



L'ENSEIGNEMENT DES M-VALUES ET DES GRADIENT FACTORS

RÉUNION DES MONITEURS – 15 FÉVRIER 2026

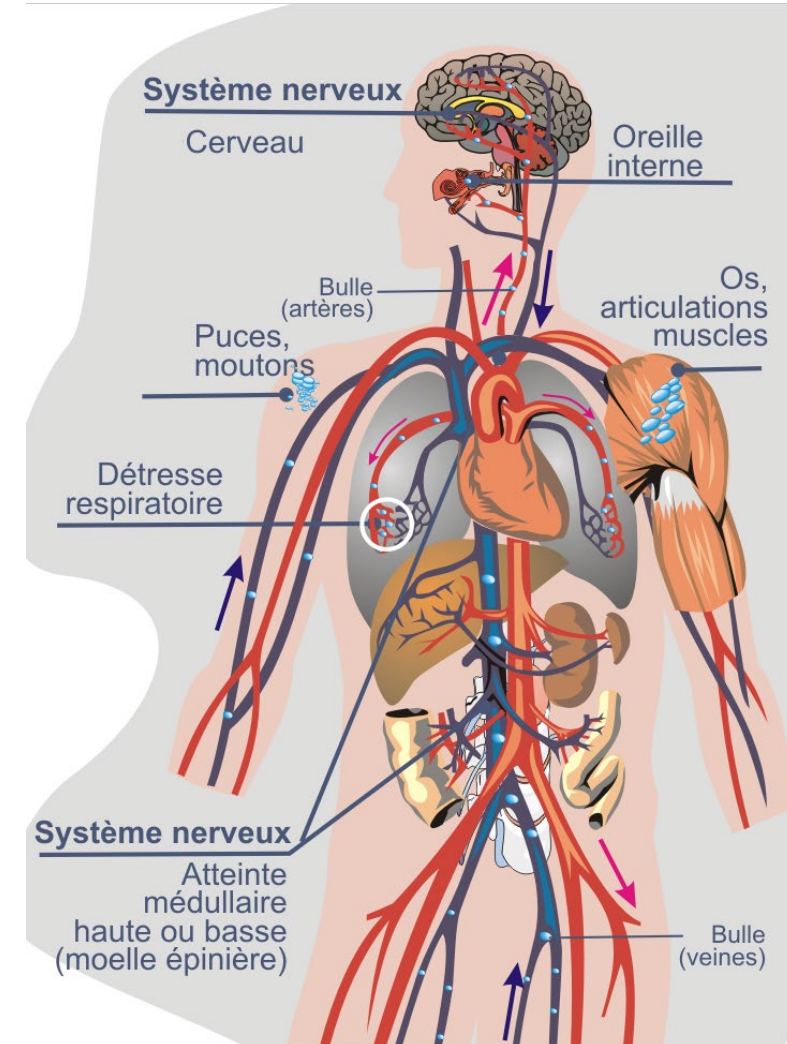
- MFT décembre 2025
 - **N2 :**
 - « Il connaît les critères de conservatisme, il sait utiliser le mode planification et carnet de plongée. Il connaît les **valeurs limites de GF** (gradient factor) »
 - **N3 :**
 - « Connaissance des principes des modèles utilisés dans les différents moyens de désaturation (**incidence de l'application des GF sur les paliers**) »
 - « Il connaît les critères de conservatisme, sait utiliser le mode planification, **connaît les valeurs limites de GF pour la plongée à l'air** »
 - Connaissance du modèle de Haldane et dérivés. **Principe du modèle (M-values et GF)**, jeux de paramètres (**Bühlmann, ZHL-16C**, RGBM) »
- MFT janvier 2026
 - **N4 :**
 - « Cas particulier du conservatisme par les Gradient Factor (GF) : connaître les limites de GF pour la plongée à l'air »

