

La décompression

Sortir vite, mais en forme...

...et mon ordi, il sert à quoi ?



Mais pourquoi ?

Situations

Matériel

Sécuriser

Conseiller

Facteurs aggravants



Besoins



Anticiper

Comprendre

Comportements



Limites

Adapter

Mécanismes

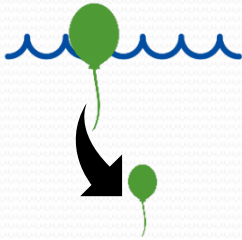
La réalité

Principes physiques

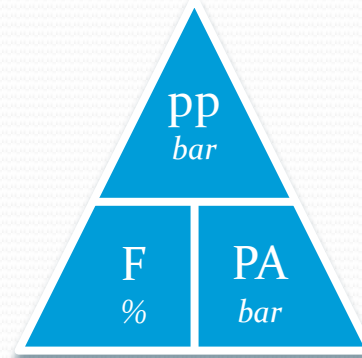
Le corps humain

Naissance et vie d'une bulle

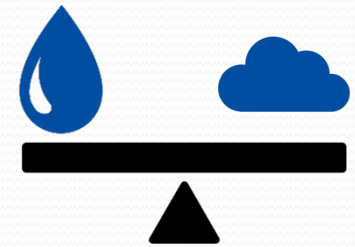
Les principes physiques



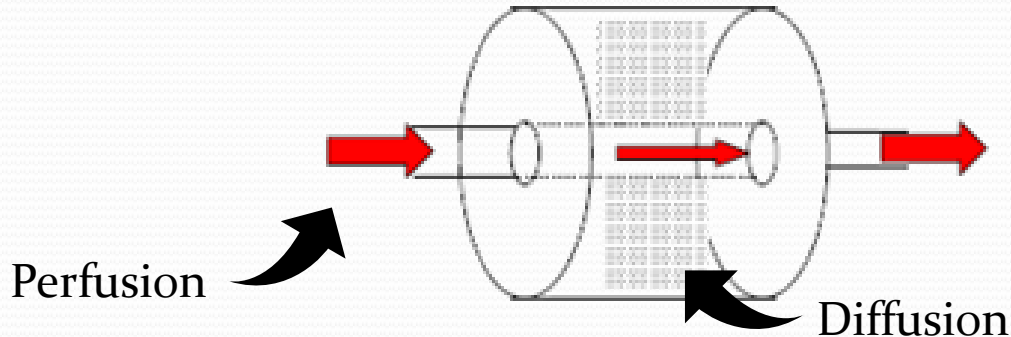
Variations volumes/pression
Boyle-Mariotte



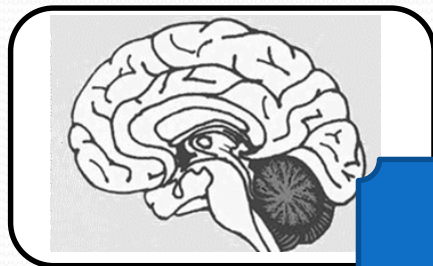
Pressions partielles
Dalton



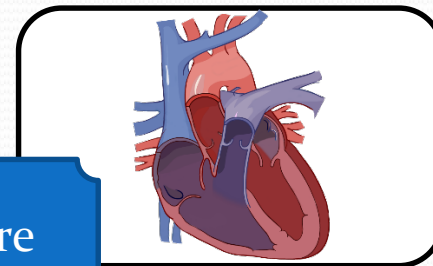
Dissolution des gaz
Henry



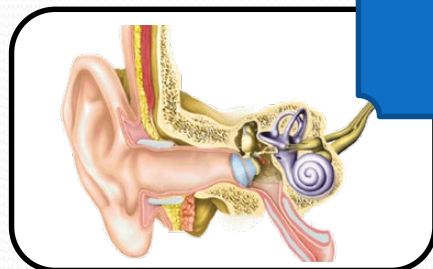
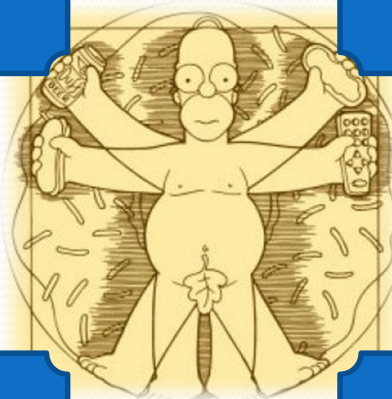
Le corps humain



Nerveux



Circulatoire



Auditif

Ventilatoire



Les échanges gazeux

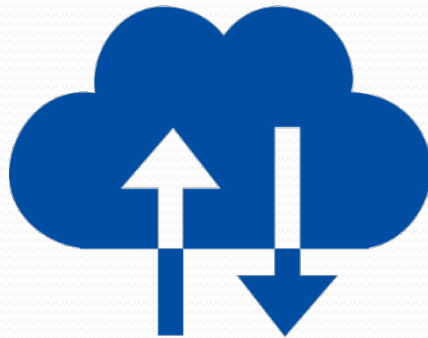
$O_2 = 21\%$
 $CO_2 \approx 0\%$
 $N_2 = 78\%$

Gradient de circulation pulmonaire

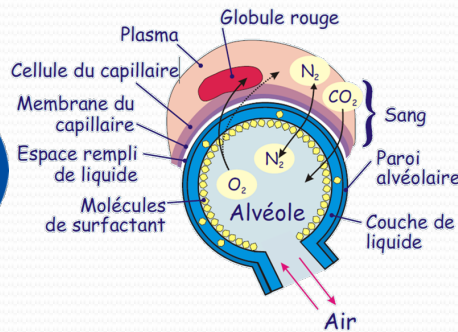
Efforts

Epaisseur de la MAC
Surface de contact

Caractéristique personnelle



Echange gazeux

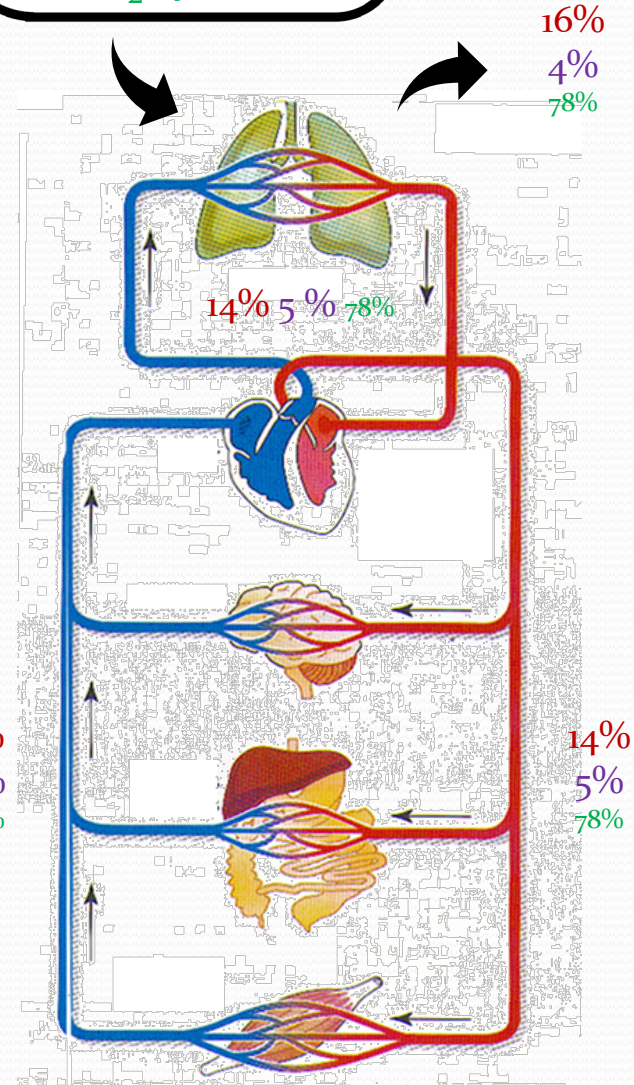


Vitesse de diffusion des gaz

Endogène

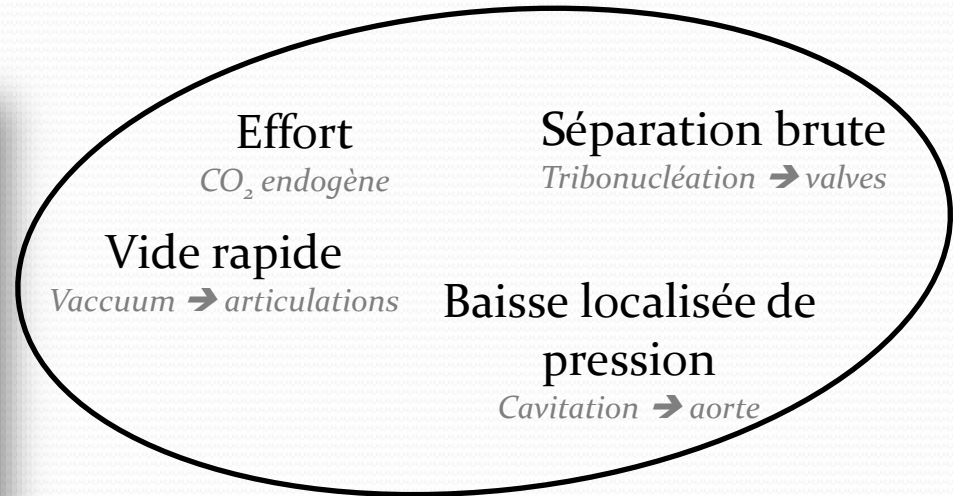
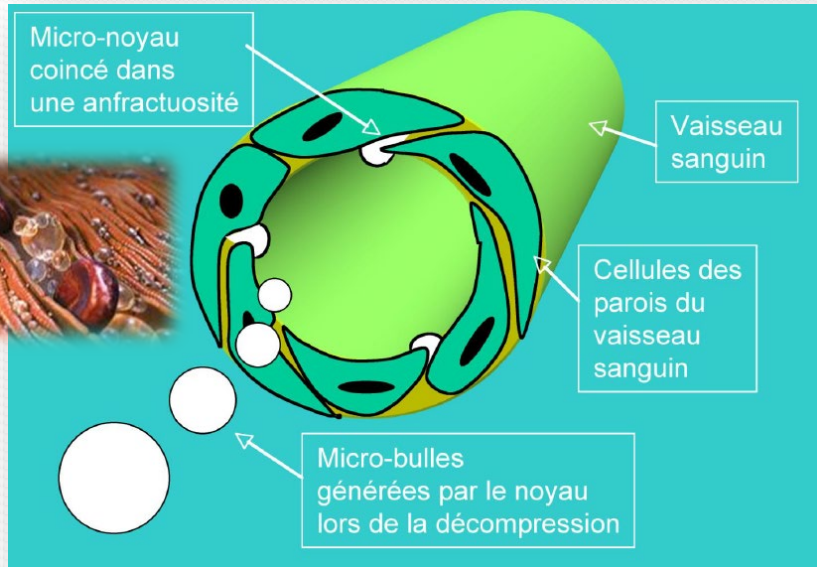
Gradient de pression des gaz

