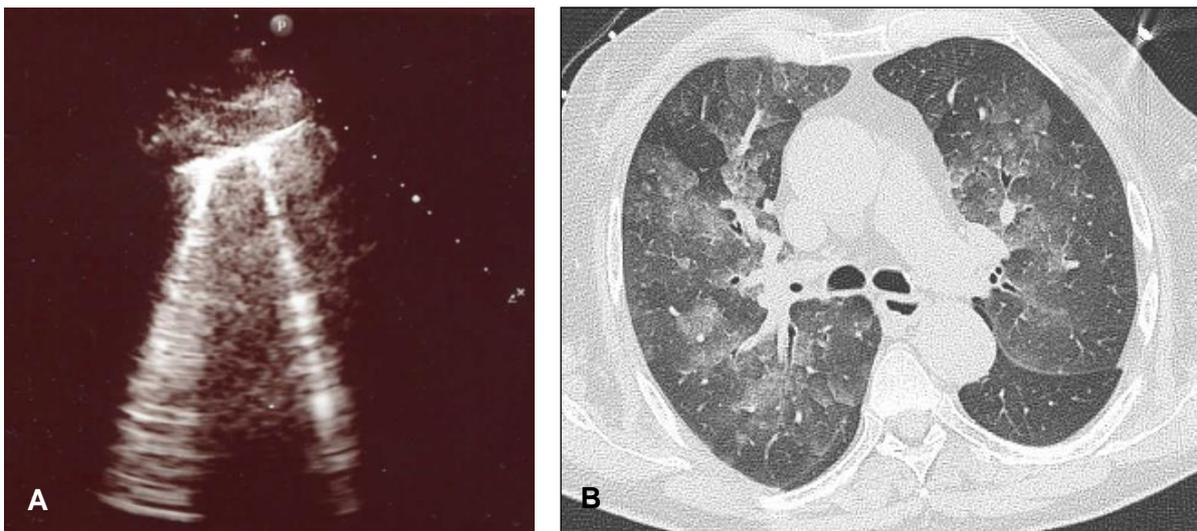


Fig. 7 : Œdème pulmonaire d'immersion avec des images échographiques en queues de comètes (A) et des aspects typiques en verres dépolis en tomodensitométrie (B) (source : APHM)

En apnée, lorsque le volume pulmonaire est réduit au volume résiduel, la rigidité thoracique provoque une dépression intra thoracique à l'origine d'un déplacement sanguin vers le thorax. L'engorgement de la circulation pulmonaire et l'existence d'un gradient alvéolo-capillaire peuvent alors faciliter la genèse d'un œdème pulmonaire en particulier en cas d'immersion

prolongée en eau froide [32]. La réalisation de manœuvres glosso-pharyngiennes serait également un facteur aggravant.

Par ailleurs, l'hypervolémie intra-thoracique peut retentir au niveau céphalique par l'intermédiaire des veines cervicales dépourvues de valvules anti-reflux, en particulier lors de manœuvres forcées de Valsalva. Ce mécanisme peut alors engendrer une hémorragie cérébrale ou intra-orbitaire [33].

2.4. Accident biochimique

Lorsque la pression hydrostatique augmente, la pression partielle des gaz constituant le mélange ventilé se majore dans les mêmes proportions (loi de Dalton) et peut devenir toxique.

2.4.1. Crise convulsive hyperoxique

L'hyperoxie correspond à une augmentation de la pression partielle de l'oxygène (PpO₂). Elle est consécutive à un dépassement de profondeur et/ou à une erreur de mélange. Le dépassement des seuils toxiques (1.6 bar en circuit ouvert) peut provoquer une crise convulsive généralisée aussi appelée crise hyperoxique ou effet Paul Bert. Elle peut être précédée de signes annonciateurs (accélération du rythme cardiaque, spasmes, nausées, anxiété, troubles de la vue, confusion, etc.). La crise débute par une phase tonique de quelques dizaines de secondes. Elle est ensuite suivie d'une phase de mouvements cloniques de quelques minutes. Elle se termine par une phase postcritique avec agitation et désorientation. Le risque de noyade est majeur lors de la reprise ventilatoire en cas de perte ou de section de l'embout buccal lors de la phase tonique. L'utilisation d'une sangle d'embout buccal limite ce risque. La remontée du plongeur ne peut se faire qu'après reprise d'une activité ventilatoire afin de limiter le risque de barotraumatisme thoracique. La remontée de quelques mètres peut par contre permettre de diminuer la PpO₂ et ainsi faire céder la crise. Toutefois, la présence d'une agitation postcritique peut engendrer une remontée panique compliquée de barotraumatismes et/ou d'accident de désaturation.

2.4.2. Toxicité pulmonaire de l'hyperoxie

L'exposition prolongée à des PpO₂ peut entraîner une toxicité pulmonaire (effet Lorrain Smith) pouvant aboutir à une fibrose pulmonaire. Il s'agit d'une inflammation de l'arbre bronchoalvéolaire suite à l'inhalation d'oxygène à une pression partielle supérieure à 0,5 bar, durant plusieurs dizaines d'heures. Au plan clinique, il s'agit d'une irritation de l'arbre alvéolobronchique avec toux et crachat hémoptoïque, sensation de brûlure inspiratoire pouvant aller jusqu'à une dyspnée avec détresse ventilatoire. Ces effets toxiques dépendent à la fois de la pression partielle d'oxygène et de la durée d'exposition. Ils ne se rencontrent quasiment jamais lors de plongées en circuit ouvert, quelle que soit la PpO₂, car la durée de plongée est nettement inférieure au temps nécessaire à l'apparition de cette inflammation. Cette pathologie peut toutefois survenir chez des plongeurs professionnels exerçant à saturation pendant plusieurs jours ou chez des plongeurs techniques dits « TEK » évoluant pendant plusieurs heures avec des mélanges suroxygénés, en particulier en plongée souterraine en eau intérieure. L'unité de dose toxique pulmonaire (UPTD) élaborée par Lambertsen, bien que controversée, est l'un des seuls concepts qui permet de prévenir une atteinte pulmonaire lors d'une exposition prolongée à des mélanges hyperoxiques.

2.4.3. Syncope hypoxique

La syncope hypoxique survient en plongée autonome lorsque la PpO₂ est inférieure à 0,17 bar. Elle peut être consécutive à une erreur de gaz ou à un dysfonctionnement du recycleur comme par exemple l'arrêt de la fuite sur un recycleur semi-fermé. L'hypoxie provoque alors une perte de connaissance brutale, sans prodrome et potentiellement irréversible en particulier lorsqu'elle se complique d'une noyade. En apnée, la syncope hypoxique apparaît dans les derniers mètres de la remontée chez l'apnéiste. Elle est favorisée par l'hyperventilation à l'origine d'une hypocapnie qui retarde l'apparition des contractions diaphragmatiques. La remontée est donc initiée plus tardivement avec une réserve en oxygène abaissée. Le retour vers la surface provoque une chute brutale de la pression partielle en oxygène compliquée d'une syncope voire d'une noyade irréversible lorsque l'apnéiste n'est pas immédiatement assisté par un plongeur secours.

2.4.4. Narcose à l'azote

La narcose à l'azote ou ivresse des profondeurs est due à l'augmentation de la pression partielle d'azote. Elle débute avec un mélange air vers 30 mètres pour les plus sensibles et est constante pour une pression partielle d'azote (PpN₂) de 5 bars, ce qui correspond à une profondeur de 60 mètres à l'air (79 % d'azote). La narcose se manifeste par des troubles du comportement et de l'idéation, pouvant engendrer des erreurs techniques graves (dépassement de la profondeur limite, panne d'air, perte de son coéquipier, etc.). Elle peut également aboutir à une perte de connaissance avec coma. Une simple remontée de quelques mètres permet d'amender la symptomatologie. La fatigue psychique, la prise de psychotropes et la consommation excessive d'alcool favorisent la narcose.

2.4.5. Hypercapnie

L'hypercapnie correspond à l'augmentation de la pression partielle en CO₂. Elle peut être exogène lorsque la quantité de dioxyde de carbone dans le mélange inspiré est excessive. En circuit ouvert, il s'agit essentiellement d'une pollution de l'air comprimé dans la bouteille de plongée. Cela peut être dû à un mauvais fonctionnement de la filtration des compresseurs, associé à une combustion ou à un échappement de moteur thermique à proximité de la prise d'air. Cette pollution est généralement accompagnée d'un excès de monoxyde de carbone (CO). Les effets pathologiques de cette cointoxication débutent rapidement, souvent dès le début de la plongée, et vont s'accroître avec la profondeur par augmentation des pressions partielles. Les premiers signes sont généralement des céphalées d'intensité rapidement croissante, accompagnées éventuellement de nausées et de sensations vertigineuses. Si la plongée est interrompue, le retour à la pression atmosphérique peut faire régresser la symptomatologie par diminution de la pression partielle des polluants. En cas de poursuite de la plongée, il apparaît une hyperventilation réflexe aboutissant à un essoufflement majeur ; les céphalées s'intensifient et s'accompagnent de troubles de la vigilance pouvant aller jusqu'à la perte de connaissance et la noyade. L'hypercapnie peut également être endogène par augmentation du CO₂ métabolique, en particulier en cas d'effort intense à grande profondeur ou de défaut d'épuration de la chaux sodée lorsque le plongeur utilise un recycleur. L'hypercapnie provoque une hyperventilation qui, elle-même, va aggraver l'hypercapnie. En effet, la ventilation en immersion est une ventilation en charge qui entraîne une sursollicitation des muscles ventilatoires à l'origine d'une production accrue de CO₂ pouvant aboutir à un essoufflement irréversible avec une envie « impérieuse » d'air. Le plongeur

paniqué va alors soit enlever son détendeur avant même d'avoir atteint la surface et se noyer, soit remonter le plus rapidement possible pour trouver de l'air avec un risque majeur de barotraumatisme et/ou d'accident de désaturation.

2.4.6. Accident caustique

L'utilisation d'un recycleur peut être à l'origine d'une ingestion et/ou d'une inhalation de caustique lorsque la chaux sodée est noyée. Le contact avec ce liquide caustique peut générer une brûlure intense avec douleur et panique.

2.5. Accidents autres

L'environnement hostile est également à l'origine de pathologies traumatiques, d'accident toxico-allergique, de noyade ou d'hypothermie. La noyade fait l'objet d'un texte spécifique dans cet ouvrage.

