

# *VITESSE DE REMONTEE*

**Jean-Claude Le Péchon**



**FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009**

# ***VITESSE DE REMONTEE***

**1 – Histoires de vitesses**

**2 – Formation des bulles (rappels)**

**3 – Sursaturation et durée**

**4 – Application aux tables**

**5 – Application aux ordinateurs**

**6 – Données scientifiques ou de terrain**

**7 – Recommandations et conclusions**



**FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009**

## **1 – Histoires de vitesses**

### **1.1 – US Navy : 18 m/min !**

***En 1956, l'USN se réunit pour décider de la vitesse pour aller au premier palier :***

***Les pieds lourds font 25 ft/min (7.5 m/min)***

***Les nageurs (autonomes) veulent 100 ft/min (30 m/min)***

***Décision de compromis : 60 ft/min (18 m/min)***

***Sans aucune justification physiologique***

***Bob Workman calcule les tables USN sur cette base (1965)***



**FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009**

## 1 – Histoires de vitesses (suite)

### 1.2 – MN 65-90 : 17 m/min !!!

#### ***Le livre de « La Plongée » 1955***

***« On admet donc qu'au début la remontée doit être rapide (les plongeurs autonomes peuvent remonter à près de 60 m/min), mais à l'approche de la surface ou du premier palier à effectuer, cette vitesse doit être considérablement réduite. »***

#### ***Le livre de « La Plongée » 1961***

***« La Marine française vient de rendre réglementaire une table pour la plongée à l'air jusqu'à 40 mètres calculée et expérimentée par le GERS, la vitesse de remontée étant de 20 m/min. »***

#### ***Le livre de « La Plongée » 1977***

***« La vitesse de remontée doit être aussi voisine que possible de 17 mètres à la minute »***



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

1 – Histoires de vitesses (suite)

### 1.3 – Tables MT 92 : 12 m/min !

***La réflexion sur la vitesse de remontée avait abouti à l'idée que 17 m/min était trop rapide.***

***Le choix de 12 m/min en découle, avec l'intérêt pratique :***

**Cela correspond à 5 secondes pour 1 m**

**Ou encore 15 secondes pour 3 m**



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

**MINITABLE AIR**  
 (Arrêté du 15 mai 1992, annexe II tableau n° 2 (Extrait))  
**INTERVALLE MINIMUM AVANT PLONGÉE : 12 heures**

PROF.	TEMPS AU FOND MAXIMUM (minutes)									
<b>12</b>	165	170	180	195	210	240	-	-	-	-
<b>15</b>	80	90	100	110	115	130	-	-	-	-
<b>18</b>	50	55	60	70	75	80	-	-	-	-
<b>21</b>	35	40	45	50	55	60	-	-	-	75
<b>24</b>	25	30	35	40	45	50	-	-	55	60
<b>27</b>	20	25	30	33	35	-	-	40	45	48
<b>30</b>	15	20	25	28	30	-	-	35	38	42
<b>33</b>	12	15	20	23	-	-	25	30	32	37
<b>PALIER</b>	Remontée au premier palier à 12 m / min (3 m = 5 sec)									
<b>12</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>9</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>6</b>	-	-	-	-	-	-	3	3	3	3
<b>3</b>	-	3	5	7	10	15	7	12	15	20



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

1 – Histoires de vitesses (suite)

## 1.4 – Ordinateurs – Vitesses variées

### ***Vitesse constante :***

***10 m/min (Aladin Pro, Nemo)***

***10 à 12 m (Beuchat Cx2000 - Affichée)***

### ***Plusieurs vitesses :***

***27, 21, 15 et m/min (DC 12)***

***18, 12, 8 m/min (Cressi)***

***18 et 9 m/min (Beuchat Voyageur)***

***Vitesse variable : de 20 à 7 m/min (Aladin Air X)***

***Palier profond intermédiaire : (Galileo Sol)***



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

## 2 – Formation des bulles (rappels)

### 2.1 – Fenêtre oxygène et sous-saturation

A l'équilibre de vie en saturation, il existe  
une sous-saturation inhérente, due à la

