

Choix des mélanges à utiliser lors d'une plongée profonde

Jean-marc Belin – mai 2001

jmbelin@ifrance.com

Ce document s'appuie sur un article publié sur le site britannique du 'Cave Diving Group' que j'ai traduit avec l'aimable autorisation de ses auteurs.

Cet article concerne la Contre diffusion isobare, mais au delà de ce phénomène, c'est tout le problème du choix des mélanges qui est concerné ; aussi bien pour la descente, que pour le fond, ainsi que pour la décompression et l'éventuelle thérapie à appliquer en cas d'accident.

Isobaric Counter Gas Transport

(the vestibular Bend)

par Fred Winstanley et Rupper Skorupka

<http://www.cavedivinggroup.org.uk/Articles/ICGT.html>

Lorsque nous avons appris la mort de Rob Parker, Fred Winstanley, le responsable technique du Cave Diving Group, écrivit ceci :

C'est avec une grande tristesse que j'ai appris le décès prématuré de Rob Parker. Bien que je ne l'ai rencontré que quelques fois, je conserve de lui l'impression d'une personne authentique, agréable et modeste, pleine du frisson de l'exploration.

Depuis, le temps a passé et la lumière s'est faite sur plusieurs détails concernant son profil de plongée et ceci peut nous donner quelques indications sur les causes probables de sa mort. Comme je l'ai compris, Rob terminait une plongée au trimix et il était sur le chemin du retour lorsque l'accident est survenu. La situation de détresse intervint après un passage à l'air à 60m de profondeur. Les symptômes affichés étaient les symptômes classiques de ce qui est connu sous l'appellation erronée d'accident vestibulaire.

Dans le début et jusqu'au milieu des années 60, les plongées commerciales de la mer du nord étaient des plongées 'aller - retour' à l'héliox, contrairement aux habituelles plongées à saturation. Les tables conçues pour ces procédures préconisaient un passage de l'héliox à l'air au environs de 24 mètres. Au moment du changement de mélange, certains plongeurs présentaient des signes de perte d'équilibre, des vertiges intenses ainsi que des nausées. Les symptômes étaient identiques à ceux de quelqu'un qui aurait eu une infection de l'oreille interne, et plus particulièrement des canaux semi-circulaires qui sont impliqués dans le contrôle de l'équilibre. Pendant de nombreuses années, on a cru que les

bulles responsables de l'accident apparaissaient dans la partie vestibulaire de l'oreille d'où le nom donné à ce type particulier de maladie de la décompression. Aujourd'hui, on pense que les bulles ne se forment pas dans cette région de l'organisme, mais dans le cervelet du cortex cérébral. Cette partie du cerveau, qui contrôle les muscles, reçoit des informations en provenance des canaux semi-circulaires de l'oreille d'où les symptômes apparents. Quelque soit l'endroit où se forment les bulles, le résultat est le même : instabilité sévère qui peut conduire à la tétraplégie pour ceux qui en survivent. On pense également que les symptômes apparents ne sont que les plus remarquables et qu'en réalité le cerveau subit un grave traumatisme avec formation de bulles très importante. Les plongeurs de la mer du nord effectuaient leur décompression en caisson et c'est pourquoi ils survivaient alors que dans l'eau, n'importe qui d'autre subissant un tel traitement, particulièrement au cours d'une plongée, aurait peu de chance de s'en sortir. Alors, qu'est-ce qui provoque la formation de ces bulles ? la réponse semble liée à un phénomène connu sous le terme de 'contre diffusion isobare'. Pour appréhender le mécanisme de ce phénomène, il est essentiel de comprendre la solubilité des gaz dans les tissus de l'organisme. Dans les tissus gras, l'hélium est deux fois plus soluble que l'oxygène, mais l'azote est deux fois plus soluble que l'hélium. Ceci signifie que les tissus de l'organisme se saturent à des degrés différents dépendant du gaz inerte respiré. La loi de Henry stipule que la solubilité d'un gaz dans un liquide est proportionnelle à la pression que le gaz exerce sur ce liquide. En d'autres termes, plus vous plongez profond, plus la quantité de gaz inerte dissoute dans votre organisme augmente. Mais rappelez-vous que les gaz sont solubles à des taux différents. Maintenant voyons à quoi cela nous mène dans le cas de Rob.