**Vous allez devoir enseigner les M-values
et les GF à vos plongeurs**

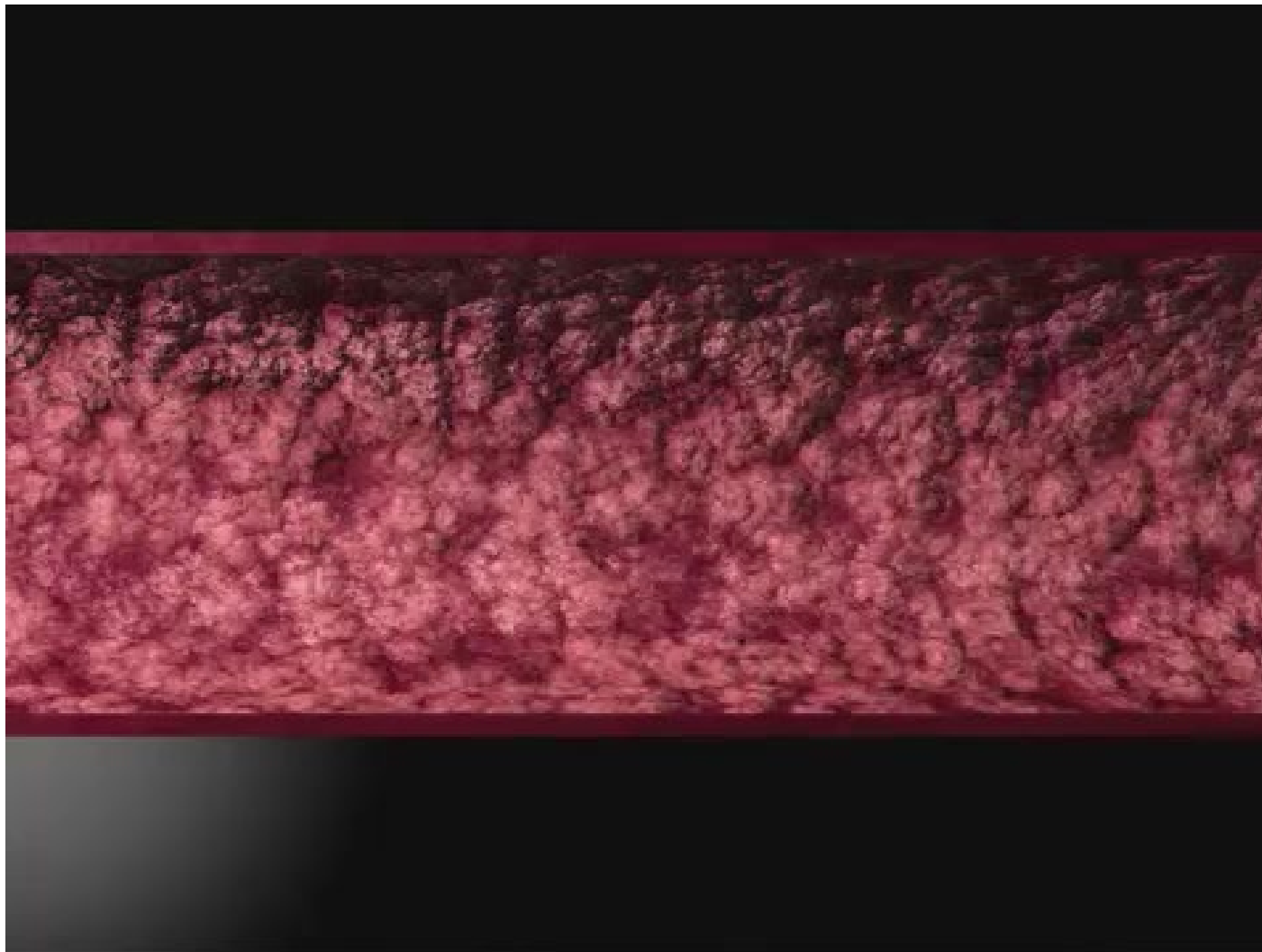
- Objectif :
 - Comprendre ce que sont les M-values et les GF et comment les utiliser
 - Savoir quoi en dire (et quoi ne pas dire) aux élèves
- Plan
 - L'ADD
 - L'ordinateur de plongée
 - Les M-Values
 - Les Gradient Factors
 - L'enseignement de la désaturation
 - Pour aller plus loin