**fenêtre oxygène**

**Cette sous saturation est presque égale**

**à :  $P - P_{(\text{Gaz Inerte})}$**

**et à  $PO_2$**



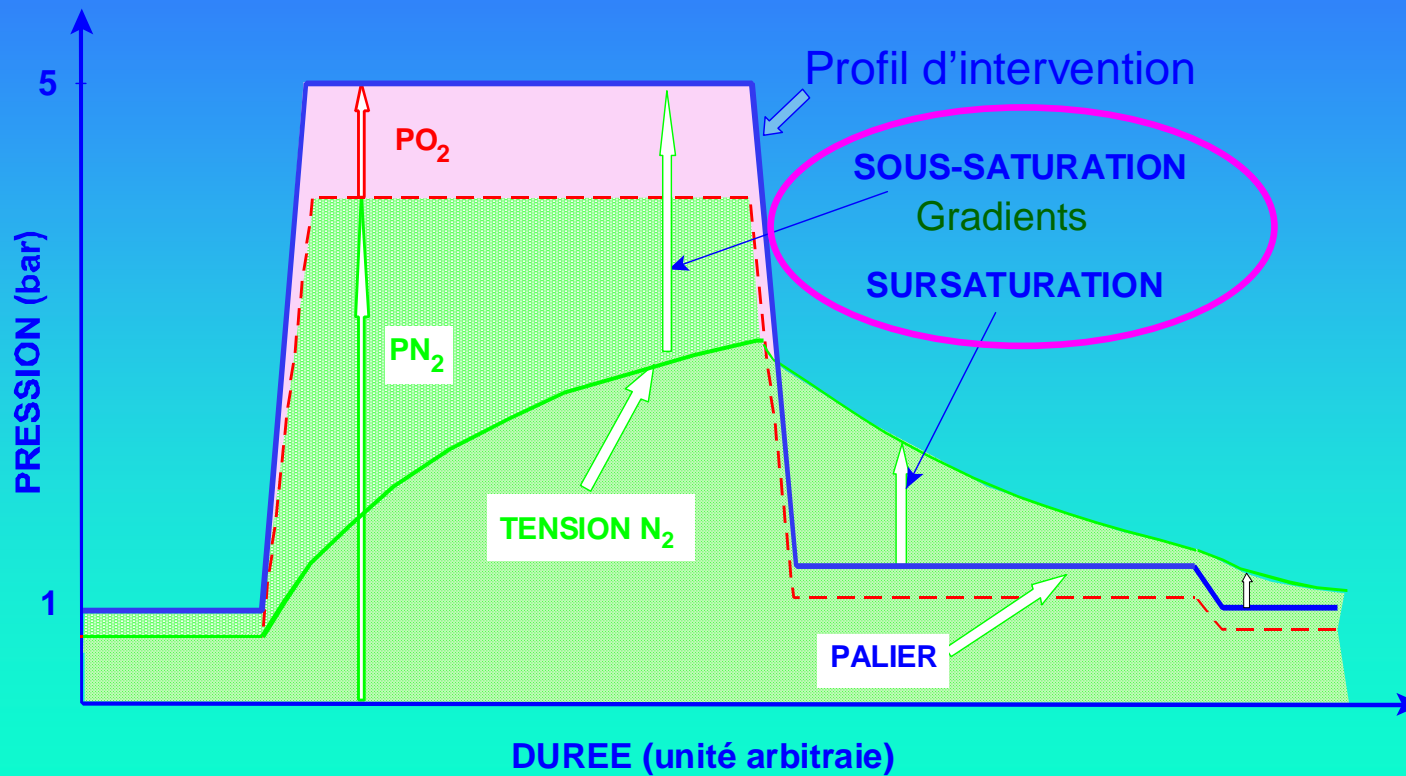
FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009



2 – Formation des bulles (suite)

