

Risques et plongée sous-marine

Par Rémi Barbarin

Il peut être intéressant pour un maître de jeu à Blue Planet de connaître les phénomènes mis en oeuvre lors de plongées sous-marine, et les risques encourus par les personnages. La plongée est en effet une activité à risque qui doit être pratiquée avec un maximum de sécurité. Le but ici est de présenter les dangers potentiels pouvant menacer les personnages de Blue Planet lors d'excursions sous-marines.

Barotraumatisme des oreilles

L'oreille moyenne est en communication avec le pharynx via la trompe d'Eustache, mais est séparée de l'extérieur par le tympan. Cette membrane fine subit toute différence de pression entre le milieu extérieur et l'oreille moyenne. Lors de la descente, le tympan aura tendance à s'enfoncer vers l'intérieur, à la remontée vers l'extérieur. Il existe différentes techniques pour compenser ce déséquilibre à la descente (manœuvre de Valsalva, déglutition), mais à la remontée, l'équilibre se rétablit de lui-même, l'air passant par la trompe d'Eustache. Néanmoins, une remontée ou descente trop rapide, l'incapacité d'effectuer les manœuvres adéquates ou un mauvais état de santé peuvent mener à une lésion du tympan si le plongeur insiste.

Symptômes : gêne, modification de l'audition, puis douleur très vive (remonter ou redescendre, selon le sens de la progression, suffit à annuler la douleur). Bourdonnements, surdité et écoulement de sang par les oreilles en cas de rupture du tympan. Dans ce cas, la douleur est si vive qu'une syncope peut en découler. En plus, l'eau entrant dans l'oreille peut provoquer des lésions aux canaux semi-circulaires dans l'oreille interne provoquant des vertiges car le plongeur ne reconnaît plus le haut du bas. Peut entraîner une noyade.

Prévention : ne pas plonger enrhumé, avec les oreilles bouchées par le cérumen ou tout corps étranger, prendre le temps d'équilibrer ses oreilles lors des premiers mètres de descente.

Barotraumatisme de sinus

Sur le même principe que les barotraumatismes des oreilles. Si un obstacle bloque la pénétration de l'air dans les sinus, l'augmentation de la pression extérieure provoque une dépression dans le sinus, allant jusqu'au décollement de la muqueuse sinusale, accompagnée d'une douleur violente. Ce phénomène ne peut se passer qu'à la descente car à la remontée, la surpression dans les sinus finit toujours par s'évacuer.

Symptômes : douleur lors de la descente, puis saignements de nez.

Prévention : ne pas plonger enrhumé, ou victime d'une sinusite.

Colique du scaphandrier

Les gaz provenant de la fermentation des aliments ou de l'air avalé pendant la plongée se dilatent lors de la remontée dans l'estomac et l'intestin.

Symptômes : si les gaz ne peuvent s'échapper par voie orale ou anale, de violentes douleurs abdominales pouvant entraîner une syncope. Dyspnée, angoisse, cyanose du visage.

Prévention : alimentation saine, en évitant les féculents et les boissons gazeuses.

Barotraumatisme de dent

De l'air peut pénétrer dans une dent cariée pendant la plongée. Au cours de la remontée, l'air se dilate et si l'orifice est trop petit l'air ne peut s'échapper assez vite.

Symptômes : violente douleur dentaire pouvant persister après le retour à la surface. Il faut alors mettre le blessé en caisson hyperbare avant d'effectuer une décompression lente.

Prévention : consulter un dentiste régulièrement, s'abstenir de plonger en cas de douleur dentaire.

Narcose aux gaz inertes (ivresse des profondeurs)

La narcose est généralement causée par de l'azote mais peut être engendrée par d'autres gaz inertes. Les symptômes se déclenchent à la descente. La profondeur dépend de la sensibilité du sujet au phénomène, de sa fatigue, de son expérience, et de sa condition physique. Entre 30 et 70m, on peut considérer que tout le monde est atteint pour un mélange respiratoire composé d'air. Il existe un phénomène d'accoutumance à la narcose. Il faut environ 15 jours d'entraînement à un plongeur pour atteindre la meilleure accoutumance à l'azote. Il suffit de 10 jours pour la perdre. L'azote à des pressions partielles importantes a un effet au niveau du système nerveux central. Cette action spécifique est liée à sa dissolution dans les lipides constituant le système nerveux.

Symptômes : entre 35 et 60m, euphorie, bien-être. Au delà de 60m, ébriété, hilarité, relâchement de l'attention, perte de la mémoire, temps de réaction plus long. Au delà de 90m, pertes de connaissance progressive, comportement pouvant mener à la mort (enlever le scaphandre, etc.).