L'OBJECTIF FINAL : ÉVITER LES ADD

1. Au cours de la plongée, l'organisme absorbe de **l'azote** dissous dans les tissus
2. A la remontée, tous les plongeurs produisent des **microbulles**
3. Ces bulles se chargent en **azote**, qui **repassse progressivement à l'état gazeux**.
4. Dans des conditions normales, elles sont **naturellement évacuées** par la respiration
5. Mais certaines peuvent **grossir**...
6. ...**coincer** à des endroits sensibles
7. Et provoquer des **lésions** + ou - graves



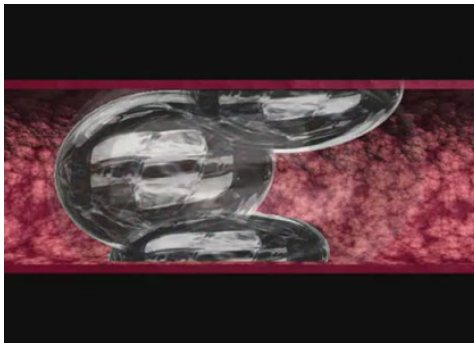
L'OBJECTIF FINAL : ÉVITER LES ADD



ADD = combinaison AZOTE + BULLES

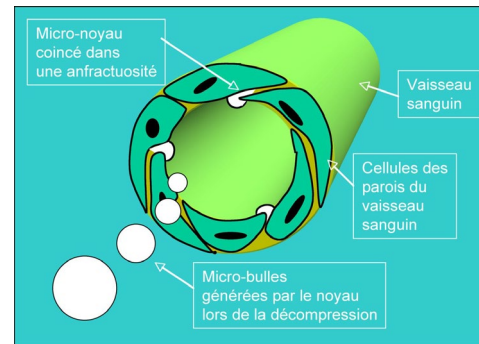
Evolution de la
quantité d'azote

Bühlmann ZHL-16c



→ Azote
+ nb bulles et taille

RGBM et VPM



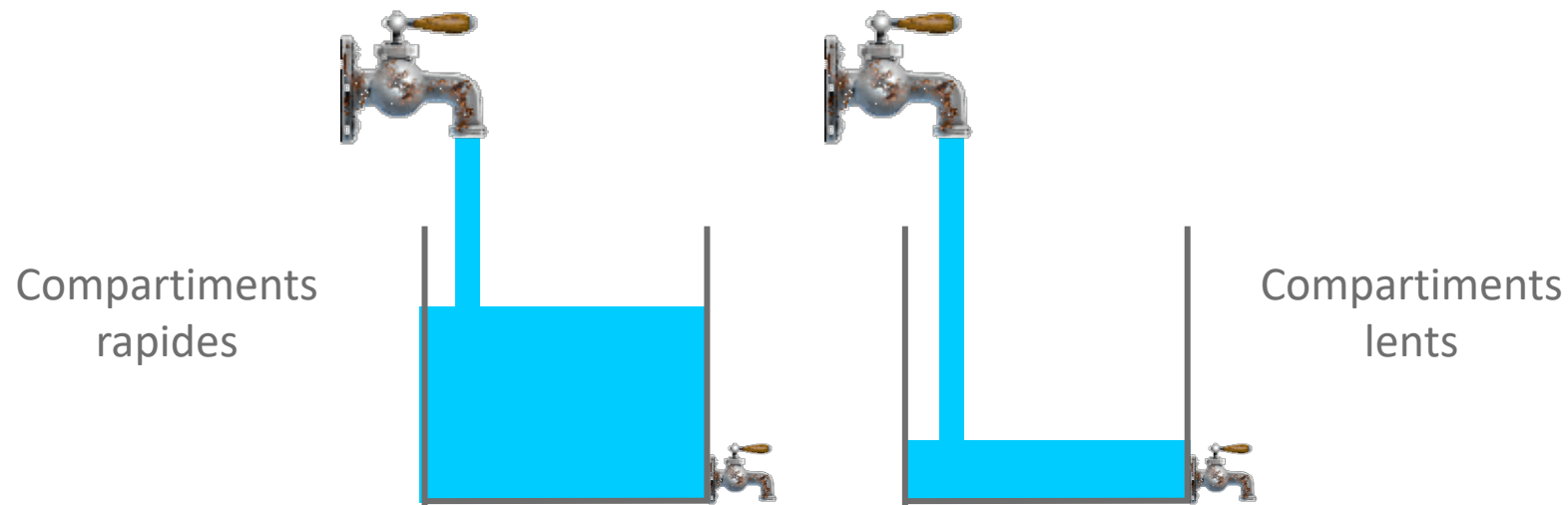
- Estiment **en continu** la quantité d'azote présente dans l'organisme → **formule de Haldane**

