



LE POINT SUR QUELQUES NOTIONS QUI FONT DEBAT EN PLONGEE

© Alain FORET – 2015
www.plongee-plaisir.com

Réponses extraites de :

Plongée Plaisir, Cahier d'exercices, 2^e édition, 2015

Plongée Plaisir, Mémento sur les ordinateurs de plongée, 1^{re} édition, 2015

Plongée Plaisir 4 (niveaux 4,5 et monitorats), 8^e édition, 2015

Plongée Plaisir Monitorats

Qu'est-ce que l'œdème pulmonaire d'immersion ?

Définition

L'œdème pulmonaire (accumulation de liquide dans les poumons) dit « œdème pulmonaire d'immersion (OPI) » ou « œdème aigu pulmonaire (OAP) » constitue une pathologie relativement mal connue car peu étudiée. La première publication date des années 1980 (Wilmshurst P.T., Nuri M. et coll., *Recurrent pulmonary edema in scuba divers ; prodrome of hypertension : a new syndrome*. Underwater Physiology, 1984).

Souvent bénin, parfois récidivant, il peut être mortel (Cochard G. et coll., *Pulmonary Edema in scuba divers : recurrence and fatal Pulmonary Edema in scuba divers : recurrence and fatal outcome*, Undersea Hyperb. Med., 2005).

Causes et conséquences

L'œdème pulmonaire d'immersion survient dans l'eau, généralement au fond avec aggravation à la remontée : toux, essoufflement, crachats sanguinolents à la sortie, voire malaise ou détresse respiratoire. Les signes cliniques sont similaires à ceux d'une surpression pulmonaire **mais sans signes neurologiques**.

De ce fait, sans doute que par le passé ce type d'accident a été confondu avec des cas de surpression pulmonaire.

Il serait dû à une « défaillance de la barrière alvéolo-capillaire » (voir les travaux du Dr Anne HENCKES au CHU de Brest) confrontée aux contraintes auxquelles le plongeur s'expose en immersion (ex. afflux sanguin au thorax lors de toute immersion). L'eau froide, l'effort, le stress, une saturation importante, l'âge, une insuffisance cardiaque même légère ou certains autres facteurs individuels favoriseraient l'apparition de cet accident.

Conduite à tenir

Si le traitement médical est différent de celui d'une surpression pulmonaire, les actes de secourisme restent identiques.

1. Protéger du suraccident (dégager le pont, attacher le matériel qui risque de rouler ou de tomber...).

2. Alerter

Signal de détresse à l'équipe de surveillance en surface, puis appel :

- à la VHF (canal 16) ou à la VHF-ASN (canal 70) ;
- par téléphone (15 SAMU).

3. Oxygène 100 %, 15 l/min en inhalation ou en insufflation si la ventilation est insuffisante.

4. Corriger la déshydratation liée à toute plongée si la victime peut boire. L'eau reste la meilleure des boissons.

Il est également possible de proposer (et non d'administrer quand on n'est pas médecin) de l'aspirine si la personne est en capacité d'en absorber. C'est une recommandation médicale de type 3, c'est-à-dire optionnelle. Ne pas dépasser la dose de 500 mg pour un adulte.

Prévention

A ce stade des connaissances des facteurs de risque, il est difficile de proposer des recommandations aux plongeurs.

La meilleure des préventions semble être d'ordre médical, lors de la visite préventive, avec la détection des profils à risque.

Remarque : Ce sujet est nouveau, il est en cours d'étude par des médecins spécialisés.

Veillez à vous tenir au courant de l'évolution des connaissances sur ce risque.

Que pensez-vous de ce texte : « La surpression pulmonaire (SP) est un accident qui peut survenir à la remontée lors du blocage de l'expiration (ex. spasme de la glotte) avec dilatation des volumes pulmonaires jusqu'au déchirement des alvéoles et pénétration d'air dans le sang (cœur, cerveau). Symptômes : gêne respiratoire, crachats sanglants, etc. »

Cette vision de la SP ne traduit que très imparfaitement le phénomène.

Blocage ? Parler de « blocage » comme cause possible est juste mais incomplet. Le « blocage » peut concerner des plongeurs non avertis et/ou paniqués. Mais ces cas sont désormais très rares.

Une **expiration insuffisante** au regard de la dilatation des volumes pulmonaires (ex. RSE, remontée rapide, utilisation du poumon-ballast à la remontée, essoufflement, ...) peut suffire à créer une surpression pulmonaire par distension des alvéoles et passage d'air dans la circulation sanguine.

Sang ? Le sang dans la salive ne reflète que le cas de SP extrêmes avec effraction alvéolaire massive. Dans de nombreuses SP, il y a absence de signes pulmonaires. Seuls les signes neurologiques (vision, parole, paralysies, ...) sont visibles dans la plupart des SP.

Accident du débutant ? C'est là encore une idée fautive ne traduisant que le cas de plongeur non informés ou paniqués qui ne se rencontrent quasiment plus. Les plongeurs chevronnés ne sont pas à l'abri d'une SP en cas **d'expiration insuffisante** dans des situations à risque : remontée rapide, essoufflement, RSE, ...

Dans moins de 3 m rien ne peut arriver ? Les études de Fructus et Sciarli ont montré qu'un mètre d'eau pouvait suffire à créer une surpression pulmonaire (0,1 bar de différentiel de pression).

Le risque de SP apparaît dans les derniers 10 m. Il faut être téméraire pour avancer une telle affirmation. Ce qui est vrai c'est que plus on approche de la surface, plus la baisse de pression est rapide et donc le danger important. De là à dire que le risque apparaît à partir de la zone des 10 m, il y a un pas à ne pas franchir. Le risque existe à toutes les profondeurs. Par exemple, bloquer la ventilation poumons pleins à 20 m (3 bar) et remonter comme cela jusqu'à 10 m (2 bars) provoque une variation de pression de 1 bar largement suffisante pour provoquer une SP.

En cas d'accident grave, les symptômes les plus courants sont des signes neurologiques par embolie gazeuse (oblitération de vaisseaux sanguins par des bulles d'air), **et non des symptômes pulmonaires comme on le croit trop souvent**. La victime est en état de choc :

- pouls rapide;
- pâleur ou teint violacé selon les cas;
- extrémités refroidies.

Cela s'accompagne généralement de :

- convulsions ;
- troubles de la parole et/ou de la vision;
- paralysies (hémiplégie, quadriplégie) ou paresthésies (troubles de la sensibilité, fourmillements, picotements...).

Ces symptômes sont évolutifs.

Dans des cas extrêmes, des signes d'effraction alvéolaire peuvent apparaître :

- pneumothorax (air entre la plèvre viscérale et la plèvre pariétale) ;
- emphysème (« air » ou de manière plus générale, « gaz » dans les tissus) sous-cutané ou du médiastin.

Toux et crachats sanglants peuvent alors compléter le tableau.

Selon J.-P. Bonnin et Coll. *Plongée sous-marine et milieu subaquatique, Accidents Aspects Médicaux*, Masson, 2003 : **Dans les accidents graves** [NDLR : ceux qui concernent les DP et les encadrants], « **Les signes neurologiques prédominent et sont présents dans 100% des cas. [...]** ». Dans les accidents moins graves, les signes respiratoires prédominent et sont souvent traités sans réanimation et sans traitement en caisson.

1. Signes neurologiques par embolie cérébrale

Victime en état de choc :

- pouls rapide ;
- pâleur ou teint violacé ;
- extrémités refroidies.

Accompagné généralement de :

- convulsions ;
- troubles de la parole et/ou de la vision ;
- paralysies (hémiplégie, quadriplégie) ou paresthésies (troubles de la sensibilité, fourmillements, picotements, ...).

