

Les GRADIENT FACTORS Les GF LOW et GF HIGH

Sommaire :

Les bases de la décompression

Saturation de tissus et plafond d'ascension

Les M-values

Les facteurs de gradients

Applications pratiques et bonnes habitudes de plongée

Bases de la décompression

Commençons par l'essentiel : Un plongeur descend en profondeur et respire l'air comprimé de sa bouteille. L'air contient de l'azote, qui, en tant que gaz inerte, se dissout dans les tissus du plongeur.

Lorsque le plongeur commence à remonter, la pression ambiante diminue et l'azote dissous transite à partir des tissus et passe dans le sang, puis vers les poumons et quitte définitivement le corps, ceci à chaque cycle de l'expiration.

En plongée loisir, on ne fait habituellement pas de plongées à décompression. Les plongeurs sont censés rester dans les limites de plongée sans palier. Cette limite de plongée sans palier est indiquée dans les tables de plongée et les ordinateurs. Cette information est généralement suffisante pour la plupart des plongeurs.

Mais que se passe-t-il quand le plongeur dépasse cette limite et qu'il commence à accumuler un temps de décompression?

Saturation de tissus et plafond d'ascension

Lors d'une plongée avec décompression, nous avons toujours un plafond invisible au-dessus de nous. Ce plafond est situé à la profondeur à laquelle on peut remonter sans avoir de symptômes de maladie de décompression / ADD (en général). Le plafond est basé sur la quantité de gaz inerte dissous dans les tissus.

La figure 1 représente un profil de plongée typique à palier de décompressions multiples. Avant la plongée, votre «plafond» est en fait à une profondeur positive (au-dessus de la surface), ce qui signifie que vos tissus peuvent tolérer un certain gradient de surpression. Au plus le temps passé en plongée augmente au plus la profondeur de plafond descend et commence à limiter la possibilité d'ascension, générant la nécessité de faire des paliers de décompression. Les ordinateurs de plongée indiquent le plafond comme la profondeur de décompression requise.

Fig 1

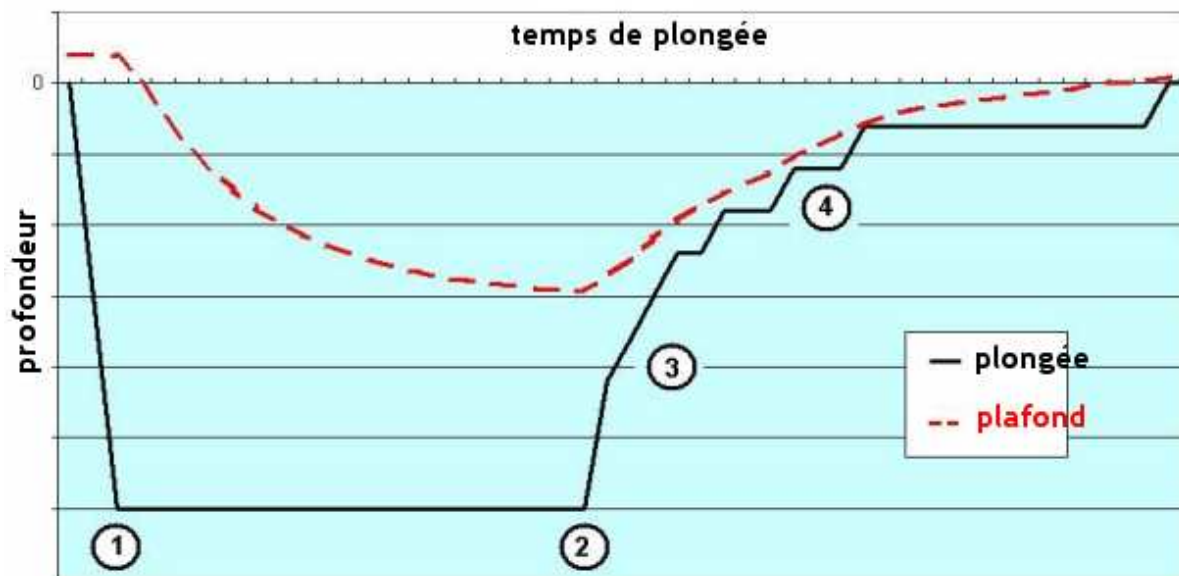


Figure 1: Profil de décompression type de plongée, avec la ligne du plafond visible en pointillé. Les chiffres représentent différentes phases de la plongée (voir aussi dans les phases Figure 2).