Au fur et à mesure que vous remontez, les gaz dépassent la saturation et ils sont évacués du sang

par les poumons. Cependant, si vous changez de gaz, et plus particulièrement si vous passez à un mélange riche en azote comme l'air, l'azote va se dissoudre dans les tissus plus vite que l'hélium ne pourra sortir et ceci va créer une situation de supersaturation, d'où les bulles d'hélium apparaissant dans le sang. L'apparition de ces bulles peut survenir sans qu'il y ait de variation de profondeur, d'où le terme isobare qui signifie 'même pression'.

Comment empêcher que cette situation ne survienne ? La réponse est relativement simple, durant la décompression ne laissez jamais votre pression partielle d'azote augmenter. Remontez avec votre trimix fond aussi près de la surface qu'il est possible de le faire en toute sécurité, et évitez de passer à l'air lors de la décompression, à la place, préférez l'utilisation du nitrox ou de l'oxygène pur. Il résultera de cette procédure un léger allongement du profil de décompression mais rappelez-vous : vous n'êtes qu'un effroyable mort en sursis'

Voici la réponse apportée par Ruppert Skorupka, plongeur qualifié du Cave Diving Group (section nord)

L'article de Fred Winstanley à propos de la contre-diffusion isobare, bien qu'instructif et généralement correct, est plutôt bref pour traiter d'un sujet aussi complexe. C'est pourquoi je vais essayer de fournir une explication plus détaillée des principes régissant ce phénomène (les plongeurs qui ne seraient pas intéressés par les détails de la physiologie de la plongée feraient mieux de laisser tomber afin d'éviter une crise d'ennui aiguë) Mon principal différent avec l'article de Fred est que nous parlons d'un phénomène régit par les principes de diffusion plutôt que ceux de la solubilité, et que l'endroit biologique où ils apparaissent se situent dans la membrane cellulaire plutôt que dans les tissus gras en général.

Plaçons nous du point de vue du neurone (cellule nerveuse dont une grande partie du cerveau est composée), et suivons avec attention la suite des événements lorsqu'au cours d'une remontée, on passe d'un mélange contenant une forte proportion d'hélium à un mélange contenant une forte proportion d'azote (les pressions partielles ne nous intéressent pas car l'observation se fait dans des conditions isobares). Une forte concentration d'azote est transportée en solution en un flot important par le flux sanguin. Une diffusion rapide s'ensuit via le milieu aqueux vers le fluide extra cellulaire qui entoure le neurone. Apparaît alors une situation dans laquelle deux compartiments aqueux sont séparés par la membrane cellulaire ; l'un contenant une forte proportion d'azote (extra-cellulaire), l'autre une forte proportion d'hélium

(intra-cellulaire). Le mécanisme par lequel l'équilibre est atteint, est une diffusion passive au travers de la membrane (uniquement générée par l'écart de concentration) jusqu'à ce que les concentrations soient égales dans les deux compartiments. La vitesse à laquelle chaque molécule peut passer au travers de la membrane cellulaire dépend de sa constante de perméabilité. Cette constante dépend de facteurs comme la taille de la molécule, son coefficient de diffusion et son coefficient de partition entre les lipides et le milieu aqueux de la cellule. C'est pourquoi, bien que les atomes d'hélium passent trois fois plus vite que les molécules d'azote, en terme de taux de diffusion, la molécule d'azote peut traverser la membrane cellulaire plus rapidement car elle a une constante de perméabilité plus importante.

Il résulte de ce flux de molécules traversant la membrane cellulaire qu'il y a plus de molécules d'azote qui entrent dans le cytoplasme qu'il n'y a d'atomes d'hélium qui en sortent.

Etant donné que la pression partielle de chaque composant d'un mélange gazeux se trouvant au dessus de la solution est directement proportionnel au nombre de molécules de ce gaz dissout dans la solution, il s'ensuit qu'au fur et à mesure de l'augmentation du nombre de molécules d'azote dans le cytoplasme, la pression partielle nécessaire pour éviter que ces molécules ne ressortent de la solution, augmente également.

