

Incidence des variations de pression[modifier]

Le facteur principal influant sur l'organisme humain en plongée est la [pression](#) exercée par l'eau. Celle-ci augmente avec la profondeur : alors que nous sommes soumis à une pression d'environ 1 [bar](#) à l'air libre au niveau de la mer (pression atmosphérique), le poids de l'eau au-dessus du plongeur immergé soumet celui-ci à une pression additionnelle d'environ 1 bar tous les 10 mètres en eau de mer et environ 0,98 bar tous les 10 mètres en eau douce.

Par exemple, à 25 mètres de profondeur, un plongeur est soumis à 3,5 bars de pression totale (1 bar de pression atmosphérique et 2,5 bars de pression hydrostatique); cette pression inhabituelle pour un être humain adapté au milieu terrestre va provoquer différents phénomènes, que le plongeur doit connaître et gérer sous peine de mettre sa santé (voire sa vie) en danger.

L'air contenu dans les différentes cavités du corps (oreille moyenne, sinus, appareil respiratoire...) voit son volume varier de manière inversement proportionnelle à la pression ambiante, suivant la [loi de Boyle-Marotte](#).

Barotraumatismes[modifier]

Les accidents dus aux variations anormales de pressions dans les organes creux sont appelés des [barotraumatismes](#). Ceux-ci touchent les différentes cavités en contact avec l'air inspiré : [oreilles](#), [sinus](#), [dents](#), [intestin](#), mais aussi l'espace situé entre [le masque et le visage](#) et la peau en contact avec une bulle d'air emprisonnée par une combinaison (généralement une [combinaison étanche](#)).

Lors de la descente, l'air contenu dans l'[oreille](#) moyenne du plongeur est en dépression par rapport au milieu ambiant, ce qui crée une déformation du [tympan](#). Le plongeur doit volontairement insuffler de l'air dans son oreille moyenne *via* les [trompes d'Eustache](#), afin d'éviter toute déchirure ou douleur. Il existe plusieurs [manœuvres d'équilibrage](#), la plus répandue consiste à se pincer le nez et à souffler légèrement bouche fermée (procédé dit de [Valsalva](#)). On peut également équilibrer son oreille en faisant une « [béance tubaire volontaire](#) » qui consiste à bailler bouche fermée en avançant la mâchoire inférieure. La [déglutition](#) peut permettre d'obtenir le même résultat. L'air inspiré pénètre sans traumatisme dans la trompe d'Eustache béante pour repousser le tympan contre la pression de l'eau et ainsi l'équilibrer. Lors de la remontée le phénomène inverse se produit et l'oreille moyenne passe en surpression. La plupart du temps, aucune manœuvre d'équilibrage volontaire n'est nécessaire. Cependant, pour aider l'équilibrage, le plongeur peut utiliser la [manœuvre de Toynbee](#).

Lors de la remontée, l'air contenu dans les [poumons](#) du plongeur se dilate. Si le plongeur n'est pas attentif et n'expire pas ou pas assez (en cas d'apnée involontaire, de panique, de remontée trop rapide...), la surpression pulmonaire ainsi créée peut entraîner des lésions graves. Il est contreproductif et dangereux d'utiliser la méthode de Valsalva à la remontée. Cette dernière n'équilibre pas les pressions, elle augmente la pression dans l'oreille moyenne, un barotraumatisme pouvant ainsi survenir.

Vertige alterno-barique[modifier]

Le vertige alterno-barique est dû à une différence de pression entre les deux oreilles moyennes. L'appareil vestibulaire sert à donner au cerveau des informations concernant sa position dans l'espace. Lorsqu'il y a une pression gazeuse sur la paroi de l'appareil vestibulaire, celle-ci change les informations. S'il y a une différence de pression entre les deux oreilles moyennes, le cerveau reçoit des données contradictoires qu'il ne sait pas interpréter.

Le plongeur a donc un vertige, souvent passager de 30 secondes à quelques minutes, qui peut entraîner des complications en cas de panique. Il perd en effet tout repère spatial, et ne peut pas dans l'eau se réorienter sur des repères visuels.

La différence de pression entre les deux oreilles moyennes est souvent due à une [manœuvre de Valsalva](#) (injection d'air à partir de la gorge vers la trompe d'Eustache) mal exécutée, ou alors à une trompe d'Eustache peu perméable à l'air.

À la remontée, l'encombrement d'une des trompes d'Eustache peut entraîner d'importants vertiges et une sérieuse désorientation alors que la descente s'est passée sans encombre. Il faut alors généralement demander assistance et redescendre légèrement pour permettre de rééquilibrer les oreilles et faire passer le vertige.

La toxicité des gaz[modifier]

Le troisième effet de l'augmentation de la pression sur le plongeur concerne l'impact des gaz respirés sur l'organisme.