Profondeur, temps de plongée



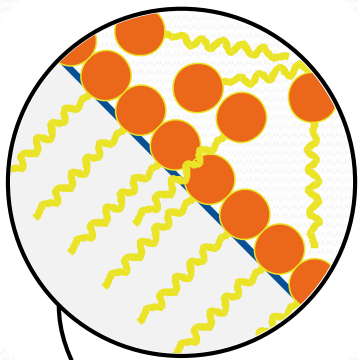
Amorces de bulles

Tout part d'un micro-noyau fait de CO₂

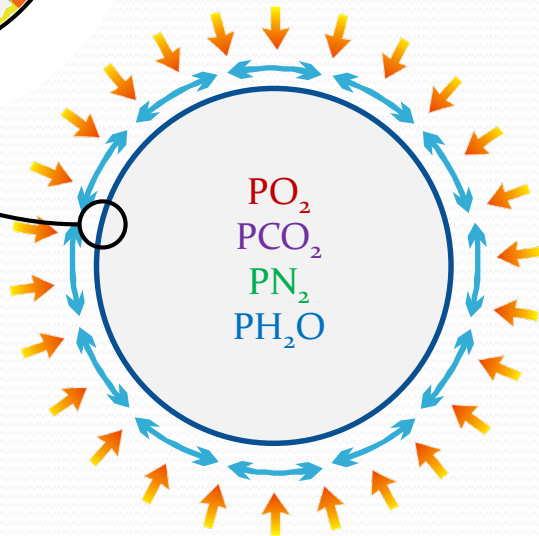


Taille mini pour faire une micro bulle: 0.005µm

Vie et survie d'une bulle



Pression de la bulle
 +
 Répulsion surfactant &
 chimiques + électrique
 ≈
 Pression du milieu
 +
 Tension de surface



Stabilisée par

Agrégation <i>Plaquettes</i>	Surfactant <i>Grand pour petites bulles</i>
--	---

Croissance par

Transfert de gaz <i>Effort (CO₂ plus que N₂)</i>	Baisse de pression <i>Remontée</i>
Coalescence <i>Amplifié par le mouvement</i>	

