

# The Varying Permeability Model (VPM) for dummies

Par Kevin Watts

ou

## Le Modèle à Perméabilité Variable<sup>(1)</sup> pour les nuls

traduit par pierre-alain knutti – mai 2007

Le but de cet article est de fournir les éléments de bases nécessaires à l'étude de VPM afin qu'un plongeur qui pourrait être rebuté par une présentation trop théorique ou mathématique de VPM, puisse avoir une bonne compréhension de cette méthode de décompression.

Le lecteur de cet article est supposé maîtriser les notions telles que compartiments et dissolution des gaz inertes, l'auteur a jugé pertinent d'utiliser le modèle de Bühlmann comme point de départ pour cette discussion. Mais, même si il y a des points communs entre les deux algorithmes, rien dans ce document n'autorise le lecteur à affirmer que VPM est dérivé du modèle de Bühlmann ou est une variante de celui-ci. Au final, les limites de sursaturations obtenues par VPM remplacent les M-Values de Bühlmann.

La présentation est organisée selon le schéma suivant:

- Dissolution de gaz dans les tissus selon le modèle de Bühlmann
- Adapter les compartiments pour VPM
- Les propriétés d'une bulle selon VPM
- L'équation de non-croissance d'une bulle
- Ecraser les bulles
- M-values et vpM-Values
- L'algorithme de volume critique
- Ajustement selon la loi de Boyle-Mariotte (VPM-B)
- A propos de VPM-B/E
- Conclusion

---

<sup>1)</sup> NdT : Si il est bien de défendre la langue française, il est des cas où l'emploi de termes anglo-saxon généralement adoptés par la communauté Tek est bien plus parlant que la meilleure des traductions, n'en déplaise à Jack Allgood ! Nous garderons donc le terme anglais lorsque celui-ci nous paraîtra plus approprié que sa traduction (i.e. on connaît VPM mais pas MPV ...)

## Dissolution de gaz dans les tissus selon le modèle de Bühlmann

VPM utilise le même modèle de dissolution des gaz dans les tissus <sup>(2)</sup> que celui utilisé par Bühlmann dans l'algorithme ZH-L16. Bühlmann utilise 16 tissus théoriques ou compartiments pour simuler les pressions des *gaz inertes dissous* qui vont être absorbés (charge) et éliminés (décharge) par le corps lors d'une plongée, la désaturation se poursuivant bien après la fin de la plongée. Les 16 compartiments chargent et déchargent chacun à des vitesses différentes pour représenter le fait que les tissus du corps humain ne réagissent pas tous de la même manière à la pression des gaz inspirés. On en déduit que la pression des gaz dissous sera différente pour chacun des 16 compartiments.

La pression des gaz dissous dans un tissu est souvent désignée dans la littérature par *tension d'un tissu*. En d'autres termes, si la pression de gaz inertes dans un tissu est de 2 bar, alors il est équivalent de dire que la *tension de ce tissu* est de 2 bar. A partir de maintenant, l'expression *tension* sera utilisée pour exprimer la pression de gaz dissous dans un tissu et le terme *pression* sera utilisé pour désigner la pression de gaz non-dissous à l'intérieur d'une bulle.

## Adapter les compartiments pour VPM

Le modèle de Bühlmann considère uniquement les gaz dissous. VPM modifie ce modèle, en ajoutant une bulle à l'intérieur de chaque compartiment.

Notre modèle tient compte maintenant des gaz dissous, des gaz non-dissous et de leur interaction. Nous pouvons donc commencer la plongée, avec d'un côté le professeur Bühlmann qui s'occupe des gaz dissous et le professeur Yount (l'inventeur de VPM) qui se charge des gaz-non dissous grâce à la bulle que l'on vient d'ajouter dans chacun des compartiments.