2.6. Arrêt cardiaque

D'après notre expérience fondée sur l'analyse d'une centaine d'arrêts cardiaques en plongée en Méditerranée de 2007 à 2018, l'accidenté est de sexe masculin dans 78% des cas, âgé en moyenne de 50 ans et présente des antécédents cardiaques dans un cas sur deux. Il est généralement plongeur loisir (88%), en circuit ouvert (88%), à l'air (75%) et expérimenté. Dans 20% des cas, l'accident survient en formation. La profondeur maximale est de 37 mètres en moyenne et la durée de 20 minutes, dans une eau à 15°C. Les 1ers signes apparaissent sous l'eau dans plus de 70% des cas à une profondeur de moyenne de 15 mètres. Il s'agit le plus souvent d'une perte de connaissance (54%), d'une sensation de malaise (31%) ou d'un essoufflement (14%). L'alerte est effectuée en moyenne en 9 min. [1 à 39 min.], le plus souvent en mer (72%) par l'intermédiaire du CROSS (87%). L'entourage met en place les gestes élémentaires de survie en moins d'une minute [0 à 11 min]. Les 1ers secours arrivent en moyenne en 25 minutes [0 à 74 min.], et le SMUR en 37 minutes [10 à 65 min.] en majorité par voie hélicoptère (51%). Au moins un choc électrique est réalisé dans 10% des cas. L'exsufflation et/ou le drainage thoracique est effectuée dans 5% des cas. L'analyse post mortem montre que, bien qu'il n'ait pas eu à priori de conséquences péjoratives, ce geste

Accidents de plongée n'était pas justifié dans la plupart des cas. Dans 10% des cas, il y a une reprise d'activité mais qui est que transitoire. La durée totale de réanimation cardio-pulmonaire est en moyenne de 60 minutes [0 à 130 minutes]. La durée de réanimation spécialisée est en général d'une trentaine de minutes [8 à 76 minutes]. Après analyse des différents paramètres, la cause initiale à l'origine du décès est le plus souvent un effort intense en eau froide associé à une pathologie cardiaque sous-jacente méconnue ou non avoué (45%), vient ensuite la noyade secondaire à une erreur technique ou à un problème de matériel (25%) puis l'embolie gazeuse d'origine barotraumatique consécutive à une remontée sans embout ou une panique (16%) et la traumatologie par plaie par hélice ou choc contre des rochers (5%) (fig. 8).

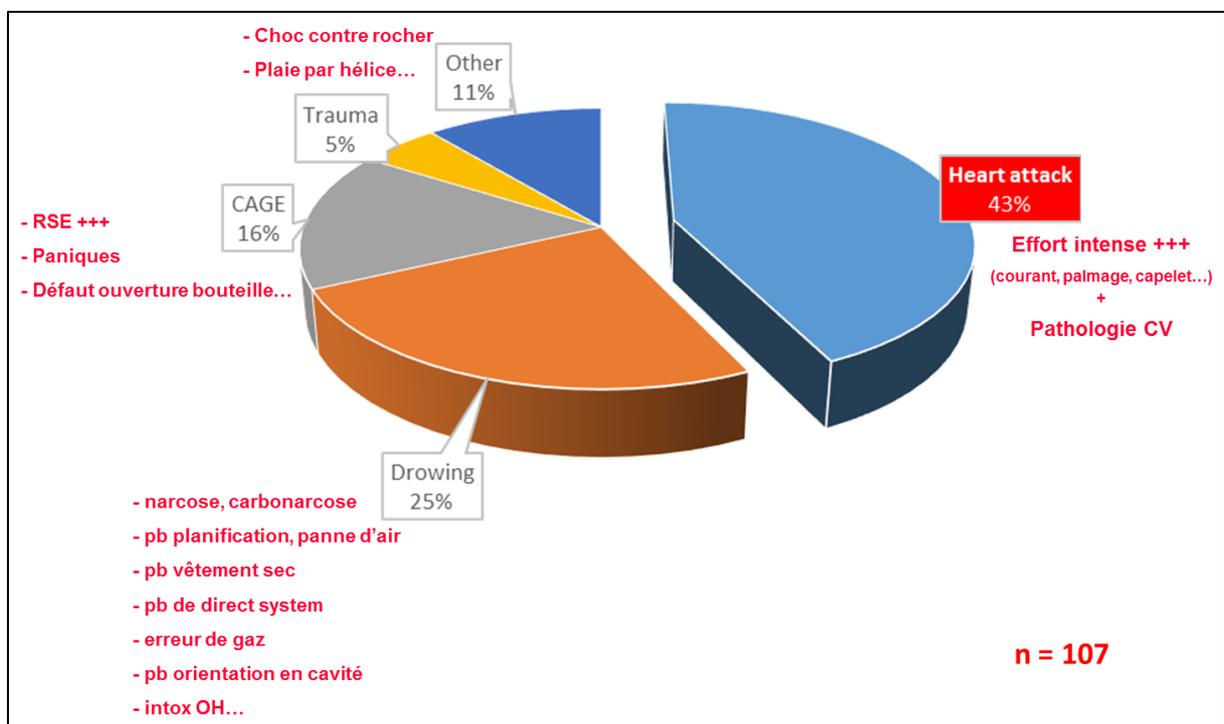


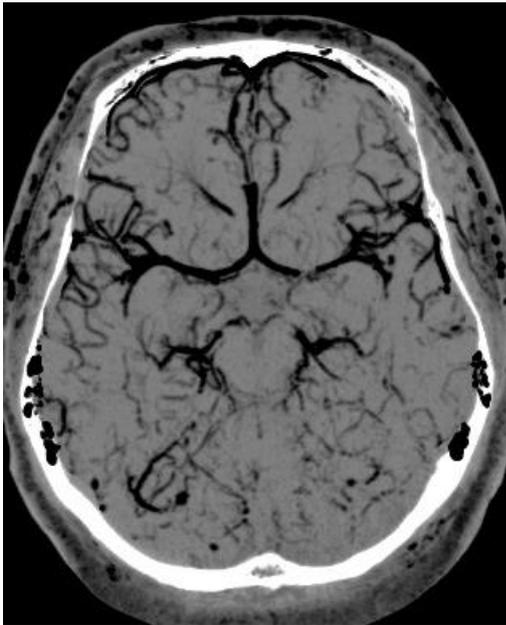
Fig. 8 : Cause initiale de l'arrêt cardiaque en plongée d'après l'analyse d'une centaine de cas à l'Assistance Publique des Hôpitaux de Marseille (CV : cardio-vasculaire, CAGE : cerebral arterial gas embolism, RSE : remontée sans embout)

Il est toutefois très compliqué d'orienter le diagnostic lors de la prise en charge initiale. De plus, lorsque l'arrêt cardiaque survient en profondeur, il peut se compliquer d'une noyade par perte de l'embout buccal, d'une surpression pulmonaire et/ou d'un dégazage massif consécutifs à la remontée rapide vers la surface. Par conséquent, bien que le plongeur en arrêt cardiaque présente le même aspect qu'un noyé (fig. 9), il reste jusqu'à preuve du contraire un

accident cardiaque, potentiellement noyé, avec éventuellement un pneumothorax compressif et une embolie gazeuse systémique massive. Il doit donc être en priorité ventilé et choqué (fig. 10). L'exsufflation doit se discuter au plus vite. En cas de doute, une exsufflation droite « à l'aveugle » peut se justifier. Après déchoquage, un transfert vers un centre hyperbare peut ensuite se discuter.



Fig. 9 : Champignon spumeux au niveau de la bouche d'un plongeur extrait de l'eau en arrêt cardiaque (source : APHM)



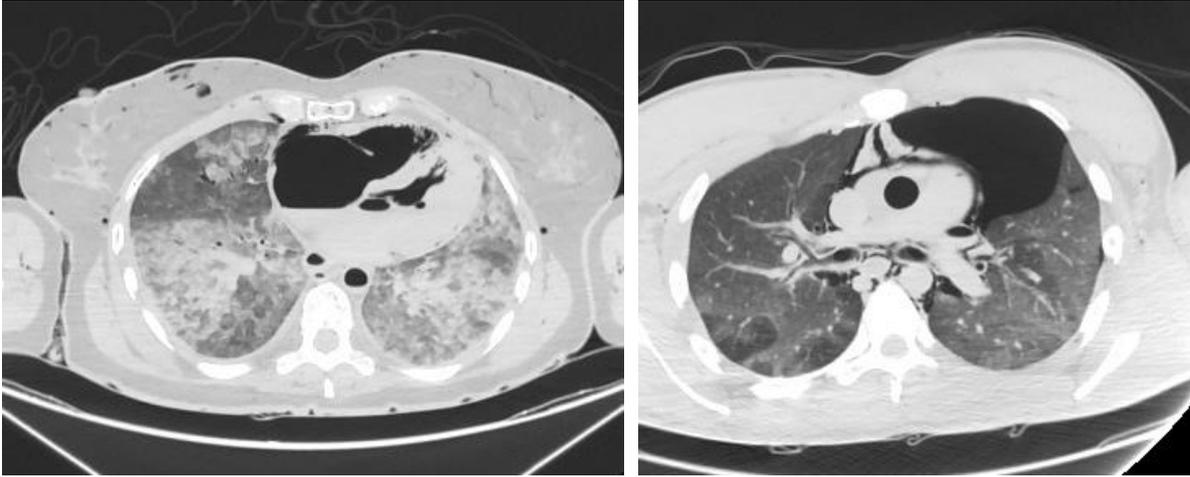


Fig. 10 : Aspects radiologiques des manifestations gazeuses et des lésions pleuro-pulmonaires sur des tomodensitométries post mortem réalisées au décours d'un arrêt cardiaque en plongée (source : APHM)

Au total, l'accident de plongée est une urgence médicale vraie [12] qui regroupe un nombre important de pathologies spécifiques et souvent méconnues (fig. 11). Le polymorphisme clinique et la contrainte du terrain imposent une prise en charge pré-hospitalière simple et rapide associée à une médicalisation ciblée, un avis spécialisé précoce et un transfert vers un centre de référence.