$$T_{Gaz\ neutre} = T_0 + (Gradient \times \%sat)$$

$$T_{Gaz\ neutre} = Tf + R(\Delta t - \frac{T}{\ln 2}) - (Tf - T_0 - R \times \frac{T}{\ln 2}) \times 0,5^{\frac{\Delta t}{T}}$$

- Comparent **en continu** avec une **valeur maximale d'azote tolérable par l'organisme** → **m-value**
 - Si **quantité d'azote < valeur maximale tolérable** → on peut remonter
 - Si **quantité d'azote > valeur maximale tolérable** → on doit s'arrêter (palier)

- Tous les organes humains ne chargent / déchargent pas de la même manière en azote
 - Muscles, cerveau, ... chargent et déchargent rapidement
 - Os, tendons, cartilages, ... chargent et déchargent lentement
- Bühlmann a **modélisé** l'organisme à l'aide de **16 compartiments fictifs**, représentant des vitesses différentes de charge et de décharge des gaz.



- Chaque compartiment est caractérisé par une **demi-vie ou période**, qui représente le temps nécessaire pour parcourir la moitié du chemin vers l'équilibre en charge comme en décharge.
- Le compartiment qui atteint sa m-value le plus rapidement impose le palier

- Développées par Albert Bühlmann entre 1960 et 1980
- Principes :
 - La tolérance à la sursaturation dépend de la pression ambiante
 - $M\text{-value} = a \times P_{amb} + b$
 - Les valeurs a et b sont **différentes** pour chaque compartiment

Tabelle 25. Die Koeffizienten ZH-L16 für N₂

Kompartiment Nr.	t _{1/2} N ₂ [min]	ZH-L16A „theoretisch“		ZH-L16B Tabelle	ZH-L16C Computer
		b	a	a	a
1	4,0	0,5050	1,2599	1,2599	1,2599
1b	5,0	0,5578	1,1696	1,1696	1,1696
2	8,0	0,6514	1,0000	1,0000	1,0000
3	12,5	0,7222	0,8618	0,8618	0,8618
4	18,5	0,7825	0,7562	0,7562	0,7562
5	27,0	0,8126	0,6667	0,6667	0,6200
6	38,3	0,8434	0,5933	0,5600	0,5043
7	54,3	0,8693	0,5282	0,4947	0,4410
8	77,0	0,8910	0,4701	0,4500	0,4000
9	109,0	0,9092	0,4187	0,4187	0,3750
10	146,0	0,9222	0,3798	0,3798	0,3500
11	187,0	0,9319	0,3497	0,3497	0,3295
12	239,0	0,9403	0,3223	0,3223	0,3065
13	305,0	0,9477	0,2971	0,2850	0,2835
14	390,0	0,9544	0,2737	0,2737	0,2610
15	498,0	0,9602	0,2523	0,2523	0,2480
16	635,0	0,9653	0,2327	0,2327	0,2327

- Validation **statistique**
- Plongées expérimentales en caisson (années 1960–1980)
 - Volontaires humains, profils variés
 - Observation clinique des ADD → arrêt de l'expérience dès apparition des premiers signes
 - Ajustement **empirique** des coefficients a et b :
 - Inclure tous les profils sans accident
 - Exclure ceux avec ADD
- Les M-values ne sont pas :
 - Un seuil physiologique réel
 - Une frontière « bulles / pas bulles »
- C'est :
 - Une **hypothèse mathématique conservatrice**
 - Construite pour **éviter l'accident**, pas pour l'expliquer