Travail à faire sur nucléation et stabilisation



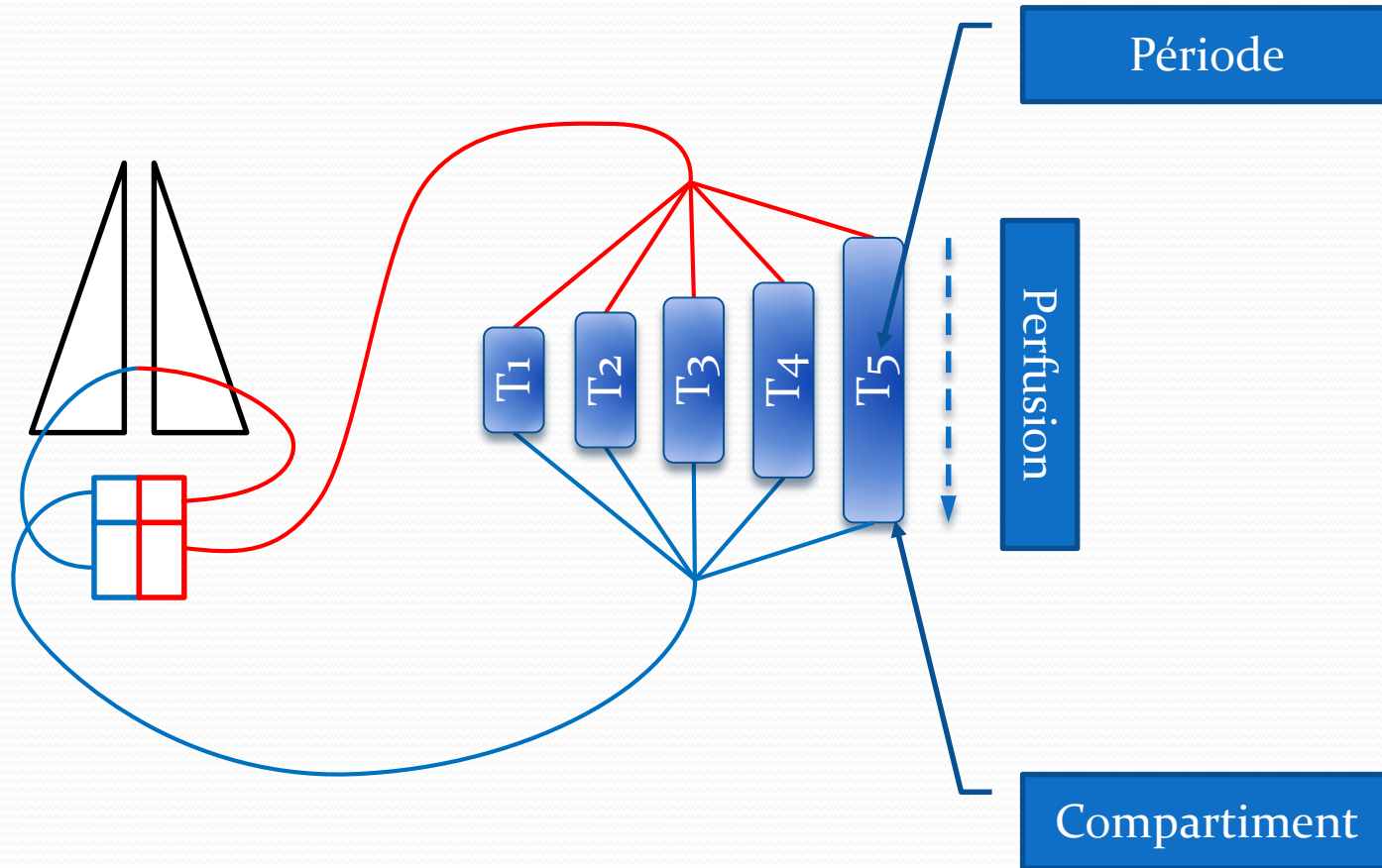
Les modèles

Principes généraux

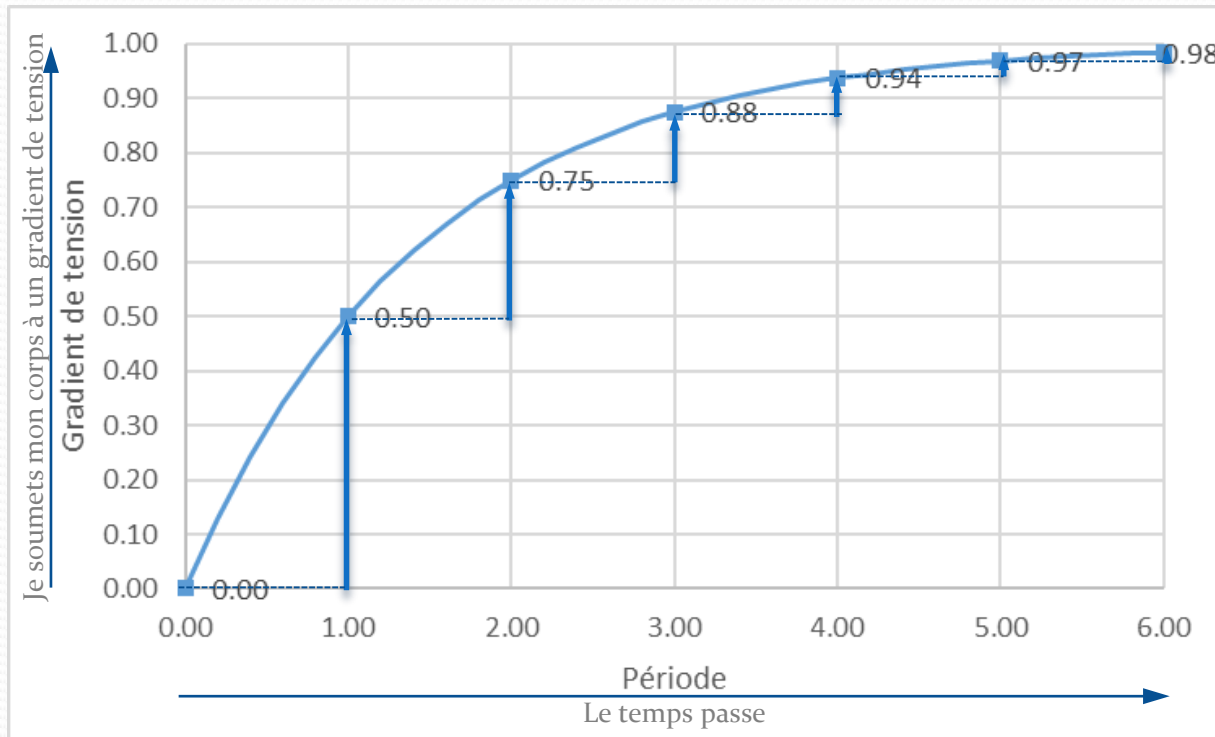
Les Haldaniens

Les bullesques

Principes généraux



Saturation et désaturation

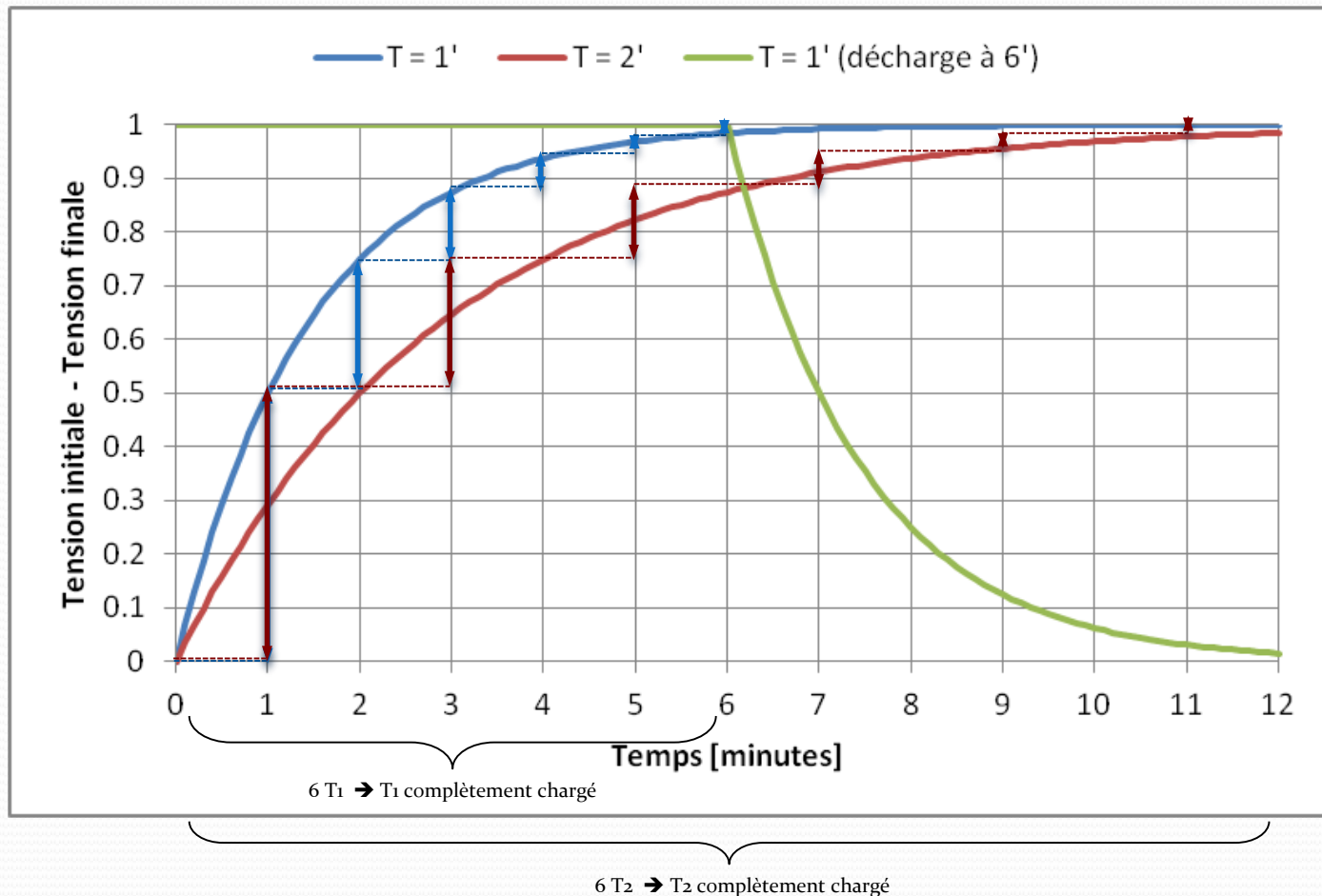


La décompression, c'est comme une bonne pizza
(ou une bonne bière)

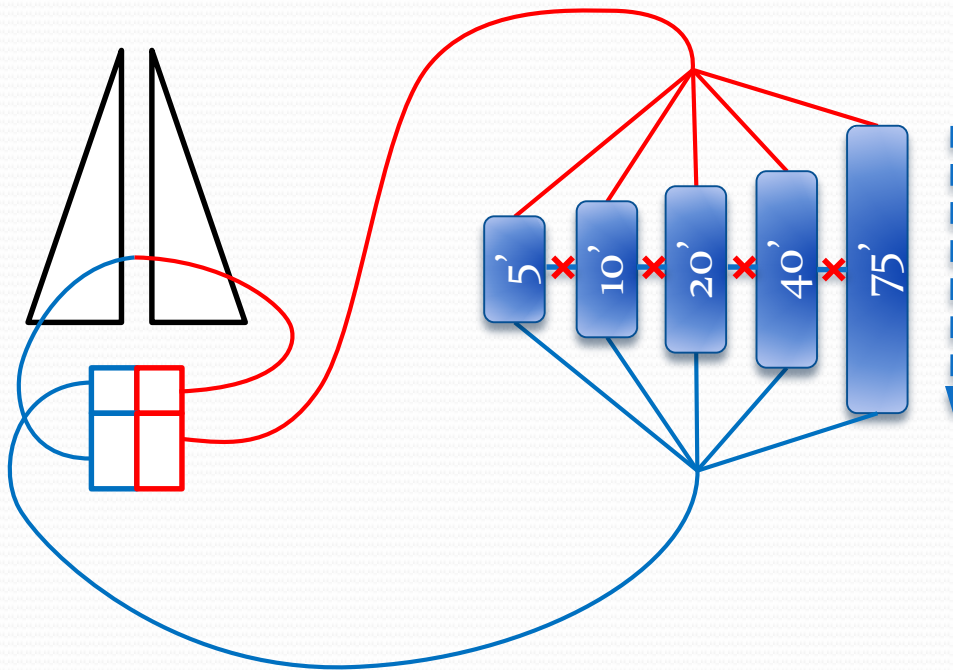


La décompression - S. Besnard

Charge, temps et décharge

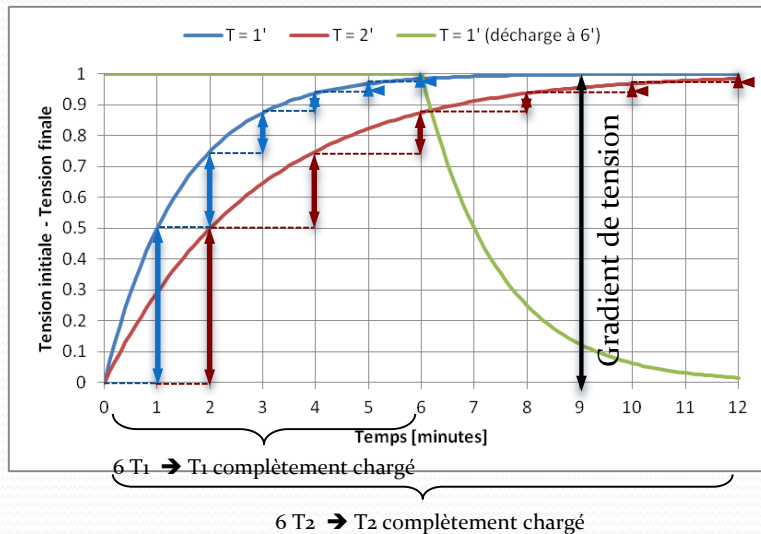


Le modèle Haldanien (1908)



- Le corps est composé de tissus différents modélisés en compartiments.
- Modèle à perfusion (équilibre instantané)
- Tension \Leftrightarrow Pression d'un gaz dans un liquide
- Notion de seuil de saturation critique:
 - En dessous du seuil \Rightarrow pas de bulle
 - Au seuil \Rightarrow Faire un palier
 - Au dessus du seuil \Rightarrow Bulles pathogènes

Le modèle Haldanien (1908)



- Chaque compartiment se charge et se décharge à sa vitesse propre
- Charges et décharges sont asymétriques

Altitude

Mélanges

Succesives

La suite d'Haldane

- Hempleman (1958) : $QN_2 = P\sqrt{t}$
 - Intégration de la diffusion

Problèmes articulaires 

- Workman (1965) :
 - Création des M-Values

Modélisation numérique 

Table 26. Die Koeffizienten ZH-L16 für N₂

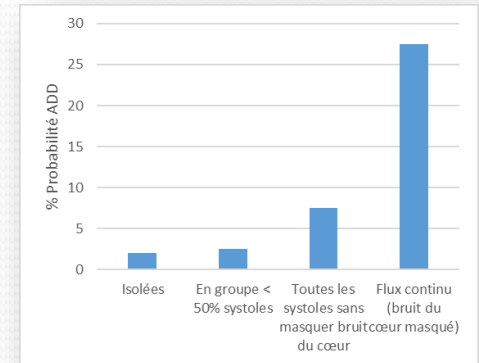
Kompartiment Nr.	t _{1/2} N ₂ [min]	ZH-L16A „theoretisch“		ZH-L16B Tabelle	ZH-L16C Computer
		b	a	a	a
1	4,0	0,5050	1,2599	1,2599	1,2599
1b	5,0	0,5578	1,1696	1,1696	1,1696
2	8,0	0,6514	1,0000	1,0000	1,0000
3	12,5	0,7222	0,8618	0,8618	0,8618
4	18,5	0,7825	0,7562	0,7562	0,7562
5	27,0	0,8126	0,6667	0,6667	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