Petit détail supplémentaire, VPM injecte encore dans les compartiments un peu de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), et de l'oxygène (O<sub>2</sub>). Ces gaz sont modélisés par une simple constante (le paramètre *Pressure Other Gasses* que vous pouvez voir dans le logiciel V-Planner), et du point de vue du calcul, il ne s'agit que d'une simple addition. Mais parce que ces trois gaz peuvent s'ajouter aux gaz inertes non-dissous à l'intérieur de la bulle, VPM est obligé d'en tenir compte.

## Les propriétés d'une bulle selon VPM

La bulle, que le professeur Yount a rajouté dans chaque compartiment, possède quelques propriétés bien spécifiques, soit :

1. Lorsque nous commençons la plongée, nous faisons l'hypothèse que la bulle du professeur Yount possède une dimension bien spécifique définie par son rayon (paramètre *Radius* dans V-Planner).
2. La bulle est *perméable*, ce qui signifie que les gaz dissous dans les tissus peuvent passer à travers la *membrane* de la bulle et une fois à l'intérieur de la bulle devenir des gaz non-dissous. Si une pression suffisante est appliquée à la bulle (par exemple durant une

---

<sup>2)</sup> NdT : Souvent «tissu» exprime le côté physiologique et «compartiment» se réfère au côté mathématique.

descente) alors la bulle devient *impermeable*. A un certain niveau d'imperméabilité, l'écrasement de la bulle devient très difficile. D'où l'origine du nom de ce modèle – la perméabilité de la bulle varie.

3. La bulle possède une *membrane*, une interface entre les gaz non-dissous à l'intérieur de la bulle et les liquides, gaz dissous dans le compartiment. La membrane possède certaines propriétés mises en évidence lors des expérimentations menées par le professeur Yount sur les bulles.
4. La bulle est élastique et a une mémoire. Cela signifie que si la taille d'une bulle a été réduite lors de la descente et si le plongeur reste en profondeur suffisamment longtemps, la bulle aura tendance à revenir à sa taille originale au fil du temps (i.e. la bulle “se rappelle” sa taille initiale et cherche à revenir à cette taille au fil du temps). Cette propriété n'est pas très importante, à moins que l'on soit un plongeur à saturation parce que le temps mis par une bulle pour regrossir se compte en semaines. Nous mentionnons cette caractéristique parce qu'il y a un paramètre de V-Planner *Regeneration time constant* qui s'y rapporte.
5. Finalement, la pression du gaz non-dissous à l'intérieur d'une bulle ( $P_b$ ) est exprimée par la formule:

$$P_b = P_a + S / r$$

Cette équation nous dit que la pression des gaz à l'intérieur d'une bulle est supérieure à la pression ambiante ( $P_a$ ) d'une valeur dépendant du rayon de la bulle (radius  $r$ ) et des propriétés de la membrane de la bulle (constante  $S$ ).

La chose importante que l'on peut déduire de cette formule est que les bulles ont tendance à disparaître. Pourquoi ? Parce que si la pression de la bulle ( $P_b$ ) est plus élevée que la pression à l'extérieur de la bulle et que la membrane de la bulle est perméable, alors les gaz peuvent s'échapper hors de la bulle et celle-ci diminue jusqu'à disparaître.

Cependant, la perméabilité est une arme à double tranchant. Qu'on se rappelle que le professeur Yount a placé une bulle dans chaque tissu. Cela signifie que la bulle est entourée de liquide contenant différents niveaux de gaz dissous. Toutes les fois que la tension du compartiment ( $P_{TC}$ ) excédera la pression de la bulle ( $P_b$ ), les gaz dissous de chaque compartiment vont traverser la membrane de la bulle et s'accumuler à l'intérieur de celle-ci (donc la faire grossir). Cette notion est très importante, parce qu'elle fait le lien entre le modèle de Bühlmann et le modèle VPM de Yount.