<i>N° compartiment</i>	1	2	3	4	5
<i>M_0 : M-Value à la surface</i>	3,17	2,54	2,25	2,03	1,9
<i>M_3 : M-Value à 3m</i>	3,74	3	2,66	2,42	2,27
<i>M_6 : M-Value à 6m</i>	4,32	3,46	3,08	2,8	2,64
<i>T_{N2} pour 10mn à 30m</i>	2,69	2,11	1,75	1,48	1,28

<i>N° compartiment</i>	1	2	3	4	5
<i>M₀ : M-Value à la surface</i>	3,17	2,54	2,25	2,03	1,9
<i>M₃ : M-Value à 3m</i> Palier → 3 m	3,74	3	2,66	2,42	2,27
<i>M₆ : M-Value à 6m</i>	4,32	3,46	3,08	2,8	2,64
<i>T_{N2} pour 20mn à 30m</i>	3,04	2,69	2,33	1,99	1,69

N° compartiment	1	2	3	4	5
M_0 : M-Value à la surface	3,17	2,54	2,25	2,03	1,9
M_3 : M-Value à 3m	3,74	3	2,66	2,42	2,27
M_6 : M-Value à 6m Palier → 6 m	4,32	3,46	3,08	2,8	2,64
T_{N2} pour 35mn à 30m	3,11	3	2,77	2,47	2,15

- La M-Value est une **hypothèse mathématique, validée statistiquement**
 - En dessous de la M-Value : peu d'ADD observés
 - Au-dessus de la M-Value : trop d'ADD observés
- **ATTENTION** : La M-Value ne prend pas en compte les facteurs favorisant l'ADD :
 - Âge
 - Embonpoint
 - Condition physique
 - Profils à risque
 - Froid
 - Déshydratation
 - Facteurs personnels
- Elle est la même sur tous les ordinateurs (marque / modèle)

- Je peux décider d'abaisser **volontairement** la limite de la quantité d'azote tolérable
- Dans ce cas, cette limite est **inférieure à la M-Value et je vais l'atteindre plus tôt pendant ma plongée**

N° compartiment	1	2	3	4	5
M_0 : M-Value à la surface	3,17	2,54	2,25	2,03	1,90
80% de M_0	2,53	2,03	1,80	1,63	1,52
M_3 : M-Value à 3m	3,74	3,00	2,66	2,42	2,27
80% de M_3 Palier → 3 m	3,37	2,70	2,39	2,18	2,04
T_{N_2} pour 10mn à 30m	2,69	2,11	1,75	1,48	1,28

- GF = % de la sursaturation autorisée par Bühlmann (pas de la m-value)
- Deux coefficients : GF bas / GF haut qui **ajoutent une marge de sécurité → paliers plus profonds et plus longs**
 - GF bas : détermine la profondeur du 1^{er} palier. Plus il est bas, plus le 1^{er} palier sera profond
 - GF haut : détermine la durée du dernier palier. Plus il est bas, plus le dernier palier sera long
- Quels GF utiliser en **plongée à l'air** ou au Nitrox ?
 - **Consensus** pour des **GF jumeaux**
 - **90/90** ou **85/85** en plongée loisir **non engagée**
 - **80/80** voire **70/70** en fonction de l'âge, la condition physique, l'engagement de la plongée, etc.
 - Mais **pas en dessous**
- Attention : **les GF ne prennent pas en compte le froid, la fatigue, etc.** Il s'agit d'une réduction de la valeur maximale d'azote tolérable

- Définie de manière statistique par B. Gardette de la Comex sur les plongées professionnelles et adaptées à la plongée loisir
- Facteur $Q = Prof \times \sqrt{Temps}$