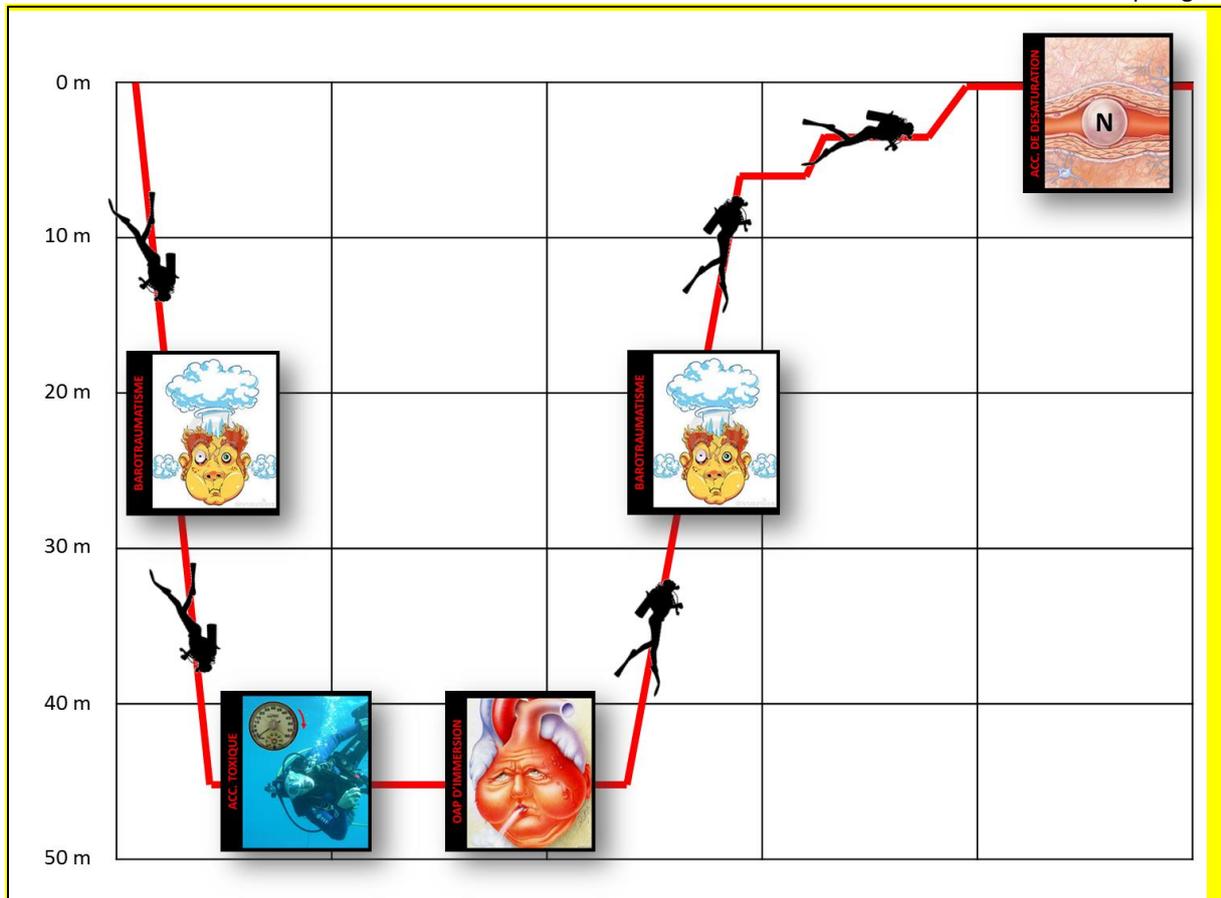


Fig. 11 : Cinétique d'apparition des différents risques en fonction du profil de plongée

3. Filière spécifique de prise en charge

3.1. L'alerte

Le plongeur en scaphandre autonome tout comme l'apnéiste ont pour consigne de signaler sans délai toute sensation anormale dans les 24 heures qui suivent une plongée. Le plongeur doit également alerter en cas d'erreur de procédure de décompression non compensée par une procédure de rattrapage y compris en l'absence de signe clinique. L'ensemble des modalités d'alerte doit être au préalable retranscrit sur un plan de secours (fig. 12) et transmis à l'ensemble des acteurs de la chaîne de secours.

	Instruction temporaire concernant la conduite à tenir en cas d'accident de plongée			Date : ... / ... /		
	Chantier/Site ...			Page 1/ ...		
Rédacteur		Vérificateur		Approbateur		
Intervention : ...						
Documents de référence :						
<p>Vig V, Coulange M, Barthélémy A, Comte G, Bagou G. Accidents de plongée. In : Samu de France, editors. <i>Guide d'aide à la régulation au SAMU centre 15</i>. 2nd ed. Paris: Masson; 2009. p. 360-361.</p> <p>Coulange M. Accidents de plongée. In : Société Française de Médecine d'Urgence, editors. <i>Pathologies circonstancielles. Journées thématiques interactives de la SFMU, Brest 2012</i>. Paris: Société Française d'Éditions Médicales; 2013. p. 103 - 130.</p>						
ENVIRONNEMENT HYPERBARE						
Point GPS : ...° ...' ...° N ...° ...' ...° E		Altitude : < 300 m.	T° de l'eau : ...	Houle : ...	Courant : ...	Visibilité : ...
Profondeur max. : ... m.		Durée max. : ... h	Palier :mn à.....m	Technique : ...		
Contraintes particulières : ...						
PLAN DE SECOURS EN CAS D'ACCIDENT DE PLONGEE					Année :	
Caisson hospitalier le plus proche : km par la route (Hôpital ...)					DEBUT	FIN
					... / / ...
<p>Toute erreur de procédure de décompression et tout signe qui apparaît dans les 24 heures qui suivent la plongée doivent être considérés comme un accident de plongée.</p> <p>Le plongeur doit être mis sous oxygène au masque à haute concentration et réhydraté. La prise de 250 mg d'aspirine peut être discutée en l'absence d'allergie ou de saignement. En cas de détresse vitale, les gestes élémentaires de survie priment.</p> <p>Le médecin régulateur du SAMU centre 15 doit être alerté sans délai</p> <p>Le délai d'accès au caisson de recompression doit être le plus court possible en cas de suspicion d'accident de décompression. En fonction des distances, le vecteur hélicoptère peut être privilégié pour garantir un délai de recompression de moins de ..., conformément à la réglementation. Une recompression sur site peut s'effectuer selon la procédure du manuel de sécurité hyperbare, après validation médicale.</p> <p>Le médecin hyperbare référent doit être averti pour aider à mettre en place les mesures spécifiques à la situation hyperbare. Le médecin du travail doit être informé afin de rédiger le rapport d'incident ou d'accident.</p>						
Matériel de secours disponible sur site						
<input type="checkbox"/> Oxygène <input type="checkbox"/> Masque O2 haute concentration <input type="checkbox"/> BAVU <input type="checkbox"/> DAE <input type="checkbox"/> Aspirateur à mucosité <input type="checkbox"/> Eau plate <input type="checkbox"/> Aspirine per os <input type="checkbox"/> Caisson de recompression sur site						
COORDONNEES TELEPHONIQUES						
SAMU ...		Tél. : 15 ou ... (urg) / ... (secur) / mail : ...				
Centre hyperbare de ...		Tél. : ... / mail : ...				
Médecin hyperbare référent		Tél. : ... / mail : ...				
Médecin du travail		Tél. : ... / mail : ...				
LISTE DE DISTRIBUTION						

Fig. 12 : Exemple de maquette de plan de secours mis en place par l'Institut de Physiologie et de Médecine en Milieu Maritime et en Environnement Extrême (source : Phymarex)

A terre, il appelle le 15, le 18 ou le 112. En mer, il contacte le Centre Régional Opérationnel de Surveillance et Sauvetage (CROSS) par appel VHF-ASN canal 70 ou VHF canal 16 ou GSM au 196. L'opérateur du CROSS recueille sur une fiche spécifique (fig. 13) : la localisation de l'accidenté, les caractéristiques du navire, les paramètres de plongée, les premiers signes et le traitement initié par l'entourage, puis transmet l'appel au SAMU de Coordination Médicale Maritime (SCMM). En cas d'arrêt cardiaque, l'opérateur du CROSS a pour consigne de transférer sans délai l'appel au SCMM.

CROSS	FICHE PRISE D'ALERTE	ACCIDENT DE PLONGEE
OPERATION N° : _____	DATE : _____	HEURE (UTC) : _____
SEXE : <input type="checkbox"/> HOMME <input type="checkbox"/> FEMME AGE : _____ ans	En cas d'arrêt cardiaque	
NUMERO DE TEL PORTABLE (en cas de perte de contact VHF)	CONFERENCE A 3 IMMEDIATE entre APPELANT /CROSS/SCMM	
→ : _____		
1^{er} ETAPE → NAVIRE éléments recueillis par le CROSS NOM du SUPPORT : _____ POSITION : _____ Site de plongée : _____ Y : _____ N G : _____ E Azimut _____ / référence _____ / distance _____ Palanquée à l'eau : _____ multi victime : _____ nbre : _____ délai pour atteindre le port le plus proche : _____ min Port : _____ caractéristiques du support de plongée : _____ S/P répertorié : _____ (voir classeur) si S/P non répertorié => poser les questions : longueur du navire : _____ mètres couleur du navire : _____ Hélicoptère depuis le support de plongée Possible ? _____	2^e ETAPE → PLONGEE éléments recueillis par le CROSS TYPE de PLONGEE : _____ <input type="checkbox"/> APNEE <input type="checkbox"/> BOUTEILLE <input type="checkbox"/> RECYCLEUR TYPE DE MELANGE : _____ <input type="checkbox"/> AIR <input type="checkbox"/> NITROX <input type="checkbox"/> TRIMIX <input type="checkbox"/> AUTRE Durée totale de la plongée : _____ Min Profondeur maxi : _____ Mètres Durée à la profondeur maxi : _____ Min Paliers effectués : _____ Heure de sortie de l'eau : _____ ORIGINE DE L'ACCIDENT : _____ Erreur de procédure Absence de palier Remontée rapide Autre : _____ PLONGEE PRECEDENTE < 24 h : _____ Profondeur : _____ mètres	3^e ETAPE → VICTIME éléments recueillis par le CROSS MEDECIN A BORD : _____ Heure des 1 ^{ers} signes : _____ SIGNES : _____ oui Non NC Conscient _____ Respire _____ Gêne respiratoire _____ Crachats sanglants _____ Paralytie : _____ Vertiges _____ Fourmillements : _____ Douleurs dorsales _____ Autres : _____ SOINS EFFECTUES : _____ Oxygène : _____ L/min Réanimation cardio-pulmonaire _____ Eau : volume _____ L Autres : _____ HEURE DEBUT DES SOINS : _____
4^e ETAPE → CONFERENCE A 3 : SUPPORT PLONGEE / CROSS / SCMM EVACUATION DECIDEE AVEC LE CROSS MEDICALISATION : _____ EVACUATION : _____ VECTEUR : _____ ♦ Hélicoptère : <input type="checkbox"/> Depuis S/P <input type="checkbox"/> Autre support nautique <input type="checkbox"/> Depuis DZ ♦ Nautique : _____ ♦ Ambulance : _____ DESTINATION : _____ Lieu de jonction : _____	IDENTITE DU PLONGEUR : NOM : _____ PRENOM : _____	TRANSMISSION à : <input type="checkbox"/> SCMM 83 <input type="checkbox"/> Centre hyperbare: H. STE MARGUERITE <input type="checkbox"/> SAMU: _____ Autre: _____

Fig. 13 : Fiche de prise d'alerte commune CROSS – SCMM (réalisée sur le modèle de la fiche établie par le CROSSMED). Une case à cocher avec le nom et le numéro de fax ou l'adresse mail des différents services doit être rajoutée dans la partie « Transmission ».