- Bühlmann (1980) :
 - Intégration du gaz alvéolaire (vapeur d'eau) et de L'Hélium (plus diffusif et moins soluble)

Altitude & mélanges 

Le développement des bulles

- Spencer (1970) :
 - Mise en évidence des bulles circulantes
 - Utilisation du Doppler
- Yount (1977) :
 - Fusion de perfusion et diffusion
 - Créé le modèle VPM
- Wienke (1991) :
 - Créé le modèle RGBM (Reduced Gradient Bubble Model)



© Livet



© Le Pechon

VPM – Principes généraux

Noyaux gazeux :

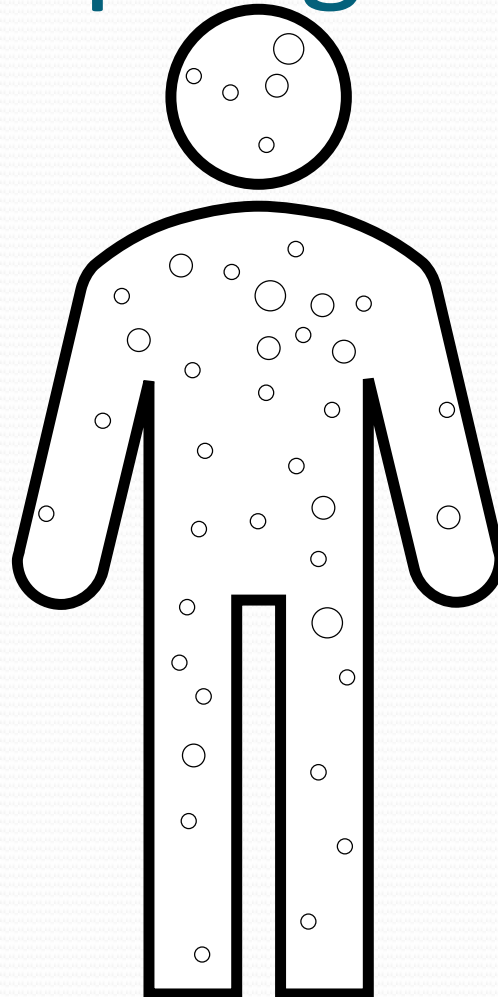
- Nombre fixe
- Beaucoup de petits, quelques gros

Croissance des bulles :

- Variations pression
- Perméabilité variable (micro bulles imperméables)

Accident si :

- Rayon d'une bulle trop gros
- Volume total des bulles trop important



Le modèle donne :

- Paliers profonds (avec ou sans hélium)
- Raccourcissement des paliers proches de la surface

Facteurs d'influence :

- Gaz utilisé (diffusivité différente)
- Importance de la planification (O₂)
- Vitesse de compression (à la descente)

Limitations :

- Volume et nombre initial des bulles
- Quantité admissible et rayon critique
- Noyaux créés négligés

RGBM, Wienke (1991)

Perfusion & diffusion

*Forçage de la diffusion dans
tissus de 1 à 720' et fenêtre
oxygène*

Micro-noyaux

*Toujours perméables et
stabilisées par des surfactants*

Bulles

*Distribution
exponentielle et évolution*

Doppler

Embolie gaz veineux

Micro-noyaux

*Génération de micro-
noyaux*

Surface élimine le gaz dissout

Profondeur élimine les bulles

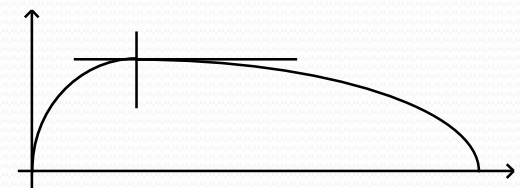
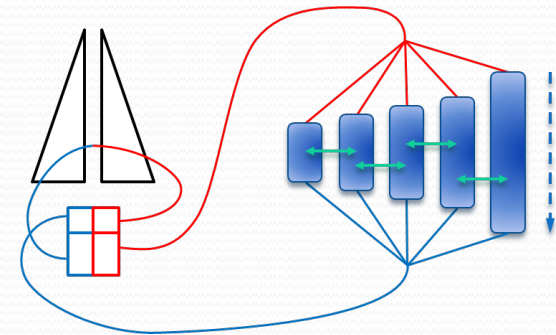
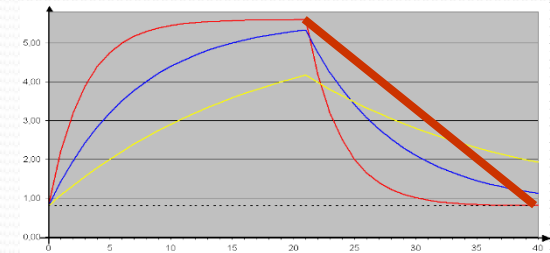
Multi-plongées

*Prise en compte des
intervalles de surface*



Les autres modèles ?

- Thalmann (1984) : désaturation linéaire
- DCIEM (1986) : échanges entre compartiments
- Méliet (1992) : retard à saturer et lent à désaturer



Analyse des modèles

Les points non résolus

Explication des accidents

Bonne pratiques

Les points non résolus

La charge / décharge

Perfusion (flux sanguin)

Diffusion (taux dans les tissus)

Les tissus

Composition

Localisation (bends?)



Les bulles

Génèse

Croissance

La limite

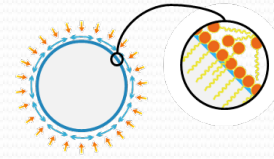
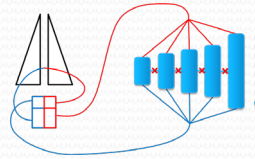
*Saturation du gaz dissous
Flux sanguin*

Volume global

Nombre de bulles

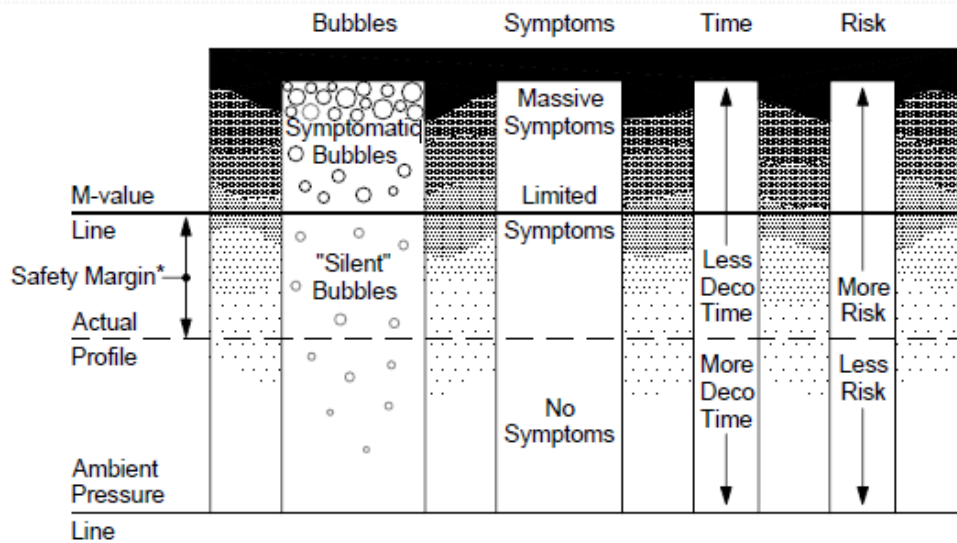
Taux de croissance des bulles

Comparatif des piliers des modèles



Analyse	Gaz libre vs. dissout	Bulle
Transfert	Perfusion	Perfusion (+ diffusion)
Compartiments	Oui	Oui
Périodes	Oui	Oui
Critère limite	Sursaturation	Volume de bulle
Conséquence en plongée	Maximisation du gradient de pression	Gestion des tailles de bulles

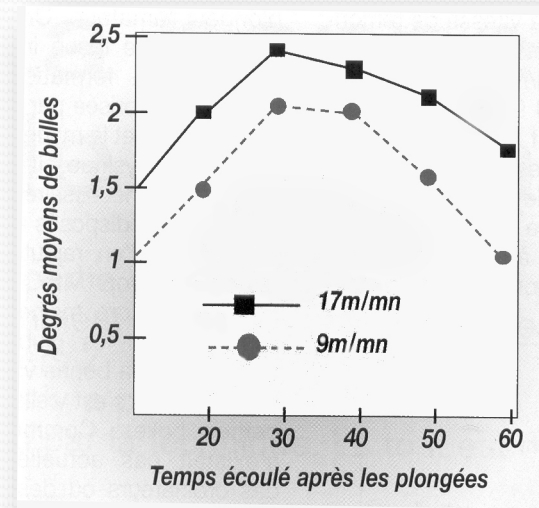
Note importante



* varies according to individual disposition, physical condition, acceptable risk, etc.

Vous allez faire des bulles

...après la plongée



Les principes expliqués

- Où se coince la bulle?
 - Articulations
 - Système veineux
 - Cerveau
 - Oreille
 - Colonne vertébrale

Le filtre pulmonaire ne fait pas tout !