Pour les pressions rencontrées en plongée sous-marine, les gaz respirés se comportent comme des gaz parfaits, et obéissent donc à la [loi de Dalton](#). Il est ainsi possible d'utiliser la notion de « pression partielle » pour un gaz respiré. Par exemple, étant donné un plongeur respirant de l'air (environ 80 % de diazote, 20 % de dioxygène) à 20 mètres de profondeur (soit une pression totale de 3 bars), la pression partielle de diazote respiré est de 2,4 bars (80 % de 3 bars), et celle du dioxygène est de 0,6 bars (20 % de 3 bars). L'effet physiologique d'un gaz dépend de sa pression partielle, qui elle-même dépend donc de la pression absolue (de la profondeur) d'une part, et de la proportion du gaz dans le mélange respiré par le plongeur d'autre part.

L'augmentation de la pression partielle (Pp) a des effets différents en fonction du gaz.

Le dioxygène[modifier]

Le [dioxygène](#) (O₂), pourtant indispensable à la survie du plongeur, devient toxique avec l'augmentation de sa pression partielle. Cet effet nommé [hyperoxie](#) est dû à la toxicité neurologique du [dioxygène](#) à partir d'une [pression partielle](#) de 1,6 bar. Il soumet le plongeur à un risque de crise hyperoxique (effet [Paul Bert](#)) et donc de perte de connaissance conduisant à la noyade. D'autre part, une exposition prolongée (plusieurs heures) à une pression partielle d'O₂ de plus de 0,6 bar peut provoquer des lésions [pulmonaires](#) de type inflammatoire (effet [Lorrain Smith](#)). Toutefois en mélange avec du [diazote](#), par exemple, c'est au-delà de 2 bars de [pression partielle](#) que la toxicité du [dioxygène](#) se révèle.

Les gaz inertes[modifier]

Les [gaz inertes](#) ([diazote](#), mais aussi [hélium](#), [dihydrogène](#), [argon](#), etc.), outre leur rôle d'autre part évoqué dans l'accident de décompression, ont des propriétés narcotiques à partir d'une certaine pression partielle. Le pouvoir narcotique dépend de la nature du gaz : l'argon et le diazote sont très narcotiques, de même que le dihydrogène à en croire la [Comex](#), l'hélium l'est beaucoup moins. La [narcose à l'azote](#) peut débuter dès 3,2 bars de pression partielle (soit 30 mètres de profondeur en respirant de l'air), et devient très dangereuse au-delà de 5,6 bars de pression partielle (60 mètres). Les réflexes s'amenuisent, l'esprit s'engourdit ; les facultés de jugement du plongeur sont altérées, au point de provoquer euphories, angoisses et comportements irraisonnés pouvant conduire à l'accident (on parle ainsi d'ivresse des profondeurs). À plus grande profondeur, la perte de connaissance survient inévitablement. La diminution de la pression partielle du gaz narcotique entraîne immédiatement la disparition de ces symptômes, sans autres séquelles (un plongeur narcosé peut ainsi se soustraire aux symptômes simplement en remontant de quelques mètres). La narcose est un phénomène complexe encore mal connu qui dépend de la nature du gaz, de sa masse moléculaire et de sa solubilité dans les liquides. On soupçonne également le rôle du [CO](#). Les conséquences peuvent être très variables d'une plongée à l'autre, et dépendent de facteurs favorisant tel que :

- état général
- forme physique
- froid
- stress
- pressions partielles des autres gaz : [O₂](#), [CO₂](#) (selon certaines théories)
- sensibilité individuelle

En fonction de la profondeur à atteindre, l'utilisation d'un « mélange » qui comporte de l'[hélium](#) ([trimix](#), [heliox](#), heliair, ...) permet de diminuer les effets de la narcose ainsi que les durées de décompression. D'autre part, il permet également de plonger à des profondeurs plus importantes. Il est aussi possible d'utiliser des mélanges dioxygène diazote comportant moins de 80 % de [diazote](#) en y ajoutant du [dioxygène](#), on parle de mélanges suroxygénés. Ces mélanges sont appelés [Nitrox](#) (de la contraction en anglais de nitrogen, l'azote, et d'oxygen, l'oxygène). Les mélanges Nitrox jusqu'à 40 % de dioxygène permettent de limiter la saturation des tissus en diazote lors de la plongée et sont utilisés de plus en plus couramment en plongée loisir en lieu et place de l'air. Ces mélanges sont distingués en fonction du pourcentage d'oxygène utilisé et du complément en azote : Nitrox 40 - 40 % O₂ et 60 N₂. Compte-tenu des problèmes de toxicité de l'oxygène, l'utilisation des mélanges suroxygénés impose une limitation de la profondeur de plongée : par exemple Nitrox 32 - profondeur maximale 33 m pour 1.4 bar de PpO₂ (valeur usuelle), profondeur maximale 40 m pour 1.6 bar de PpO₂ (valeur maximale recommandée par les organismes de formation). Les nitrox avec plus de 40 % de dioxygène sont généralement utilisés pour accélérer la désaturation des tissus en gaz inertes durant les paliers de décompression voire en surface, principalement par des plongeurs professionnels ou pour des plongées techniques.