La mise en place d'une fiche d'alerte (fig. 14) par la Société Médicale Méditerranéenne d'Urgence Maritime (SMMUM) devrait faciliter l'émission du message d'alerte par le plongeur. Cette fiche incite le plongeur à se localiser et à préciser le délai pour atteindre le point à terre le plus proche. Elle précise les caractéristiques de la plongée les plus instructives comme le type de plongée (apnée, bouteille ou recycleur), le mélange utilisé (air, nitrox, héliox ou trimix), le temps passé et la profondeur maximale atteinte, la procédure de décompression employée et les incidents éventuels. Elle guide le bilan secouriste et retranscrit les premiers soins. Elle est également intégrée dans le Référentiel Emplois, Activités, Compétences « Interventions, Secours et Sécurité en Milieu Aquatique et Hyperbare » de la Sécurité Civile et diffusée pour les plongeurs loisirs via le réseau sports de nature du Ministère des Sports.

FICHE D'ALERTE - ÉVACUATION ACCIDENT DE PLONGÉE

Remplir en urgence les trois parties pour **faciliter l'émission du message d'alerte**

N° de tél. de l'appelant:

ALERTER

EN MER, le CROSS...		À TERRE, tél. au 15, 18 ou 112
VHF-ASN Canal 70	Sélection du message - Appui maintenu sur Distress jusqu'à 5 bips courts et un long <i>Attendre accusé de réception pour passer le message</i> - Mode émission (bouton PTT)	Demande assistance immédiate pour accident de plongée « en cas d'arrêt cardiaque, le préciser sans délai »
VHF Canal 16	PAN PAN (x 3) de (nom du navire x 3), situé aux points GPS° ' " N° ' " E - <i>Attendre réception pour passer le message</i>	
Demande assistance immédiate pour accident de plongée <input type="checkbox"/> en arrêt cardiaque Mon délai pour atteindre (le point à terre le plus proche) est de min. Le bateau est répertorié: <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON Longueur navire: m. Couleur:		Je me situe à

PARAMÈTRES DE PLONGÉE

SEXE: M F ÂGE: ans NOM: PRÉNOM:

Niveau de plongée: Apnée Bouteille Recycleur Air Nitrox Trimix HélioX
 Loisir Formation Professionnel

Profondeur max: mètres Durée totale: min. Heure de sortie: H

Paliers de décompression: Ordinateur Table:

Incident:

Plongée précédente < 24h: OUI NON Intervalle: h. Profondeur: mètres Durée: min.

BILAN

Médecin sur place: OUI NON Qualification: Médecine de plongée Autre:

Bilan : Inconscient Ne respire pas Gène respiratoire (fréquence respiratoire: / min.)
 Paralysie (localisation :)
 Douleur (localisation :)
 Fourmillement (localisation :)
 Vertige Peau : éruption ou démangeaison Saignements (localisation :)
 Autres :

Heure des 1ers signes :H Heure de début des soins :H

Soins : Oxygène (débit L/min.) Eau (volume mL) Aspirine (dose..... mg.)
 Réanimation cardio-pulmonaire (heure de début:H)
 Défibrillateur sur site
 Autres : :

- MODÈLE DÉPOSÉ - SOCIÉTÉ MÉDICALE MÉDITERRANÉENNE D'URGENCE MARITIME - ECASC VALABRE - TANIT DÉVELOPPEMENT - TEL : + 33 (0)4.90.07.57.94 - WWW.TANIT-DEVELOPPEMENT.COM

Fig. 14 : Fiche d'alerte destinée aux plongeurs (source : SMMUM)

La rapidité exigée lors de la prise en charge d'un accident de plongée en mer est en faveur d'une procédure unique basée sur une boucle courte avec une conférence à trois en un seul temps : appelant - CROSS - SCMM, quel que soit la filière d'arrivée de l'appel (CROSS, Centre 15, CODIS...) [34]. Les appels reçus par d'autres services (hôpitaux, cabinets médicaux, centres hyperbares...) doivent être basculés sur les services de secours d'urgence précédemment mentionnés, lorsque l'accidenté se trouve encore en mer.

Si le SCMM ne peut être joint dans un délai inférieur à trois minutes, le SAMU départemental concerné en premier lieu, ou le Centre de Consultation Médicale Maritime (CCMM) en second lieu, peuvent être amenés à assurer le rôle dévolu au SCMM. Dans certaines parties des DOM TOM, le CROSS est remplacé par le « Maritime Rescue Coordination Center » (MRCC), et le SAMU départemental fait office de SCMM.

Le CROSS transmet au SCMM les éléments nécessaires à l'ouverture d'une fiche « Opération » : le nom du navire, le motif « accident de plongée », le lieu de l'événement de mer et éventuellement l'identité de la personne concernée. Il fournit dans les meilleurs délais la fiche de recueil des éléments de l'alerte sur laquelle figurent les paramètres de plongée. Il précise également la possibilité ou non d'un treuillage sur le site, le délai de ralliement vers un port ou une plage et la capacité ou non du navire à faire route (si les plongeurs n'ont pas tous été récupérés, le navire ne doit pas quitter sa position).

3.2. La régulation médicale

Le médecin régulateur guide la thérapeutique sur les lieux. Il décide d'une éventuelle médicalisation, en particulier en cas de détresse vitale, de signes cardio-thoraciques, de symptomatologie à forte évolutivité ou de situation d'éloignement. Il a pour consigne de contacter le plus tôt possible le médecin hyperbare (idéalement l'hyperbariste de garde sur le secteur concerné) pour discuter d'une orientation vers un service adapté y compris lors de la prise en charge d'un apnéiste. Le site de la Société Française de Médecine et de Physiologie Subaquatiques et Hyperbares de Langue Française (Medsubhyp) permet d'obtenir tous les renseignements concernant les centres hyperbares français (<https://www.medsubhyp.fr/fr/s-informer/se-documenter/11-centres-hyperbares.html>) (fig. 15).



Fig. 15 : Localisation des centres hyperbares français

La fiche de recueil d'alerte CROSS-SCMM (**fig. 13**) est indispensable pour discuter de la prise en charge thérapeutique avec le médecin hyperbare. Lorsque l'accident survient à terre, cette fiche peut également faciliter l'interrogatoire du médecin régulateur, en particulier les parties concernant les conditions de plongées, l'état de la victime et les premiers soins mis en place par l'entourage. La conférence téléphonique à trois entre l'appelant, le médecin régulateur et le médecin hyperbare peut être mise en place pour optimiser l'interrogatoire.

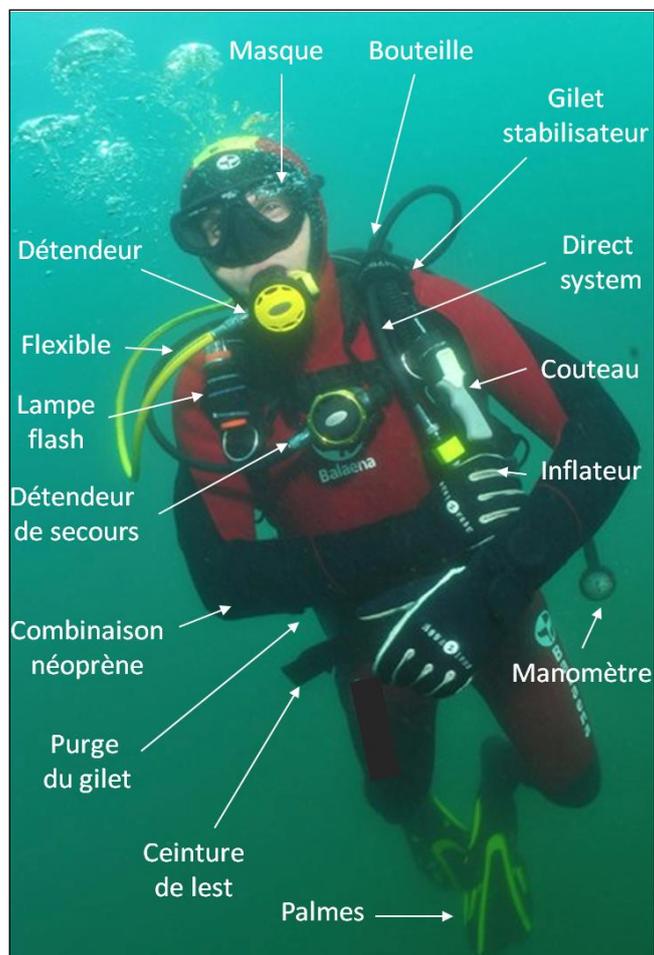


Fig. 16 : Principaux termes utilisés pour décrire l'équipement d'un plongeur

3.2.1. Premiers soins par l'entourage

Le médecin régulateur vérifie que l'oxygène normobare à 15 L/mn a été mis en place et que l'autonomie en oxygène est suffisante pour faire jonction avec les secours spécialisés (fig. 17). Il rappelle à l'entourage que l'oxygénation ne doit jamais être modifiée ou interrompue sans une validation médicale. Si l'oxygénation ne peut être garantie à 15 L/mn jusqu'à la prise en charge spécialisée, le débit peut être abaissé à condition que le ballon du masque à haute concentration se regonfle après chaque inspiration (c'est-à-dire en général à un débit supérieur à 9 L/mn).

BOUTEILLE	PRESSION			
	200 bars	150 bars	100 bars	50 bars

B02	24 mn	18 mn	12 mn	3 mn
B05	1 h	45 mn	30 mn	15 mn
B15	3 h	2 h 15	1 h 30	45 mn
B50	10 h	7 h 30	5 h	2 h 30

Fig. 17 : Valeurs indicatives d'autonomie à un débit de 15 L/mn. en fonction du volume de la bouteille et de la pression

L'oxygénation est associée à une réhydratation de 0,5 à 1 L d'eau par heure en l'absence de vomissements, de troubles de la conscience ou de barotraumatisme digestif et, bien qu'il n'y ait pas de niveau de preuve important, à la prise éventuelle d'aspirine à la dose de 1 à 4 mg/kg en l'absence d'allergie ou de saignement [35]. La réimmersion est proscrite [12].