## 2.2 – Pendant la décompression

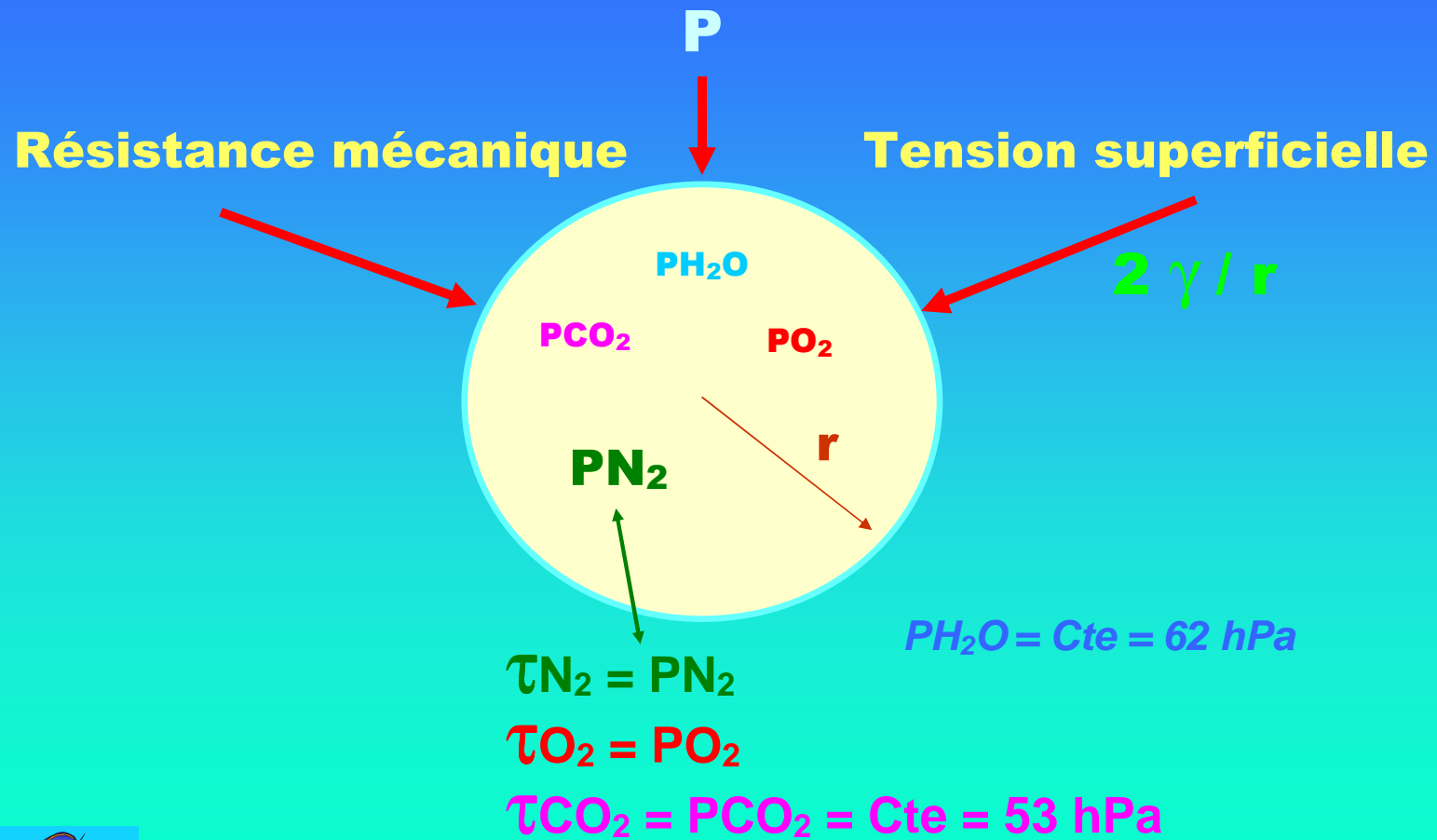
Existence d'une sursaturation



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

2 – Formation des bulles (suite)

2.3 – Existence de noyaux gazeux stables (?)



2.3 – Existence de noyaux gazeux stables (suite)

**La stabilité peut être assurée par la perméabilité variable selon Yount (VPM)**

**L'instabilité peut être déclenchée par les gaz dissous puis activée par Mariotte**

**Une fois déstabilisée, la bulle suit Mariotte et la loi de diffusion des gaz selon la tension du gaz inerte du tissus environnant**



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

## **3 – Sursaturation et durée**

### **3.1 – Modèle Haldaniens (MN 90, Bühlmann)**

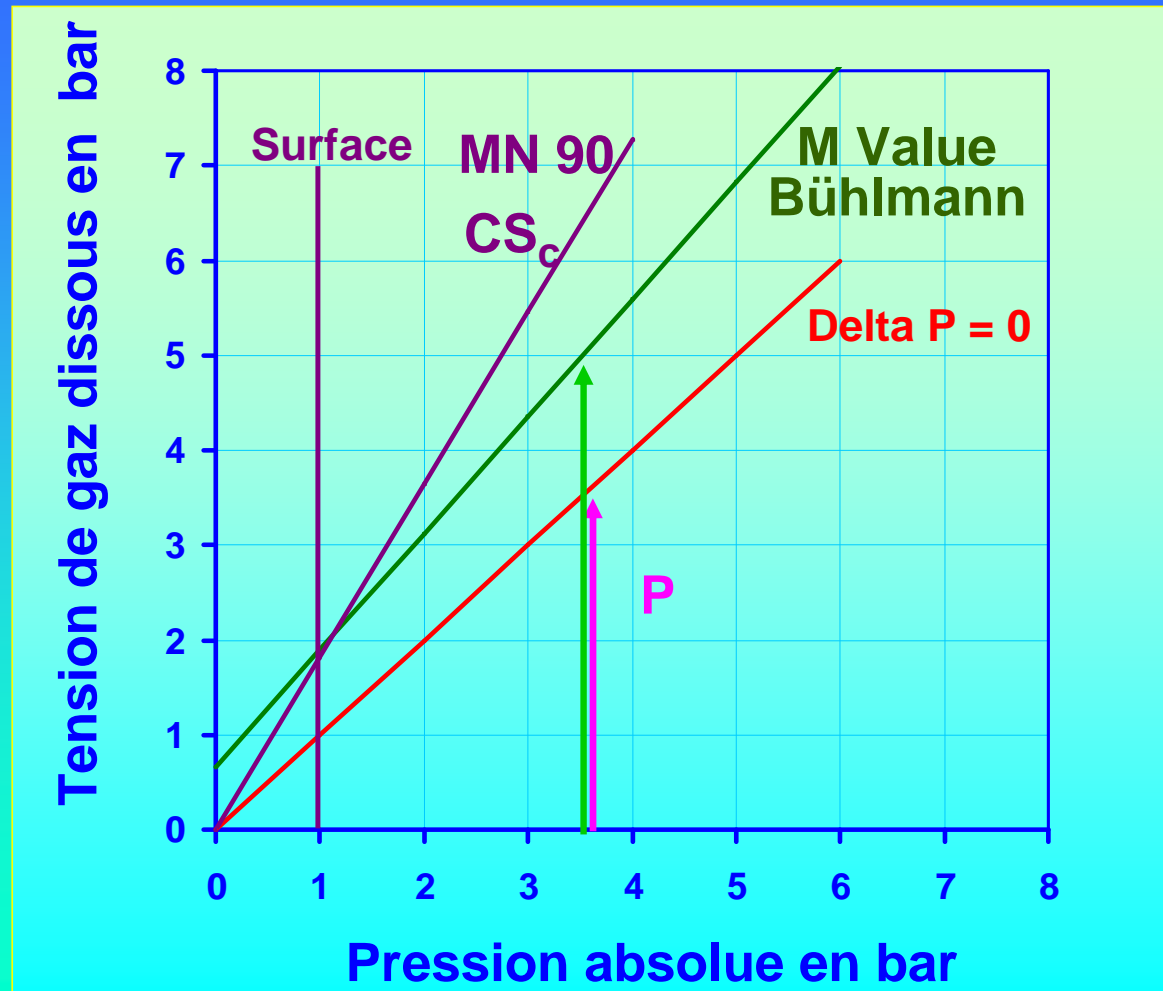
***Le critère limitant la remontée est une sursaturation critique maximale admissible***