Prévention : Il suffit de remonter pour que les symptômes disparaissent. Néanmoins pour des plongées profondes, on utilisera des gaz non narcotiques (notamment l'hélium) jusqu'à 250m. Dans ce cas, les paliers seront approximativement identiques à ceux fait avec de l'air comprimé.

Hypercapnie (Intoxication au gaz carbonique)

Le CO₂ se trouve dans l'air à une concentration de 0,03% environ. A partir de 2% les premiers troubles apparaissent. A 7% la respiration devient haletante, le visage se congestionne,

et une excitation semblable à l'ivresse se produit. Au delà, une syncope survient rapidement. Ce genre d'intoxication provient soit d'une pollution de l'air contenu dans la bouteille, soit d'un effort trop intense fourni par le plongeur. L'effet du CO₂ augmente avec la profondeur. La pression partielle croissant avec la pression ambiante, une proportion de CO₂ tolérable en surface devient très toxique en profondeur. Exemple, de l'air contenant 1,5% de CO₂ respiré à 30m de profondeur sera aussi toxique que de l'air contenant 6% de CO₂ respiré en surface. Le malade doit être placé dans un endroit aéré, ou respirer de l'oxygène pur. En cas de problème en profondeur : arrêter immédiatement tout effort et se faire aider par des coéquipiers pour remonter.

Symptômes : au retour à la surface, maux de têtes violents et nausée. En plongée, essoufflement progressif, fatigue. Souvent, le plongeur dans un dernier réflexe de survie arrache son embout et respire de l'eau. C'est la noyade.

Prévention : vérifier l'état du détendeur et la pureté de l'air comprimé. Éviter de plonger sans combinaison sauf dans les mers tropicales. Vérifier l'ouverture de la bouteille, ne pas plonger seul, ne pas palmer trop vite, économiser ses forces.

Hyperoxie

L'inhalation d'oxygène pur ou fortement concentré peut être nocif, même à pression atmosphérique. Lors d'inhalations supérieures à 2 heures avec une pression partielle supérieure à 0,5 bar, l'oxygène provoque des brûlures et lésions au niveau des poumons. Ce genre d'accidents peut se produire dans des stations sous-marines, des caissons hyperbares, ou des plongées profondes à saturation. C'est l'hyperoxie chronique ou effet Lorrain Smith. Il existe une autre hyperoxie qualifiée d'aiguë ou d'effet Paul Bert, survenant lorsque l'O₂ se trouve à une pression partielle supérieure à 1,7 bar (2 bars si mélangé). Dans ce cas, il y a intoxication des cellules nerveuses.

Symptômes : tachycardie, angoisse et irritabilité, secousses musculaires (crispations involontaires) et crampes, crises d'épilepsie, troubles de la vue, tétanie, perte de la conscience avec arrêt respiratoire. La crise hyperoxique passée, le patient s'endort et n'en garde pas souvenir, ni de séquelle (sauf causes secondaires : noyade, accident, etc.).

Prévention : Maintenir la normoxie. Les plongeurs de combat utilisant des circuits fermés à l'O₂ pur doivent donc rester près de la surface pour maintenir la pression partielle de l'oxygène faible (moins de 7m). Si l'on dilue de l'O₂ avec un autre gaz, on recule son seuil de toxicité. Ainsi, pour des plongées à grande profondeur, on pourra utiliser de l'azote ou de l'hélium ou encore de l'hydrogène. Les proportions respectives sont fonctions de la profondeur.

Hypoxie / Anoxie

Il s'agit de la situation engendrée par une baisse de la pression partielle de l'oxygène par rapport à la normoxie qui est de 0,21 bar. On constate une hypoxie grave avec perte de connaissance lorsque la pression partielle de l'oxygène descend en dessous de 0,1 bar. Ce genre de situation ne se rencontre qu'avec les systèmes de respiration fermés ou demi-fermés (comme ceux utilisés par les plongeurs de combat), ou chez le plongeur en apnée. Ce dernier s'hyperventile souvent avant sa plongée pour la faire durer plus longtemps. Grâce au jeu des pres-

sions partielles, le temps d'apnée sera d'autant plus long que la profondeur sera grande. Mais si la pression partielle de l'O₂ est suffisante en profondeur, elle peut s'avérer critiqueusement basse lors du retour en surface (appelé rendez-vous syncopal). Une succession d'apnées cumule les risques autant que les dettes en oxygène, menant de façon probable à l'hypoxie. Un hypoxie débouche fréquemment sur une syncope ou une noyade.