Engagement	Exemple de profil	Risque d'ADD
120 - Air	20m - 35' 30m - 15' 40m - 10' 50m - 5'	1/10000
150 - Air	30m - 25' 40m - 15' 50m - 10' 60m - 5'	3/10000
200 - Air	30m - 45' 40m - 25' 50m - 15' 60m - 10'	1/1000
240 - Air	40m - 35' 50m - 25' 60m - 15'	2/1000

Valeurs préconisées : **90/90 à 80/80**

Valeurs préconisées : **80/80 à 70/70**

EXEMPLE : UNE PLONGÉE SUR LE DONATOR (50M) – GF 90/90

Prof / Temps

Prof. max: 50 - temps: 15

MULTILEVEL





CCR mode

DC mode

OC / Bailout Gases

CCR Rebreather Settings

UNITES: Metres / Litres / Bars

Description	Prof.	Temp	Start	End	GaZ	PPO2	PPN2	Gas disponible	CNS%	OTUs	GF	Descrip
Start	0		0		AIR	0,00				0		
Stay at bottom	50	15	0	15	AIR	1,26	4,75	1664 / 111b	7%	18		
Deco	9	1	20	21	AIR	0,40	1,51	1282 / 85b	8%	21	90.0	
Deco	6	4	21	25	AIR	0,34	1,27	1174 / 78b	8%	21	90.0	
Deco	3	7	25	32	AIR	0,28	1,04	1027 / 68b	8%	21	90.0	
Surface	0	1	33	33							90.0	

Prof. max: 50

RunTime: 33

Temps déco: 13

TTS: 18

 011:30

DESAT

017:00

Réglages avancés:

GRADIENT FACTORS:

GF Low: 90 %

GF High: 90 %

© 2013 Antoine PASTORELLI

website Forum e-mail contact

CONSOMMATION GAZ

	Litres	Bars	Resid Bars
Gas # 1	2273	152	68
CCR O2	0	0	0

EXEMPLE : UNE PLONGÉE SUR LE DONATOR (50M) – GF 80/80

Prof / Temps

Prof. max: 50 - temps: 15

MULTILEVEL



CCR mode

DC mode

OC / Bailout Gases

CCR Rebreather Settings

UNITES: Metres / Litres / Bars

Description	Prof.	Temp	Start	End	GaZ	PPO2	PPN2	Gas disponible	CNS%	OTUs	GF	Descrip
 Start	0		0		AIR	0,21				0		
 Stay at bottom	50	15	0	15	AIR	1,26	4,75	1664 / 111b	7%	18		
 Deco	9	2	20	22	AIR	0,40	1,51	1253 / 84b	8%	21	80.0	
 Deco	6	5	22	27	AIR	0,34	1,27	1121 / 75b	8%	21	80.0	
 Deco	3	10	27	37	AIR	0,28	1,04	915 / 61b	8%	21	80.0	
 Surface	0	1	38	38							80.0	

Prof. max: 50

RunTime: 38

Temps déco: 18

TTS: 23

 011:30

DESAT

018:00

Réglages avancés:

GRADIENT FACTORS:

GF Low: 80 %

GF High: 80 %

© 2013 Antoine PASTORELLI

© 2013 Antoine PASTORELLI

[website](#)

[Forum](#)

[e-mail contact](#)

CONSUMMATION GAZ

	Litres	Bars	Resid Bars
Gas # 1	2385	159	61
CCR O2	0	0	0

EXEMPLE : UNE PLONGÉE SUR LE DONATOR (50M) – GF 80/80

Prof / Temps

Prof. max: 50 - temps: 11

MULTILEVEL





CCR mode

DC mode

OC / Bailout Gases

CCR Rebreather Settings

UNITES: Metres / Litres / Bars

Description	Prof.	Temp	Start	End	GaZ	PPO2	PPN2	Gas disponible	CNS%	OTUs	GF	Descrip
 Start	0		0		AIR	0,21				0		
 Stay at bottom	50	11	0	11	AIR	1,26	4,75	2145l / 143b	4%	12		
 Deco	6	2	16	18	AIR	0,34	1,27	1737l / 116b	6%	15	80.0	
 Deco	3	5	18	23	AIR	0,28	1,04	1629l / 109b	6%	15	80.0	
 Surface	0	1	24	24							80.0	