Considérons la situation simplifiée d'un plongeur qui effectue sa décompression à -20 mètres (soit trois atms). Supposons qu'il arrive au palier avec, dans ses tissus, des pressions partielles de 2,5 atm d'hélium et 0,5 atm d'azote. 10 minutes après être passé à l'air, ces pressions partielles ont changées dues au phénomène de contre diffusion isobare ; elles sont désormais de 2,3 atms d'hélium et de 1 atm d'azote. Pour aucun des gaz la sursaturation n'est atteinte (aucun ne dépasse 3 atms). Mais, un principe crucial, est que ces pressions partielles se cumulent pour avoir tendance à former une phase gazeuse homogène. C'est ainsi que la formation de bulles va maintenant intervenir, soit de l'hélium, soit de l'azote, soit un mélange des deux (cela reste une question difficile). Le lieu de formation des bulles sera le cytoplasme de la cellule et non le flux sanguin, comme Fred le stipule. Ceci signifie simplement que les dommages causés aux neurones ne sont pas directement imputables au fait que la cellule soit privée d'oxygène et de nutriments du à l'occlusion des capillaires par la bulle, mais à la violente dislocation physique des mécanismes cellulaires internes. Si les troubles n'affectaient que le seul cervelet, le plongeur afficherait des symptômes très distinctifs de la maladie de la décompression. Le cervelet n'est pas directement à l'origine des mouvements, mais il agit en

influençant d'autres régions du cerveau responsables de l'activité motrice. L'endommagement du cervelet ne provoque la perte d'aucun mouvement en particulier bien que cela s'associe avec la dégradation générale de ce mouvement.

L'endommagement du cervelet peut causer au plongeur les symptômes suivants :

- Il ne peut plus accomplir les mouvements de façon harmonieuse, ils sont accompagnés de tremblements saccadés.
- Sa démarche est maladroite et titubante avec des difficultés à maintenir l'équilibre.
- Il ne peut pas effectuer ou arrêter de mouvement de manière facile et rapide.
- Il ne peut plus coordonner de façon harmonieuse, des mouvements impliquant plusieurs articulations.

Pour le plongeur effectuant sa décompression dans l'eau, le point de vue le plus important est l'échelle de temps au cours de laquelle ces événements apparaissent. Les symptômes peuvent être si sévères qu'il en résulte une mort par noyade dans les minutes suivant le changement de gaz.

Maintenant la question de savoir comment éviter cette situation doit être traitée en tout premier lieu. Manifestement, l'utilisation du trimix aura un avantage sur l'héliox car les cellules auront déjà une pression partielle d'azote interne, ce qui diminuera l'écart de concentration en azote des deux cotés de la membrane cellulaire après le changement de gaz.

Fred argumente pour ne jamais permettre à la pression partielle d'azote d'augmenter durant la décompression. Si la respiration se fait à l'héliox, cela impliquerait de mener toute la décompression à l'oxygène pur, l'azote n'étant pas autorisé. Considérons le cas d'un plongeur utilisant un trimix composé de 10% d'oxygène, de 50% d'hélium et donc de 40% d'azote. Par conséquent, pour maintenir une pression partielle d'azote constante durant la décompression, il lui faudrait passer à un nitrox 60%. Et dans le but d'éviter une toxicité aigüe de l'oxygène durant la période de décompression, il est nécessaire de conserver une PpO_2 inférieure à 1,6 atms. Aussi, pour respecter cette PpO_2 de 1,6, il ne serait pas envisageable de changer de mélange au dessous de 17 mètres. Il s'ensuit que notre plongeur ne pourrait pas se séparer de son mélange fond tant que cette profondeur ne serait pas atteinte. Il en résulterait une augmentation considérable (voire insupportable) des paliers profonds.

Le consensus actuel recommande de passer au nitrox aux environs de 30 mètres. Cette profondeur se situe à un point optimal où la PpO_2 qui peut être tolérée en toute sécurité est suffisamment élevée pour réduire la PpN_2 de notre mélange à un niveau relativement proche de la PpN_2 de notre trimix (dans notre cas, une PpN_2 de 0,4 à comparer à la valeur approximative des 0,8 de l'air). De plus, en maximisant la PpO_2 nous bénéficions du phénomène connu sous le nom de 'fenêtre d'oxygène'. De façon simple, c'est le mécanisme par lequel l'oxygène dissout dans le sang est absorbé et métabolisé par nos cellules de préférence à celui présent sous forme combinée avec l'hémoglobine qui ne contribue absolument pas à la PpO_2 . Aux pressions partielles élevées, c'est le pourcentage prédominant de l'oxygène inspiré.

Au fur et à mesure que cet oxygène est métabolisé, il ouvre dans les tissus, une fenêtre qui permet aux autres gaz inertes d'augmenter leur pression partielle sans qu'il y ait formation de bulles. A la lecture des comptes rendu relatant des exploits de plongées passées, il devient évident que certaines pratiques effrayantes utilisées pour la décompression, acceptaient le bend vestibulaire comme un risque potentiel inévitable. Le problème fut évalué par Jochen Hassenmayer durant ses plongées à Fontaine du Vaucluse.