La victime doit être placée au repos strict dans la position où elle est la moins agitée, idéalement en décubitus dorsal ou en décubitus latéral gauche. La position semi-assise est préférée en cas de détresse respiratoire et la position latérale de sécurité en cas de trouble de la conscience. L'accidenté est séché, recouvert d'une couverture de survie et mis à l'abri des contraintes thermiques, du bruit et de la pression des témoins.

En cas d'arrêt cardiaque, la réanimation doit être débutée par une série d'insufflations, conformément à la prise en charge d'un noyé potentiel. La réanimation est ensuite identique aux recommandations habituelles. Le défibrillateur automatisé externe (DAE) doit être mis en place le plus précocement possible. Ainsi, les supports de plongée doivent être incités à disposer d'un DAE avec un personnel formé, en particulier en situation d'éloignement des secours. L'accidenté doit être allongé sur une surface sèche, non métallique ou isolé du sol par deux serviettes ou une planchette. Le torse doit être séché, en particulier entre les deux électrodes. Le moteur du navire est idéalement coupé pour faciliter l'analyse du tracé. Le choc peut alors être délivré si l'appareil l'indique et que les conditions sont favorables. Le DAE doit être systématiquement utilisé en cas d'arrêt cardiaque. En milieu maritime, la difficulté pour les équipes médicales d'arriver sur les lieux en moins de 10 min. doit inciter le CROSS à

rechercher un support équipé d'un DAE à proximité de l'accident (SNSM, Sapeurs-Pompiers, Gendarmerie Maritime, Douane Française...). Une mise en alerte par un message VHF peut être un bon procédé. Par a

Pour faciliter la prise en charge de l'accidenté par l'entourage, une conduite à tenir (fig. 18) est inscrite au verso de la fiche d'alerte précédemment décrite. Ce protocole devra être adapté en fonction de l'évolution des recommandations.

CONDUITE A TENIR EN CAS D'ACCIDENT DE PLONGEE

ALERTER AU PLUS VITE
(cf. « FICHE DE RECUEIL DE DONNEES EN CAS D'EVACUATION »)

EST IL EN ARRET CARDIO-RESPIRATOIRE ?

NON

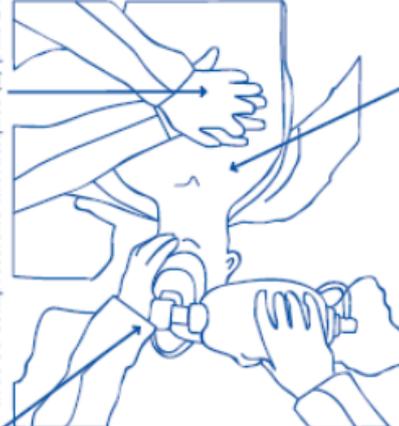


1. OXYGENER 15 L/min

2. HYDRATER - 0,5 à 1 L / h.
en l'absence de coma ou de traumatisme
± ASPIRINE - 250 à 500 mg.
en l'absence de coma,
d'allergie ou de saignement

3. SECHER ± COUVERTURE + REPOS
Position latérale de sécurité si coma
Position semi-assise si difficulté respiratoire

OUI



1. 5 INSUFFLATIONS (1)

2. REANIMATION CARDIO-PULMONAIRE
avec 30 compressions thoraciques (2) puis 2 insufflations (3)

3. DEFIBRILLATEUR SEMI-AUTOMATIQUE
Si disponible : mise en place sans délai,
après avoir isolé la victime du sol et séché le torse entre les 2 électrodes

ATTENTION :

- A. Une plongée sans erreur ne met pas à l'abri d'un accident.
- B. Toute erreur de procédure sans signe doit être considérée comme un accident.
- C. Tout signe apparu dans les 24 heures qui suivent une plongée est un accident de plongée jusqu'à preuve du contraire.
- D. Les signes sont souvent variés, d'évolution imprévisible et faussement rassurants.
- E. Il n'y a pas de corrélation entre la manifestation clinique et la gravité potentielle.
- F. Ne pas oublier d'adresser le reste du groupe de plongeurs en cas d'erreur de procédure.

- Modèle Déposé - M. Coulinge - Taitit Développement - Tél : +33 (0)6 90 07 57 94 - Leuck Valbère -

Fig. 18 : Fiche de conduite à tenir par l'entourage en cas d'accident de plongée (source : SMMUM)

Les plongeurs asymptomatiques ayant plongé avec l'accidenté doivent être traités comme un accident de plongée uniquement s'ils n'ont pas suivi la procédure de désaturation prévue. Dans le cas contraire, ils doivent interrompre la plongée pendant au moins 24 heures et alerter les secours au moindre signe.

3.2.2. Critères de médicalisation

Si la présence d'un médecin permet d'obtenir un bilan clinique précis, elle peut néanmoins être à l'origine d'une augmentation sensible du délai d'évacuation sans bénéfice évident sur le plan thérapeutique. L'abandon du dogme disant que « tout accident de plongée doit être médicalisé » permet ainsi de limiter et surtout de mieux cibler les critères de médicalisation [36]. Nous rappelons à ce titre, qu'un trouble moteur, en dehors d'une détresse vitale associée, impose un transfert rapide vers un centre hyperbare qui ne doit pas être retardé par la projection d'une équipe médicale ou paramédicale.

Actuellement, un accidenté en détresse vitale tire pleinement bénéfice d'une médicalisation précoce (fig. 19). En cas de délai d'intervention sur les lieux supérieur à 10 min, la régulation doit tout mettre en place pour garantir un choc électrique précoce. En mode dégradé, le médecin régulateur peut proposer une jonction à terre si le délai de médicalisation en mer est supérieur au temps nécessaire pour regagner le port ou la plage la plus proche. Toute symptomatologie thoracique doit être médicalisée afin de rechercher une indication urgente de drainage thoracique ou une ischémie myocardique nécessitant une revascularisation sans délai. La situation d'éloignement extrême doit également inciter à une médicalisation afin d'éviter une erreur d'orientation qui pourrait être préjudiciable en terme de délai. D'autres situations méritent d'être précisées comme les troubles neurologiques graves et les aggravations rapides.

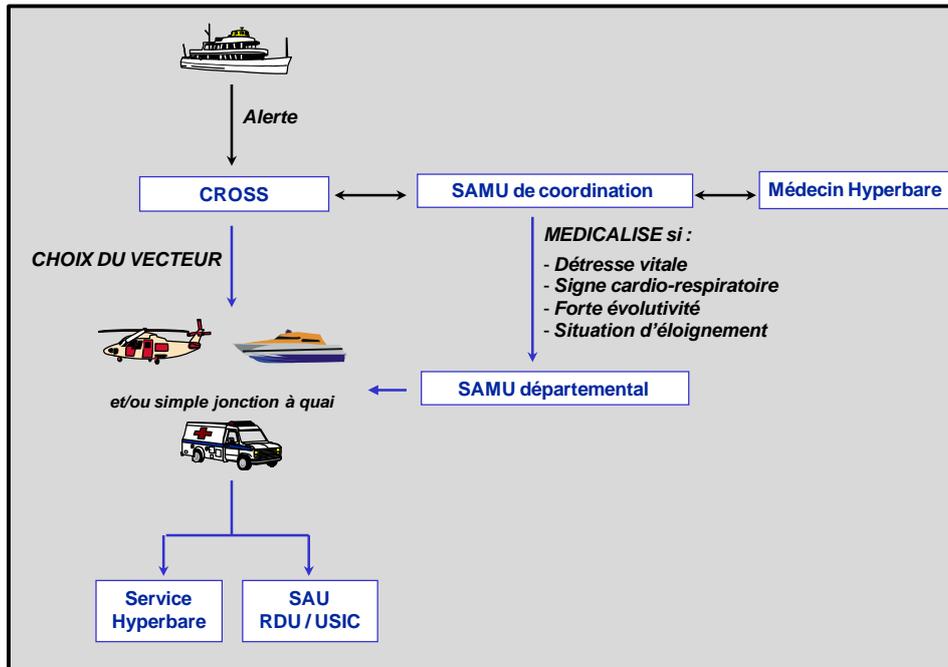


Fig. 19 : Organisation des secours et critères de médicalisation (fiche extraite du référentiel SFMU d'urgence maritime)

3.2.3. Orientation

L'orientation d'un accident de plongée en scaphandre autonome ou en apnée est systématiquement discutée avec le médecin hyperbare, y compris en l'absence d'indication de recompression thérapeutique. Toutefois la décision finale est prise par le médecin régulateur du SCMM.

Si tous les moyens disponibles pour obtenir un avis spécialisé hyperbare ont échoué, il est nécessaire de privilégier un transfert vers un centre hospitalier disposant d'un service d'urgence, d'un caisson à proximité, facilement accessible et d'une astreinte hyperbare.

3.2.4. Recompression sur site

Dans le cadre de la plongée professionnelle disposant d'une chambre hyperbare à proximité du chantier (fig. 20), une recompression au sec sur site peut se discuter après accord du

Accidents de plongée
 médecin régulateur et du médecin hyperbare de secteur. Les tables les plus fréquemment
 utilisées sont les Comex 12, 18 et 30 (fig. 21).