2. Signes pulmonaires

Emphysème du médiastin

Emphysème sous-cutané

Pneumothorax

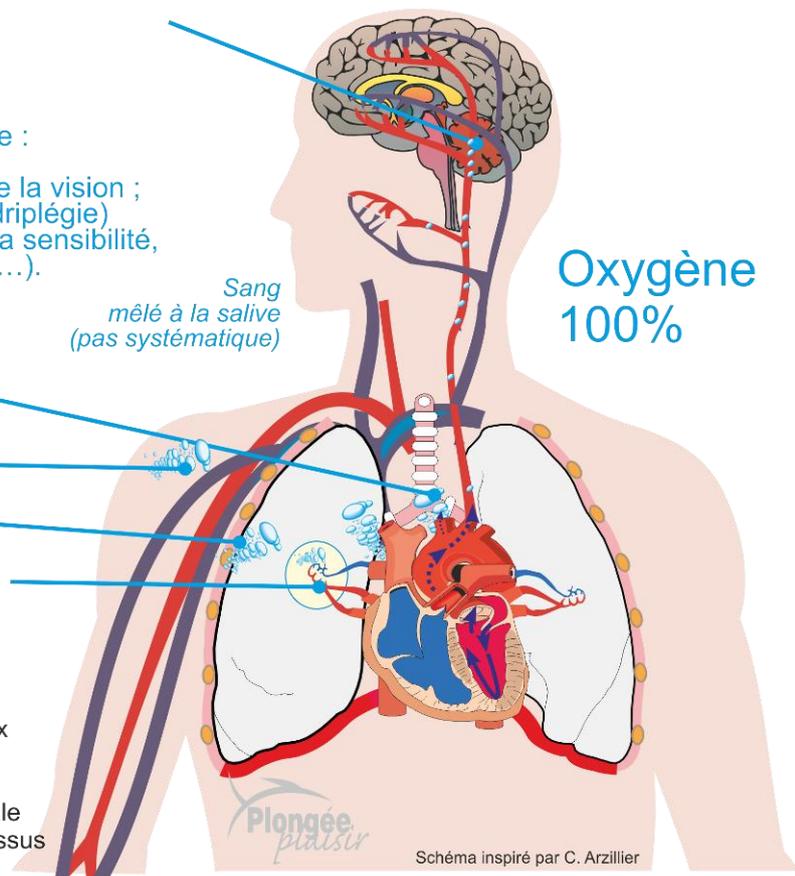
Effraction alvéolaire
(air dans la petite circulation)

Embolie : oblitération de vaisseaux sanguins par des bulles d'air (gaz)

Pneumothorax : air (gaz) entre la plèvre viscérale et la plèvre pariétale

Emphysème : air (gaz) dans les tissus

LA SURPRESSION PULMONAIRE



La prévention des ADD. En quoi le simple « respect d'un protocole » n'est pas suffisant. Expliquez et justifiez votre réponse.

- Extrait de la question n°67, pages 99 et s. de *Plongée Plaisir Cahier d'exercices 2^e édition*, Editions GAP, 2015.
- Extrait également de *Plongée Plaisir 2, Plongée Plaisir 3, Plongée Plaisir 4 et Plongée Plaisir Monitorats*.
- Extrait également de la revue *Bathyfolages*.

Contrairement à une idée largement répandue, croire qu'il suffit de respecter les indications de son ordinateur pour se prémunir de tout risque d'accident de désaturation (ADD) est une erreur.

Statistiquement, parmi les ADD constatés, **70 à 80 % d'entre eux surviennent en plongées d'exploration, malgré le respect d'un protocole de désaturation** (source : medical.ffessm.fr, *Enquête annuelle sur les accidents de plongée*) Même si tout accident est un accident de trop, ce chiffre doit cependant être nuancé par le fait qu'aujourd'hui les protocoles de désaturation sont sûrs et les accidents relativement peu nombreux : 1 pour 8 000 à 10 000 plongées, tous accidents confondus.

Plonger en réduisant les risques d'ADD suppose le **respect de 4 conditions** :

1. Protocole : respecter un protocole de désaturation fiable (ordinateurs) ;
 2. Facteurs favorisants : prendre en compte les facteurs favorisants les ADD ;
 3. Profils : éviter les profils de plongée à risque ;
 4. Comportements : éviter les comportements à risque.
- C'est la combinaison de ces quatre facteurs, réunis ensemble, qui permet de réduire considérablement les risques.

1. RESPECT DU PROTOCOLE DE DESATURATION

- La vitesse de remontée depuis le fond doit être lente et régulière, de l'ordre de 9 à 12 m/min.
- Cette vitesse de remontée doit être très lente à l'approche de la surface ou entre les paliers, de l'ordre de 6 m/min. Une des erreurs le plus souvent constatées consiste à remonter rapidement, comme un bouchon, entre 3 m et la surface, dès le palier achevé.
- Les paliers doivent être correctement effectués : temps respecté, profondeur stable.

2. PRISE EN COMPTE DES FACTEURS FAVORISANTS

2.1 Facteurs individuels

Les facteurs favorisants sont des facteurs de risque individuels non pris en compte par les protocoles de désaturation. A titre d'illustration, en voici une liste inspirée librement de celle de la Comex et qui ne l'engage pas :

1. Mauvaise forme physique, **fatigue excessive y compris sur le plan psychique** : stress au travail, problèmes familiaux ou professionnels durables, perte d'emploi, situation de divorce, etc. ;
2. Age > 40 ans ;
3. Poids ;
4. Antécédent de maladie grave, prise régulière de médicaments ;

5. Longue pratique de la plongée (> 10 ans) ;
6. Mauvaise hygiène de vie : tabac (cela augmenterait la viscosité sanguine par 3 ou 4 selon BONNIN J.-P. et coll., *La plongée sous-marine sportive*, Masson, 1999, p. 28), alcool, nourriture trop riche... ;
7. Perte de conditionnement due à la non-répétition de la plongée : plongée précédente remontant à plusieurs semaines. Pour les plongeurs de loisir français, le cas typique est celui des plongées du mois de mai, à l'ouverture de la saison. Ce sont les plus risquées car de nombreux plongeurs sédentaires durant l'hiver, plutôt que de prévoir une phase de réadaptation progressive à la profondeur, en profitent pour plonger à la limite de leurs prérogatives. Le plus souvent, ce sont d'ailleurs des plongeurs expérimentés. Le bon sens voudrait pourtant que l'on soit prudent et qu'après une interruption de quelques semaines, on reprenne l'activité progressivement, à l'image de ce qui se pratique en alpinisme ou en aéronautisme par exemple. En plongée, la prédominance du « brevet » est telle que beaucoup de moniteurs et plongeurs se sentent dévalorisés s'ils ne plongent pas profond, à la limite de leurs prérogatives, même sans entraînement et mise en condition préalables. C'est bien dommage.

Autres facteurs de risque :

- Le **froid** est un facteur favorisant par **l'augmentation de la ventilation** qu'il occasionne (cela augmente la saturation en azote) et par la **vasoconstriction** provoquée qui augmente la perte de liquides (ce qui gêne l'élimination de l'azote) et modifie les **conditions de désaturation** par rapport à la phase de saturation (or les modèles de désaturation considèrent le plus souvent que la désaturation doit être le miroir de la saturation).
- **L'effort, l'essoufflement** et de manière générale **tout élément augmentant la ventilation** par rapport à sa valeur moyenne (augmentation de la quantité d'azote stocké).