Lorsque l'ascension commence, le plongeur ne peut pas remonter au-dessus du plafond, sans risquer une maladie de décompression. Les paliers de décompression sont clairement visibles dans le profil de plongée de la figure 1. Plus on va vers le plafond, plus la marge de sécurité diminue. La profondeur plafond n'est pas une indication de saturation ou désaturation de gaz. En effet, Bühlmann utilise 16 compartiments de tissus pour modéliser un gaz inerte se dissolvant dans notre corps. La profondeur du plafond indique qu'une chute de pression dans le compartiment directeur ferait courir un risque d'accident de décompression.

La figure 2 ci-dessous illustre ces 16 compartiments de tissus pendant la plongée présentée dans la Figure 1.

Un compartiment tissulaire (TC) a atteint son point de saturation quand il est rempli à 100%. Au cours de la phase d'ascension, un TC peut être sursaturée (supérieur à 100%). La clé de la décompression est d'évacuer le gaz dissous dans les tissus, mais pas trop rapidement afin d'éviter la formation de bulles dans les tissus et le sang.

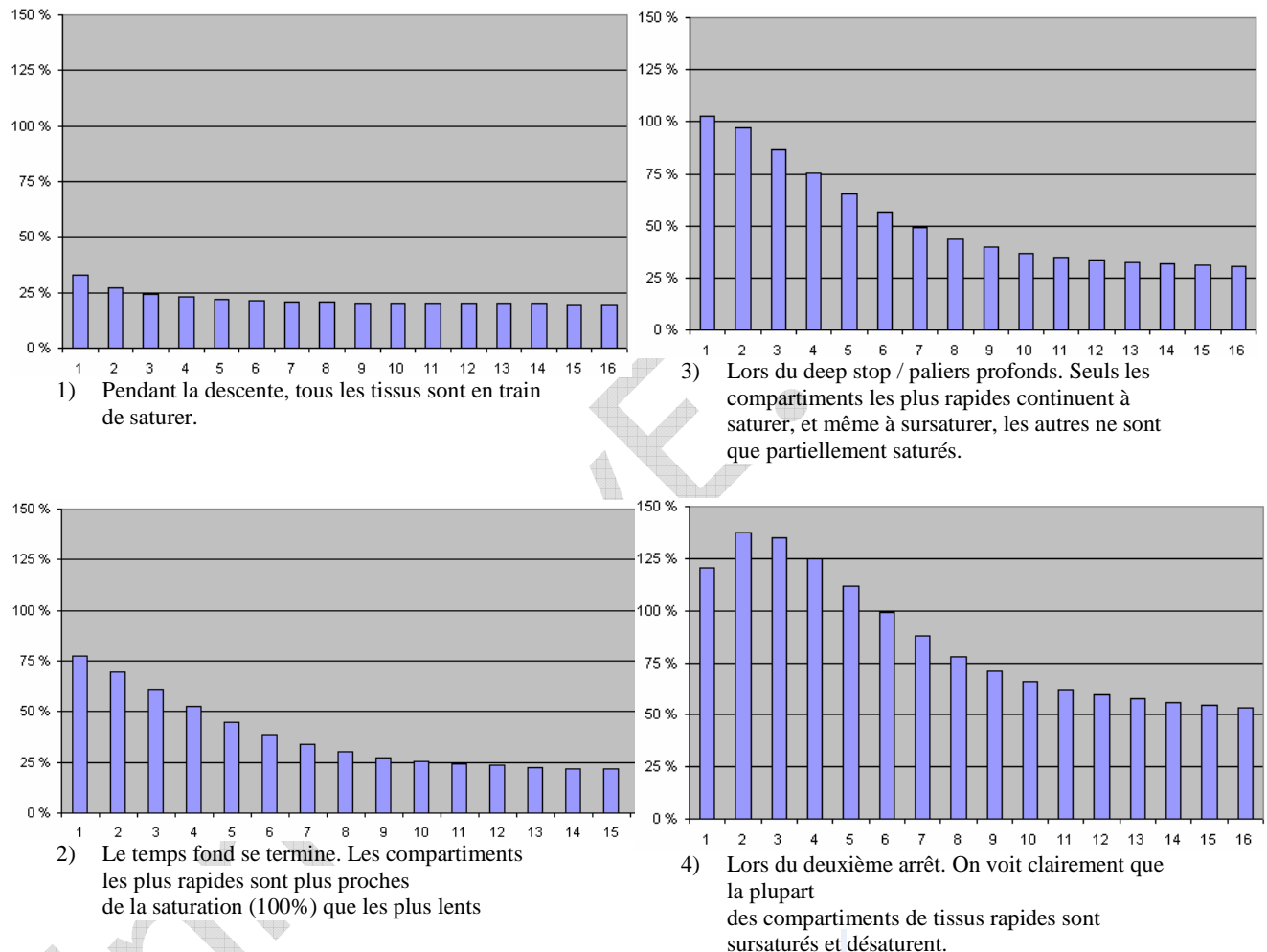


Figure 2: Un exemple de charge de gaz inerte dans les tissus. La pression dans le compartiment de tissu est indiquée en pourcentages, 100% étant la pression ambiante.