Propriété	Paramètre VPM	VPM Parameter
Taille spécifique	Rayon critique	Critical radius
Perméabilité variable	Gradient limite d'imperméabilité	Gradient Onset of impermeability
Propriété de la membrane	Tension de surface gamma	Surface tension gamma
	Compression de la membrane gamma-c	Skin compression gamma-c
Elasticité et mémoire	Constante du temps de régénération	Regeneration time constant
Pression connue	$P_b = P_a + S / r$	

*Tableau des propriétés des bulles selon VPM*

## L'équation de non-croissance d'une bulle

En combinant la pression d'une bulle ( $P_b$ ) et le fait que les gaz dissous peuvent migrer à l'intérieur d'une bulle, le critère de non-croissance de cette bulle peut être posé de la manière suivante:

$$P_{TC} < P_b = P_a + S / r$$

Réfléchissons un peu à tout ce que nous indique cette équation. Premièrement, et déjà cité plus haut, la bulle du professeur Yount ne grossira pas si la tension de gaz dissous dans un compartiment n'excède pas la pression à l'intérieur de la bulle ( $P_{TC} < P_b$ ).

Deuxièmement, cette formule nous dit que la tension appropriée dans un tissu, lors de la remontée, ne dépend que de la pression ambiante ( $P_a$ ), du rayon de la bulle ( $r$ ) et des propriétés de la membrane de la bulle ( $S$ ).

Troisièmement, on en déduit qu'une grosse bulle oblige le plongeur à baisser la tension de gaz dissous. Pourquoi ? Parce qu'une grosse bulle ( $r$  est grand) fait diminuer le terme  $S / r$ . Intuitivement, cela semble évident – la présence de grosses bulles nécessite une décompression plus conservative.

Pour finir, réécrivons l'équation d'une manière un peu différente:

$$P_{TC} - P_a < S / r$$

Le terme  $P_{TC} - P_a$  exprime donc la *sursaturation* d'un compartiment. L'expression *sursaturation* est une façon de dire que la tension des gaz dissous dans un compartiment est plus élevée que la pression ambiante. Cette formulation de l'équation de la non-croissance d'une bulle nous dit que le niveau de sursaturation autorisé par VPM dans un compartiment ne dépend que de la taille de la bulle.

## Ecrasement des bulles

Comme nous l'avons vu plus haut, la taille de la bulle du professeur Yount est un paramètre majeur dans VPM. Pouvoir calculer à tout instant la réduction de la taille d'une bulle due à l'augmentation de pression lors de la descente du plongeur est un des points critiques de VPM.

Il est très important de comprendre que la *pression d'écrasement* de la bulle n'est pas basée sur le maximum de la pression ambiante subie par le plongeur, mais plutôt que la diminution de la taille de la bulle est fonction de la différence entre la pression ambiante ( $P_a$ ) et la tension de gaz dissous dans le compartiment ( $P_{TC}$ ).

Utiliser  $P_a - P_{TC}$  comme expression de l'écrasement de la bulle a quelques conséquences. En premier, comme la tension peut varier considérablement d'un compartiment à l'autre, la taille de la bulle de Yount est différente pour chaque compartiment. La bulle d'un compartiment rapide sera (parfois considérablement) moins écrasée que la bulle d'un compartiment lent. La raison en est qu'un compartiment rapide s'adapte plus rapidement à la pression ambiante qu'un compartiment lent et donc

minimise le terme  $(P_a - P_{TC})$ . Deuxièmement, une descente rapide jusqu'à la profondeur maximum de la plongée exigera moins de décompression qu'une descente lente. Plus vite le plongeur arrivera à sa profondeur maximum, moins la tension d'un compartiment rapide aura de temps pour s'adapter à la pression ambiante, i.e. on maximise le terme  $(P_a - P_{TC})$ <sup>(3)</sup>.

Ce comportement nous permet d'expliquer plausiblement pourquoi lors de profils inversés, la décompression doit être menée de façon plus conservative. Un plongeur qui descend à 100m, mais qui fait un arrêt intermédiaire à 50m, va avoir un gradient de pression moins élevé pour écraser (réduire) les bulles que celui qui va directement à 100m. En descendant directement à 100m, le plongeur n'autorise pas les compartiments rapides à s'adapter à la pression ambiante lors de cette descente.

