

# THEORIE GENERALE UNIFIEE DE LA DECOMPRESSION

Bernard GARDETTE D.Sc.  
Directeur Scientifique COMEX

Depuis les travaux de Paul BERT, HALDANE, WORKMAN... un grand nombre de théories ont été avancées pour modéliser les mouvements de gaz dans l'organisme du plongeur lors de la décompression.

Ces études ont toutes tenté de mettre en équation des observations (analyses de gaz dissous, bulles circulantes) donnant une représentation analytique explicative et déterministe du phénomène. Or, à partir du moment où des bulles de gaz sont formées au cours de la remontée (ce qui est toujours le cas), la survenue d'un accident de décompression (ADD) ne peut être due qu'au hasard (phénomène aléatoire d'une bulle « bloquée » lors de son cheminement vers les poumons). Il est donc logique d'utiliser une méthode statistique pour prévoir la survenue d'un ADD, plutôt qu'une méthode descriptive. Les données disponibles en grand nombre depuis plus de cent ans (tables de décompression, statistique d'ADD, détections des bulles...) ont permis ce type d'approche.

Pour mettre au point ce nouveau modèle de calcul de tables de décompression, l'essentiel du savoir-faire COMEX a été intégré (tables COMEX air, nitrox, héliox, unitaires et saturation). Certaines de ces tables COMEX sont devenues par la suite les tables officielles du Ministère du Travail français (MT74 et MT92). De plus, d'autres procédures de décompression ont servi à l'élaboration du modèle : tables Marine Nationale (GERS 65, MN78, MN90), tables NOAA, BÜHLMAN, IANTD et logiciels de calcul (VPM, RGBM, VR3, VISION...). De l'ensemble de ces données, il est ressorti que la décompression peut être traitée sur un mode statistique général et unifié avec peu de dispersion (variance faible) entre les tables validées.

La remontée du plongeur peut être représentée par une fonction puissance (hyperbole) de la vitesse par rapport à la profondeur de la décompression.

L'équation est :

$$V = b P^2 \quad (y = bx^a)$$

Ou

$$\text{Log } V = 2 \text{ log } P + \text{log } b$$

Avec :

\* V = vitesse de remontée (m/min)

\* P = profondeur (m)  
Cte

\* b =  $\frac{\text{Cte}}{P_f^4 t_f^{2,5}}$  (P<sub>f</sub> = Profondeur fond et t<sub>f</sub> = temps au fond)

La constante, Cte, va dépendre de/des :

- la nature du gaz « inerte », azote (N<sub>2</sub>) ou hélium (He)
- la pression partielle d'oxygène (PO<sub>2</sub>) respirée au fond et au cours de la décompression
- conditions de plongée (au sec ou dans l'eau), avec plus ou moins d'effort
- l'intervalle entre les plongées (successives)
- l'altitude
- la masse corporelle.

A noter que cette équation générale a été trouvée par hasard. Il semble que ce soit la seule statistiquement la plus probable à rendre compte de l'ensemble des décompressions validées. Elle a été sélectionnée parmi un grand nombre d'autres équations possibles.

Cette relation,  $V = bP^2$ , définit une variation de vitesse proportionnelle (et décroissante avec la diminution de la profondeur) depuis le départ du fond (Pf) jusqu'à une profondeur (Pm), à partir de laquelle la vitesse de décompression devient constante (Vm) jusqu'à la surface. Cette vitesse, Vm peut, pour certaines plongées « saturantes », atteindre une valeur minimale correspondant à la vitesse de décompression de saturation (Vs).

Durant la première phase rapide de remontée ( $V = bP^2$ ), la vitesse utilisée est deux fois plus rapide en azote (N<sub>2</sub>) qu'en hélium (He). Lors de cette phase de décompression, c'est le phénomène de perfusion tissulaire qui est prépondérant.

Inversement, durant la seconde phase lente ( $V = Cte$ ), la vitesse d'élimination de l'azote est deux fois plus lente que celle de l'hélium. Ici c'est le phénomène de diffusion gazeuse qui est le facteur limitant (comme c'est le cas en décompression de saturation). Ces différences de vitesse sont directement reliées à la solubilité du gaz « inerte » (N<sub>2</sub> ou He) dans l'organisme.

Ce nouveau modèle global de calcul (modèle G ou VP<sup>2</sup>) permet de définir une théorie générale unifiée de la décompression, englobant toutes les situations de plongée (ou variations de pression). La décompression n'est plus traitée ici comme une succession de compartiments (« tissus ») qui se déchargent successivement en gaz, mais comme un phénomène continu.

Ce modèle a permis de calculer les tables CX05, 06, 07, 08... actuellement en cours d'évaluation.

Parallèlement, les statistiques d'accidents de décompression (ADD) et de détections de bulles circulantes (par méthode ultrasonore « doppler ») disponibles à ce jour (données internes COMEX ou publiées), permettent d'établir une relation entre la charge en gaz inerte ( $P\sqrt{t}$ ), pour une plongée donnée, et la survenue d'un ADD (pourcentage, %) :

$$\text{ADD (\%)} = \text{cte } (P\sqrt{t})^4$$

$$\text{Ou } \log \text{ADD (\%)} = 4 \log P\sqrt{t} + \log \text{Cte}$$

(P = Profondeur de la plongée en mètres et t = temps au fond en minutes)

La constante (Cte) va dépendre du gaz « inerte » utilisé. Pour une même valeur de  $P\sqrt{t}$ , le pourcentage d'ADD est deux fois plus faible en hélium, qu'en azote.