Symptômes : Augmentation de l'amplitude respiratoire, difficulté à lire les instruments, confusion mentale.

Prévention : Toujours plonger sous surveillance. Limiter les hyperventilations à la surface. Éviter les apnées successives trop rapprochées, et surtout en dessous de 15 mètres.

Noyade blanche / bleue

La noyade est une mort par asphyxie due à la pénétration d'eau dans les poumons. En plongée, un incident tel qu'un embout ou un masque arraché, du matériel défectueux, peut provoquer une noyade. Elle est la cause principale de décès en plongée, mais elle est très souvent déterminée par une cause pathologique : syncope après barotraumatisme, accident de décompression, essoufflement, etc. On distingue deux types de noyade : la noyade bleue (asphyxique) et la noyade blanche (ou noyade pâle, atypique).

Symptômes de la noyade bleue : Le noyé bleu est souvent un nageur épuisé ou un plongeur à l'embout arraché : pour éviter d'inhaler l'eau, il y a d'abord une apnée puis une reprise instinctive de la respiration avec pour conséquence une inondation alvéolaire. Suivent l'arrêt respiratoire, et quelques minutes après, l'arrêt cardiaque. Une telle noyade en eau douce présente des aspects différents d'une noyade bleue en eau de mer : du fait de la différence de pression osmotique qui existe entre le plasma et l'eau, l'eau douce va passer dans le sang qui peut doubler de volume en 2 minutes. L'augmentation du volume sanguin va provoquer une dilatation du cœur. L'eau douce fait éclater les hématies (c'est l'hémolyse). S'ensuit une fibrillation cardiaque. Des conséquences tardives très graves peuvent survenir plusieurs heures après (oedème pulmonaire, insuffisance circulatoire et rénale, surinfection). En eau de mer, le phénomène s'inverse car la salinité de l'eau de mer est quatre fois plus grande que le sang. Il y a donc passage du plasma du sang dans les alvéoles pulmonaires et apparition d'un oedème pulmonaire, puis de même une insuffisance circulatoire, cardiaque et rénale.

Symptômes de la noyade blanche : Il s'agit d'une syncope. Il y a une perte brutale de conscience avec un arrêt circulatoire et cardiaque. N'ayant pas eu le temps de faire une respiration hors de l'eau, les poumons sont secs. La syncope peut être attribuée à un choc thermodynamique, au contact de l'eau inhalée par le larynx, à un choc brutal de l'eau froide sur le ventre, le tympan, ou la muqueuse nasale, choc cryo-allergique, à une hypoxie aiguë du plongeur en apnée, ou à d'autres accidents de plongée. Le noyé est très pâle, sans connaissance, sans réflexes ni sensibilité.

Prévention : Savoir correctement nager, ne plonger qu'en bonne forme physique, avoir exécuté tous les exercices de sécurité, ne pas plonger sans accompagnement, utiliser une ceinture de lest permettant un largage rapide, disposer d'une bouée de remontée rapide, prévoir le tuba pour pouvoir nager en surface si la bouteille est vide.

Hypothermie

Cet accident est du aux pertes calorifiques de l'organisme.

Symptômes : Contraction cutanée, pilo-érection, frisson thermique. Crampes, tremblements, diminution de l'attention et de l'habileté manuelle, impatience, irritabilité, essoufflement, et éventuellement perte de connaissance. Exceptionnellement, état de choc, et en cas de séjour prolongé, des gelures locales peuvent apparaître.

Prévention : Ne jamais plonger sans combinaison isothermique comprenant veste pantalon et cagoule dans des eaux de type européen. En cas d'eau froide, adjoindre des gants et des bottillons. Cesser la plongée dès les premiers symptômes.

Surpression pulmonaire

En plongée, l'air respiré est à la pression ambiante : 1 bar à la surface, 4 bars à 30m de profondeur. Au cours de la remontée, l'air dans les poumons se détend et augmente de volume au fur et à mesure que la pression diminue. Si l'air ne peut s'échapper, une surpression pulmonaire survient. ce blocage de l'expiration peut être causé par un accès de panique, ou un spasme de la glotte. L'air dilate les poumons jusqu'à leur limite d'élasticité, puis déchire les alvéoles pulmonaires. De l'air entre alors dans les vaisseaux sanguins et les poumons se remplissent de sang. L'air est entraîné dans les artères jusqu'au cœur et au cerveau, provoquant la mort par embolie gazeuse. Cet accident très grave est d'autant plus à craindre que le plongeur est proche de la surface (la pression ambiante double entre la surface et -10m), et que ses poumons sont pleins d'air au début du spasme. Un blessé peut éventuellement être traité en le plaçant en caisson hyperbare (ne jamais réimmerger) le plus vite possible, et en lui faisant inhaler de l'oxygène pur.