Accumulations

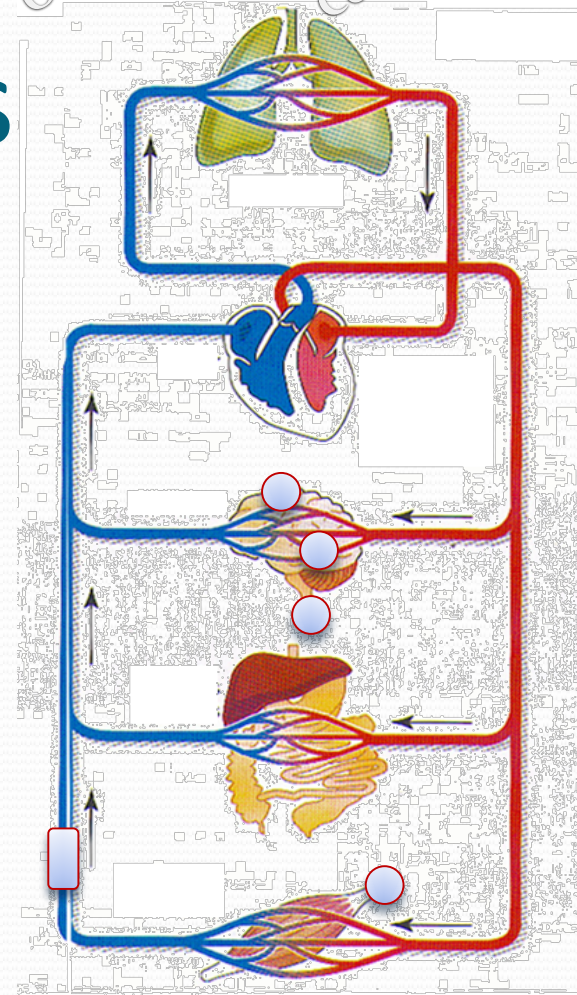
Forçage

By-pass

Coeur

Recompression

Yo-yo, successives proches



Les bonnes pratiques



Plongée de réadaptation
Effet pendant 7 à 10 jours



Adaptation du corps à la présence de micro-bulles



Hydratation
Contre l'effet du froid et de l'immersion



Améliore la décharge



Pre-oxygénation
Exercice avant la plongée
Repos avant la plongée
Effet avéré, mais...