La quantité de gaz dissous, et plus particulièrement la pression partielle de gaz inerte dissous dans nos tissus, tend à suivre la pression ambiante à laquelle nous sommes pendant la plongée. Plus la différence de pression est grande (gradient de pression par exemple), plus rapidement le gaz se dissout, ceci dans les deux sens. Ceci conduit à une question évidente: Pourquoi ne pas simplement remonter? Quelles sont les limites de la sursaturation, et comment sont-elles définies ?

M-values

Retour à l'histoire : Robert Workman a introduit le terme M-value (Valeur M), ce qui signifie le maximum de pression de gaz inerte tolérable sans risque d'ADD dans un compartiment de tissu hypothétique.

Haldane à découvert dans ses recherches que la M-value est 2, et Workman l'a affinée pour obtenir 1,58 (ce nombre vient du changement de pression de 2 ATA à 1 ATA, et en tenant compte du fait que l'air contient 79% des gaz inertes, principalement l'azote).

Workman a déterminé les M-values en utilisant des profondeurs (les valeurs de pression) au lieu des ratios de pression, et les a ensuite utilisées pour former une projection linéaire en fonction de la profondeur. La pente de la ligne M-value est appelée M (delta-M) et il représente le changement de M-value avec une modification en profondeur (pression de profondeur).

Bühlmann utilisé la même méthode que Workman pour exprimer les valeurs de M, mais au lieu d'utiliser la pression de profondeur (pression relative), il a utilisé la pression absolue, qui est de 1 ATA supérieur à la profondeur. Cette différence est illustrée à la figure 3, où la ligne M-value de Workman est au-dessus de la ligne M-value de Bühlmann.