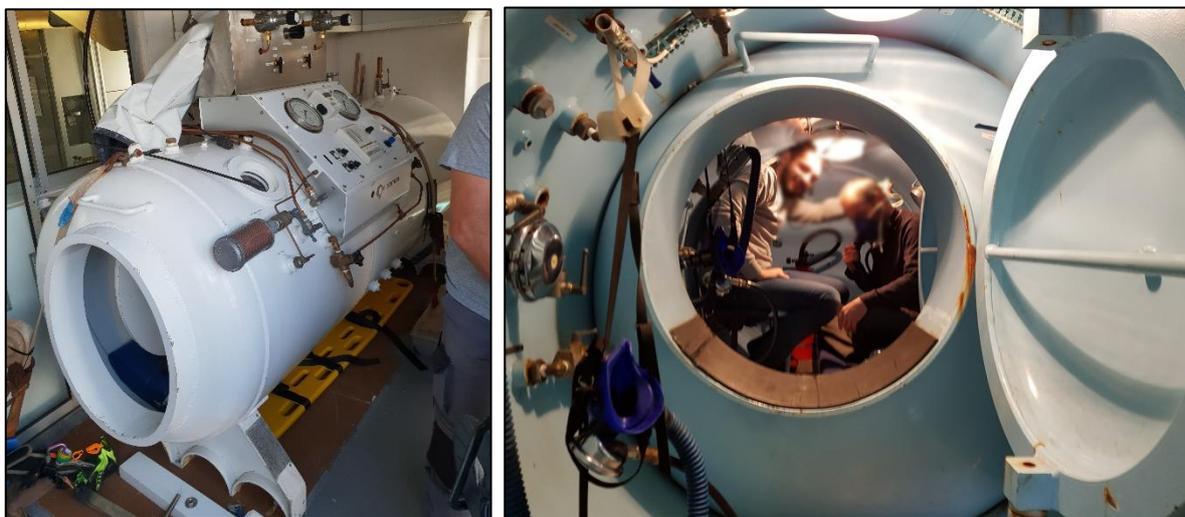
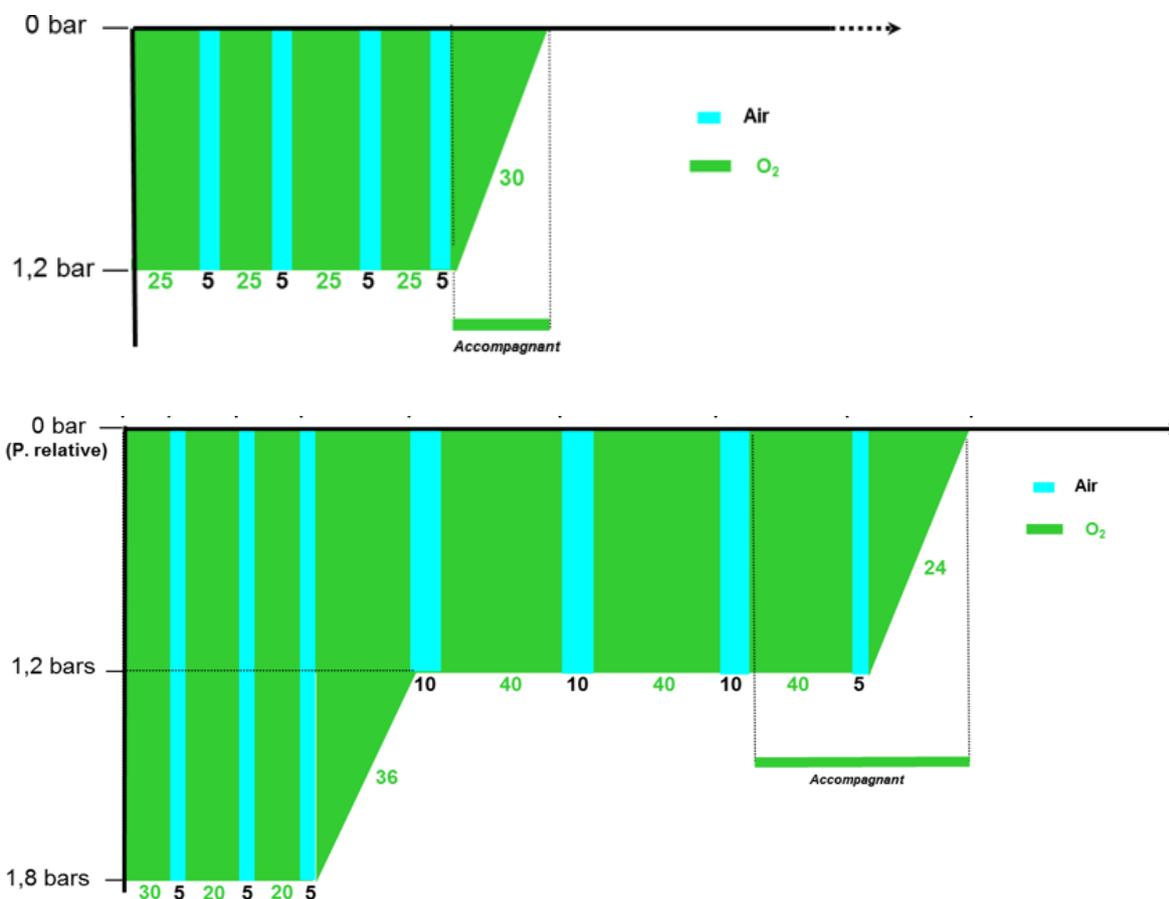


Fig. 20 : Caisson de chantier avec recompression sur site (source : Phymarex)



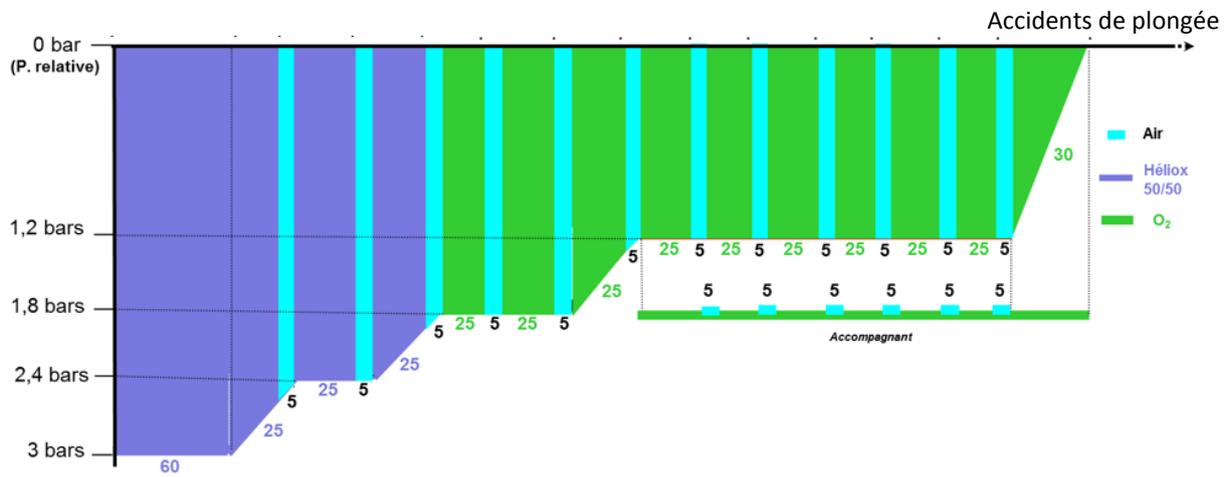


Fig. 21 : Tables de recompression Cx12, Cx18 et Cx30

Elle doit tenir compte du rapport bénéfice/risque entre une recompression précoce sur site dans un caisson « rustique » et une recompression plus tardive dans un centre hospitalier disposant d'une chambre de réanimation (**fig. 22**). Tout transfert vers un centre hyperbare hospitalier, alors qu'il existe sur site un caisson de chantier, doit se justifier d'autant que le ministère du travail impose des délais de recompression en fonction des durées de paliers effectués par les plongeurs [37] [38] :

- Recompression en moins de deux heures pour des paliers de moins de 15 minutes
- Recompression en moins d'une heure pour des paliers de plus de 15 minutes
- Pas de délai de recompression pour les mentions B et délai de moins de 6 heures pour les mentions A en l'absence de paliers obligatoires



Fig. 22 : Centre hyperbare hospitalier avec recompression dans le caisson de réanimation (source : APHM)

Seul le personnel apte médicalement aux interventions en milieu hyperbare et qualifié mention C, est autorisé à intervenir dans le caisson mobile. La mise en place de lot de premiers secours hyperbare (PSH) (fig. 23) et de formations spécifiques de Sauveteurs Secouristes du Travail adapté à l'hyperbarie devraient permettre d'optimiser la prise en charge initiale d'un accident de plongée en caisson de chantier.



Fig. 23 : Lot de premiers secours hyperbare (PSH)

La recompression thérapeutique par réimmersion est par contre fortement déconseillée sur le territoire Français.

3.2.5. Secours en plongée sous terrain

La plongée sous-terrain est actuellement en pleine expansion. Elle est pratiquée par des plongeurs de plus en plus expérimentés capables d'atteindre des profondeurs très importantes dépassant régulièrement les 100 mètres et des durées d'immersions de plusieurs heures. Ils utilisent le plus souvent des cloches de décompression pour réaliser leurs paliers au sec. Etant donné leur durée importante de palier, les premiers symptômes d'accident de désaturation peuvent apparaître sous l'eau, rendant la prise en charge initiale complexe. L'équipe médicale devra faire le maximum pour maintenir la victime dans sa cloche afin qu'il puisse terminer ses paliers tout en intégrant les difficultés d'extraction en cas d'aggravation. La mise en place de techniques d'approche spécifiques par les plongeurs de la sécurité civile permet d'optimiser in situ le bilan, la prise en charge initiale et la surveillance avant

l'extraction (fig. 24). En cas d'intervention nécessitant une progression de plus de 200 mètres sous plafond, il est nécessaire de déclencher au plus vite le Secours Spéléologique Français (SSF).

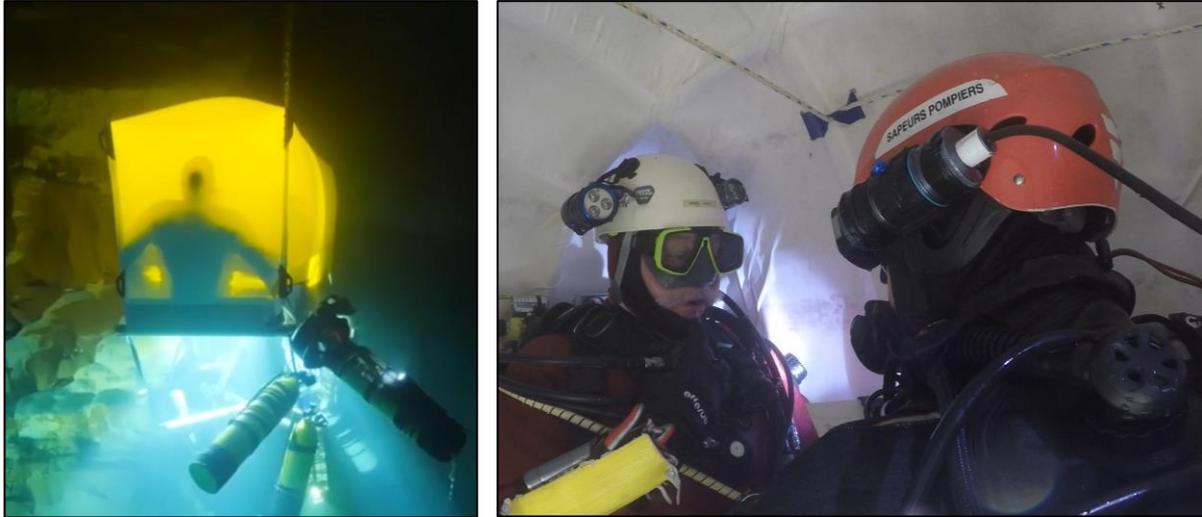


Fig. 24 : Intervention d'un plongeur sapeur-pompier sur un plongeur spéléo en train d'effectuer ses paliers dans une cloche de plongée et présentant des signes d'accident de désaturation (source : Sécurité Civile)

3.3. Médicalisation pré-hospitalière

L'équipe médicale, lorsqu'elle est nécessaire, doit effectuer les gestes imposés par l'état des fonctions vitales du plongeur accidenté. Elle réalise ensuite un bilan lésionnel avec mise en place d'un traitement symptomatique complémentaire. Classiquement le protocole suivant est appliqué :

3.3.1. Oxygénothérapie normobare

Si la ventilation spontanée est conservée, le patient doit être oxygéné au masque à haute concentration avec une FiO₂ à 100 % et un débit de 15 L/mn. La CPAP doit être discutée en cas d'œdème pulmonaire.