Prise en compte de ces facteurs

Selon que l'on cumule 2, 3, 4, ou plus de ces facteurs favorisants, il faut :

- limiter la profondeur et/ou le temps de plongée ;
- ne faire qu'une plongée par jour ;
- utiliser du nitrox ;
- accroître les paliers (par exemple en utilisant le mode « personnalisation » de son ordinateur) ;
- voire même renoncer à plonger lorsque trop de facteurs sont réunis.

3. COMPORTEMENT

Au-delà du respect des procédures et profils de plongée corrects, le comportement individuel est aussi un élément clef de la prévention des accidents.

Voici quelques conseils :

- Eviter les hyperpressions thoraciques. La mise en hyperpression du thorax provoque l'ouverture de shunts cardiaques (foramen ovale perméable) ou pulmonaires, ce qui autorise le passage de bulles veineuses dans le circuit artériel. Il faut donc proscrire les manoeuvres de Valsalva à la remontée et aux paliers, ainsi que les efforts violents (exemple, relever une ancre à la main, remonter une bouteille en force à bord d'un pneumatique...).

- Eviter de faire du sport, et de manière générale, tout effort violent (exemple, remonter un mouillage conséquent), dans les 2 heures qui suivent une plongée. Dans un organisme sursaturé en azote, cela ne peut que favoriser la création de bulles.
- Eviter aussi de pratiquer de l'apnée moins de 6 heures après une plongée en scaphandre.

Cela entrave l'élimination naturelle de l'azote, avec des conséquences non mesurées sur les plongées successives. De plus, les multiples phases de descentes et remontées, souvent rapides, augmentent les risques d'apparition de bulles.

- Monter en ou prendre l'avion après une plongée peut favoriser l'apparition d'un accident de désaturation.

4. PROFIL

Il est aujourd'hui avéré que certains profils de plongée comportent des risques, par l'augmentation du nombre de bulles qu'ils occasionnent.

Ce sont :

- les plongées yo-yo (même si la vitesse de remontée est lente) ;
- les plongées consécutives ;
- les plongées successives rapprochées ;
- nombre de plongées par jour et cumul sur plusieurs jours.

L'étude de DAN Europe sur le sujet a montré que la quantité de bulles détectables par effet Doppler était près de deux fois plus importante dans le cadre de plongées successives que pour des plongées unitaires. Afin de limiter ce phénomène, il est recommandé de respecter un délai d'au moins 3 ou 4 heures entre deux plongées.

ERREURS A EVITER

- Laisser croire aux plongeurs, à la fin du cours sur les risques d'ADD, qu'il suffit de respecter les paliers pour éviter tout risque d'ADD.
- Laisser croire aux plongeurs que rien n'est réellement maîtrisé et qu'on joue à la roulette en plongée (fort heureusement les accidents sont rares).

EN CONCLUSION

1. Respect du protocole
2. Prise en compte des facteurs favorisants (individuels et environnementaux)
3. Eviter les comportements à risque (thorax en surpression en phase de sursaturation d'azote, effort important, ...) ;
4. Eviter les profils de plongée à risques (yo-yo ou plongées en dents de scie, successives rapprochées, ...).

Peut-on expliquer une partie des risques d'ADD en plongée par la quantité d'azote stockée en plongée ?

Selon **Bernard Gardette (Comex 50 ans de recherches et d'innovations, 2012, p 140-142)**, « On sait depuis quelques années, grâce aux statistiques COMEX que toutes les plongées ne comportent pas le même risque de produire un ADD. Cette probabilité de faire un accident **augmente avec la charge en gaz contenue dans l'organisme**, en fonction de la profondeur de la plongée et du temps passé au fond. A une charge en gaz Q (profondeur, en mètres, multipliée par la racine carrée du temps au fond, en minutes), va correspondre un risque d'ADD. »

Facteur Q	Risque d'ADD
130	1/1 000 000
180	1/100 000
240	1/10 000
320	1/1 000
420	1/100 (1 %)
560	1/10 (10 %)
750	1/1 (100 %).

Risques d'ADD en respectant les tables de désaturation et hors prise en compte des facteurs de risques individuels (facteurs favorisant), du comportement et du profil adopté par le plongeur.

Facteurs ayant une influence sur la quantité d'azote stockée au cours d'une plongée :

- Profondeur de plongée ;
- Temps de plongée ;
- Consommation d'air, sachant que tout modèle de désaturation intègre une consommation moyenne dans ses calculs. **Effort, froid, essoufflement** augmentent cette consommation d'air et donc le niveau de saturation en azote, de même que des facteurs individuels propres à chacun, certains individus consommant plus d'air que d'autres. A noter qu'à l'inverse, l'évacuation de l'azote à la remontée peut être plus ou moins importante selon la qualité du filtre pulmonaire, variable selon les individus.

Exemples de calcul du facteur Q en fonction de couples temps/profondeur

Prof.	Temps	Q	Risque statistique (global)	Facteurs individuels, comportement, profil	Risque individuel
20	20	89	< 1/1 000 000	Chacun des facteurs augmente le risque d'ADD.	Différent pour chacun et selon les conditions du moment. Actions possibles : limiter la profondeur et/ou le temps de plongée, utiliser du nitrox, paramétrer son ordinateur en conséquence, etc.
20	30	110	< 1/1 000 000		
20	40	126	< 1/1 000 000		
20	50	141	< 1/100 000		
20	60	155	< 1/100 000		
20	70	167	< 1/100 000		
20	80	179	< 1/ 100 000		
30	10	95	< 1/1 000 000		
30	20	134	< 1/100 000		
30	30	164	< 1/100 000		
30	40	190	< 1/10 000		
40	10	126	< 1/1 000 000		
40	20	179	< 1/100 000		
40	30	219	< 1/10 000		
50	10	158	< 1/100 000		
50	20	224	< 1/10 000		
50	30	274	<1/1 000		
60	10	190	< 1/10 000		
60	20	268	<1/1 000		
60	30	329	<1/100		

Exemple : 80 minutes à 20 m donnent le même facteur Q que 20 minutes à 40 m.

Croire que seule la profondeur augmente les risques est donc impropre. C'est un couple temps/profondeur qu'il faut prendre en compte. A noter qu'il s'agit d'un risque moyen. Ce risque va être augmenté en fonction de la **ventilation** (effort, froid, essoufflement), de **facteurs individuels de risque**, du **comportement** (effort) et du **profil de plongée** (yo-yo, successives rapprochées, ...).



Pourquoi les plongées successives rapprochées ou les consécutives (*repetitive dives*) sont-elles considérées comme dangereuses ? Y a-t-il des publications sérieuses sur le sujet ? Quelles sont-elles ? Quelles sont leurs conclusions ?

L'étude de **DAN Europe** sur le sujet (**projet Safe Dive**) a montré que la quantité de bulles détectables par effet Doppler était près de deux fois plus importante dans le cadre de plongées successives que pour des plongées unitaires. Afin de limiter ce phénomène, il est recommandé de respecter un délai d'au moins 3 ou 4 heures entre deux plongées (**BONNIN J.-P. et coll., *La plongée sous-marine sportive*, Masson, 1999**).

En quoi les efforts en plongée ou après la plongée peuvent-ils favoriser l'apparition d'un ADD ?

➤ Extrait de *Plongée Plaisir*

Effort en plongée

Julien Hugon dans sa thèse soutenue en 2010 à Marseille sur la « Modélisation biophysique de la décompression » (<http://www.theses.fr/2010AIX20691>) nous semble résumer parfaitement la situation : « Le fait de pratiquer des efforts lors d'une exposition augmente le risque de générer un accident de décompression (Vann et Thalmann 1993). Ceci tient au fait qu'une activation de la circulation augmente la vitesse de saturation de certains tissus (muscles squelettiques, peau, tendons...). Aussi, pour un même type d'exposition, la quantité de gaz que l'on peut dissoudre dans l'organisme peut être nettement supérieure si des exercices sont pratiqués, ce en comparaison d'une situation au repos. Pour se prémunir contre l'accident de décompression de manière efficace, les durées des décompressions doivent alors être majorées (Vann et Thalmann 1993) ».