Fig 3

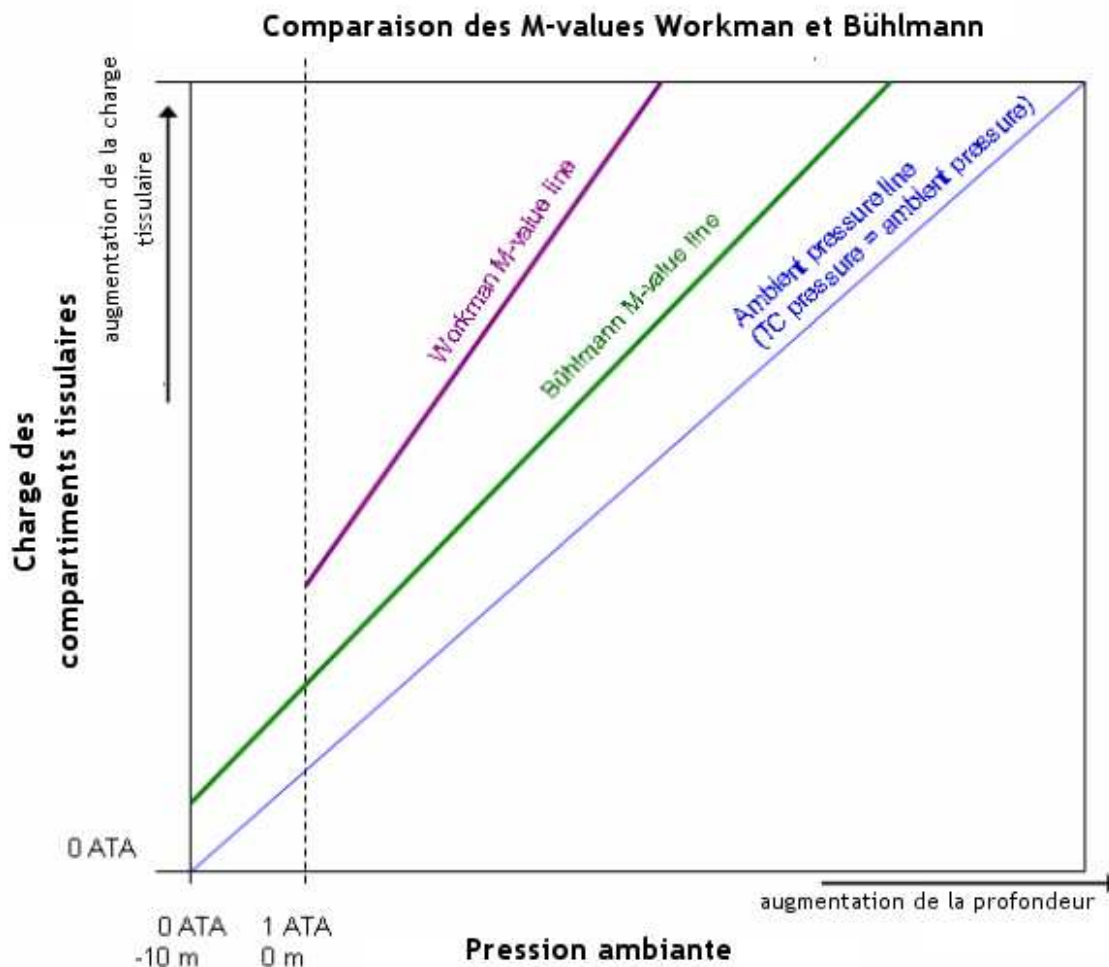


Figure 3: Comparaison des différentes lignes M-values.

La figure 3 montre une comparaison entre les lignes de M-value Workman et Bühlmann. Une explication plus détaillée peut être trouvée dans les références*, mais il est facile de repérer les grandes différences : La ligne de M-value de Workman est plus raide que celle de Bühlmann, il y a également moins de marge de sécurité. Les M-values de Workman permettent également une sursaturation plus élevée que celle de Bühlmann.

Pour rendre les choses encore plus complexe, il convient de noter que tandis que les M-values varient selon les compartiments / tissus, deux ensembles de M-values sont également utilisées pour chaque TC; Les valeurs M0 (indiquant la pression en surface) et les M-values de rapport de pression/ ΔM , Workman a défini la relation de ces différentes M-value comme:

$$M = M_0 + \Delta M \times d$$

Où:

M = limite de pression partielle pour chaque TC (en unités ATA)

M0 = limite de pression partielle au niveau de la mer pour chaque TC (ATA)

ΔM = augmentation de M par la profondeur, défini pour chaque TC (ATA / m)

d = profondeur (m).