S'il existe une détresse vitale, le patient doit être intubé et ventilé avec des réglages limitant le volume courant et les pressions de crête afin de minimiser le risque de lésion pulmonaire. Le ballonnet de la sonde d'intubation doit être gonflé à l'eau en vue d'une éventuelle recompression thérapeutique. La FiO₂ est maintenue à 100 % quelle que soit la saturation artérielle en oxygène. Une pression expiratoire positive peut être discutée en cas d'œdème pulmonaire.

S'il existe un pneumothorax suffoquant, l'exsufflation à l'aiguille est indiquée sans délai (fig. 24) avant d'entreprendre le protocole habituel de prise en charge d'un pneumothorax.

Fig. 24 : Exsufflation à l'aiguille sur la ligne médio-claviculaire au niveau du 3^{ème} espace intercostal en suivant le bord supérieur de la côte inférieure (source : Phymarex)

3.3.2. Remplissage vasculaire

Le remplissage est débuté par la mise en place d'une voie veineuse périphérique et l'administration systématique d'au moins 500 ml de sérum salé isotonique dans la première demi-heure. En cas de choc hypovolémique, le protocole de remplissage est effectué selon les recommandations habituelles. Le remplissage doit être prudent en cas de détresse respiratoire. L'usage de poches souples est préconisé du fait d'une évacuation aérienne possible et d'un traitement hyperbare futur, pour éviter la survenue d'une embolie gazeuse iatrogène.

3.3.3. Traitement pharmacologique

Compte tenu de l'état actuel des connaissances, aucun médicament n'est formellement recommandé. Cependant, l'administration d'aspirine à une dose de 1 à 4 mg/kg en IV ou per os, peut être discutée en l'absence de prise initiale, d'allergie ou de saignement [35].

En cas de signe cardio-thoracique, l'examen clinique et l'ECG doivent rechercher un syndrome coronarien aigu afin de discuter d'un protocole de revascularisation. Face à un œdème

Accidents de plongée

pulmonaire d'immersion, il faut privilégier les techniques d'oxygénothérapie optimisée avant une thérapeutique par diurétique.

3.3.4. Réanimation cardio-pulmonaire

En cas d'arrêt cardiaque, la réanimation doit être prolongée étant donné la présence fréquente d'une hypothermie associée. La mise en place d'un dispositif auto-massant peut faciliter le transfert de la victime vers un centre spécialisé.

3.3.5. En cas de décès

Le médecin du SMUR doit prononcer un obstacle médico-légal, fixer la scène en attendant l'officier de police judiciaire (OPJ), éventuellement prélever un échantillon d'eau à l'endroit où le corps a été récupéré et transmettre à l'OPJ une fiche de recueil avec les constatations cliniques et les gestes effectués (intubation, voie veineuse, drainage, médicament...). La réalisation d'une tomodensitométrie corps entier post mortem précoce est un élément déterminant dans la compréhension des causes de décès [39] [40].

Par ailleurs, lorsque le plongeur en arrêt cardiaque est encore immergé lors de l'alerte, la notion de prompt secours reste valable pendant une heure (deux heures si l'eau est inférieure à 6°C) [41]. Au-delà, l'officier de police judiciaire doit être alerté pour initier une procédure judiciaire. Sans consigne de ce dernier, le corps doit rester à l'endroit où il a été localisé après un balisage de proximité.

3.3.6. En situation d'éloignement

La médicalisation doit être privilégiée afin de préciser l'examen clinique et ainsi éviter une erreur d'orientation qui pourrait être préjudiciable en termes de temps. L'échographie pré-hospitalière devrait, à l'avenir, faciliter la distinction entre un barotraumatisme, un œdème pulmonaire [42] et un chokes en cas de symptomatologie cardio-respiratoire.

3.4. Les vecteurs

Il faut toujours privilégier la rapidité d'évacuation sans médicalisation si elle n'entraîne pas d'insécurité pour la victime. A proximité des côtes, un retour à terre est souvent préférable à l'attente sur site d'un vecteur spécialisé, y compris en cas de critères de médicalisation. Il est également indispensable de rappeler aux secouristes qu'il ne faut en aucun cas interrompre l'oxygénation y compris lorsque la saturation artérielle en oxygène est normale.

Le choix du vecteur est fonction de la symptomatologie et de la proximité du service receveur.

L'hélicoptère, par sa rapidité d'intervention notamment en mer, semble être le moyen le mieux adapté. En effet, un hélitreuillage peut être discuté si le navire est non manœuvrant, en situation d'éloignement ou s'il y a une décision de médicalisation urgente. Le vol doit se faire à l'altitude la plus basse possible, idéalement inférieure à 300 mètres, pour éviter une dépressurisation qui aggraverait un accident de désaturation ou un barotraumatisme pulmonaire.

Du fait des spécificités d'extractions de l'hélicoptère et des contraintes de vol, il est parfois préférable d'utiliser les voies nautique et routière à condition qu'elles ne majorent pas de façon excessive le temps d'évacuation. Le développement récent de moyens nautiques rapides médicalisés offre une alternative lorsque les conditions météorologiques, les difficultés d'hélitreuillage, le nombre de victime ou encore l'absence d'hélistop au voisinage immédiat du service receveur limitent l'utilisation de l'hélicoptère.

Lorsque l'avion est le seul moyen possible pour atteindre un caisson de recompression, on utilisera de préférence des appareils réservés aux évacuations sanitaires, capables de maintenir la pression du sol en cabine. En cas d'utilisation d'un aéronef d'une ligne régulière, du fait des conditions de pressurisation cabine, un traitement strictement médical par oxygénothérapie normobare initiale d'une durée de 24 heures peut se discuter avant d'autoriser le transfert du sujet. [43]

3.5. Prise en charge hospitalière

En cas d'indication d'OHB en urgence (accident de désaturation, barotraumatisme compliqué d'embolie gazeuse systémique, doute diagnostic ou erreur de procédure sans signe), un transfert direct vers un centre hyperbare doit être privilégié. Le passage par un service d'accueil des urgences peut se discuter pour optimiser le conditionnement et réaliser le bilan pré thérapeutique, à condition qu'il n'entraîne pas de perte de temps supplémentaire. Il n'y a pas d'indication de gazométrie systématique en dehors d'une détresse vitale ou d'une suspicion d'intoxication au monoxyde de carbone. Au moindre doute, la tomodensitométrie thoracique est effectuée en urgence afin d'éliminer un barotraumatisme pulmonaire. Elle peut être complétée par des coupes cérébrales en cas de suspicion d'embolie gazeuse cérébrale. Le drainage thoracique doit être envisagé en cas d'oxygénothérapie hyperbare ou de mauvaise tolérance clinique. La mise en place d'une VNI doit être la plus précoce possible en cas d'œdème pulmonaire sévère. Le patient doit être en permanence oxygéné y compris en cas de régression des signes. Il bénéficie systématiquement d'un avis spécialisé en urgence afin d'orienter le diagnostic et évaluer l'intérêt d'une oxygénothérapie hyperbare complémentaire. Au décours de la recompression thérapeutique, le patient est hospitalisé pendant 24 heures pour surveillance. Une éventuelle reprise de l'oxygénothérapie hyperbare est discutée en fonction de son état. En l'absence d'indication d'OHB, le traitement sera adapté à l'orientation diagnostic selon les modalités abordées au paragraphe 2.

4. Conclusion

Tout signe qui apparaît dans les 24 heures qui suivent une plongée est un accident de plongée jusqu'à preuve du contraire. Une plongée non pathogène ne met pas à l'abri d'un accident. A contrario, une erreur de procédure au cours de la plongée sans signe clinique doit être considérée comme un accident de plongée potentiel et bénéficier d'une prise en charge identique. De plus, le polymorphisme clinique et l'absence de corrélation entre la clinique et la gravité potentielle imposent une prise en charge standardisée avec oxygénation, réhydratation voire acide acétylsalicylique et surtout transfert rapide vers un centre référent. L'Aide Médicale Urgente occupe une place importante dans cette prise en charge car elle permet d'optimiser le traitement pré-hospitalier tout en réduisant le délai de recompression. La médicalisation pré-hospitalière doit se limiter aux détresses vitales, aux signes cardio-respiratoires et aux situations d'éloignement afin de ne pas allonger les délais. L'orientation

Accidents de plongée
vers un centre de référence disposant d'un centre hyperbare doit être privilégiée. L'avis hyperbare doit être systématique et précoce dès que la notion de plongée est connue qu'elle soit en scaphandre autonome ou en apnée.

La filière accident de plongée fait l'objet d'un protocole spécifique dans le guide d'aide à la régulation au SAMU centre 15 [44] et d'un chapitre dédié dans le référentiel Urgence Maritime de la SFMU. La mise en place d'un registre inter-service (CROSS, SCMM, SAMU, CODIS, SMUR, service hyperbare, SAU, réanimation...) en collaboration avec la Société de Médecine et de Physiologie Subaquatiques et hyperbares de langue française (Medsubhyp) devrait faciliter l'évaluation des pratiques professionnelles et permettre d'optimiser les procédures existantes.

Les auteurs remercient les Pr Jean Eric Blatteau et Pierre Michelet ainsi que les Dr Pierre Louge, Bruno Barberon, Jérôme Poussard, Jean Charles Reynier, Emilie Thomas, Rodrigue Pignel, Thierry Joffre, Thibault Markarian, Damien Perruchetti et Hélène Rousselon pour leur collaboration.