Attitude au palier

Rester totalement inactif n'est pas conseillé. Mieux vaut être **légèrement** en mouvement afin de favoriser la circulation et donc la désaturation.

Effort après la plongée

Tous les auteurs semblent unanimes sur la question.

Selon Julien Hugon, déjà cité ci-dessus : « Après une décompression, les efforts sont à éviter. Il est en effet reconnu comme dangereux d'activer le métabolisme alors que des microbulles et des bulles sont déjà formées. Le repos est plutôt vivement conseillé. En outre, un symptôme survenant à la suite d'une décompression et disparaissant par la suite peut réapparaître très rapidement si le sujet ne se ménage pas.

Il est intéressant de noter que les délais d'apparition des premiers symptômes sont réduits pour les sujets ne se ménageant pas après la décompression. L'anecdote relatée par Hills (1977) est à ce titre un bon exemple : certains pêcheurs de perle choisissaient de travailler vigoureusement après la plongée de manière à activer l'apparition d'un éventuel symptôme, ce afin de pouvoir se réimmerger pour se recomprimer assez tôt avant le départ du bateau... »

Selon Fructus et Sciarli (*Plongée Santé Sécurité* aux Editions Maritimes et d'Outre-Mer), « Ceux qui, comme nous, à l'issue de plongées à l'air contrôlées par le détecteur à effet Doppler, ont entendu les bulles, absentes au repos, signaler leur passage après seulement deux flexions des membres inférieurs, sont convaincus... ! ».

En conclusion, s'il n'y avait qu'une chose à retenir :

Ne pas faire d'effort physique important avant **1 à 2 heures après la plongée** (Bonnin et coll. *Plongée sous-marine et milieu subaquatique*, Masson).

Peut-on plonger plus de 2 fois par jour sans augmenter les risques d'ADD ? Y a-t-il une controverse sur ce sujet ? Quelles réponses argumentées peuvent être apportées ?

➤ Extrait de *Plongée Plaisir Mémento Ordinateur de plongée* page 9

Généralement, il est conseillé de ne pas effectuer plus de 2 plongées par 24 heures, avec une pause tous les 6 ou 7 jours. Cependant, l'utilisation désormais généralisée des ordinateurs et le développement du tourisme sur de courtes périodes (1 à 2 semaines) font que les pratiquants souhaitent plonger 3 ou 4 fois par jour, afin de profiter pleinement de leurs vacances.

Face à cette réalité, rappelons qu'un ordinateur calcule un profil de désaturation à partir d'un modèle mathématique valable pour 2 plongées par 24 h, successives ou non. Au-delà, un ordinateur effectue tout de même les calculs mais rien n'indique actuellement que les données affichées sont fiables.

Dans ces conditions, l'emploi d'un ordinateur ne dispense pas de respecter la « règle des 2 plongées par jour ».

Au-delà, il s'agit d'une pratique non recommandée. La plus grande prudence doit alors dicter le comportement, le plongeur étant informé des risques encourus, malgré le respect des procédures affichées par l'ordinateur.

Commentaires

Ces éléments doivent également être nuancés en fonction du type de plongées effectuées :

- Plongées dans la courbe des plongées sans paliers ou plongées avec paliers ?
- Les plongées s'effectuent-elles à de faibles profondeurs (du type 18 m puis 15 m puis 12 m) ou bien sont-elles plus profondes (ex. 40 m, ...) ?
- Les plongées s'effectuent-elles à l'air ou au nitrox ?
- Quelle est la durée des plongées ?

Il est bien évident que selon les plongées réalisées, le risque (voir le facteur Q, Comex) n'est pas le même.

Les profils inversés. Définition, dangerosité ? Y a-t-il des publications sérieuses sur le sujet ? Quelles sont-elles ? Quelles sont leurs conclusions ?

➤ Extrait de *Plongée Plaisir*

Définition d'un « profil inversé »

Lors d'une plongée simple, cela consiste à atteindre la plus grande profondeur en fin de plongée, puis à remonter en surface.

En plongée successive, cela revient à descendre plus profond que lors de la première plongée.

Questions soulevées

Tous les modèles de désaturation (ordinateurs, tables) considèrent, par convention, que la profondeur la plus importante est atteinte en début de plongée ou lors de la première plongée et assient leurs calculs sur ce postulat. Les profils inversés se situent en dehors de ce cadre.

Dangerosité

Hamilton et Thalmann indiquent à ce sujet, pour les plongées sans paliers : aucune preuve convaincante n'a montré que les profils inversés en plongée sans décompression entraînent une augmentation des risques d'accidents de décompression [...] pour les plongées sans décompression à moins de 40 mètres et dont le différentiel de profondeur est inférieur à 12 mètres (Hamilton R.W et Thalmann E.D., *Decompression Practice* dans Bennet et Elliot's *Physiology and Medicine of Diving*, 2003, p. 474).

La dangerosité de ce type de profil dépend donc de la profondeur, du temps de plongée et de la différence de profondeur entre les deux plongées. Dans tous les cas, ce type de profil ne fait pas partie des paramètres pris en compte par les modèles de désaturation (ordinateurs, tables).

En l'absence de certitudes sur ce point, nous ne saurions trop recommander de rester prudents et de ne pas pratiquer ce type de plongée.

Quelle est la justification du délai de 3 minutes en surface pour se réimmerger en cas de procédure anormale et dangereuse (remontée rapide, interruption de palier) ?

➤ Extrait de *Plongée Plaisir*

Justification

Le délai de 3 minutes présenté dans les procédures exceptionnelles ou anormales est une indication qui n'offre aucune garantie. Il serait illusoire de penser qu'en deçà de 3 minutes le risque est nul et qu'il apparaît au-delà. On sait cependant (travaux de A. Michaud) qu'à partir de la constitution de bulles potentiellement pathogènes, la première phase dite « de constitution » est celle où tous les éléments menant à l'accident se constituent, mais sans qu'aucun accident ne soit encore déclaré. Lors de cette phase, le processus est généralement réversible. C'est ce délai de latence, estimé à environ 3 minutes, qui est mis à profit par les tables et ordinateurs pour proposer des procédures de secours.

Décompte pour les 3 minutes

Le décompte des 3 minutes n'est pas une vérité mathématique mais une simple estimation.

Il ne peut donc pas y avoir de formule précise pour décompter ce temps.

Dans la réalité, il faut agir le plus tôt possible.

Lors des examens, par commodité afin que tous les candidats aient le même résultat, il suffit de définir une règle, par convention. Règle utilisée dans les livres *Plongée Plaisir* : le délai de 3 minutes court depuis l'erreur de procédure (remontée rapide, interruption de palier) jusqu'à la mise en oeuvre du protocole de secours (arrivée à la demi-profondeur ou au palier).

Au-delà de 3 minutes

Lorsque le délai de 3 minutes est dépassé sans avoir pu apporter de solution, et même en l'absence d'accident de désaturation, les plongeurs doivent sortir de l'eau, avec déclenchement de la procédure d'urgence :

- appel des secours ;
- mise sous oxygène ;
- réhydratation ;
- etc.

Les plongées « yo-yo » ou « en dents de scie » sont-elles dangereuses ? Y a-t-il des publications sérieuses sur le sujet ? Quelles sont-elles ? Quelles sont leurs conclusions ?

➤ Extrait de *Plongée Plaisir*

Définition

Les plongées yo-yo sont des plongées avec de multiples montées et descentes.