Ces ensembles de valeurs sont répertoriées dans les références*. Cependant, elles concernent la même chose :

Un maximum autorisé de surpression des compartiments de tissus. Il est également important de savoir, que la maladie de décompression ne suit pas exactement les M-values. En effet le risque d'ADD commence dès que l'on se rapproche de la droite des M-value, même sans la dépasser.

Les facteurs de gradient

Les facteurs de gradient sont destinés à offrir des paramètres de conservatisme pour le modèle de décompression Bühlmann

Comme mentionné dans le chapitre précédent, la ligne de M-value fixe une limite qui n'est pas censé être dépassée pendant la remontée et la décompression. Toutefois, comme aucun modèle de décompression ne peut prévenir tous les cas d'ADD, et parce qu'il n'y a pas deux plongées ni deux plongeurs identiques, une marge de sécurité supplémentaire doit être appliquée.

Comme le montre la figure 3, la montée et la décompression se passent entre la ligne de M-value et ligne de la pression ambiante. D'une part la pression de gaz inerte dans les compartiments des tissus doit dépasser la pression ambiante afin de permettre le dégagement gazeux. D'autre part, nous ne voulons pas nous approcher trop près de la ligne M-value pour des raisons de sécurité. C'est ici que les facteurs de gradient définissent le conservatisme.

Le facteur de gradient définit la quantité de sursaturation de gaz inerte dans les tissus de premier plan d'un compartiment. Ainsi, GF 0% signifie qu'il n'y a pas de sursaturation se produisant, la pression partielle de gaz inerte étant égale à la pression ambiante dans le compartiment directeur. Mais il n'y a pas non plus désaturation (Attention : Le TC directeur n'est pas nécessairement le TC le plus rapide !). GF 100% signifie que la décompression se fait dans une situation où le TC directeur est sur sa ligne de M-value Bühlmann et le risque d'ADD est de loin supérieur au suivi de la ligne de GF bas. (Remarque: Parfois et en particulier dans les équations et les calculs, les GF peuvent être numérotés de 0,00 à 1,00 lieu d'un pourcentage. Toutefois, c'est la même chose que 100% = 1)

Certains plongeurs n'aimaient pas l'idée d'utiliser un seul et même facteur de conservatisme tout au long de la remontée (Mais c'est parfaitement réalisable). Donc au lieu d'avoir un seul GF pendant la remontée, il a été créé un second facteur de conservatisme. Nous avons donc deux facteurs GF : « GF Low » et « GF high » (GF bas et GF Haut). Le facteur de gradient

bas définit le premier palier de décompression, tandis que le facteur de gradient haut définit le dernier palier. En utilisant cette méthode, le GF change tout au long de l'ascension. Ceci est illustré à la figure 4, où le GF bas et le GF Haut forment du début à la fin une ligne de facteur de gradient. Dans ce graphique, la décompression commence au moment où la pression de gaz inerte dans les TC du plongeur atteint 30% de la distance entre la ligne de la pression ambiante et la ligne de M-value, Puis le plongeur attend que la pression partielle du gaz saturé baisse suffisamment dans le TC directeur pendant cet arrêt avant de reprendre son ascension jusqu'au prochain arrêt, qui a un GF un peu plus élevé que le précédent. Ces deux valeurs GF sont souvent indiquées en % comme «GF-Bas/ GF Haut", par exemple, GF 30/80, où 30% est le GF bas et 80% le GF haut