Il est important de noter que le processus de réduction de la bulle dans chaque compartiment ne va pas être inversé simplement parce que l'on remonte. En d'autres termes, la taille de la bulle est réduite à la descente (écrasée !), mais, à moins que l'on viole le critère de non-croissance des bulles lors de la remontée, la bulle du professeur Yount n'est pas sensée croître. Une exception à cette règle se produit lorsqu'une fois entré dans la zone de décompression on applique un correctif basé sur la loi de Boyle-Mariotte (VPM-B), mais ce point est discuté un peu plus loin.

Quelqu'un pourrait demander pourquoi un plongeur ne descend pas simplement aussi loin que possible pour réduire les bulles au maximum et ainsi augmenter la tension admissible dans les tissus durant la remontée. Il y a deux réponses. En premier, il faut garder un œil sur la charge en gaz dissous due à la profondeur supplémentaire. Si le professeur Yount est très heureux de la réduction supplémentaire de la taille de sa bulle, le docteur Bühlmann va nous rappeler à l'ordre à propos des gaz inertes supplémentaires absorbés par ses compartiments. Deuxièmement, il faut se rappeler que la bulle devient imperméable une fois que la pression d'écrasement dépasse le paramètre *Gradient onset of impermeability*. Cette augmentation de l'imperméabilité ralentit la réduction de la taille de la bulle.

## M-Values et vpM-Values

A ce point de la discussion, on peut déjà deviner la stratégie de remontée de VPM. Très simplement, l'algorithme de VPM peut s'énoncer comme suit:

1. Bühlmann calcule les gaz dissous et Yount calcule la taille de la bulle, en particulier l'écrasement de la bulle lors de la descente.
2. A chaque point de la descente, il faut calculer la pression de la bulle ( $P_b$ ).
3. Comme la bulle du professeur Yount ne grossit que quand la tension du compartiment est plus grande que la pression de la bulle, on stoppe le plongeur chaque fois que la tension d'un compartiment risque de dépasser la pression de la bulle ( $P_b$ ) de ce compartiment.

Cette idée de limiter la tension des tissus en considérant une remontée par paliers n'est pas nouvelle. En fait, il s'agit de la même stratégie de remontée utilisée pas les M-Values de Bühlmann ou les facteurs de gradient de Erik Baker.

---

<sup>3)</sup> NdT : la contradiction entre cette affirmation et la précédente n'est qu'apparente, je ne saurais trop conseiller au lecteur de prendre le temps d'une petite réflexion accompagnée d'une bonne tasse de café ...

Une façon de voir les M-Values est de dire qu'elles sont simplement une limite maximum de sursaturation autorisée par un modèle de décompression de Bühlmann. Les M-Values de Bühlmann définissent pour chaque compartiment, une tension admissible à une profondeur donnée au moyen d'une équation linéaire<sup>4)</sup>. La M-Value générée par cette équation vous indique quand Bühlmann pense que la sursaturation du compartiment est trop élevée à cette profondeur. Les M-Values de Bühlmann sont dérivées empiriquement (i.e. en analysant les plongées qui ne se sont pas bien terminées !).

VPM oblige le plongeur à effectuer des paliers en limitant les tensions des tissus lors de la remontée. En ce sens VPM produit ses propres *vpM-Values*. Mais plutôt que d'être empiriquement estimées, les vpM-Values sont déterminées par l'équation de non-croissance des bulles. Cette équation ne dépend que des caractéristiques de la plongée, des paramètres de VPM et de leurs effets combinés sur la bulle du professeur Yount. Mais il est important de comprendre que VPM détermine les paliers du plongeur en limitant la tension des gaz dissous, soit la même approche que Bühlmann.