Malheureusement les détails des procédures de décompression restèrent secrètes. Il est probable que le bend vestibulaire frappe avec la même forme de distribution aléatoire que la maladie de la décompression en général, devenant plus fréquente lors des expositions extrêmes, sans que cela se limite à ces seuls cas et sans que ce soit non plus une conséquence inévitable du changement de mélange à grande profondeur. Ce qui est probable c'est que dans passé, à cause d'une totale ignorance des faits concernant la diffusion isobarique des gaz, ou à cause de l'ignorance même de son existence, plusieurs décès ont été attribués à tort à d'autres facteurs comme une narcose sévère à l'azote durant la décompression. Par exemple, si on se réfère à la publication américaine 'plongée aux mélanges' de Mount et Gilliam, on ne trouvera pas une seule référence au bend vestibulaire ni à la contre diffusion isobare dans tout le livre.

Heureusement le futur nous permettra de continuer à éviter les accidents en tenant compte des erreurs de nos prédécesseurs. C'est grâce à eux que nous améliorons nos techniques et par là même évitons la triste répétition des tragédies passées.

Discussion

Dans le domaine de la plongée aux mélanges, de nombreuses recherches ont été effectuées mais la publication de travaux directement utilisables reste limitée et la littérature confidentielle.

J'ai choisi de traduire ce document car, en quelques pages, il donne une explication détaillée et logique des phénomènes liés aux changements de mélanges respiratoires utilisés en plongée. Il est difficile de savoir si les informations données dans ce document peuvent être considérées comme exactes ; il existe tant d'articles dont le contenu est désuet ou erroné. D'ailleurs, dans notre cas de changement de gaz, d'autres personnes consultées sur le sujet, affirment qu'il existe de vrais accidents vestibulaires vérifiables et reproductibles.

Seuls la recherche, l'échange et le recoupement d'informations permettront de progresser dans la compréhension des phénomènes. Car c'est la compréhension des phénomènes qui nous permettra de passer de la mixture artisanale expérimentale à de vrais choix de mélanges régit pas des règles et des lois cartésiennes.

Mélange fond, Trimix ou HélioX ?

Lors d'une plongée aux mélanges, en plus des lois déjà assimilées comme la toxicité de l'oxygène, le pouvoir narcotique de l'azote et l'augmentation de la viscosité des gaz avec la profondeur, il va falloir prendre en compte de nouvelles règles applicables lors des changements de gaz respiratoires.

Au cours d'une plongée, il semble qu'on puisse passer sans risque d'un mélange riche en azote à un mélange riche en hélium. Ceci est d'autant plus vrai que cette pratique s'effectue lors de la descente, donc ce changement s'accompagne d'une augmentation continue de la pression ambiante et provoque ainsi une 'sous-saturation' des gaz inertes qui va dans le sens de la sécurité. Cette pratique est courante et aucun compte rendu n'a jamais mentionné d'incident impliquant ce moment précis de la plongée.

L'inverse ne se fait pas sans risque. Le passage d'un mélange riche en hélium à un mélange riche en azote peut provoquer un dysfonctionnement grave au niveau de la membrane cellulaire des neurones. De plus, ce phénomène de contre diffusion isobare s'accompagne d'une formation importante de bulles. Ce phénomène est d'autant plus rapide et violent que le changement de gaz aura été réalisé à grande profondeur. Pour que ce phénomène ait lieu, il faut qu'on passe d'un gaz à diffusion rapide, à un gaz fortement soluble. C'est

le cas qu'on rencontre lorsqu'on passe de l'hélioX à l'air au cours de la remontée d'une plongée profonde.

Une des façons de minimiser ce processus est de préférer le trimix à l'hélioX ; En effet l'azote contenu dans le mélange fond permettra de réduire l'écart entre le pourcentage d'azote de ce mélange et celui contenu dans le mélange de décompression. De plus, si il doit y avoir augmentation du pourcentage d'azote respiré, on cherchera à effectuer le changement à des pressions les plus faibles possibles (donc à des profondeurs plus proches de la surface).

De plus, si on prend en compte l'aspect calorifique, la balance penche encore un peu plus en faveur du trimix.

Pourcentage ou pression partielle ?