***Explicité sous la forme d'une M Value  
ou  
d'un Coefficient de sursaturation critique***



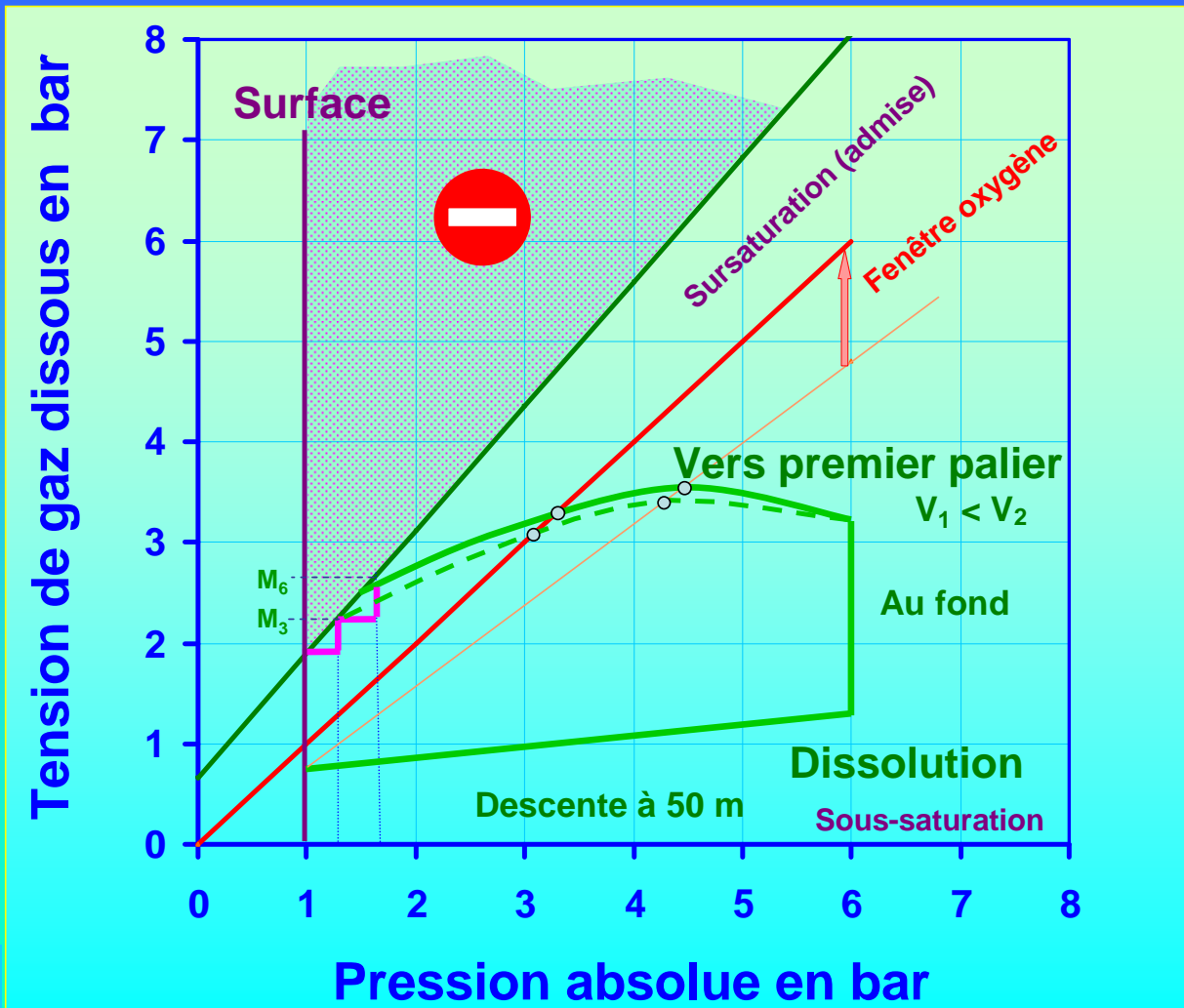
**FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009**