Questions soulevées

Les modèles de désaturation (ordinateurs, tables) considèrent, par convention, que la profondeur la plus importante est atteinte en début de plongée et que la plongée se déroule à cette profondeur ou à différentes profondeurs de moins en moins importantes (plongées multi-profondeurs), mais jamais ils n'envisagent de multiples montées et descentes au cours d'une même plongée.

Ce cas se situe donc en dehors du domaine de validité des modèles de désaturation.

Dangerosité

Ces plongées sont jugées dangereuses, même si la remontée est lente, car elles favorisent l'apparition et la croissance de bulles au risque de provoquer un accident de désaturation.

L'étude annuelle de la FFESSM sur les accidents montre que les profils yo-yo représentent la première cause d'accident en plongées avec enseignement. Fort heureusement, les mesures de prévention prises par la FFESSM à partir de 2006/2007 (limitation du nombre de remontées lors des exercices) ont porté leurs fruits.

Bennett et Elliott (*Physiology and Medicine of Diving, Saunders*) arrivent aux mêmes conclusions.

Valerie Flook, qui s'est livrée à une recherche détaillée sur le sujet (*Yo-yo diving and the risk of decompression illness, Health and Safety Executive, 2004*) reconnaît que les plongées de type yo-yo telles que pratiquées dans les fermes d'élevage de poisson, à de faibles profondeurs (autour de 15 m majoritairement), peuvent ne pas être dangereuses si certaines précautions sont prises. Mais elle conclut sans ambiguïté que dans le cadre de la plongée de loisir, les ordinateurs actuels ne permettent pas de garantir une désaturation sûre en cas de plongées yo-yo.

Pourquoi les montées et descentes multiples (même sans rejoindre la surface) peuvent-elles favoriser l'apparition d'un ADD ?

Toute phase de remontée génère des bulles dites « bulles silencieuses » car non pathogènes. Certains pourraient supposer qu'une redescente immédiate aurait pour effet de recomprimer les bulles et de revenir à l'état initial, comme si aucune remontée n'avait eu lieu. Or, ce n'est pas le cas. D'une part parce que les bulles créées lors de toute remontée ne sont pas neutres sur l'organisme. D'autre part parce qu'on aboutit, à force de montées et descentes, à la création de noyaux gazeux qui favorisent la création de bulles lors de l'immersion et de la remontée suivante.

Pourquoi à propos des ADD, l'expression « accidents immérités » est-elle jugée impropre ?

Le terme « d'accidents immérités » est impropre.

Il tendrait à faire croire que des accidents de désaturation peuvent survenir « contre toute attente », par une sorte de « fatalité ».

Il serait plus pertinent de parler « d'accidents de désaturation malgré le respect des procédures ».

Cette dernière terminologie a l'avantage de mettre en évidence que le respect d'un protocole de désaturation n'est pas une garantie absolue et qu'il faut tenir compte d'autres facteurs pour prévenir les accidents de désaturation :

- 1) facteurs favorisants (fatigue, stress, froid, effort, âge, embonpoint...);
- 2) comportement avant, pendant et après la plongée ;
- 3) profil de la plongée (les plongées yo-yo, les plongées consécutives et les successives rapprochées constituent des profils à risque).

Cela est d'autant plus important que 60 à 75 % des ADD (medical.ffessm.fr, enquête annuelle et enquête annuelle du Dr Coulanges, Hôpital Sainte-Marguerite à Marseille) surviennent malgré le respect des procédures de désaturation. Ils restent fort heureusement peu nombreux.

Pourquoi le terme « courbe de sécurité » est-il parfois jugé impropre ?

Parler de « courbe de sécurité » laisse supposer l'absence de risque en restant dans les limites de cette courbe. Nous savons que ce n'est pas le cas. Mieux vaut donc parler de la « courbe des plongées sans paliers » (« NDL » en anglais pour « *No Decompression Limits* »).

Pourquoi vaut-il mieux parler d'accident de « désaturation » plutôt que d'accident de « décompression » ?

A l'origine (travaux de Haldane, 1908), les accidents à la remontée étaient peu connus et on parlait d'accidents survenant lors de la décompression, ce qui incluait à la fois la surpression pulmonaire (effraction alvéolaire avec pénétration d'air) et les accidents de désaturation (dégazage anarchique de l'azote).

En toute rigueur, mieux vaut donc parler « d'accidents de désaturation » plutôt que « d'accidents de décompression ».

Femmes enceintes et risques d'ADD : le point sur le question. Y a-t-il des publications sérieuses sur le sujet ? Quelles sont-elles ? Quelles sont leurs conclusions ?

La grossesse est une contre-indication temporaire à la plongée.

A ce propos, J.-P. Bonnin et coll. écrivent dans *Plongée sous-marine et milieu subaquatique, accidents, aspects médicaux* aux éditions Masson :

« Le seul vrai problème de la femme en plongée est la grossesse :

- le risque d'accident bulleux chez le fœtus est théoriquement possible ;
- un accident de décompression chez la mère accroît sûrement les risques de décès du fœtus et les risques de souffrance fœtale ;
- lors de la décompression, il y a un risque toxique pour le foetus du fait de l'oxygénothérapie hyperbare ;
- un décollement placentaire ne semble pas impossible ;
- des malformations ont été soupçonnées.

Devant ces risques théoriques, les imprécisions expérimentales qui ne permettent pas de conclure [réalisées sur des animaux ayant une physiologie peu comparable à celle de l'espèce humaine], le petit nombre d'études statistiques disponibles chez les femmes enceintes plongeuses, nous devons considérer la grossesse comme une contre-indication à la plongée (principe de précaution). Mais si elles plongent sans connaître leur état, elles ne courent sans doute que peu de risques. »

Une étude sur ce sujet a été lancée en 2014 par le Divers Alert Network (<http://www.daneurope.org>).

Les paliers profonds à l'air. Définition, dangerosité ? Y a-t-il des publications sérieuses sur le sujet ? Quelles sont-elles ? Quelles sont leurs conclusions ?

Origine des paliers profonds

L'origine des paliers dits « profonds » est attribuée à Richard Pyle, un biologiste marin qui collectait, au milieu des années 1990, des poissons par grande profondeur à Hawaï. S'interrogeant sur son état de fatigue variable selon les plongées, il se rendit compte qu'il était extrêmement fatigué à l'issue des plongées sans avoir trouvé de poissons et qu'il se sentait en bien meilleure forme à chaque fois qu'il avait pu prendre des poissons. En comparant ses profils de plongée, il constata que lorsqu'il remontait avec des poissons, il s'arrêtait régulièrement une à deux minutes au cours de la remontée afin que les poissons puissent libérer une partie du gaz contenu dans leur vessie natatoire, chose essentielle à leur survie. De manière empirique, Richard Pyle adoptait la procédure suivante :

- Calcul normal de sa désaturation et détermination de la profondeur du premier palier ;
- Arrêt d'une ou deux minutes à mi-distance entre le dernier palier profond et le premier palier proposé par le protocole de désaturation ;
- Recalcul de la désaturation en intégrant le temps du palier profond dans le temps de plongée et ainsi de suite jusqu'à atteindre la zone des 10 m.

Ce procédé empirique a ensuite été analysé et intégré en option dans certains algorithmes d'ordinateurs, essentiellement pour les plongées au trimix.

Qu'est-ce qu'un « palier profond » ?

Un palier dit « profond » est un palier de courte durée (1 à 2 min) à une plus grande profondeur que les classiques paliers « haldaniens », par exemple à demi-profondeur et, en tout cas, supérieur à 12m.