Dans la première partie de l'article Britannique, Fred Winstanley préconise de ne jamais utiliser l'air pour la décompression et de choisir son mélange de décompression de sorte à ne pas augmenter la PpN₂. Tandis que dans la deuxième partie de l'article, Rupert Skorupka indique que les indications de Fred sont trop contraignantes et qu'il est acceptable d'augmenter la PpN₂ de façon modérée et à des profondeurs 'raisonnables', comme de passer d'un trimix contenant 40% d'azote à un nitrox 40% (soit 60% d'azote) à la profondeur maxi de sécurité de 30 mètres (afin de conserver une PpO₂ inférieure à 1,6 bar). Mais dans le cas de plongées très profondes, le fait de remonter jusqu'à 30 mètres avec son mélange fond risque fort d'impliquer des paliers profonds très longs.

Pour justifier les choix, on cite parfois les pressions partielles et d'autres fois le pourcentage du gaz dans le mélange. Alors qu'en est-il ?

Prenons l'exemple fictif d'un plongeur qui utilise un trimix 14/50/36 (soit 36% d'azote) à une profondeur de -90 mètres (soit environ 10 bars de pression absolue). A saturation, la PpN₂ serait de $0,36 * 10 = 3,6$ bars. Faisons abstraction de sa décompression et voyons ce qui se passe lors de la remontée jusqu'à -30 mètres. La PpN₂ sera inférieure à 3,6 car on ne plonge pas à saturation et on a commencé à éliminer les gaz inertes lors de la remontée jusqu'à -30m. Admettons que la PpN₂ soit de 3 bars. Si on raisonne en terme de pression partielle, ce qui devrait être fait, on serait autorisé à permuter pour un mélange dont la teneur en azote donnerait 3 bars de pression partielle à -30 mètres, soit un mélange contenant 75% d'azote ; $0,75 * 4 = 3$ bars. A peu de chose près, on pourrait prendre de l'air (80% d'azote). A fortiori, un nitrox 40% serait

un plus (60% d'azote et une $PpN_2 = 0,6 * 4 = 2,4$ bars).

Cela signifie que lorsqu'il arrive à -30 mètres, notre plongeur est 'sur-saturé' en hélium et en azote. Il marque donc des paliers pour contenir cette sur-saturation dans des limites acceptables qui permettent aux gaz de s'éliminer par diffusion sans reprendre leur phase gazeuse, ce qui compromettrait une bonne décompression. Soudainement, il change de mélange respiratoire. L'air respiré dorénavant ne comporte plus d'hélium, ce qui va en accélérer l'élimination. Par contre le pourcentage d'azote passe de 40% à 80% mais le nouveau surplus d'azote n'entre pas dans l'organisme car la PpN_2 'entrante' n'est pas supérieure à la PpN_2 qui règne dans l'organisme ??? En procédant ainsi, on empêcherait donc le phénomène de contre diffusion isobare. Mais, si on accélère l'élimination de l'hélium, on ralentit l'élimination de l'azote (en diminuant l'écart des pressions partielles entre le milieu intérieur et extérieur).

Une autre façon de voir les choses est de considérer que le phénomène de contre diffusion isobare intervient à pression constante et que les données à prendre en compte sont les pourcentages de chaque gaz et non les pressions partielles.

En reprenant l'exemple précédent, à -30m, il serait donc souhaitable d'abandonner le trimix fond pour un mélange comportant le même pourcentage d'azote (soit 36%) ou un pourcentage légèrement supérieur.

Déco Nitrox ou déco trimix ?

Aussi existe-t-il un compromis qui serait d'utiliser pour la décompression des trimix qui auraient le même pourcentage d'azote (ou légèrement supérieur) que le mélange précédent. Dans ces trimix de décompression, une partie de l'hélium serait remplacé par de l'oxygène, nous verrons un exemple plus loin. La contre diffusion isobare est évitée, l'élimination de l'hélium est accélérée par diminution du pourcentage d'hélium dans le nouveau mélange respiré et l'élimination de l'azote se poursuit au même rythme car le pourcentage reste identique.

Ce qui nous amène à la dernière règle qui est d'effectuer ses derniers paliers à l'oxygène pur (à partir de 6 mètres) car c'est la seule façon d'accélérer en toute sécurité l'élimination de tous les gaz inertes (hélium et azote). La toxicité

pulmonaire de l'oxygène n'intervenant qu'à partir de durées rarement atteintes en plongée loisir.