Maintenant sur la base de ce que nous venons de voir, prenons un profil relativement anodin – 20min, 30m (100fsw) à l'air et regardons ce que les bulles du professeur Yount génèrent comme profil.

La table ci-dessous montre les profils de VPM (en n'utilisant que le critère de non-croissance des bulles), RGBM (nominal), et GF 30/85

<u>Profondeur [fsw]</u>	<u>RGBM (nominal)</u>	<u>GF 30/85</u>	<u>VPM</u>
100	20	20	20
50			24
40			27
30	23	23	32
20	25	24	39
10	29	28	50
0	29	28	50

*20 min à 100ft (30m) Air – Les valeurs expriment le runtime*

Le modèle VPM avec seulement le critère de non-croissance des bulles génère une remontée de 30 minutes pour 20 minutes à 30mètre. C'est plus que conservatif comme résultat et cela nous indique qu'il y a encore du pain sur la planche.

### **L'algorithme du volume critique**

Se baser uniquement sur l'équation de la non-croissance des bulles produit, dans la majorité des cas, des profils beaucoup trop conservatifs pour être réellement utilisables, particulièrement lorsque l'on se trouve à proximité de la courbe de sécurité (non-décompression). Que se passera-t-il si nous

---

<sup>4)</sup> NdT : Il existe, sur [plongeesout.com](http://plongeesout.com), un document «Comprendre les M-Values» d'Erik Baker, traduit par Jean-Marc Belin dont on ne saurait trop recommander la (re)lecture pour ceux qui serait un peu dans le flou en ce qui concerne les M-Values !

abandonnons le critère de *non-croissance* des bulles au profit d'un critère moins strict que nous appellerons *un-peu-mais pas-trop-de-croissance* des bulles. C'est ce que nous allons développer avec l'algorithme du volume critique (CVA).

L'algorithme CVA, autorise volontairement le plongeur à dépasser les limites de tension des tissus calculées par l'algorithme de *non-croissance* des bulles. Dépasser les limites de *non-croissance* des bulles, signifie que les bulles de Yount placées dans les compartiments vont se mettre à croître. Une des hypothèses de CVA est que le corps humain peut parfaitement s'accommoder d'un certain volume de gaz non-dissous, mais qu'au delà d'une certaine quantité, nous voyons apparaître les symptômes de l'accident de décompression (DCS). La fonction de CVA est de déterminer quand il y a excès de gaz accumulé dans les bulles.

CVA détermine l'excédent de volume d'une bulle en estimant d'une part le dépassement de la tension définie par le critère de non-croissance de bulles et d'autre part le temps d'exposition du plongeur à cette tension excessive. Nous ne détaillerons pas plus CVA<sup>(5)</sup>. Cependant, Il faut bien comprendre que CVA est un joyeux mélange de théorie et d'empirisme. La théorie a permis de développer une formule dont on peut attendre qu'elle produise des valeurs de tension plus élevées selon que les conditions applicables autorisent une certaine croissance des bulles ou abaisser ces valeurs de tension quand ces conditions deviennent plus restrictives. La partie empirique est la transposition de la formule théorique dans le monde réel de la décompression. Le paramètre *Critical Volume Lambda* que vous voyez dans V-Planner permet de modifier le comportement de CVA.

Voici comment CVA fonctionne. Premièrement, VPM génère un profil de remontée avec des tensions calculées sur la base du critère de non-croissance des bulles. Ensuite VPM augmente un peu la valeur de ces tensions et génère un second profil que CVA se charge d'analyser. Soit le volume critique de la bulle n'est pas encore atteint et VPM génère un troisième profil encore plus agressif en augmentant encore les tensions, soit le volume critique de la bulle est dépassé et VPM génère un profil plus conservatif en resserrant un peu les valeurs des tensions. En procédant ainsi par itération, on finit par obtenir le profil satisfaisant au mieux le critère de CVA.

Appliquons maintenant VPM-CVA à notre plongée air, 20min, 30 mètres.