3.1 – Modèle Haldaniens (MN 90, Bühlmann) – (suite)



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

3.1 – Modèle Haldaniens (MN 90, Bühlmann) – (suite)



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

3.1 – Modèle Haldaniens (MN 90, Bühlmann) – (suite)

**Ces modèles purement  
Haldaniens ne tiennent pas  
compte de l'existence de bulles**

*et*

***Plus on va vite au premier palier  
moins les paliers résultants sont longs***



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

3 – Sursaturation et durée

**3.2 – Modèle VPM ou RGBM – Avec bulles**

**Mécanisme de formation des bulles**

**La compression puis la décompression**

**modifient:  $\tau N_2$ , les rayons et le contenu  
des Noyaux Gazeux**

**certains vont être activés ( $R > R_{\text{critique}}$ )**

**et développer des bulles**

***Il existe des bulles tissulaires et  
des bulles vasculaires***

***Aucun modèle ne prend en compte  
les mouvements (aléatoires) des bulles***



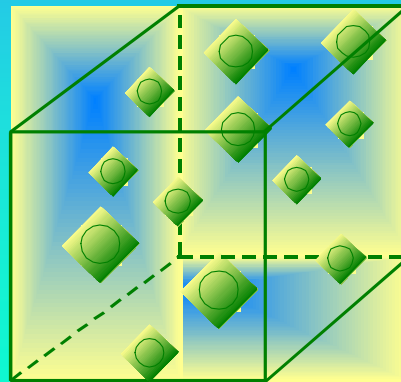
FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009



3.1 – Modèle VPM ou RGBM – Avec bulles (suite)

## Contrôle du dégazage (facteur critique de remontée)

***Le critère limitant la remontée est le volume de gaz formé dans les bulles à partir d'une famille de noyaux gazeux supposés préexistants***



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

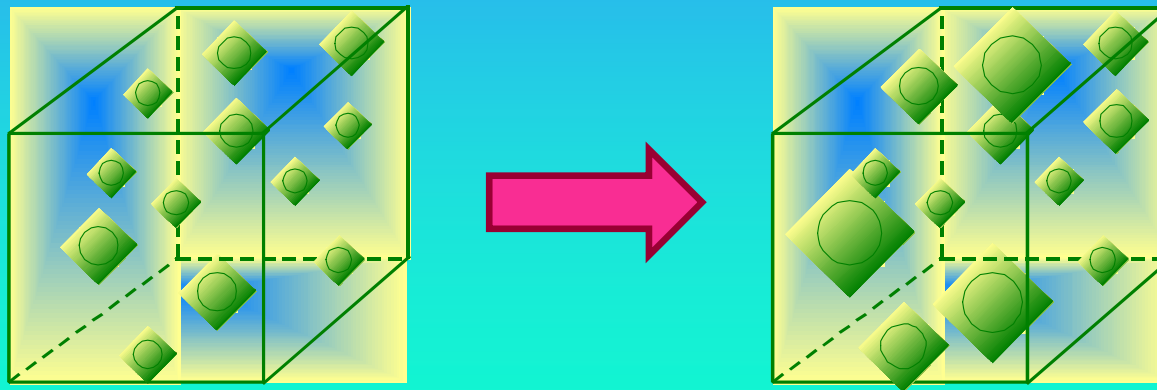
Contrôle du dégazage (suite)

***Pour Wienke (RGBM),***

***Examen de la nouvelle répartition des familles  
de bulles  $F(r)$  puis***

***Calcul du profil  $P = F(t)$***

***qui permet de limiter les rayons en deçà du  
rayon critique***



***C'est un procédé de calcul itératif.***



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

## Influence de la vitesse de remontée ?

***Pour une bulle activée,  
la variation de volume selon Mariotte  
n'est pas influencée par***

***la vitesse de décompression***

**Mais !**

***La variation de volume par diffusion liée à  
l'apport ou la perte de gaz***

***suit la cinétique du gaz inerte***

***du compartiment considéré***



Influence de la vitesse de remontée ? (suite...)