Complexe à mettre en œuvre
Ou alors mangez du chocolat

Jouons avec les modèles

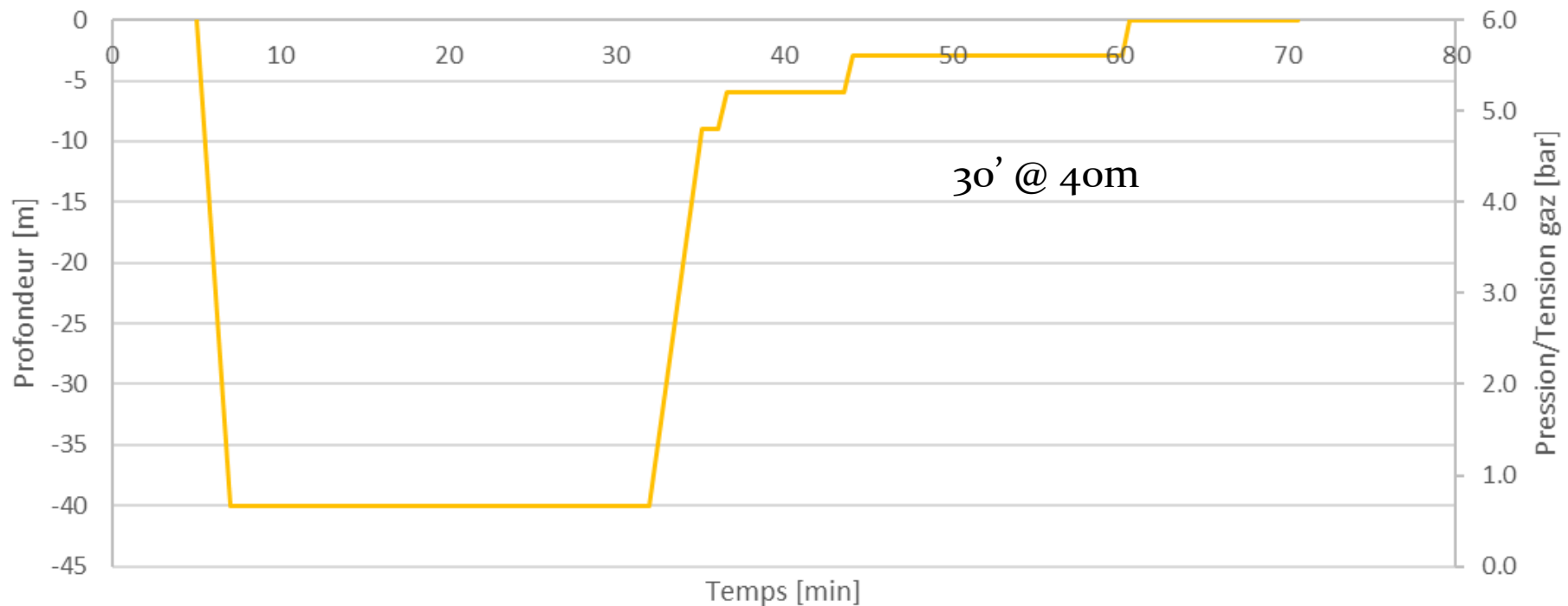
Profils de saturation

Plongée successive

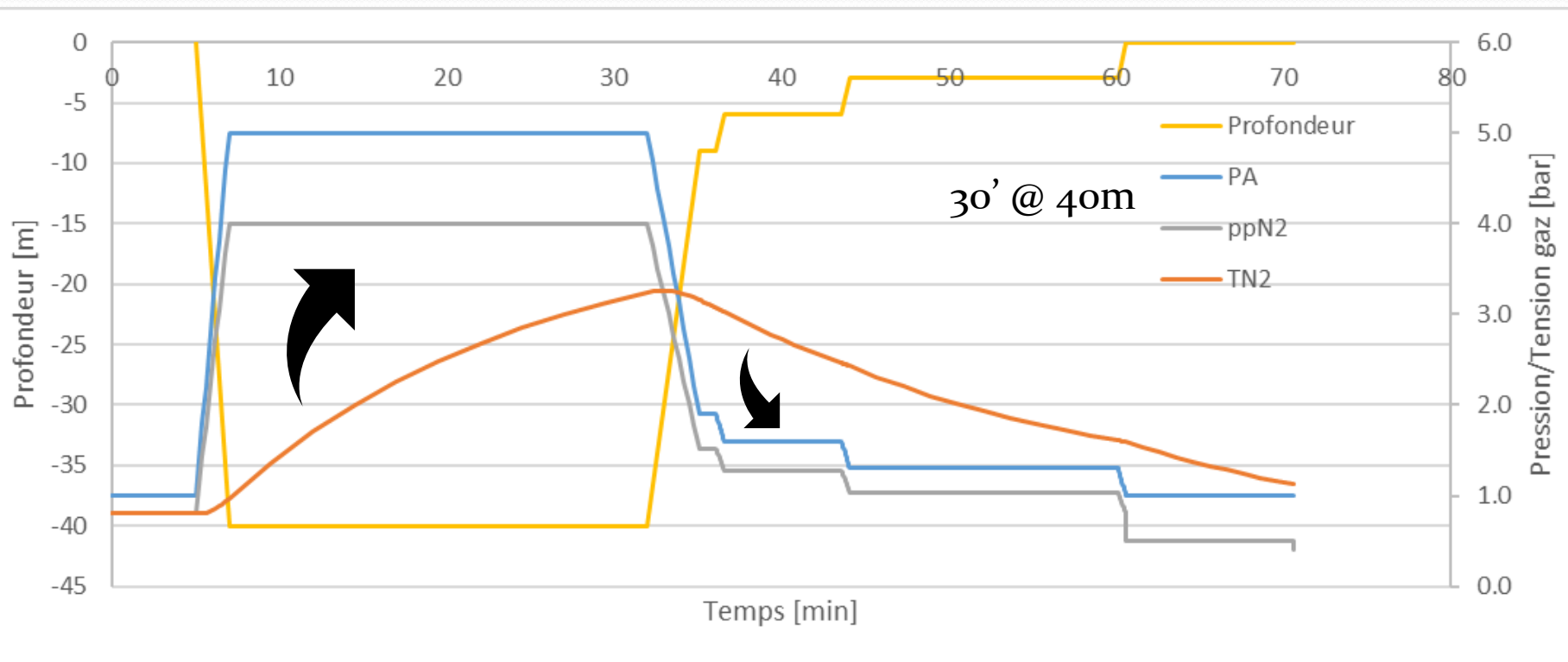
Plongée aux mélanges

Cas d'étude = 30' @ 40m

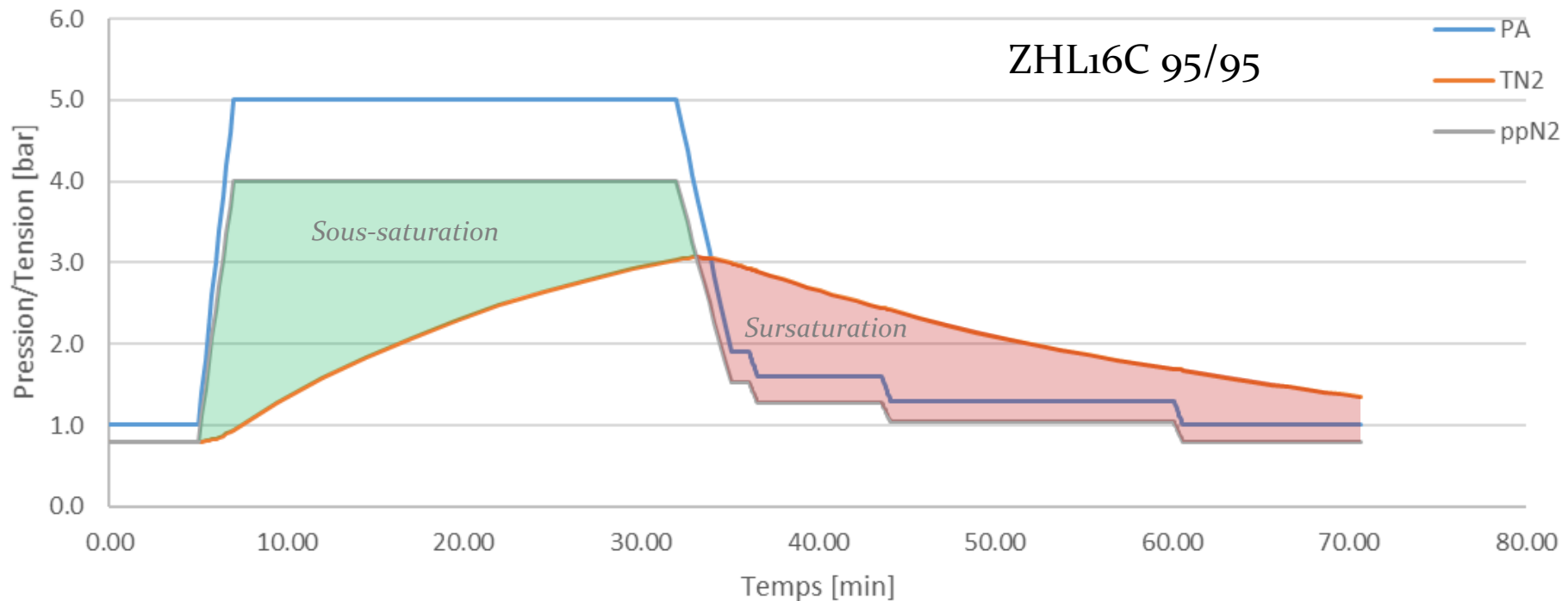
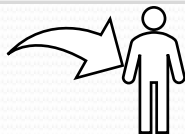
Que se passe-t-il en plongée ?