Symptômes : Selon la gravité : gêne respiratoire, douleur violente dans le thorax, sensation d'étouffement, visage cyanosé, bave ou crachat sanglants, vomissement, crise de type épileptique, paralysie des membres ou de la moitié du corps, paralysie respiratoire, perte de la parole, de la vue, syncope et mort.

Prévention : il suffit d'expirer lentement à la remontée, de maintenir sa vitesse de remontée à 17m / minute. La zone de danger se trouvant principalement entre 0 et -10m.

Accidents de décompression

Pendant la plongée, l'azote se dissout dans les tissus jusqu'à saturation, dont le seuil augmente avec la pression ambiante. Certains tissus seaturent à des vitesses différentes du fait de leur irrigation, on parlera de tissus longs (muscles, os, qui seaturent lentement) et de tissus courts (sang, graisse, seaturent rapidement). Au cours de la remontée, l'état de sursaturation critique peut être atteint si la différence entre la tension du gaz dissous et la pression ambiante est trop importante. Lors d'une remontée rapide, le gaz dissous retrouve brutalement sa forme gazeuse : des bulles se forment dans les tissus (comme une bouteille de champagne que l'on débouche), entravant la circulation sanguine, provoquant une nécrose des cellules situées en aval. La nature et la gravité de l'accident de décompression sont en étroite relation avec l'endroit où les bulles apparaissent, et le volume des bulles. Un accident de décompression sur-

vient dans 50% des cas dans les 30 minutes suivant la remontée, et dans 99% des cas dans les 6 heures. Les traitements comportent une recompression mécanique, une oxygénothérapie, et un traitement médicamenteux.

Symptômes : Puces et moutons : il s'agit respectivement de démangeaisons superficielles, ou de boursoufflures de la peau qui sont dus à un dégazage de la partire profonde de la peau. Ils ne présentent aucun danger et ne nécessitent pas de recompression. Par contre, ils peuvent annoncer un accident plus important. Les bends (accidents musculaires ou ostéo-articulaires) se situent dans les muscles ou les articulations et se traduisent par une violente douleur, survenant souvent après une remontée trop rapide, ou lorsque les paliers n'ont pas été réalisés à la bonne profondeur. Les accidents sur tissus courts provoquent souvent un dégazage dans le sang : sensation de fatigue, d'épuisement, sueurs, frissons et nausées. Lorsque des emboles gazeux se situent au niveau des échanges alvéolaires, ils entraînent des accidents respiratoires : respiration difficile, douleur dans la poitrine, asphyxie. Au niveau du cœur, il peut y avoir un infarctus du myocarde. Lorsqu'ils atteignent la moelle épinière ou le cerveau, les conséquences sont très graves. les atteintes médullaires entraînent des fourmillements, une grande fatigue, paraplégie, quadriplégie avec paralysie progressive des muscles respiratoires. Pour les atteintes du cerveau : état de choc, hémiplégie, troubles de la parole, de la vision, maux de tête.

Prévention : respecter scrupuleusement la durée et profondeur des paliers, ainsi que la vitesse de remontée.

Tables des paliers de décompression

Un des phénomènes les mieux connus est la nécessité de faire des paliers lors d'une remontée. Mais pourquoi ? Le plongeur une fois en profondeur respire de l'air à la pression ambiante. L'azote va donc se dissoudre dans le sang à une pression supérieure à la pression atmosphérique, pouvant lors d'une remontée trop rapide (ne respectant pas les paliers) se gazéifier à nouveau. L'image de la bouteille de Perrier que l'on débouche n'est pas une mauvaise image, et une remontée ne respectant pas les tables de pallier, pour permettre au corps humain de laisser l'azote se dégager à un rythme tolérable, est source de dangers mortels pouvant provoquer au mieux des marques sous l'épiderme, au pire la paralysie d'un membre, la perte de connaissance, la formation d'un caillot dans le cerveau, ou la mort. Les paliers peuvent être effectués en surface en caisson hyperbare (c'est souvent le cas des professionnels), avec une inhalation d'oxygène, permettant de réduire la durée des paliers de 40%. Même quand aucun palier n'est indiqué, il est recommandé de faire un palier de sécurité de 3 minutes à -3m.