L'hélium respiré à plus de 10 à 15 bars de pression partielle (au-delà de 120 mètres de profondeur environ selon le mélange utilisé) présente une autre forme de toxicité : le [syndrome nerveux des hautes pressions](#) (SNHP).

Le dioxyde de carbone [\[modifier\]](#)

Il existe également une intoxication au [dioxyde de carbone](#) (CO₂) appelée « essoufflement ». Elle peut survenir si la ventilation n'est pas suffisante, c'est pourquoi, lors d'un effort particulier (palmage vigoureux, ...) il est nécessaire de réaliser des expirations longues afin de « chasser » le plus de CO₂ possible. D'autre part ce phénomène d'essoufflement est largement aggravé par la profondeur, aggravation notamment liée aux pressions partielles. Un essoufflement à grande profondeur déclenche souvent une narcose associée, avec parfois perte de conscience, car l'augmentation de la ventilation pulmonaire provoquée par l'essoufflement provoque une augmentation très importante de la quantité de diazote absorbée.

La décompression [\[modifier\]](#)

L'augmentation de la pression ambiante cause la dissolution des gaz.

Lorsqu'un gaz se trouve en contact avec un liquide, il va s'y dissoudre progressivement jusqu'à atteindre une limite proportionnelle à la pression et dépendant des caractéristiques du gaz et du liquide en matière de solubilité, suivant la [loi de Henry](#). Si la pression augmente, de plus en plus de gaz se dissout dans le liquide. Si la pression diminue doucement, du gaz reflue vers la limite du liquide sous forme dissoute ou de micro-bulles. Si la pression diminue très rapidement, le gaz s'échappe de manière explosive et forme des bulles au sein du liquide (exemple de la bouteille de soda au moment de l'ouverture).

Le corps humain est essentiellement constitué de liquide, et est donc soumis au même phénomène d'absorption et de restitution des gaz. Seuls les gaz inertes ([diazote](#), [hélium](#), [dihydrogène](#), ...), non métabolisés par l'organisme, sont impliqués dans ce mécanisme pathologique. Le comportement du [dioxygène](#) et du [gaz carbonique](#) (dioxyde de carbone) obéit à des mécanismes physiologiques supplémentaires, qui font que ces gaz ne posent pas de problème du point de vue de la dissolution.

Lors de l'immersion, les gaz inertes diffusent dans le corps du plongeur (sang et tissus) et s'accumulent progressivement, et ce d'autant plus que la profondeur et la durée de la plongée augmentent. Lors de la remontée, si la pression baisse trop rapidement - comme pour la bouteille de soda - des bulles pathogènes vont atteindre une taille critique dans l'organisme. Suivant la localisation de leur apparition, ces bulles peuvent entraîner notamment des accidents circulatoires, des paralysies, des douleurs articulaires, que l'on regroupe sous le terme d'accidents de décompression. Si les vaisseaux sanguins au bas de la moelle épinière sont encombrés, il peut y avoir mort par [anoxie](#) de celle-ci, donc paraplégie. Le cerveau est aussi très sensible. L'enjeu pour le plongeur est de remonter suffisamment doucement pour que les bulles formées soient suffisamment petites pour être asymptomatiques.

Ces phénomènes ont été modélisés empiriquement, afin de proposer au plongeur des procédures de décompression en fonction de sa plongée. Ces procédures limitent la vitesse de remontée (entre 6 et 18 mètres par minute en fonction des procédures), et imposent des paliers (des temps d'attente sans remonter). Les procédures de décompression sont soit décrites sous forme de [tables](#), soit implantées dans un [ordinateur de plongée](#), soit dans des logiciels de simulation et ont fait l'objet de validations statistiques sur des populations de plongeurs. Ces procédures sont aujourd'hui fiables, et les accidents de décompression surviennent essentiellement à la suite d'un non-respect des procédures ou à une utilisation d'un protocole en dehors de son domaine de validité.

Toutefois, à ce jour, personne ne peut proposer de modèle satisfaisant permettant d'expliquer la décompression d'un plongeur. La recherche s'oriente actuellement sur l'évolution des « micro-bulles » dans le corps du plongeur, avec des résultats intéressants et une évolution vers des procédures de décompression plus optimisées, en diminuant le temps de décompression sans en dégrader la sûreté.

Danger de prendre l'avion [\[modifier\]](#)

Il est dangereux de prendre un avion dans les heures qui suivent une plongée pour éviter un accident de décompression potentiel. En effet, l'accident de décompression survient quand les micro-bulles circulantes atteignent une taille critique. Les protocoles de décompression sont conçus pour permettre de remonter et d'émerger en frôlant cette taille. L'intérieur d'un avion de ligne n'étant pressurisé en altitude qu'à environ 0,8 fois la pression atmosphérique au niveau de la mer (soit ~0,8 bar), le risque existe alors de voir le différentiel de pression (ambiante - interne aux tissus) dépasser la valeur critique, ce qui risque d'entraîner un accident.

Pour les mêmes raisons, il est déconseillé de monter rapidement en altitude après une plongée. Il est fortement conseillé de laisser un délai pouvant atteindre 24 heures.