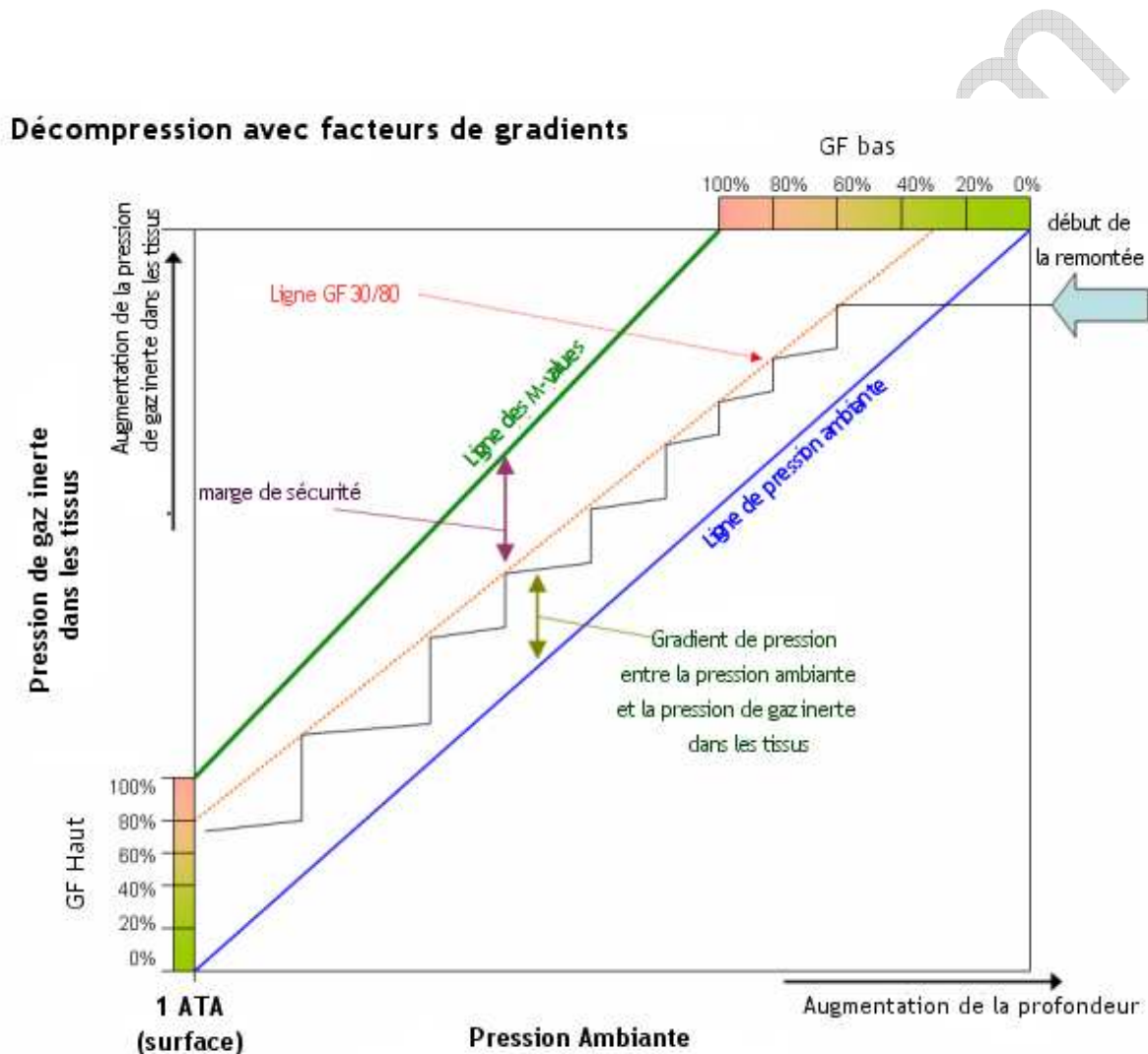


Figure 4: Modèle d'un tissu de décompression.

Le Graphique commence en haut à droite et va vers la gauche en descendant, La pression maximale du tissu directeur reste entre la ligne de la pression ambiante et les facteurs de gradients hauts et bas définis. La marge entre les GF définis et la droite des M-values représente la marge de sécurité pour la décompression. Une décompression basée sur un Bühlmann suivrait la ligne de valeur M (GF 100/100).