Bien que la détection de bulles ne permette pas de connaître dans l'absolu le risque d'ADD, à ce risque moyen estimé, peut être associé un pourcentage de plongeurs présentant un fort dégazage en décompression (degré 3 de bulle, B3). De plus, en cas de forte présence de bulles, le plongeur verra son risque d'ADD majoré : multiplié par 3 en azote et par 1,5 en hélium. En effet, pour un degré 3 de bulles circulantes détectées, le pourcentage d'ADD est deux fois supérieur avec l' $N_2$  qu'avec l'He (7 % contre 3 %).

L'évaluation du risque moyen estimé d'ADD peut également être majorée (multipliée par 10) en fonction de la mauvaise « qualité » de la table de décompression ou d'une erreur dans son utilisation.

Avec l'ensemble de ces données, le tableau suivant peut être établi :

<b>P<math>\sqrt{t}</math> (m.min)</b>		<b>Risque moyen ADD</b>	<b>Bulleurs B3</b>	<b>Majorations</b>		<b>Risque maxi ADD (x30)</b>
<b>N<sub>2</sub></b>	<b>He</b>			<b>Table (x 10)</b>	<b>Bulles (x 3)</b>	
120	150	0,01 %	10 %	0,1 %	0,03 %	0,3 %
150	200	0,03 %	15 %	0,3 %	0,1 %	1 %
200	250	0,1 %	20 %	1 %	0,3 %	3 %
270	350	0,3 %	40 %	3 %	1 %	10 %
350	450	1 %	60 %	10 %	3 %	30 %

On peut considérer divers niveaux de risque d'ADD acceptable :

- $P\sqrt{t} = 150$  ( $N_2$ ), 3/10.000 ADD et 15 % B3  
constitue la limite de la plongée « loisirs » à l'air : 1 h 00 à 20 m, 25 min à 30 m et 15 min à 40 m.
- $P\sqrt{t} = 270$  ( $N_2$ ), 3/1.000 ADD et 40 % B3,  
constitue la limite de la plongée « sportive » à l'air : 45 min à 40 m, 30 min à 50 m et 20 min à 60 m.
- $P\sqrt{t} = 450$  ( $He$ ), 1/100 ADD et 60 % B3,  
constitue la limite de la plongée « TEK » : 30 min à 80 m, 20 min à 100 m et 15 min à 120 m.

Le plongeur, à partir de ces données pourra choisir en toute connaissance son niveau de risque. Il pourra aussi maintenir ce risque à la valeur choisie en acceptant une majoration du temps de décompression. Par exemple, un plongeur « TEK » qui réalise une 100 m/20 min hélium, avec un risque de 1 % ( $P\sqrt{t} = 450$ ), peut diviser par 3 ce risque et le ramener à 0,3 % ( $P\sqrt{t} = 350$ , 100 m/12 min) en majorant sa décompression de 1.5 (de 3 h 00 à 4h30).

**PLONGEE « LOISIRS »**

AZOTE			RISQUE ADD	
$P\sqrt{t}$ (m.min)	Plongées	T. Déco.	Moyen	Maxi (x 30)
120	15 m / 65 min 20 m / 35 min 30 m / 15 min 40 m / 10 min	3 min (air)	0,01 % (1 / 10.000)	0,3 % (1 / 300)
150	20 m / 55 min 30 m / 25 min 40 m / 15 min 50 m / 10 min	10 min (air)	0,03 % (1 / 3.000)	1 % (1 / 100)

**PLONGEE « SPORTIVE »**

AZOTE			HELIUM			RISQUE ADD	
P√t (m.min)	Plongées	T. Déco	P√t (m.min)	Plongées	T. Déco	Moyen	Maxi (x 30)
200	20 m / 100 min 30 m / 45 min 40 m / 25 min 50 m / 15 min 60 m / 10 min	20 min (air) 10 min (O <sub>2</sub> )	250	50 m / 25 min 60 m / 17 min 70 m / 12 min 80 m / 10 min	30 min (O <sub>2</sub> )	0,1 % (1 / 1.000)	3 % (1 / 30)
240	30 m / 65 min 40 m / 35 min 50 m / 25 min 60 m / 15 min	40 min (air) 20 min (O <sub>2</sub> )	300	50 m / 35 min 60 m / 25 min 70 m / 20 min 80 m / 15 min 90 m / 10 min	60 min (O <sub>2</sub> ) (1 h 00)	0,2 % (1 / 500)	6 % (1/15)
270	30 m / 80 min 40 m / 45 min 50 m / 30 min 60 m / 20 min	60 min (air) 30 min (O <sub>2</sub> )	350	60 m / 35 min 70 m / 25 min 80 m / 20 min 90 m / 15 min 100 m / 12 min 110 m / 10 min	90 min (O <sub>2</sub> ) (1 h 30)	0,3 % (1 / 300)	10 % (1 / 10)

**PLONGEE « TEK »**

HELIUM			RISQUE ADD	
P√t (m.min)	Plongées	T. Déco	Moyen	Maxi (x 30)
400	80 m / 25 min 90 m / 20 min 100 m / 15 min 110 m / 13 min 120 m / 10 min	120 min (O <sub>2</sub> ) (2 h 00)	0,6 % (1 / 150)	20 % (1 / 5)
450	80 m / 30 min 90 m / 25 min 100 m / 20 min 110 m / 17 min 120 m / 15 min	180 min (O <sub>2</sub> ) (3 h 00)	1 % (1 / 100)	30 % (1 / 3)