Prof. max: 50

RunTime: 24

Temps déco: 8

TTS: 13



010:30

DESAT

013:00

Réglages avancés:

GRADIENT FACTORS:

GF Low: 80 %

GF High: 80 %

© 2013 Antoine PASTORELLI

© 2013 Antoine PASTORELLI

[website](#)

[Forum](#)

[e-mail contact](#)

CONSOMMATION GAZ

	Litres	Bars	Resid Bars
Gas # 1	1671	111	109
CCR O2	0	0	0

EXEMPLE : UNE PLONGÉE SUR LE DONATOR (50M) – GF 80/80 + O₂

Prof / Temps

Prof. max: 50 - temps: 16

MULTILEVEL

CCR mode

OC mode

OC / Bailout Gases
CCR Rebreather Settings
UNITES: Metres / Litres / Bars

	O2	He	N2	Bars	Vol. bout.	O2MOD	N2MOD	DECO	@ PROF
OC Gas #1:	21	0	79	- 220	15 Litres -	66	- 61	☒	47
OC Gas #2:	80	0	20	- 200	6 Litres -	10	- 270	☒	10

Description	Prof.	Temp	Start	End	GaZ	PPO2	PPN2	Gas disponible	CNS%	OTUs	GF	Descrip
Start	0		0		AIR	0,81				0		
Stay at bottom	50	16	0	16	AIR	1,26	4,75	1543 / 103b	7%	19		
Gas swap	10	0	20	20	NX 80	1,61	0,40	1200 / 200b	8%	22		
Deco	9	2	20	22	NX 80	1,53	0,38	1138 / 190b	11%	26	80.0	
Deco	6	3	22	25	NX 80	1,29	0,32	1055 / 176b	13%	31	80.0	
Deco	3	5	25	30	NX 80	1,05	0,26	947 / 158b	15%	37	80.0	
Surface	0	1	31	31							80.0	

Prof. max: 50
RunTime: 31

Temps déco: 11
TTS: 15

011:30
DESAT
016:00

Régages avancés:

GRADIENT FACTORS:

GF Low: 80 %
GF High: 80 %

CNS RESIDUEL PLONGEE PRECED:

CNS%: 0 %
Interv. surface: 0 Min

© 2013 Antoine PASTORELLI
[website](#)
[Forum](#)
[e-mail contact](#)

CONSUMMATION GAZ

	Litres	Bars	Resid Bars
Gas # 1	2110	141	79
Gas # 2	253	42	158
Gas # 3	0	0	0
Gas # 4	0	0	0
Gas # 5	0	0	0
Gas # 6	0	0	0
CCR O2	0	0	0

- Pourquoi en parler aujourd'hui ?
 - Jusqu'à récemment, les GF concernaient surtout les GP et les moniteurs
 - Avec l'évolution du MFT et la généralisation des ordinateurs type Shearwater Peregrine, il est désormais nécessaire d'en parler aussi aux N2, N3, et même à certains N1 équipés.
 - Objectif :
 - Ne pas expliquer le fonctionnement mathématique ni la théorie complète
 - Mais apprendre à régler correctement leur ordinateur
- Problème des réglages par défaut
 - Les ordinateurs Shearwater sont livrés par défaut en GF 40/85 (« prudence moyenne »).
 - À l'air, ce réglage est inadapté :
 - GF bas trop faible
 - Premier palier trop profond
 - **Totalement contreproductif en plongée loisir à l'air**

COMMENT ENSEIGNER LES GF ?