***Pour limiter la diffusion d'azote vers la bulle,  
il faut maintenir grand  $PN_2$  dans la bulle,***

***mais une valeur faible pour  $\tau N_2$  dans le tissu.***

***Une remontée lente maintient la pression élevée  
dans la bulle,***

***mais ralentit l'élimination dans le tissus... !!!***

***Une simulation (Van Liew, 1999) a montré que  
l'avantage est favorable à une remontée lente.***



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

***Donc la vitesse de décompression est  
essentielle***

***lorsque la période du compartiment est du  
même ordre que le temps de remontée***

***Il s'agit donc uniquement des  
compartiments à périodes inférieures  
à 10 minutes.***

***Par contre, l'amplitude du saut de pression  
influe sur l'activation des bulles  
dans tous les compartiments***

***quelle que soit la vitesse***

**FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009**



## **4 – Application aux tables**

### **4.1 – En principe**

***Pour l'un ou l'autre des types de modèles,***

***alors qu'en théorie***

***n'importe quelle vitesse***

***pourrait être utilisée pour le calcul.***

***Le calcul des tables tient compte***

***d'une vitesse de remontée choisie***

***(et donc à respecter !!!)***



**FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009**

#### 4 – Application aux tables (suite)

### 4.2 – En pratique

***Les valeurs limites de sursaturation (**M values**, **Coefficients**) n'étant qu'empiriques et obtenues avec une certaine vitesse de transit.***

***Ces valeurs limites n'ont pas de justification absolue***

***Leur validation est liée à la vitesse utilisée lors des essais.***



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

#### 4 – Application aux tables (suite)

### 4.3 – Exemples

***Lors du calcul des MT 92, la vitesse de remontée était déjà de 15 m/min maximum.***

***Tom Hennessy, pour les tables BSAC (1988) a choisi :***

***Vitesse maximum de remontée pendant la plongée : 15 m/min***

***Vitesse max pour passer de 6 m en surface en fin de palier : 6 m/min***

***De plus le temps de remontée est intégré dans le temps au fond pour la détermination des paliers.***





# Tables BSAC (extrait)

**Durée de la plongée :**  
**depuis le départ surface**  
**jusqu'à l'arrivée au premier palier**  
**ou en surface**

**Vitesse de remontée :**  
**15 m/min Maximun**  
**6 m/min changement de palier**



TABLE A															
SURFACE INTERVAL TABLE															
LAST DIVE CODE	Minutes				Hours										
	15	30	60	90	2	3	4	6	10	12	14	15	16		
A	A														
DEPTH (metres)	ASCENT TIME (mins)	DIVE TIME (minutes)													
		No-Stop Dives					Decompression Stop Dives								
3	(1)	-	166	∞											
6	(1)	-	36	166	593	∞									
9	1	-	17	67	167	203	243	311	328	336	348	356	363	370	376
12	1	-	10	37	87	104	122	156	169	177	183	188	192	197	201
15	1	-	6	24	54	64	74	98	109	116	121	125	129	133	136
18	1	-	17	37	44	51	68	78	84	88	92	95	98	101	
DECOMPRESSION STOP (minutes) at 6 metres								1	3	6	9	12	15	18	21
SURFACING CODE		B	C	D	E	F	G	G	G	G	G	G	G	G	G
21	1	-	13	28	32	37	51	59	65	68	72	75	77		
24	2	-	11	22	26	30	41	49	53	56	59	62	64		
27	2	-	8	18	21	24	34	41	45	47	50	52	55		
30	2	-	7	15	17	20	29	35	39	41	43	45	47		
33	2	-	13	15	17		25	30	34	36	38	40	42		
36	2	-	11	12	14		22	27	30	32	34	36	37		
39	3	-	10	12	13		20	25	29	30	32	33	35		
DECOMPRESSION STOPS (minutes) at 9 metres								1	1	1	1	2			
at 6 metres								1	3	6	9	12	15	18	
SURFACING CODE		B	C	D	E	F	G	G	G	G	G	G	G	G	G

ASCENT RATE - 15 metres per minute. Take 1 minute from 6m to surface  
 DIVE TIME - time from leaving surface to arriving at 0m on return to surface, or arrival at 9m on 2 Stop dives.