La pratique des « paliers profonds » est issue des plongées au trimix. Leur but est d'éliminer le plus possible de bulles en profondeur, avant de poursuivre sa remontée.

Les paliers « profonds » à l'air sont-ils dangereux ?

La pratique des paliers profonds lors de plongées à l'air est controversée. D'autant plus que les ordinateurs de plongée proposent ce mode (par défaut sur certains modèles et en option sur d'autres), alors même que la pratique des paliers profonds n'est pas, à ce jour, validée scientifiquement pour les plongées à l'air.

L'étude du DAN (Divers Alert Network)

Une étude menée par le DAN portant sur 15 plongeurs volontaires a conclu que pour des plongées à faible profondeur (de l'ordre de 25 m), sans paliers et avec une vitesse de remontée de 10 m/min, faire un court arrêt à 13 m puis à 3 m réduisait d'un facteur 1,7 le nombre de bulles produites. Pour autant, les différents scientifiques interrogés par Alert Diver (Petar Denoble, *Deep Stops*, 2010) sont partagés.

A la question « Conseillez-vous aux plongeurs de loisir d'activer le mode paliers profonds ? », les réponses sont les suivantes :

Peter B. Bennett (*Undersea and Hyperbaric Medical Society*) : Si leur ordinateur dispose du mode « paliers profonds », ils peuvent l'utiliser.

Christian Gutvik (*Baromedical and Environmental Physiology Group*) : Non. Actuellement, nos recherches montrent que les paliers profonds ne sont bénéfiques que pour de longues durées de plongée. Nous pensons que les modèles actuels calculent des paliers

optimum et que si les paliers profonds étaient bénéfiques, ils seraient intégrés de manière native dans les modèles.

David Southerland (*US Navy Medical Corps*) : Pas à ce jour. Tout d'abord, il n'y a pas de définition formelle de ce qu'est un « palier profond ». [...] Ensuite, la profondeur et le temps optimum pour les paliers profonds ont été testés sur un faible nombre de cas, chez l'homme comme chez l'animal. Dans certaines études, les paliers profonds réduisent le nombre de bulles, dans d'autres les effets dépendent du profil de plongée et peuvent même augmenter les risques d'ADD. Il faut approfondir la recherche dans ce domaine avant de pouvoir conseiller ou déconseiller les paliers profonds.

Les études de la Marine Nationale Française et de l'US-Navy

Deux études :

- l'une française (Blatteau J.-E., Hugon M., Gardette B., Galland F.-M., *Protocoles de décompression pour la plongée à l'air intégrant des paliers profonds*, Bulletin de médecine subaquatique et hyperbare) en 2005 ;
- l'autre américaine (Doolette D.J. ; Gerth W.A. ; Gault K.A., *Redistribution of decompression stop time from shallow to deep stops increases incidence of decompression sickness in air decompression dives*, Navy Experimental Diving Unit - NEDU) en 2011 ;

ont été menées sur la question des paliers profonds à l'air.

L'étude de la Marine nationale française conclut que les paliers profonds à l'air ne « réduisent pas les niveaux de bulles par rapport à la table de référence MN90 et qu'au contraire l'apparition de niveaux de bulles élevés et prolongés plusieurs heures lors des plongées successives ainsi que la survenue d'un accident de désaturation de type bends ont conduit à affirmer la dangerosité de cette procédure. [...] Le concept de paliers profonds en décompression humaine mérite confirmation pour la plongée profonde à l'air. »

L'étude de l'US-Navy indique que les essais, menés auprès de 81 volontaires de l'US-Navy jusqu'à 55 m de profondeur durant 30 minutes, ont été arrêtés au bout de 200 plongées sur les 400 prévues initialement, alors que le nombre d'accidents devenait significativement supérieur en suivant des paliers profonds (11 cas sur 198 plongées) qu'en suivant des paliers « classiques » (3 cas sur 192 plongées). La plupart des accidents étaient des bends, mais deux ont évolué vers des symptômes neurologiques. L'étude conclut : « Les résultats indiquent que l'élimination plus lente des gaz ou le fait que certains tissus continuent à se charger vient annuler les bénéfices de la réduction de la croissance des microbulles par des paliers profonds ».

Conclusion

Lors de plongées à l'air sans palier et peu profondes (dans la zone des 20 m), il semble que les paliers dits « profonds » puissent être pratiqués sans risque. C'est le sens de l'étude du DAN.

En revanche, pour des plongées à l'air plus profondes et avec paliers, comme nous les pratiquons souvent au France, les résultats des différentes études doivent nous inciter à la plus grande prudence.

La vitesse de remontée. Quelle est celle préconisée actuellement ? Expliquez.

Un peu d'histoire...

La vitesse de remontée est essentielle à la prévention des risques d'ADD. Pourtant, sa détermination a été largement empirique tout au long de l'histoire de la plongée. En 1878, Paul Bert, qui met en évidence le rôle de l'azote dans les accidents de désaturation, propose une désaturation « suffisamment ralentie », de l'ordre de 1 m par minute.

En 1908, J.-S. Haldane, qui crée les premières tables de plongée, préconise une vitesse d'environ 10 m/min avec une zone acceptable entre 3 et 10 m/min. Jusqu'en 1957, la vitesse de remontée reste aux alentours de 8 à 10 m/min.

A partir de 1958, une controverse apparaît entre les hommes-grenouilles de l'US-Navy (Cdr. Francis Douglas Fane) et les plongeurs pieds lourds. Les premiers demandent une vitesse de 30 m/min tandis que les seconds restent campés sur une vitesse de remontée de 3 à 6 m/min.

Les âpres discussions débouchent sur un compromis purement empirique. Il est décidé de définir une valeur médiane : $(30 + 6) / 2 = 18$. C'est la vitesse de remontée des tables US-Navy, en vigueur de 1958 à 1997. Cette vitesse est également retenue par les tables RDP-PADI (qui ne sont qu'une adaptation des tables US-Navy) et les tables MN-90 adoptent une valeur proche : 17 m/min.

A partir des années 1980/1990, de nombreux physiologistes s'intéressant à la plongée préconisent alors une valeur comprise entre 9 et 12 m/min, basée sur le niveau de bulles générées (effet Doppler).

Vitesse de remontée : les bons conseils

Toute vitesse de remontée rapide est dangereuse car elle favorise l'apparition et le grossissement de bulles d'azote (risque d'ADD).

De manière générale, une vitesse de remontée de l'ordre de 10 m/min est préconisée, sachant qu'il est conseillé de ralentir encore cette vitesse dans la zone des 10 mètres et entre les paliers pour adopter une vitesse d'au plus 6 m/min.

Vitesse de remontée variable

Il est possible de considérer que, plus qu'une vitesse de remontée fixe, l'important est de ne jamais dépasser une certaine vitesse de désaturation au cours de la remontée. Or la baisse de pression est par exemple moins importante entre 50 et 40 m qu'entre 20 et 10 m. Dans cette hypothèse, il est possible de remonter sans risque à une vitesse supérieure à 10 m/min en dessous de 20 m. Cette approche est exploitée par certains modèles d'ordinateurs pour proposer une vitesse de remontée variable.

Dans le cadre de remontées exercices lors de formations, quelles est la préconisation sur le nombre maximum qu'un plongeur peut en réaliser ?

RECOMMANDATIONS DE LA CTN FFESSM DU 20 SEPTEMBRE 2008

www.ffessm.fr

Le nombre maximum de cycles de remontées au cours d'une séance, hors procédures de sécurité est le suivant :

- 4 cycles maximum dans la zone des 20 mètres.
- 3 cycles maximum dans la zone des 20 à 30 mètres.
- 2 cycles maximum au-delà de 30 mètres.