<u>Profondeur [fsw]</u>	<u>RGBM (nominal)</u>	<u>GF 30/85</u>	<u>VPM</u>
100	20	20	20
50			
40			
30	23	23	23
20	25	24	25
10	29	28	30
0	29	28	30

*20 min à 100ft (30m) Air – Les valeurs expriment le runtime*

---

<sup>5)</sup> NdT : On trouvera peu de documentation à ce sujet sur le net, mais les quelques documents disponibles sont extrêmement détaillés, orientés mathématique et en anglais ... Vérifiez votre stock d'aspirine !

Beaucoup mieux, CVA a parfaitement rempli son rôle et produit un profil beaucoup plus conforme à nos attentes. Donc à partir de maintenant, quand nous parlerons de VPM, nous assumerons que CVA y sera pleinement intégré et opérationnel.

### Ajustement par rapport à la loi de Boyles-Mariotte (VPM-B)

Considérons maintenant un autre profil. Le tableau ci-dessous concerne une plongée de 25 min à 325 ft (108m) en utilisant un Tx10/50, du Nx50 à partir de 21m et de l'O2 à 6m.

<u>Profondeur [fsw]</u>	<u>RGBM (nominal)</u>	<u>GF 30/85</u>	<u>VPM</u>
325	25	25	25
Surface	179	228	148

*25 min à 325ft Tx10/50 Switch EAN50 à 70ft et O2 à 20ft  
Les valeurs expriment le runtime*

Avec VPM, le plongeur sort de l'eau 31 minutes avant RGBM et 80 minutes avant GF 30/85. Il paraît évident que les plongées plus engagées nécessitent encore quelques ajustements.

C'est la loi de Boyle-Mariotte qui va fournir la solution. VPM va utiliser cette loi pour augmenter la taille des bulles durant la remontée et donc, obtenir des profils nettement plus conservatifs<sup>(6)</sup>. L'ajustement par rapport à la loi de Boyle-Mariotte introduit les éléments suivants :

1. La notion d'expansion des gaz est prise en compte par VPM.
2. La correction est systématique, basée sur une loi physique et n'a rien d'empirique.
3. Le profil obtenu est nettement plus conservatif.

Comme pour tous les éléments de VPM, rajouter un zeste de Boyle-Mariotte dans VPM repose d'une part sur des éléments théoriques et d'autre part une réflexion à partir de données empiriques<sup>(7)</sup> – l'algorithme ainsi modifié s'appelle VPM-B.

La correction se fait de la manière suivante:

1. Au premier palier de décompression, VPM note la taille de chacune des bulles.
2. Au palier suivant, VPM-B augmente la taille de chacune des bulles de Yount selon la loi de Boyle-Mariotte, proportionnellement à la chute de la pression ambiante.
3. La tension maximale admissible dans le compartiment considéré est réduite en fonction de la nouvelle taille de la bulle. De ce fait le plongeur doit rester plus

---

<sup>6)</sup> NdT : Si le lecteur n'est pas convaincu par cette affirmation, il lui faut relire immédiatement le chapitre « équation de la non-croissance » des bulles

<sup>7)</sup> NdT : La théorie de VPM se base sur des hypothèses très complexes. Il a fallu faire d'énormes simplifications mathématiques et introduire beaucoup d'éléments extérieurs parfois très empiriques pour obtenir quelque chose de calculable !

longtemps à ce palier à attendre que la tension de ses tissus soit compatible avec cette nouvelle tension maximale admissible. Puis le plongeur remonte jusqu'au palier suivant et on recommence les étapes 2 et 3.

L'impact de la loi de Boyle-Mariotte sur notre profil est montré dans le tableau ci-dessous :

<u>Profondeur [fsw]</u>	<u>RGBM (nominal)</u>	<u>GF 30/85</u>	<u>VPM</u>
325	25	25	25
Surface	179	228	190

*25 min à 325ft Tx10/50 Switch EAN50 à 70ft et O2 à 20ft  
Les valeurs expriment le runtime*

Notre profil VPM-B est rallongé de 42 minutes par rapport au profil VPM. La décompression pour des plongées longues et profondes est donc bien plus conservative, même si l'impact de cet ajustement n'est pas toujours aussi bien marqué.