## **5 – Application aux ordinateurs**

***Pour les modèles «à bulles»  
le calcul en temps réel de l'évolution des tensions***

***et,***

***des volumes de gaz***

***tient évidemment compte du vrai profil***

***N'importe quelle vitesse de remontée  
devrait convenir.***



**FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009**

5 – Application aux ordinateurs (suite)

***Les modèles «sans bulles»  
sont limités par les conditions de validation  
de leurs critères de remontée***

***Les modèles «avec bulles»  
sont aussi contraints de rester dans la gamme  
de vitesse pour lesquelles ils ont obtenu la  
validation des volumes critiques***



## **6 – Données scientifiques ou de terrain**

### **6.1 – Données empiriques**

***Les corailleurs***

***Les pêcheurs de poissons vivants***

***Plongées YO-YO, RSE***

### **6.2 – Base de données du DAN**

***Plongées 25 m / 25 min***

***Palier à mi-profondeur :  
Amélioration significative niveau de bulles***



**FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009**

6 – Données scientifiques ou de terrain (suite)

### 6.3 – Expérimentation de la Marine Nationale (Blatteau)

***Deux protocoles suivis de détection de bulles  
sont comparés avec MN 90 standard :  
60 m / 25 min***

***1 – Décompression selon VPM (Calcul B. Gardette)***

***Paliers plus profonds et vitesses plus faibles,  
Une successive***

***Beaucoup plus de bulles après la successive  
et même un ADD !***



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

**2 – Décompression selon MN 90 mais :**  
**Palier 1/2 profondeur 2 min**  
**Pas d'autre changement**

***Pas de différence significative***

***Mais table pas rallongée pour le palier  
supplémentaire !***

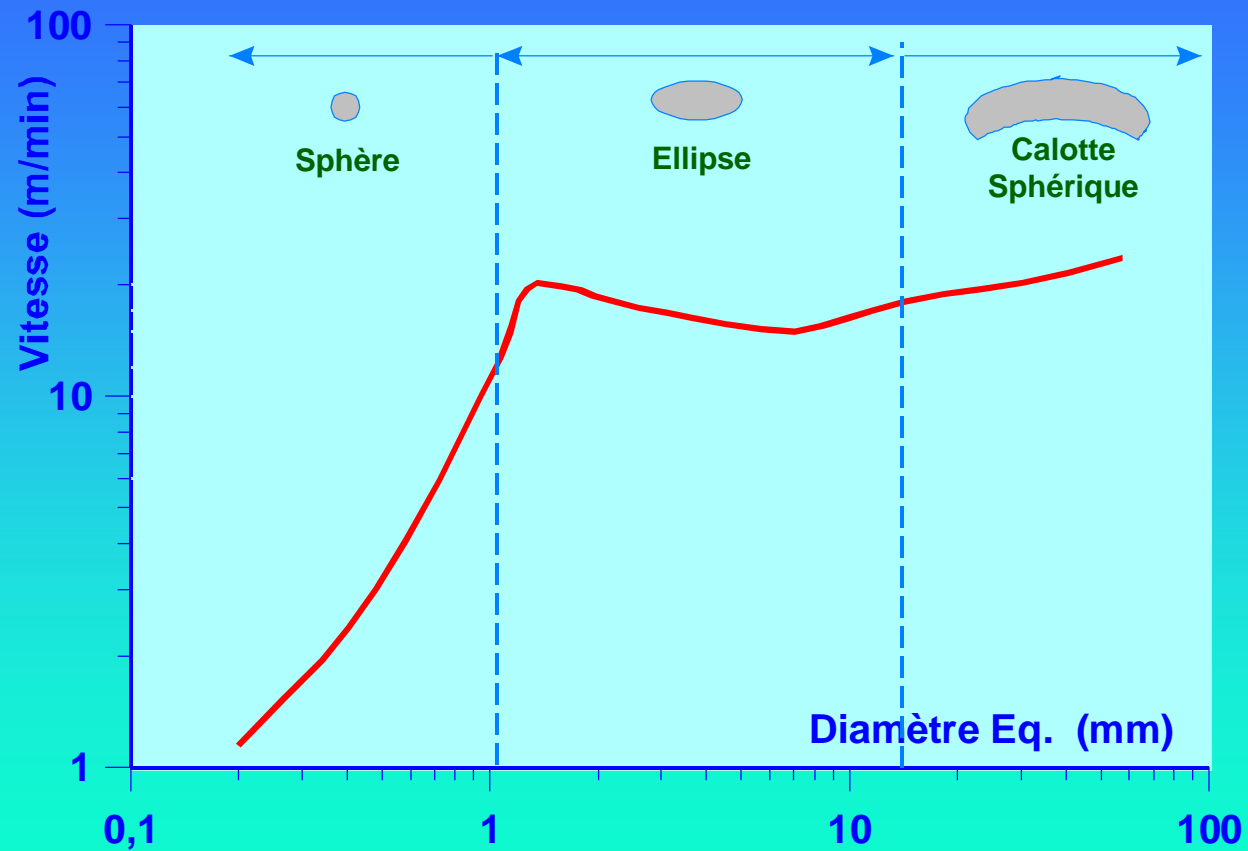
***Conclusions :***

***Rien n'est vraiment démontré,***  
***DAN : Plongées peu profondes***  
***MN : Pas de différence significative !***



6 – Données scientifiques ou de terrain (suite)