Les tables données ici le sont à titre indicatif. Elles sont basées sur une plongée en eau à température normale, avec une pression atmosphérique de 1 bar environ, pour une personne en bonne santé utilisant un scaphandre non pressurisé et respirant un mélange équivalent à l'air. Les tables pour travailleurs sous-marins seront beaucoup plus strictes que ces tables d'usage standard. Attention, ces plongées se basent sur une pression atmosphérique de 1 bar, et une densité de l'eau standard. Des plongées en altitude, ou dans un environnement non-standard, requièrent d'autres tables, ou plus de calculs.

Profondeur (m)	Durée (min)	Paliers à 3m (min)	Paliers à 6m (min)	Paliers à 9m (min)	Paliers à 12m (min)	Paliers à 15m (min)	Paliers à 18m (min)
10	-	-	-	-	-	-	-
20	70	6	-	-	-	-	-
	80	10	-	-	-	-	-
	90	16	-	-	-	-	-
30	35	3	-	-	-	-	-
	50	21	-	-	-	-	-
	70	47	5	-	-	-	-
40	15	2	-	-	-	-	-
	30	15	2	-	-	-	-
	50	40	18	2	-	-	-
50	15	4	2	-	-	-	-
	25	26	7	1	-	-	-
	40	52	18	8	-	-	-
60	15	10	4	1	-	-	-
	30	48	18	8	1	-	-
	40	54	30	14	6	-	-
70	10	4	4	1	-	-	-
	20	37	15	3	2	-	-
	30	54	24	14	4	-	-
80	10	12	3	3	-	-	-
	20	47	17	7	3	1	-
	30	60	32	24	18	5	2

Éléments divers sur l'environnement sous-marin

La vitesse de remontée préconisée est de 17m/minute idéalement. On peut pousser jusqu'à 15m/minute, au-delà, on parle de remontée-panique.

Le poids apparent dans l'eau est bien inférieur au poids du plongeur dans l'air, selon le principe de la poussée d'Archimède. Selon la morphologie du plongeur, le taux de graisse de son corps, la densité de son ossature, celui-ci aura une flottabilité positive (il flotte naturellement) ou négative (il coule naturellement). L'équipement aura tendance à l'alourdir, tandis que sa combinaison (souvent du néoprène) aura tendance à l'alléger. Le mieux étant d'atteindre une flottabilité nulle, permettant de se déplacer verticalement sans effort.

Dans une eau à 5° C, la moitié des individus immergés sans protection meurent en moins d'une heure. L'activité physique multiplie par 5 la déperdition calorifique du corps humain.

Le cœur d'un homme au repos bat à 70 pulsations/minute et le sang met 20 secondes à faire un cycle complet dans l'organisme.

Au cours d'une respiration calme, le volume d'air aspiré et expiré est de 0,5 litre. Le volume de capacité vitale correspondant à la contenance maximum des poumons est de 4,5 litres (+ 1 litre de volume résiduel dans les bronches, les poumons, etc.), mais varie grandement selon l'âge, la taille et le sexe de l'individu.

La fréquence respiratoire (nombre d'inspirations expirations par minute) est la suivante

50 pour le nouveau-né

25 vers 5 ans

20 vers 20 ans

17 pour l'adulte au repos.

Propagation des sons dans l'eau : 1500m/s (variant selon la salinité de l'eau) contre 300 m/s dans l'air. Il est donc très difficile de déterminer l'origine d'un son.

La perception est altérée : le masque réduit le champs de vision. Les objets semblent 1/3 plus gros, tandis qu'ils semblent se trouver à 75% de leur distance réelle. La luminosité est grandement réduite : à 1m, la luminosité n'est plus que de 60%. A 40m, elle est tombée à 1,5% (variable selon le nombre de particules en suspension). Les couleurs sont également altérées. Le rouge disparaît à 5m, l'orange à 10m, le jaune et le violet à 30m, le vert à 40m, ne laissant plus qu'un univers bleu...

Il est possible d'effectuer des plongées dites consécutives, à condition de ne pas rester plus de 5 minutes en surface (juste le temps de se rééquiper). Si l'intervalle est plus grand, on parle de plongées successives. Une table à triple entrée est nécessaire, se basant sur le calcul de la saturation de la première plongée. Il convient d'être particulièrement prudent en cas de plongées successives. De même, faire un peu d'apnée après une plongée peut être considéré comme une plongée successive.

Sources

Apprendre à Plonger : un jeu d'enfant (J.P. Malamas, éditions Vigot)

Plongée subaquatique (Ph. Molle et P. Rey, éditions Amphora)