- Message simple : Changez les réglages en fonction de vos plongées
- Plongée loisir non engagée à l'air
 - 90/90 ou 85/85
- Plongée engagée / conditions difficiles
 - 80/80, voire 70/70

- Les procédures sont aujourd'hui bien maîtrisées, mais **elles ne suffisent pas à éliminer le risque.**
- Les facteurs humains et physiologiques jouent **un rôle majeur.**
 - **Physiologiques :**
 - Âge (>40 ans = risque accru x2).
 - Obésité (risque x8).
 - FOP (30 % des plongeurs en sont porteurs, la plupart du temps à leur insu).
 - Facteurs génétiques : individus « bulleurs »
 - **Comportementaux :**
 - Plongées répétées ou profondes excessives.
 - Mauvaise gestion des efforts après plongée (remonter à l'échelle, porter des blocs).
 - "Yoyos" (variations de profondeur brutales).
- **Conclusion :** Les plongeurs doivent se concentrer sur leur condition physique, leur comportement et l'adoption de bonnes pratiques, **au moins autant que sur les algorithmes.**

- **Faire :**
 - Respectez les procédures de décompression et configurez vos ordinateurs correctement.
 - Maintenez une bonne condition physique (sport, hydratation, entraînement).
 - En cas de plongées profondes : suivez une préparation progressive et évitez les plongées successives agressives.
- **Ne pas faire :**
 - Évitez les efforts brusques après immersion (remontées rapides, port de charges lourdes).
 - Ne négligez pas les signes de fatigue ou les symptômes inhabituels post-plongée.
- ***"Les plongeurs doivent allier préparation physique, comportements responsables et utilisation éclairée des outils modernes pour limiter les risques."***

- Repenser l'approche pédagogique :
 - Mettez l'accent sur les facteurs humains et comportementaux, plutôt que sur la complexité des algorithmes.
 - Intégrez des exemples concrets : facteurs physiologiques, comportements à risque
- Messages essentiels à transmettre aux élèves :
 - "Préparez-vous physiquement" : Faites du sport, restez actif toute l'année.
 - "Pratiquez une plongée progressive" : Évitez de commencer la saison par des plongées profondes.
 - "Gardez une ventilation fluide" : Ne bloquez pas la glotte lors des efforts (ex. : remontée à l'échelle).

- **Sensibiliser :**
 - Expliquez les facteurs individuels (âge, surcharge pondérale, fatigue, hydratation, FOP...) pour adapter les pratiques sans stigmatiser.
 - ➔ Objectif : responsabiliser, pas culpabiliser.
- **Vulgariser sans simplifier à outrance :**
 - Présentez des notions comme les microbulles, les noyaux gazeux ou les Gradient Factors avec un niveau de détail adapté au public.
 - ➔ Mieux comprendre pour mieux accepter les marges de sécurité.
- **Relier la théorie à la pratique :**
 - Montrez l'impact concret des vitesses de remontée, des paliers profonds, de la répétitivité ou du froid sur la désaturation.
 - ➔ La désaturation n'est pas "ce que fait l'ordinateur", c'est ce que vit l'organisme.

- **Insister sur la notion de gestion du risque :**
 - Rappelez qu'il n'existe ni plongée zéro risque, ni paramétrage miracle.
→ La sécurité repose sur une accumulation de décisions prudentes.
- **Dédramatiser sans banaliser :**
 - Expliquer que les microbulles sont normales, mais que l'enjeu est d'éviter qu'elles deviennent pathogènes.
→ Sortir du discours anxiogène sans nier le danger.
- **Former des plongeurs autonomes et lucides :**
 - Apprendre à adapter son profil, à renoncer si nécessaire, et à écouter les signaux faibles.
→ La meilleure désaturation est souvent celle qu'on n'a pas besoin d'optimiser.

- Pour cette présentation, je me suis largement appuyé sur les travaux d'Alain Foret, notamment ses visioconférences disponibles sur le site <https://www.plongee-plaisir.com/fr/>
- J'ai également repris les résultats de la table ronde organisée par la CTN lors de l'AG de la FFESSM le 11 décembre 2024 : <https://www.youtube.com/watch?v=N2EnLbwMDUQ>
- La visioconférence de Laurent Bardassier sur « les GF dans le détail » m'a été d'une grande utilité : https://youtu.be/b2_6CPggbuE?si=dqmsJlczNscCTeg



FFESSM

IMMERSION & EMOTION