### **Un mot à propos de VPM-B/E**

L'algorithme VPM publié par Erik Baker est implémenté dans V-Planner. V-Planner possède également une extension de VPM appelée *VPM-B/E*. Cette extension a pour but d'ajouter encore plus de conservatisme pour des plongées très engagées pour lesquelles, le plongeur pense qu'il prudent de rallonger encore les profils générés par VPM-B. Un des challenges à satisfaire lors de l'implémentation d'une extension telle que celle-ci est de déterminer quand un profil nécessite de "charger la mule".

Malheureusement l'extension /E est propriétaire et peu d'informations concernant son fonctionnement ont été publiées. L'auteur a obtenu de bon résultats reflétant le fonctionnement de /E en augmentant suffisamment le diamètre de la bulle de Yount lors des paliers à faible profondeur, moins de 21 mètres, pour que VPM-B soit plus restrictif que les M-Values correspondantes de Bühlmann

La technique utilisée pour simuler cette extension est relativement simple à implémenter car seules des modifications mineures du code de Erik Baker sont nécessaires. Néanmoins, comme cette extension est propriétaire, sa réalisation peut être totalement différente de celle décrite ci-dessus, même si les effets sont similaires.

### **Conclusion**

Le modèle de décompression à perméabilité variable, peut être vu comme un modèle multicouches. La couche de base du modèle s'occupe des bulles de Yount et met tout en œuvre pour les empêcher de croître.

La couche suivante, fournie par l'algorithme du volume critique, produit des profils qui collent au mieux avec la courbe de sécurité. L'effet de cet algorithme est maximum lorsque l'on s'approche de la zone de non-décompression et s'amenuise à mesure que les plongées deviennent plus conséquentes.

Puis on rajoute l'option Boyle-Mariotte. Cet algorithme efficace sur les plongées profondes voit son effet diminuer au fur et à mesure que la plongée se rapproche de la courbe de sécurité. On remarquera que CVA et l'option -B ont un comportement totalement opposé.

La couche finale est représentée par l'extension /E. Cette extension rallonge encore les profils VPM-B dans le cas où ceux-ci ne seraient (apparemment) pas compatibles avec les M-Values de surface du professeur Bühlmann

Cet article n'a pas, ou que partiellement présenté les concepts théoriques de VPM. Par exemple, le fait que la bulle du professeur Yount représente, dans une distribution théorique des bulles, la limite entre les bulles croissantes et les bulles non-croissantes a été volontairement omis. De même si vous plongez avec de l'hélium dans votre mélange, chaque compartiment utilisera deux bulles de tailles différentes.

Si les éléments présentés dans cet article sont suffisamment précis pour pouvoir discuter de VPM, on est loin d'avoir une description complète du modèle. Néanmoins, l'objectif étant d'apporter le plus de clarté possible aux plongeurs, les simplifications utilisées semblent un bon compromis entre vulgarisation et vérité scientifique.

Bonnes Bulles!

*LA PLONGÉE A DÉCOMPRESSION EST UNE ACTIVITÉ RISQUÉE ! Cet article ne constitue pas une approbation, ou une critique, de VPM ou d'aucun autre modèle de décompression. Les modèles de décompression sont des constructions mathématiques qui ne peuvent pas, de manière exacte, refléter les changements complexes qui interviennent dans le corps humain pendant la décompression. Les modèles de décompression sont, au mieux, des approximations. Donc aucun programme moderne de décompression comprenant VPM, VPM-B, ou VPM-B/E ne peut vous garantir que vous ne terminerez pas votre décompression, un jour ou l'autre, dans un caisson hyperbare.*