Tout le problème peut donc se résumer à la recherche des mélanges intermédiaires qui nous permettront de remonter à partir de notre trimix fond jusqu'à la profondeur de -6 mètres où on terminera les paliers l'oxygène pur.

Mises en application

les exemples qui suivent ne sont que des exercices théoriques utilisés pour concrétiser la mise en pratique des processus explicités ci-dessus. Dans la pratique d'autres contraintes pourront survenir qui obligeront à certaines adaptations. Le matériel disponible pourra orienter vers un Héliair plutôt qu'un trimix optimisé, de même qu'une logistique légère obligera à limiter le nombre de mélanges disponibles, et en plongée souterraine, on ne choisit pas le profil de sa plongée.

Les principes généraux demeurent, mais chaque plongée devra inclure une analyse des gaz à utiliser. Il y aura toujours plusieurs solutions faites de compromis.

La première chose à faire sera de déterminer la composition du mélange fond.

Celui-ci sera constitué d'un pourcentage d'oxygène donnant une pression partielle d'environ 1,4 bar à la profondeur maxi d'utilisation. Le pourcentage d'azote sera calculé de sorte à obtenir une pression partielle d'environ 3,6 bars à la profondeur maxi d'utilisation (pour conserver une bonne aisance respiratoire et éviter l'effet narcotique de ce gaz). Le complément sera réalisé avec l'hélium.

Pour la technique de fabrication, il existe de nombreux outils maison sur lesquels on peut s'appuyer.

En effet, on ne va pas acheter de l'azote alors que l'air en contient 80%. Par contre, lorsqu'on va ajouter de l'air, on va également ajouter de l'oxygène. C'est pour calculer la part de l'oxygène pur et celle contenu dans l'air que ces petits logiciels sont bien utiles.

Par contre, si on ne dispose pas de blocs dégraissés, on peut réaliser de l'Héliair. La technique est plus simple mais elle ne permet pas de réaliser toutes les combinaisons de mélanges souhaités. On obtiendra souvent un mélange peu oxygéné avec une forte concentration en hélium. Ce mélange ne favorise pas l'optimisation de la décompression.

Exemples

Pour les exemples qui suivent, les paramètres suivants ont été utilisés :

- Temps fond 15 minutes
- PpO_2 max = 1,4 bar
- PpO_2 min = 0,17 bar
- PpN_2 max = 3,6 bar (soit l'équivalent d'une plongée à l'air à 35 mètres)
- Vitesse de descente et de remontée = 10 mètres/min
- On compte 2 minutes à profondeur constante pour chaque changement de gaz
- Profil géré avec le logiciel GAP
- Conservatisme par la méthode des paliers profonds (GF = 0,6 et 0,7)