GLOSSAIRE

ADD	Accident de désaturation
Bloc	Bouteille de plongée
CCMM	Centre de Consultation Médicale Maritime
CROSS	Centre Régional Opérationnel de Surveillance et Sauvetage
DAE	Défibrillateur Automatisé Externe

FFESSM	Fédération Française d'Etude et de Sports Sous-Marins
Héliox	Mélange gazeux Hélium-Oxygène
MRCC	Maritime Rescue Coordination Center
Nitrox	Mélange gazeux suroxygéné
OHB	Oxygénothérapie hyperbare
OPJ	Officier de police judiciaire
OPI	Œdème pulmonaire d'immersion
SCMM	SAMU de Coordination Médicale Maritime
SMMUM	Société Médicale Méditerranéenne d'Urgence Maritime
Trimix	Mélange gazeux ternaire Hélium-Oxygène-Azote
Yoyo	Succession de remontées lors d'une même plongée

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Metifiot-Windson N. Epidémiologie des accidents de plongée survenus en région marseillaise de 2000 à 2009. Thèse de Médecine, Aix Marseille Université, 2011
- [2] Chauveau M. Etude socio-économique relative à la plongée subaquatique de loisir en 2004-2005. Section permanente du comité consultatif de l'enseignement de la plongée subaquatique du ministère de la jeunesse, des sports et de la vie associative ; 2005
- [3] Bessereau J, Genotelle N, Borne M, Coulange M, Barthélémy A, Annane D, Auffray JP. Accident de désaturation en piscine : à propos d'un cas. *Urgence Pratique*, 2008;90:39-40
- [4] Kauert A. Etude informatisée de 260 accidents de plongée traités au centre hyperbare de Nice de 1982 à 1988. [Thèse de Médecine], Nice, 1989
- [5] Coulange M, Barthélémy. Certificat médical, contre-indications temporaires et définitives à la plongée. *Science et sports* 2012, 27 :131-137
- [6] Blatteau JE, Souraud JB, Boussuges A. Naissance des bulles : théories des noyaux gazeux. In : Broussolle B, Méliet JL, Coulange M, editors. *Physiologie et Médecine de la Plongée*. 2nd ed. Paris: Ellipses; 2006. p. 359-384
- [7] Blatteau JE, Boussuges A, Hugon JM. L'accident bullaire initial. In : Broussolle B, Méliet JL, Coulange M, editors. *Physiologie et Médecine de la Plongée*. 2nd ed. Paris: Ellipses; 2006. p. 385-393
- [8] Butler BD, Katz J. Vascular pressures and passage of gas emboli through the pulmonary circulation. *Undersea Biomed Res* 1988, 15: 203-209

- [9] Germonpre P, Dendale P, Uunger P, Balestra C. Patent foramen ovale and decompression in sports divers. *J Appl Physiol* 1998, 84: 1622-1626
- [10] Philp RB. A review of blood changes associated with compression-decompression: relationship to decompression sickness. *Undersea Biomed Res* 1974, 1: 117-143
- [11] Méliet JL. La maladie de la décompression. In : Broussolle B, Méliet JL, Coulange M, editors. *Physiologie et Médecine de la Plongée*. 2nd ed. Paris: Ellipses; 2006. p. 404-410
- [12] Recommendations of the jury. In: Wattel F, Mathieu D, editors. *Proceedings of the 2nd European Consensus Conference on the treatment of diving accidents in recreational diving*. Marseilles: 1996; p. 224
- [13] Mathieu D, Marroni A, Kot J. ECHM Consensus Conference and levels of evidence - Reply. *Diving Hyperb Med*. 2017 Jun;47(2):134
- [14] Siaffa R, Luciani M, Grandjean B, Coulange M. Massive portal venous gas embolism after scuba diving. *Diving Hyperb Med*. 2019 Mar 31;49(1):61-63.
- [15] Germonpre P, Balestra C, Obeid G, Caers D. Cutis Marmorata skin decompression sickness is a manifestation of brainstem bubble embolization, not of local skin bubbles. *Med Hypotheses*. 2015 Dec;85(6):863-9
- [16] Tamaki H, Kohshi K, Ishitake T, Wong RM. A survey of neurological decompression illness in commercial breath-hold divers (Ama) of Japan. *Undersea Hyperb Med*, 2010; 37(4): 209-17
- [17] Barthélémy A, Coulange M, Ranque S, Bergmann E, Sainty JM. Barotraumatic pneumocephalus in scuba diver. In : Grandjean B, Meliet JL, editors. *Proceedings of the 30th*

Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society ; 2004 Sep 15-19 ; Ajaccio, France ; 2004. p 63-7

[18] Coulange M, Boussuges A, Barthélémy A, Sainty JM. Accidents de la plongée sous-marine. In : CNERM, editors. Réanimation Médicale. 2nd ed. Paris: Masson; 2009. p. 1671-1674

[19] Moro PJ, Coulange M, Brissy O, Cuisset T, Quilici J, Mouret JP, Bonnet JL, Barthélémy A. Acute coronary syndrome and cerebral arterial gas embolism in a scuba diver. J C Case, 2011 ; 3, e22 – e25

[20] Coulange M, Gourbeix JM, Grenaud JJ, D'Andréa C, Henckes A, Harms JD, Cochard G, Barthélémy A. La RSE (remontée sur expiration) en 2008 : Bénéfices / Risques ? Analyse rétrospective des barotraumatismes thoraciques. *Bull. Medsubhyp*, 2008; 18(1):9-14

[21] Le Guen H, Halbert C, Gras Le Guen C, Coulange M. Serious pulmonary barotrauma in a child after first-time scuba dive. *Arch Pediatr*, 2012 [Epub ahead of print]

[22] Righini M, Gueddi S, Maurel B, Coulange M. SCUBA diving and portal vein thrombosis: a case report. *CJSM*, 2010 ; 20(6):497-9

[23] Barthélémy A. Accidents barotraumatiques pulmonaires. In : Broussolle B, Méliet JL, Coulange M, editors. *Physiologie et Médecine de la Plongée*. 2nd ed. Paris: Ellipses; 2006. p. 234-246

[24] Boussuges A, Gavarry O, Bessereau J, Coulange M, Bourc'his M, Rossi P. Glossopharyngeal insufflation and breath-hold diving: the more, the worse? *Wilderness Environ Med*. 2014 Dec;25(4):466-71

[25] Conséquences neuromusculaires et cardiorespiratoires de l'immersion : physiologie intégrée en environnement extrêmes. Coulange M, editors. Sarrebruck: Editions Universitaires Européennes; 2010, 160 p.

[26] Gole Y, Gargne O, Coulange M, Steinberg JG, Bouhaddi M, Jammes Y, Regnard J, Boussuges A. Hyperoxia-induced alterations in cardiovascular function and autonomic control during return to normoxic breathing. *Eur J Appl Physiol*, 2011; 111(6) :937-46

[27] Liu R, Wang J, Zhao G, Su Z. Negative pressure pulmonary edema after general anesthesia: A case report and literature review. *Medicine (Baltimore)*. 2019 Apr;98(17):e15389

[28] Castagna O, Regnard J, Gempp E, Louge P, Brocq FX, Schmid B, et al. The key roles of negative pressure breathing and exercise in the development of interstitial pulmonary edema in professional male SCUBA divers. *Sports Medicine – Open*. 2018;4:1

[29] Coulange M, Rossi P, Gargne O, Gole Y, Bessereau J, Regnard J, Jammes Y, Barthélémy A, Auffray JP, Boussuges A. Pulmonary oedema in healthy SCUBA divers : new physiopathological pathways. *Clin Physiol Funct Imag*, 2010; 30(3):181-6

[30] Schwartz DR, Maroo A, Malhotra A, Kesselman H. Negative pressure pulmonary hemorrhage. *Chest*. 1999 Apr;115(4):1194-7

[31] Cordier PY, Coulange M, Polycarpe A, Puidupin A, Peytel E. Immersion pulmonary oedema: a rare cause of life-threatening diving accident. *Ann Fr Anesth Reanim*, 2011; 30(9):699

[32] Gargne O, Joulia F, Gole Y, Coulange M, Bessereau J, Fontanari P, Desruelle V, Gavarry O, Boussuges A. Cardiac alterations induced by a diving fish-catching competition. *Scand J Med Sci Sports*, 2012 ; 22(3) :335-340

[33] Coulange M, Gole Y, Barthélémy A, Boussuges A. Valsalva maneuver-induced ptosis during water sports activities. *CJSM*, 2009; 19(4):329-30

[34] Desplantes A. La régulation des accidents de plongée : une problématique locale, régionale ou nationale. Thèse de médecine, Université Bordeaux 2, 2011

[35] Bessereau J, Coulange M, Genotelle N, Barthélémy A, Michelet P, Bruguerolle B, Annane D, Auffray JP. Aspirin in decompression sickness. *Thérapie*, 2008; 63(6):419-423

[36] Coulange M, Bessereau J, Legrand P, Bonnafous M, Vig V, Desjardin D, Arzalier JJ, Le Dreff P, Auffray JP, Barthélémy A. Evolution de la prise en charge pré-hospitalière des accidents de plongée de 1991 à 2008 en région marseillaise. *Bull. Medsubhyp*, 2009; 19(1):79-85

[37] Arrêté du 21 avril 2016 définissant les procédures d'accès, de séjour et de secours des activités hyperbares exécutées avec immersion dans le cadre de la mention B « archéologie sous-marine et subaquatique »

[38] Arrêté du 14 mai 2019 relatif aux travaux hyperbares effectués en milieu subaquatique (mention A)

[39] Laurent PE, Coulange M, Bartoli C, Boussuges A, Rostain JC, Luciano M, Cohen F, Rolland PH, Mancini J, Piercecchi MD, Vidal V, Gorincour G. Appearance of gas collections after scuba diving death: a computed tomography study in a porcine model. *Int J Legal Med*. 2013 jan;127(1):177-84.

[40] Laurent PE, Coulange M, Mancini J, Bartoli C, Desfeux J, Piercecchi-Marti MD, Gorincour G. Postmortem CT appearance of gas collections in fatal diving accidents. *AJR Am J Roentgenol*. 2014 Sep;203(3):468-75

[41] Arrêté du 31 juillet 2014 relatif aux interventions secours et sécurité en milieu aquatique et hyperbare, JORF n°0185, 12 août 2014

[42] 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. SJMSS, 2011

[43] Coulange M, Hugon M, Blateau JE. Prise en charge préhospitalière de l'accident de plongée : de l'alerte à l'admission. In : Broussolle B, Méliet JL, Coulange M, editors. Physiologie et Médecine de la Plongée. 2nd ed. Paris: Ellipses; 2006. p. 417-424

[44] Vig V, Coulange M, Barthélémy A, Comte G, Bagou G. Accidents de plongée. In : Samu de France, editors. Guide d'aide à la régulation au SAMU centre 15. 2nd ed. Paris: Masson; 2009. p. 360-361