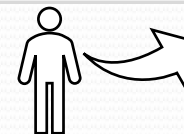
Analyse d'une courbe



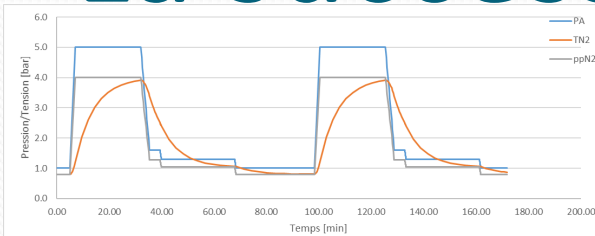
Analyse d'une courbe

N₂

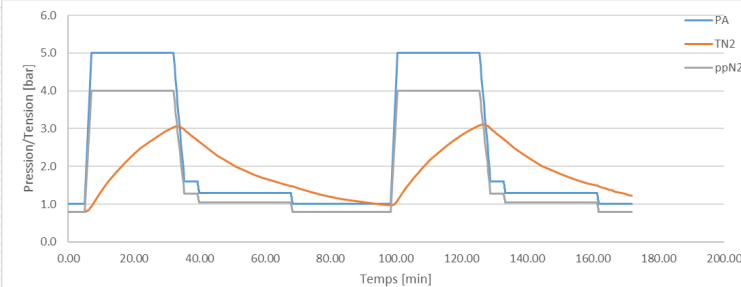
La décompression - S. Besnard

N₂

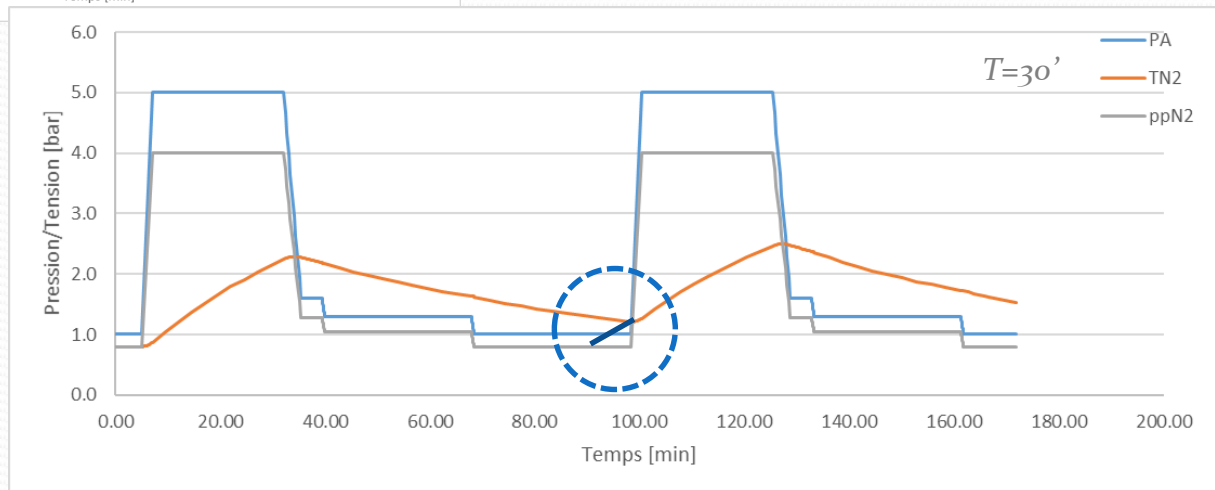
La successive



$T=5'$



$T=15'$



$T=30'$



Temps pour revenir à la même tension d'azote: la majoration



La réalité

Les modèles

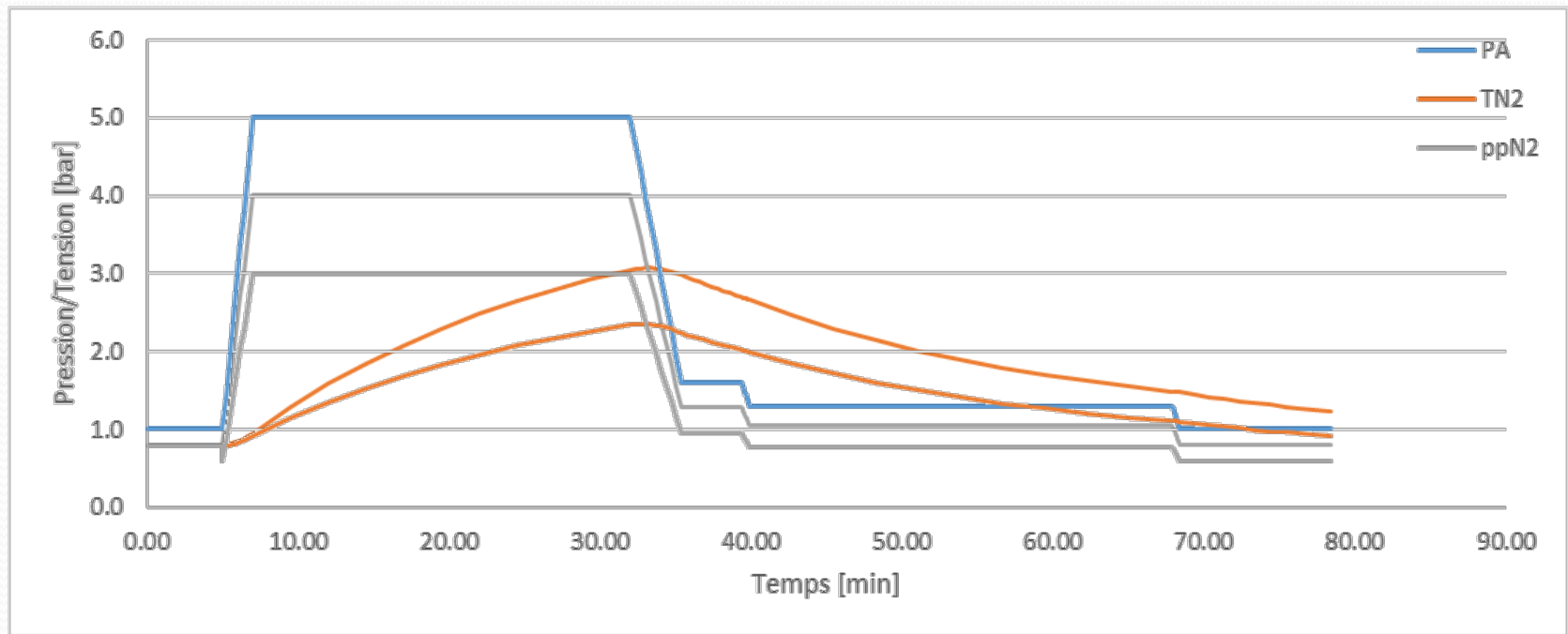
Analyse

Jouons

Ordinateurs

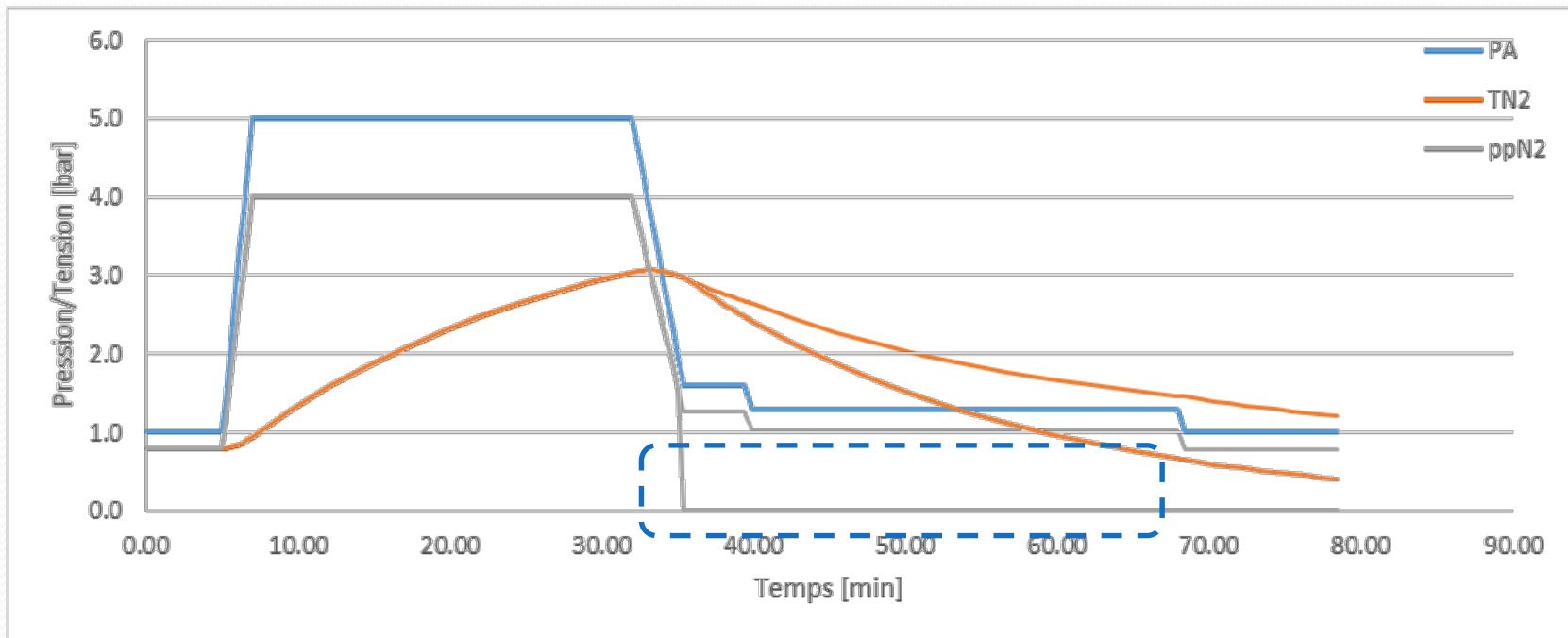
Conclusion

Le Nitrox



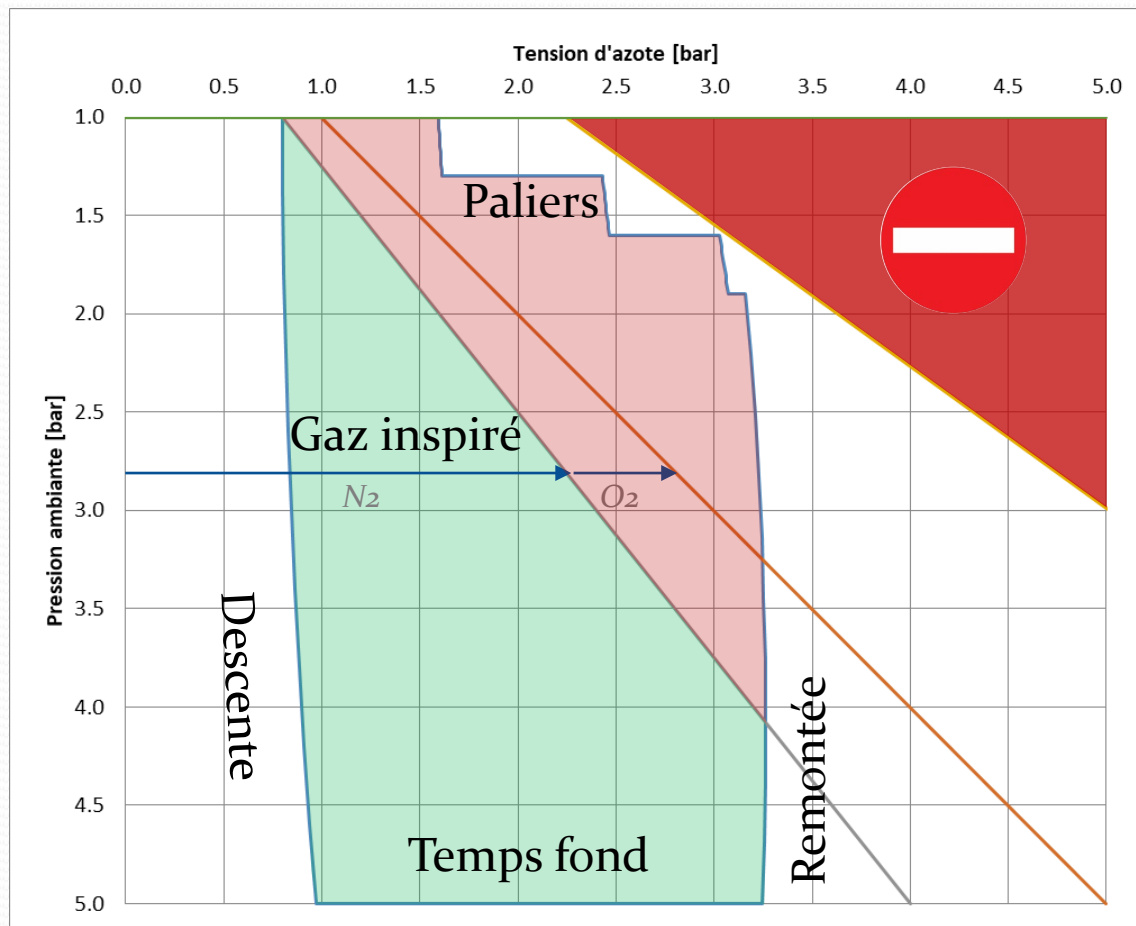