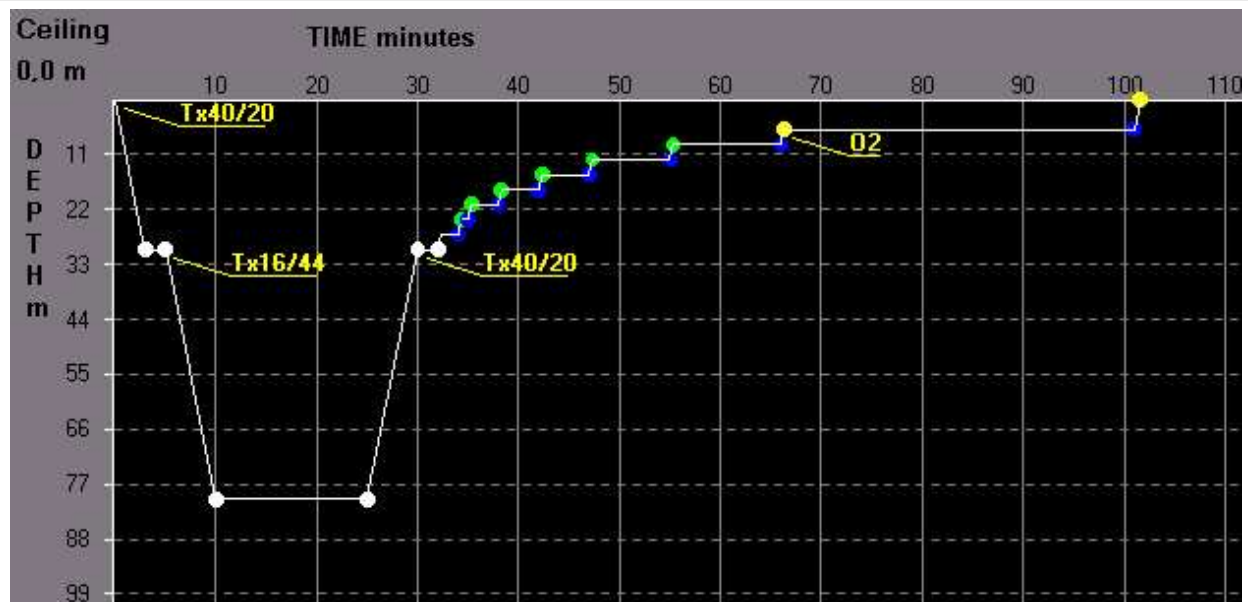
Plongée à 80 mètres

Mélange fond : trimix 16% O_2 , 44% He, 40% N_2

Descente possible avec le mélange fond, mais il peut être préférable de partir de la surface avec un des mélanges qui servira à la décompression.

La remontée jusqu'à -6 mètres peut se faire avec le trimix fond mais les paliers seront longs. Dans ce cas, il peut être préférable d'opter pour un mélange intermédiaire :

- Soit un nitrox 40% qu'on prendra à -30 mètres, mais dans ce cas le pourcentage d'azote contenu dans les mélanges respirés passera de 40% à 60%
- L'autre solution est d'opter pour un trimix 40/20 qu'on prendra également à -30 mètres mais qui aura l'avantage de ne pas faire varier la PpN_2 lors du changement de gaz.
- Oxygène pur à -6 mètres



Plongée à 130 mètres

Mélange fond : trimix 10% O₂, 64% He, 26% N₂

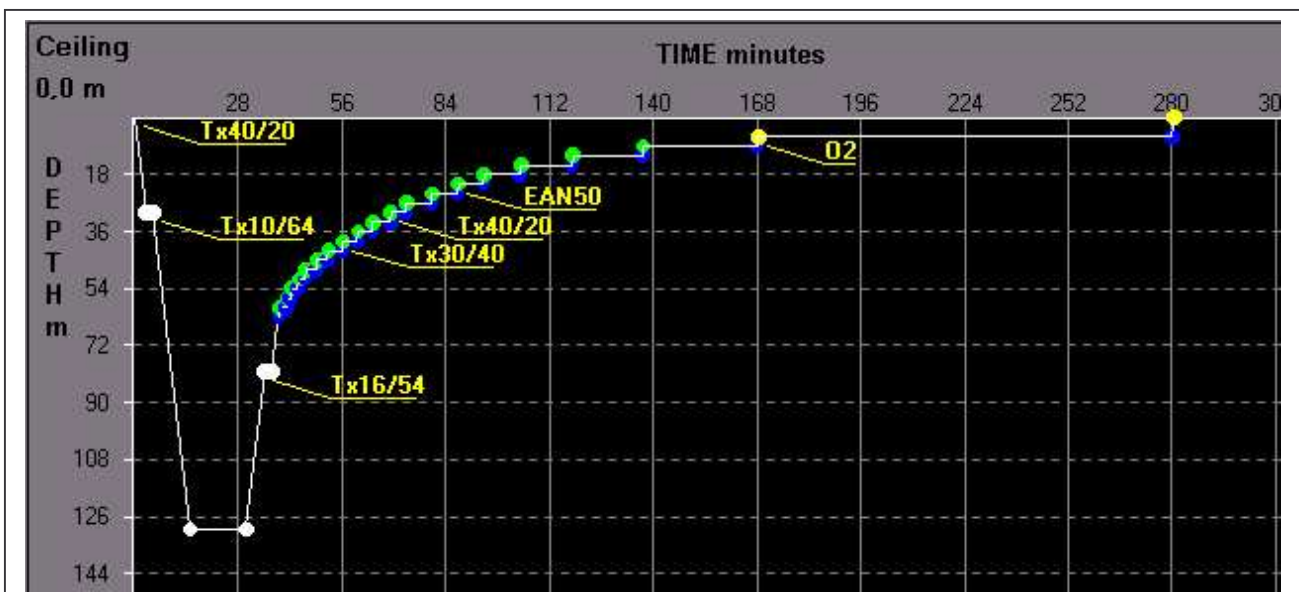
Descente impossible avec le mélange fond, il faudra donc partir avec un mélange comportant au moins 17% d'oxygène, il pourra s'agir d'un des mélanges qui servira à la décompression.