Applications pratiques et bonnes habitudes de plongée

Il faut savoir que les plongeurs ne sont pas tous égaux vis-à-vis de la décompression. Ainsi, aucun modèle de décompression ne peut éviter aux plongeurs d'avoir un accident. La ligne des M-values n'est pas une ligne pure et dure entre « pas d'ADD » et « avoir un ADD à coup sûr ». En fait, la science de la décompression moderne a prouvé qu'il pouvait y avoir des bulles présentes dans nos tissus, même quand il n'y a pas de symptômes d'ADD après une plongée. Par conséquent, les valeurs M ne représentent pas une situation sans bulles, mais une valeur tolérable de bulles «silencieuses» dans les tissus.

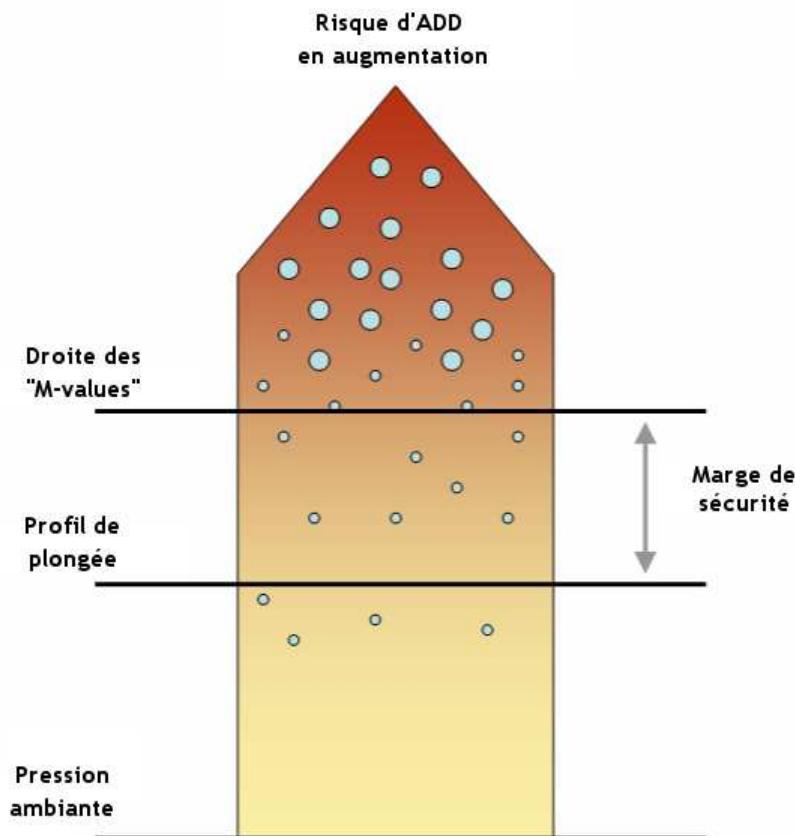


Figure 5: Des bulles silencieuses sont présentes dans nos tissus, même si aucun symptôme d'ADD n'est présent. Il est important de connaître la marge de sécurité personnelle et la susceptibilité individuelle à l'ADD.

Il est important de comprendre que certaines plongées et des personnes différentes peuvent avoir besoin de marges de sécurité différentes. Selon les types de plongées et les différents plongeurs, des facteurs de gradient différents sont utilisés.

Prenons un exemple:

Un plongeur va rester 20 minutes à 50m, en utilisant un Trimix 18/45 (18% d'oxygène, 45% d'hélium) en gaz fond, et de l'oxygène pour la décompression à partir de 6m. Vitesse de descente 15m/min et vitesse de remontée 10m/min

L'algorithme de décompression est une base Bühlmann ZH-L16b modifié selon 5 facteurs de gradients différents qui sont présentés dans le tableau ci-dessous