Pour les encadrants, 3 cycles maximum au-delà de 30 mètres et jusqu'à 40 mètres si plongée au Nitrox.

Toutes ces limitations ne valent que dans des conditions de plongée usuelles.

Elles peuvent être plus restrictives dans certaines conditions, par exemple :

- courant excessif ;
- faible visibilité ;
- eau froide ;
- méforme physique ;
- etc.

Précision : on appelle cycle une immersion jusqu'à la profondeur de travail suivie d'une remontée jusqu'à la zone de surface (espace proche), ce qui exclut les remontées partielles (départ fond, remontée jusqu'à mi-profondeur ainsi que les procédures de sécurité)

Délai avant envol : le point sur la question. Y a-t-il des publications sérieuses sur le sujet ? Quelles sont-elles ? Quelles sont leurs conclusions ?

➤ Extrait de **Plongée Plaisir**

Cas général

Après une plongée, l'azote résiduel met 12 à 24 heures (voire plus) pour être évacué quasiment en totalité. Durant cet intervalle, toute baisse de la pression ambiante peut favoriser un dégazage anarchique de l'azote en excès et augmenter les risques d'accident de désaturation.

Pour se prémunir contre ce risque, il suffit d'appliquer des consignes simples.

Avion

Ne pas prendre l'avion dans les heures qui suivent une plongée. Les cabines étant pressurisées à 0,8 bar environ, les passagers passent en quelques minutes d'une pression atmosphérique de 1 bar au niveau de la mer à 0,8 bar, ce qui équivaut à une altitude de 2000 m.

Recommandations concernant le délai avant envol :

- Sur les ordinateurs de plongée un pictogramme s'affiche indiquant le temps minimum avant de pouvoir prendre l'avion.
- Pour des vols à une altitude inférieure à quelques centaines de mètres (300 ou 500 m) à bord d'avions non pressurisés – c'est le cas pour certaines liaisons inter-îles – cette question ne se pose pas.
- Selon les organismes ou modèles de désaturation, les recommandations concernant le délai minimum avant envol varient, (voir tableau ci-après).

CMAS	DAN	ORDINATEURS	US-Navy	Tables Bühlmann	Comex
24 h	12 h après une plongée unitaire sans paliers. 18 h après plusieurs plongées par jour ou plusieurs jours de plongée sans palier. Plus de 18 h (sans autres précisions) après une ou plusieurs plongées avec paliers.	Délai variable selon plongées réalisées.	6 h (pour 40 min entre 10 et 15 m) à 12 h (plongée au-delà de 40 m ou conditions difficiles : froid, effort...).	2 h à 24 h selon le groupe de sortie de plongée.	12 h (ramené à 4h pour une plongée sans palier).

Pourquoi n'y a-t-il pas une réponse unique ?

En matière de désaturation, il est toujours difficile d'apporter une réponse unique. Attendre 24 h avant de prendre l'avion permet de réduire le risque d'accident de désaturation quasiment à zéro et laisse une grande marge de sécurité dans bon nombre de cas (par exemple, une plongée à 15 m sans palier ne produit pas le même niveau de saturation qu'une plongée à 40 m avec paliers). C'est cette marge de sécurité qui est mise à profit pour réduire ce délai dans des cas particuliers, comme dans le domaine professionnel (ex. tables Comex) ou dans les zones de montagne (ex. modèle Bühlmann, Suisse). En l'absence d'un protocole spécifique (ex. ordinateur de plongée), le bon sens dicte d'adopter un délai de 12 à 24 h, selon que les plongées ont été plus ou moins nombreuses dans les jours précédents et plus ou moins saturantes.

➤ Extrait de Plongée Plaisir Cahier d'exercices et de Plongée Plaisir 4 8^e édition, 2015.

Mécanisme général de la désaturation

En plongée, l'augmentation de pression liée à la profondeur provoque une augmentation de la quantité de gaz dissous dans le sang et les tissus. Si l'oxygène est utilisé par nos cellules, ce n'est pas le cas de l'azote. Gaz neutre servant de diluant à l'oxygène qui serait toxique si nous le respirions pur, il est stocké dans les tissus. Lors de la phase de remontée, la pression baisse et le phénomène s'inverse : l'azote en excès est alors restitué sous la forme de microbulles présentes dans la circulation veineuse et normalement éliminées par le filtre pulmonaire, sans provoquer d'accident (bulles dites « silencieuses »).

Mécanisme détaillé

Selon Michaud, 4 phases peuvent être distinguées à partir de l'apparition de bulles pathogènes :

1. Une phase de constitution. Les bulles vasculaires sont encore sphériques, la circulation sanguine n'est que ralentie, la plus grande partie du gaz emmagasiné est encore dissoute dans les tissus. Durant cette phase, aucun accident n'est déclaré. Le processus est jugé réversible : c'est le délai mis à profit par les tables et ordinateurs (généralement 3 minutes) pour proposer une procédure de secours et procéder à une réimmersion immédiate (remontée rapide, interruption de paliers) en l'absence de symptômes. Ces procédures de secours restent dangereuses par nature, éviter de se trouver dans de telles situations est donc primordial.
2. Une phase d'organisation. Les bulles s'accumulent, grossissent, fusionnent, forment des amas et se fixent. Cela peut bloquer localement la circulation sanguine et provoquer l'anoxie de certains tissus. Les symptômes apparaissent de manière très nette. A ce stade, l'urgence des secours est primordiale avec, en particulier, la respiration d'oxygène pur.
3. Une phase de troubles généraux dans les cas graves. Les réactions biologiques de l'organisme s'étendent, amplifiant les troubles.
4. Une phase de séquelles éventuelles. Lorsque les premiers secours ont été défailants (manque d'O₂ en particulier) ou la médicalisation tardive, les risques de séquelles augmentent.

Causes pouvant conduire à un accident de désaturation :

- non respect des procédures (remontée trop rapide, non respect du temps ou de la profondeur des paliers) ;
- facteurs individuels favorisant les accidents :
 - 1) mauvaise forme physique (fatigue, anxiété, stress) ;
 - 2) âge (supérieur à 40 ans) ;
 - 3) poids ;
 - 4) antécédents médicaux ou prise régulière de médicaments ;
 - 5) mauvaise hygiène de vie (tabac, alcool, nourriture) ;
 - 6) perte de conditionnement due à un manque de pratique de la plongée depuis plusieurs semaines) ;

- comportement inadapté (ex. mise en surpression du thorax en fin de plongée par un effort violent ou une manoeuvre de Valsalva, apnée après une plongée en scaphandre...);
- profils de plongée atypiques (ex. yo-yo, plongées successives rapprochées, cumul de nombreuses plongées au sein d'une même journée ou sur une semaine...).

Dans ces cas, le scénario habituel du dégazage de l'azote peut être modifié et conduire à un afflux massif de bulles et/ou à des bulles de taille importante, les microbulles pouvant grossir à la remontée (ex. remontée rapide) ou s'associer entre elles pour former des embolies ou des manchons gazeux qui deviennent alors pathogènes. C'est l'accident de désaturation (ADD).

Atteintes possibles

Les signes observés sont variables selon les zones atteintes et peuvent évoluer :

- fatigue générale, prostration ;
- fourmillements dans les membres, sensations d'engourdissement ;
- douleur vive et soudaine (« coup de poignard ») dans le bas du dos ;
- douleur entre les omoplates ;
- incapacité à se maintenir sur ses jambes par manque de force ;
- paralysies ;
- difficulté ou incapacité à uriner ;
- troubles de la parole et/ou de la vision ;
- troubles de la sensibilité au toucher, à la douleur, à la chaleur... ;
- vertiges et nausées (atteinte de l'oreille interne) ;
- troubles ventilatoires (« chokes ») ;
- démangeaisons (puces, moutons) ;
- douleur vive et localisée (« bends »).