La remontée jusqu'à -6 mètres ne peut se faire avec le trimix fond. Il faudra donc prévoir un, ou plusieurs, mélanges intermédiaires de plus en plus oxygénés au fur et à mesure qu'on se rapproche de la surface. Plus on aura de mélanges, plus la décompression sera raccourcie, mais la logistique s'alourdira. Il faut également prendre en compte le fait que notre trimix fond ne comporte que 26% d'azote et qu'il ne faut pas que les mélanges intermédiaires ne fassent trop varier ce pourcentage (du moins dans les zones profondes).

- On pourra opter pour un trimix 16/54% qu'on prendra à -80 mètres, dans ce cas le pourcentage d'azote contenu dans les mélanges respirés passera de 26% à 30%
- à -30 mètres, on passera sur un trimix 40/20 qui aura l'avantage de ne pas faire trop varier la PpN₂ lors du changement de gaz (de 30% à 40%).
- Oxygène pur à -6 mètres



En augmentant et en optimisant le nombre de mélanges disponible pour la décompression, on raccourci les temps de palier (d'environ 1h)



La décompression

Les tables utilisées dans le cadre des plongées aux mélanges sont des tables issues de la plongée professionnelle. Elles s'échangent 'sous le manteau' entre initiés. En plus de la difficulté pour se procurer ces secrets des dieux, il faut savoir qu'elles ont été établies pour des mélanges pré-déterminés et étaient prévues pour être appliquées avec des procédures 'professionnelles' difficilement transposables à la plongée loisir (ex : oxygène pur à 12 mètres).

Une autre solution est de se tourner vers les logiciels disponibles sur le marché (Zplan, Abyss, décoplaner, GAP, ...). Certains logiciels sont gratuits, d'autres sont payant. De toute façon il ne vous éviterons pas la nécessaire compréhension du modèle sur lequel ils sont bâtis, ni la longue réflexion concernant les mélanges à utiliser, le conservatisme à mettre en place, etc. Mais ils vous aideront à comparer différentes options, à suivre la toxicité de l'oxygène, à vérifier graphiquement que vous ne dépasser pas les tolérances que vous vous êtes fixées et à calculer votre profil de décompression.

Attention !!!

Les résultats fournis par ces logiciels n'ont pas subis la même validation que les tables (voir pas de validation du tout).

Concernant la contre diffusion isobare, les logiciels actuels ne prennent pas en compte ce phénomène physique qui nécessiterait un calcul et un contrôle particulier lors de chaque changement de gaz. Les équations donnant la valeur des flux entrant et sortant existent, mais elles ne sont pas encore introduites dans les programmes. Cela viendra certainement, mais en attendant, il faut être conscient que les calculs peuvent être faussés et qu'il faut être vigilant lorsqu'on 'joue' avec ce processus.

Les seuls échanges qu'on peut se permettre sans risque sont ceux qui consiste à remplacer un gaz inerte par de l'oxygène, à la condition de rester dans certaines limites de pression partielle.

Modèles de décompression

Il y a encore peu de temps, tous ces logiciels s'appuyaient sur des algorithmes Haldane/Bühlmann (voir articles sur les M_values et sur 'éléments de calcul de soft').

Depuis peu il existe des algorithmes reposant sur les travaux de Yount. La base de ces travaux est l'étude statistique des noyaux gazeux et de leurs évolutions lorsqu'ils sont soumis aux contraintes de la plongée (compression – décompression). Cette théorie de la perméabilité variable de l'enveloppe de la bulle (VPM) a donné naissance à des logiciels reprenant partiellement cette théorie (RGBM de Wienke) ou, plus récemment, à un logiciel diffusé librement qui aurait été largement complété par le fruit d'un travail commun et qui prendrait en compte tous les aspects de la plongée jusqu'alors ingérables (multi-niveau, profil inversé, multi-plongée quotidienne, multi-gaz, ...). Mais il n'est pas sur que cette merveille ait été testée.

Dans un avenir proche, nous aurons certainement à disposition des tables 'sécurisantes' établies pour quelques mélanges prédéfinis et pour quelques profondeurs spécifiques. Ces tables seront sans doute très utiles mais elles ne répondront pas à toutes les configurations de profils et de mélanges.

Je reste persuadé que les logiciels seront la solution. Même si la physique des bulles et la physiologie humaine sont plus difficiles à modéliser qu'une trajectoire interstellaire, la persévérance des hommes nous permettra d'avoir les outils dont nous avons besoin.