Depth m (ft):	Time at level with different Gradient Factors:					Gas:	Note:
	GF 10/90	GF 20/70	GF 30/85	GF 36/95	GF 100/100		
50m (165 ft)	20	20	20	20	20	Tx 18/45	Run time: 3...20min
30m (100 ft)	1					Tx 18/45	
27m (90 ft)	1	1				Tx 18/45	
24m (80 ft)	1	1	1			Tx 18/45	
21m (70 ft)	1	2	1	1		Tx 18/45	
18m (60 ft)	1	3	2	2		Tx 18/45	
15m (50 ft)	3	3	3	2		Tx 18/45	
12m (40 ft)	3	5	3	3	2	Tx 18/45	
9m (30 ft)	7	10	7	5	3	Tx 18/45	
6m (20 ft)	5	6	5	4	4	Oxygen	ppO2 1.6 ATA
3m (10 ft)	8	13	9	7	7	Oxygen	ppO2 1.3 ATA
Total dive time:	54	67	54	48	40		

Tableau 1: tables de décompression pour 50m / 20min en utilisant différents facteurs de gradients

Ces paramètres de GF sont couramment utilisés pour différents types de plongées (par exemple recycleur, profondes / plongées en eau froide, ou en valeurs par défaut dans certains logiciels de décompression) et GF 100/100 est montré ici comme référence, car en tant que pur Bühlmann, ce réglage n'a pas de marge de sécurité.

Comme il est clairement montré dans le tableau 1, c'est le faible chiffre en GF bas qui génèrent les arrêts les plus profonds (ex : GF 10/90 ou 20/70).

Certains plongeurs utilisent des GF bas de faible valeur, de l'ordre de 10% pour générer des paliers profonds.

Les paliers profonds, également appelé « Pyle stops », sont un moyen de réduire les micro-bulles au cours de la phase d'ascension profonde. Toutefois, pendant les arrêts en profondeur, de nombreux tissus plus lents sont toujours en cour de saturation et donc le temps de décompression total va augmenter (voir : Total dive time)

Les faibles valeurs de GF haut génèrent davantage de palier à faible profondeur (ex : GF 20/70 ou 30/85)

Les connaissances fondamentales sur les facteurs de gradient sont essentielles pour votre sécurité en plongée. Sur des plongées avec décompression longues, les marges de sécurité vont non seulement contribuer à la prévention des ADD, mais aussi à la planification des gaz, à la logistique et à l'équipement. Un bon plongeur adapte son facteur de sécurité personnel selon sa forme, l'environnement et tout autre facteur important.

Il est facile de modifier le plan de plongée, même de façon drastique en utilisant des facteurs

de gradient différents.

Certains logiciels de décompression modernes fournissent des paramètres de conservatismes sous forme de lettres ou de chiffres.

Il est très facile de faire faire ce que l'on veut à ces logiciels. En effet, si celui-ci vous indique que vous avez besoin d'emporter un bloc supplémentaire pour effectuer la plongée, il est facile de modifier les paramètres de sécurité pour faire une plongée plus courte qui vous évitera ce bloc. Mais c'est jouer avec votre sécurité !

Les utilisateurs d'ordinateurs, qui présentent des facteurs de gradient configurables par le plongeur, doivent comprendre quelle sera l'incidence de la modification de leur GF sur leurs profils de décompression. Pour de trop nombreux plongeurs il suffit d'utiliser les paramètres par défaut, de copier les paramètres de GF d'autres plongeurs ou même les choisir au hasard, sans tenir compte de la plongée à effectuer. Certains plongeurs ont une plus grande sensibilité à l'ADD et bien des plongées sont physiquement plus exigeantes que d'autres.

Comme toujours en plongée, il est de votre responsabilité de choisir les facteurs de gradient et de conservatisme approprié pour vous !

RÉFÉRENCES

1. Bert, Paul: Pression barométrique La, Recherches de physiologie expérimentale, 1878
2. Boycott, AE, Damant, GCC, et Haldane, JS: La prévention de la Compressed La maladie de l'air, Le Journal de médecine (Journal d'Hygiène, Volume 8, (1908), pp 342-443).
3. Bühlmann, Albert A.: La décompression - Maladie de décompression. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
4. Baker, Erik C.: Comprendre les M-values
5. Baker, Erik C.: Dissiper la confusion au sujet "des paliers profonds"