Dans 90% des cas, en plongée de loisir, les atteintes sont neurologiques (médullaires, cérébrales) ou vestibulaires (oreille interne).

Atteinte du système nerveux central

En cas de manque d'oxygène au niveau du cerveau ou de la moelle épinière, certaines zones peuvent être endommagées et entraîner des troubles moteurs :

- Monoplégie : paralysie des muscles d'un membre.
- Hémiplégie : paralysie d'un côté du corps, suite à une lésion des régions motrices dans le côté opposé du cerveau (exemple : paralysie du côté gauche du corps, si la partie droite du cerveau est atteinte).
- Tétraplégie ou quadriplégie : paralysie du tronc et des 4 membres, consécutive à une lésion de la moelle épinière au niveau des vertèbres cervicales ou d'une anoxie globale du cerveau ;
- Paraplégie : paralysie des deux jambes et parfois d'une partie du tronc (vessie, intestins) à la suite d'une atteinte de la moelle épinière au niveau des vertèbres dorsales ou lombaires, avec troubles de la sensibilité.
- Troubles de certaines fonctions telles que la vue ou la parole, quand l'origine du traumatisme se situe au niveau du cerveau.

Troubles de l'oreille interne

Lors de la phase de désaturation, une bulle d'azote peut se trouver coincée dans l'artère terminale d'une des deux oreilles. Une bulle peut également apparaître dans les liquides de l'oreille interne.

Dans les deux cas, un accident de désaturation peut se déclarer, avec troubles de l'équilibre, vertiges, nausées et vomissements.

Ces symptômes sont parfois accompagnés d'une perte d'audition et de bourdonnements.

Ils peuvent survenir dans l'eau ou dans les heures qui suivent une plongée.

Troubles respiratoires

Dans la circulation artérielle pulmonaire, le diamètre des vaisseaux décroît. Des bulles peuvent alors venir se bloquer au niveau des capillaires, générant des troubles circulatoires et ventilatoires, avec pour conséquences :

- une hypoxie généralisée ;
- un dégazage perturbé, ce qui gêne l'évacuation des gaz dissous et favorise la formation de bulles, par exemple dans la moelle épinière ;
- une augmentation de pression, favorisant l'ouverture de shunts pulmonaires ou cardiaques (foramen ovale perméable), conduisant au passage de bulles dans la circulation artérielle générale. Cela expliquerait certains accidents cérébraux. Le plus souvent, le plongeur décrit une douleur au niveau du thorax. Cela peut aboutir à une détresse ventilatoire aiguë (chokes des Anglo-Saxons) par oedème pulmonaire. Le plongeur peut présenter des crachats rosâtres trompeurs, car évoquant une surpression pulmonaire.

Os, articulations, muscles (bends)

Ces accidents font apparaître des douleurs aiguës et localisées, avec une sensation « d'arrachement » ou de « broiement » (Fructus et Sciarli).

La caractéristique de ces douleurs est qu'elles ne sont pas calmées par les antalgiques.

La douleur disparaît lors de la recompression en caisson sous oxygène, avec guérison totale. Par contre, sans traitement, cela peut entraîner des récurrences au même endroit et des lésions irréversibles, bien que la douleur s'estompe d'elle-même en 24 à 48 heures.

Manifestations cutanées

Dans certains cas, des bulles peuvent être piégées dans les capillaires sous-cutanés, faisant apparaître :

- des démangeaisons localisées ayant l'aspect de petites brûlures ou d'urticaire (puces) ;
- des boursouflures en plaques (moutons).

Ces symptômes surviennent surtout lors de plongées en caisson ou avec des vêtements secs. Ils restent rares en plongée de loisir et doivent conduire à une mise en observation dans un centre hyperbare.

Pourquoi la distinction « ADD de type I » et « ADD de type II » n'est-elle pas adaptée à notre enseignement en plongée de loisir ?

Il s'agit d'une classification clinique qui a son utilité dans le monde médical.

Type I : Accidents cutanés et ostéo-articulaires.

Type II : Système nerveux, oreille interne, troubles respiratoires.

En plongée, elle n'est que de peu d'utilité car :

- les actes de secourisme n'en dépendent pas ;
- les accidents cutanés ou ostéo-articulaires sont rares en plongée de loisir.

En conséquence, cette classification n'est pas adaptée à l'enseignement des risques à des plongeurs non-médecins dans une pratique de loisir.

➤ Extrait de Plongée Plaisir Cahier d'exercices, 2015, pages 102-103.

1. ALERTER

Signal de détresse à l'équipe de surveillance en surface, puis appel :

- à la VHF (canal 16) ou à la VHF-ASN (canal 70) ;
- par téléphone (15 SAMU).

2. OXYGENE

Oxygène 100 %, 15 l/min en inhalation ou en insufflation si la ventilation est insuffisante.

En cas d'ADD, l'administration d'oxygène 100% en geste de secours est une recommandation de type 1, c'est-à-dire « hautement recommandée » car elle peut modifier le pronostic vital. Elle est acceptée dans le monde entier.

Justification :

- Survie des organes vitaux ;
- Favorise le dégazage de l'azote en excès.

3. EAU

Corriger la déshydratation liée à toute plongée si la victime peut boire. L'eau reste la meilleure des boissons.

Justification :

Les causes de déshydratation sont présentes au cours de chaque plongée :

- diurèse d'immersion accentuée éventuellement par une diurèse due au froid ou par la sudation due à l'exercice musculaire ;
- respiration de gaz secs ;
- absence de prise de liquide au cours de la plongée.

En conséquence, toute plongée provoque un déficit d'hydratation avec une hypovolémie (baisse du volume sanguin) qui a pour effet de gêner l'élimination de l'azote et de favoriser son accumulation dans certaines parties du corps, augmentant ainsi les risques d'accidents de désaturation. De plus, cela augmente la fatigue.

Pour toutes ces raisons, il est fortement conseillé de se réhydrater systématiquement dès la sortie de plongée, en buvant au minimum 0,3 à 0,5 litre d'eau par heure d'immersion (source : Dr Mathieu Coulange, *Bulletin de médecine subaquatique et hyperbare – Medsubhyp*).

L'eau est la seule boisson conseillée.

L'hydratation avant la plongée a également un effet bénéfique.

En cas d'accident, le plongeur doit être encouragé à boire, sauf dans trois circonstances (plongeur peu collaborant, voire inconscient, dont les réflexes oropharyngés sont compromis) :

- risque d'inhalation ;
- nausées et/ou vomissements ;
- suspicion de lésion du tube digestif.

4. ASPIRINE

En cas d'ADD, l'aspirine est une recommandation de type 3, c'est-à-dire « optionnelle ».

Il est possible de proposer (et non d'administrer quand on n'est pas médecin) de l'aspirine si la personne est en capacité d'en absorber et si elle n'est ni intolérante ni allergique. C'est une recommandation médicale de type 3, c'est-à-dire optionnelle. Ne pas dépasser la dose de 500 mg pour un adulte (voire 250 mg chez des adultes de petit gabarit).

Cette dose de 500 mg fait débat au sein du corps médical, certains médecins préconisant de la réduire à 300 ou 250 mg. En tant que moniteur de plongée, nous n'entrons pas dans ce débat et rappelons que les conclusions de la conférence de consensus de 1996 sont toujours en vigueur et que l'aspirine reste optionnelle (recommandation de type 3).

Source concernant la conduite à tenir :

2^e Conférence de consensus, Marseille, 1996 : Traitement des accidents de décompression de la plongée loisir – Pas de nouvelle réunion de consensus depuis cette date.