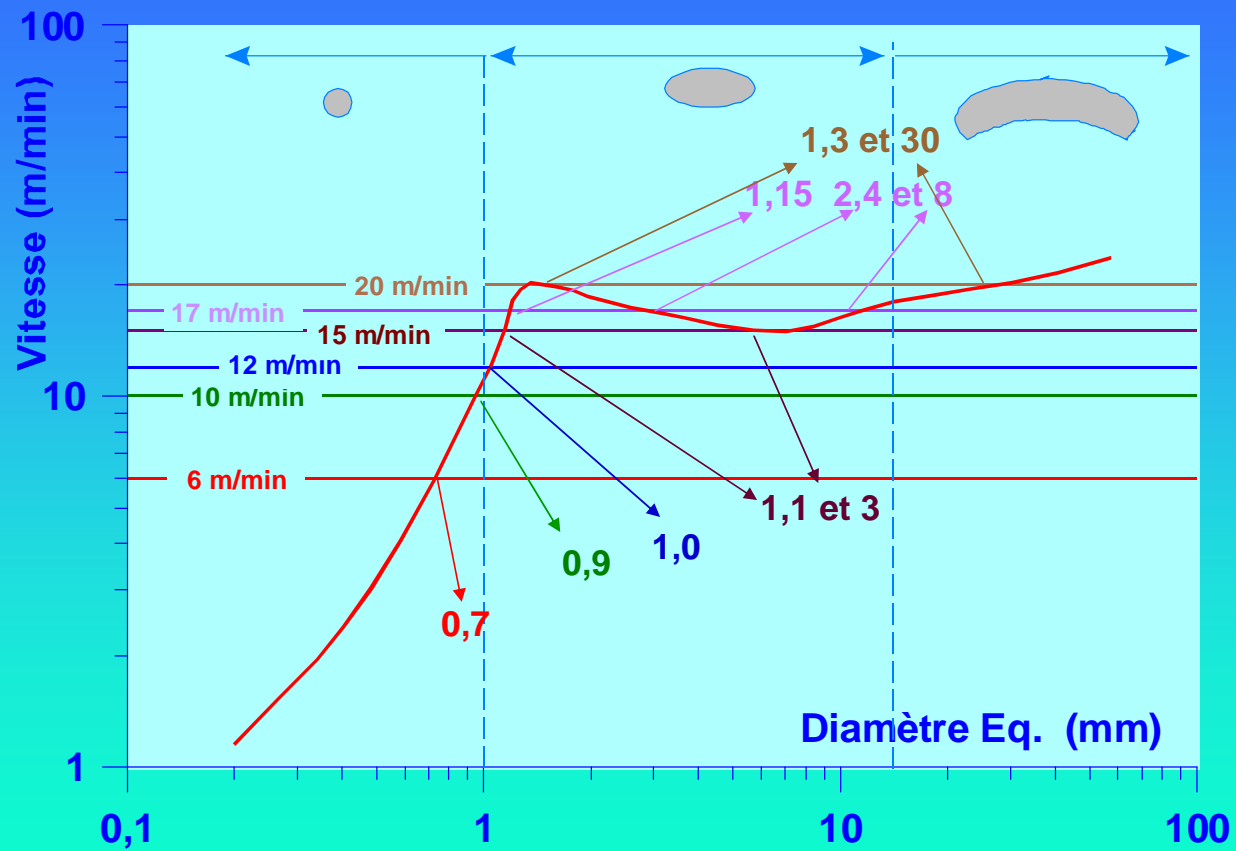
### 6.4 – Vitesse de remontée des petites bulles



D'après Hervé Cordier

FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

## 6.4 – Vitesse de remontée des petites bulles (suite)



D'après Hervé Cordier

FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009



## **7 – Recommandations et conclusions**

### **7.1 – Vous plongez avec la table de votre choix**

***Choisissez une table qui prévoit moins de 15 m/min, et***

***Suivez la table !***

***Éventuellement offrez vous 3 minutes à mi-profondeur, puis 12 m/min***

***Intégrez le temps de transit vers le palier à mi-profondeur et de ce palier dans le « temps au fond » pour le choix des paliers...***



**FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009**

7 – Recommandations et conclusions (suite)

**7.2 – Vous plongez avec un ordinateur**

***Ne remontez pas plus vite que 12 m/min***

***Faites un palier à mi-profondeur de 3 min***

***Restez à 6 mètres jusqu'au feu vert pour faire surface....***

***Et faites le en 2 minutes....***



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

7 – Recommandations et conclusions (suite)

**7.3 – Remontée sans embout**

***Après un séjour court (la descente plus 1 min),***

***une remontée sur expiration,  
même de 30 mètres, en une minute***

***ne présente aucun risque  
d'accident de décompression***

***Mais une seule fois...  
et avant la plongée explo... «consécutive»***



FFESSM – CD 67 – Strasbourg Février 2009

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

**Site : [www.hyperbar.club.fr](http://www.hyperbar.club.fr)**

**Mail : [hyperbar@club-internet.fr](mailto:hyperbar@club-internet.fr)**