La décompression - S. Besnard

La déco O₂

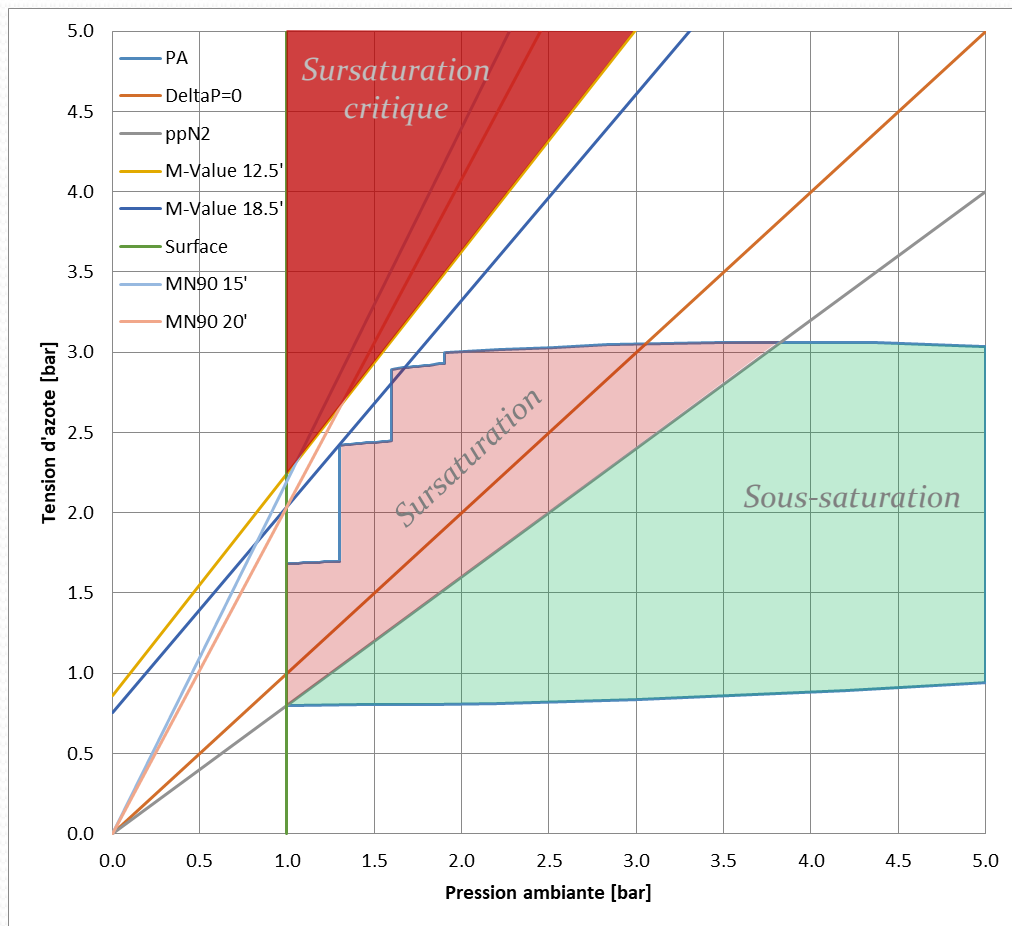


Voyons ça autrement

Analyse de l'évolution de la tension d'azote au cours d'une plongée



Les M-Values

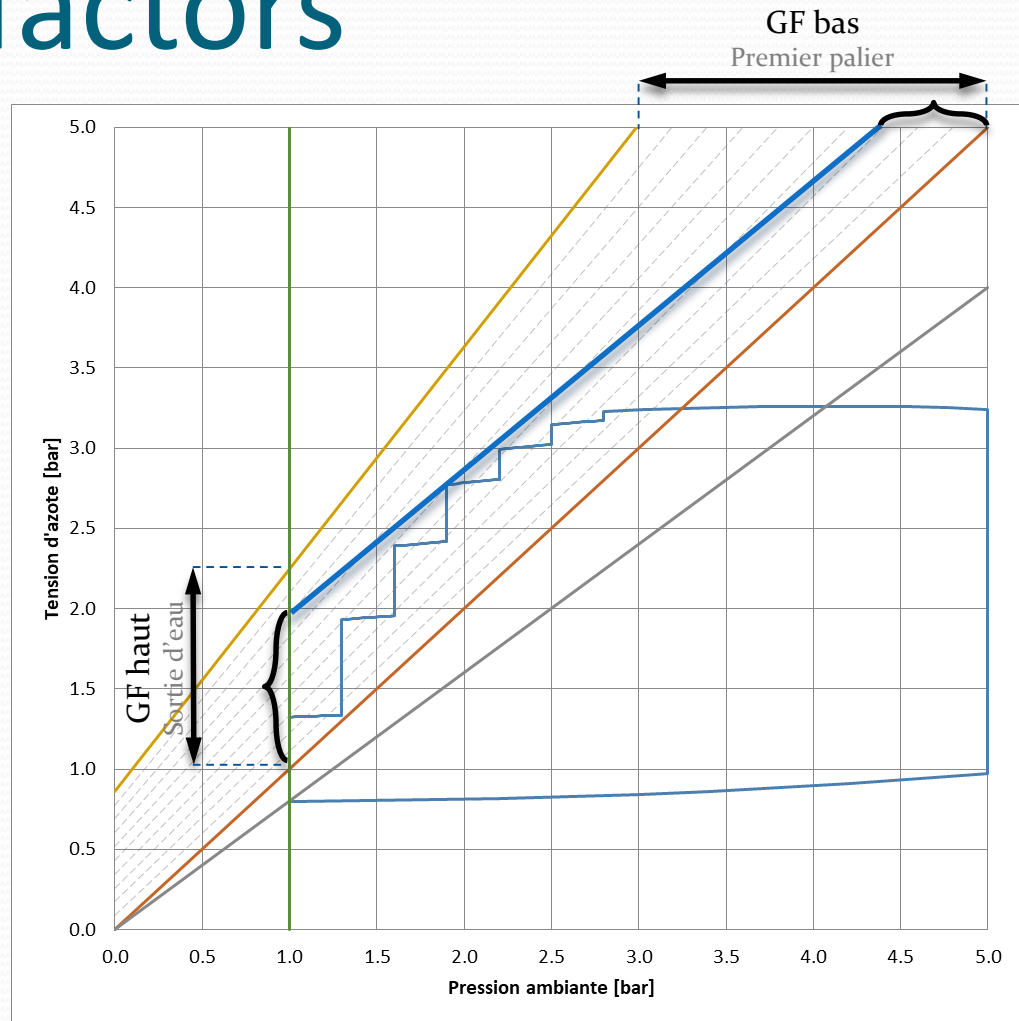


Les gradient factors

Optimisation de la déco
suivant les besoins

Conservatisme	GF Bas	GF Haut
1	90	95
2	75	95
3	90	90
4	75	90
5	75	85

GF recommandés au Nitrox par AP Diving



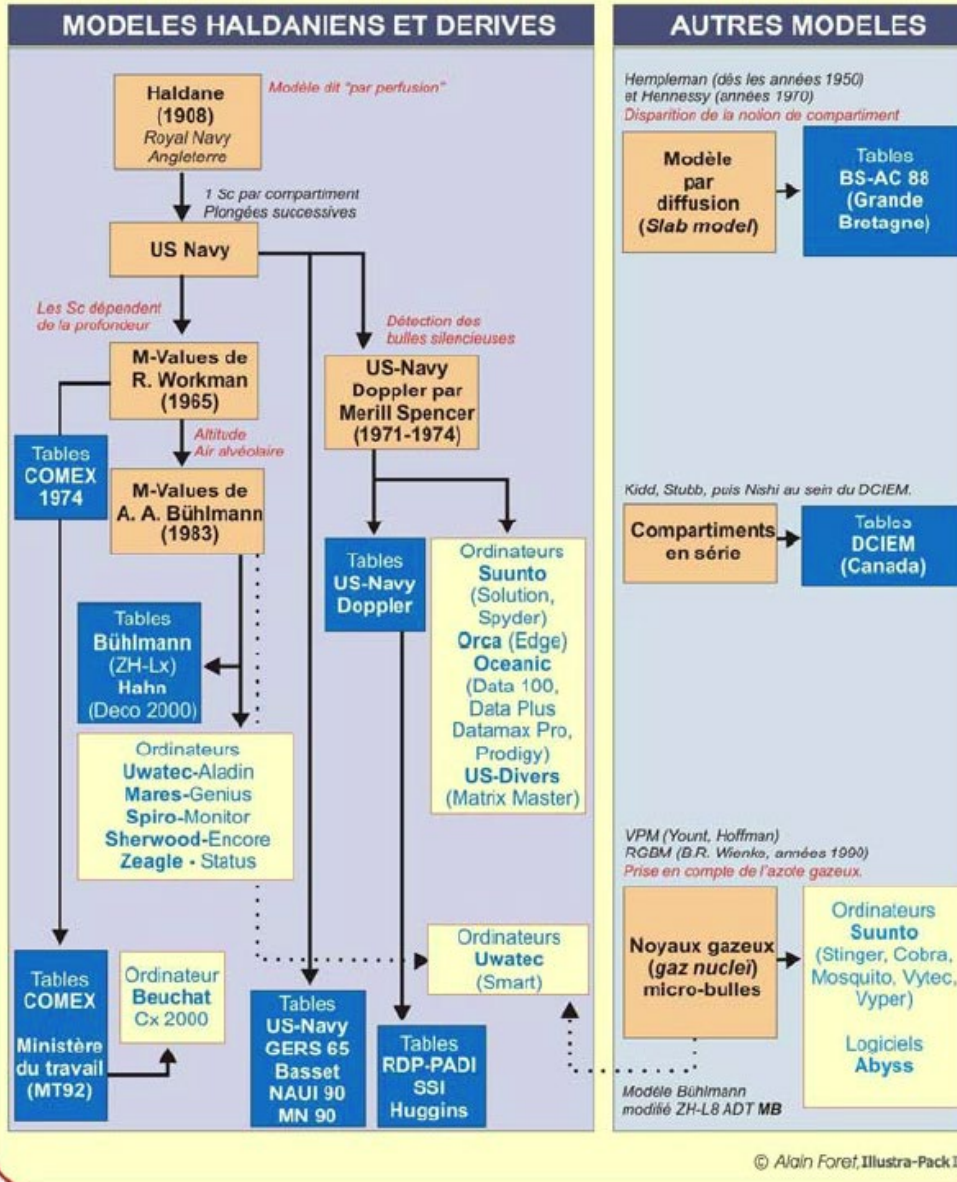
Les ordinateurs

Une boîte noire ?

Comparatifs

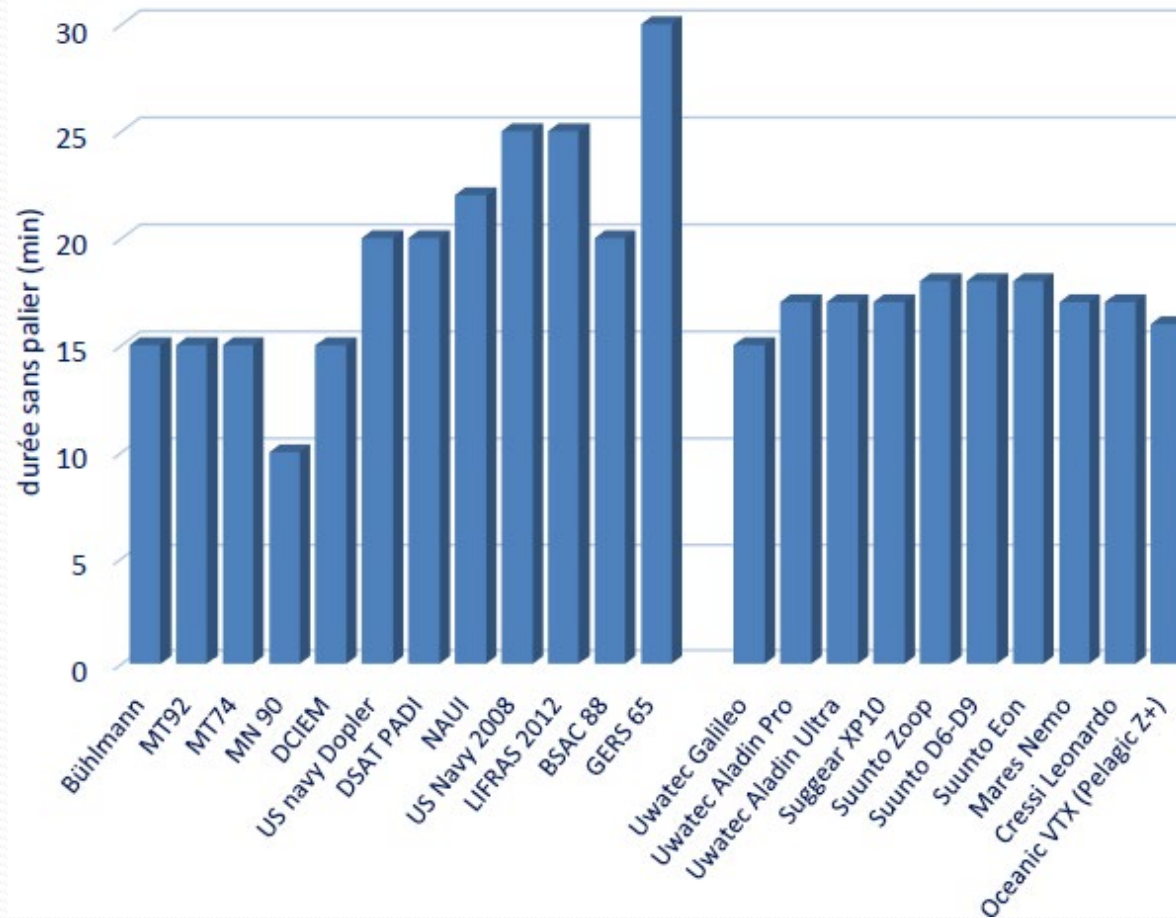
Comment les gérer

LES MODELES DE DECOMPRESSION

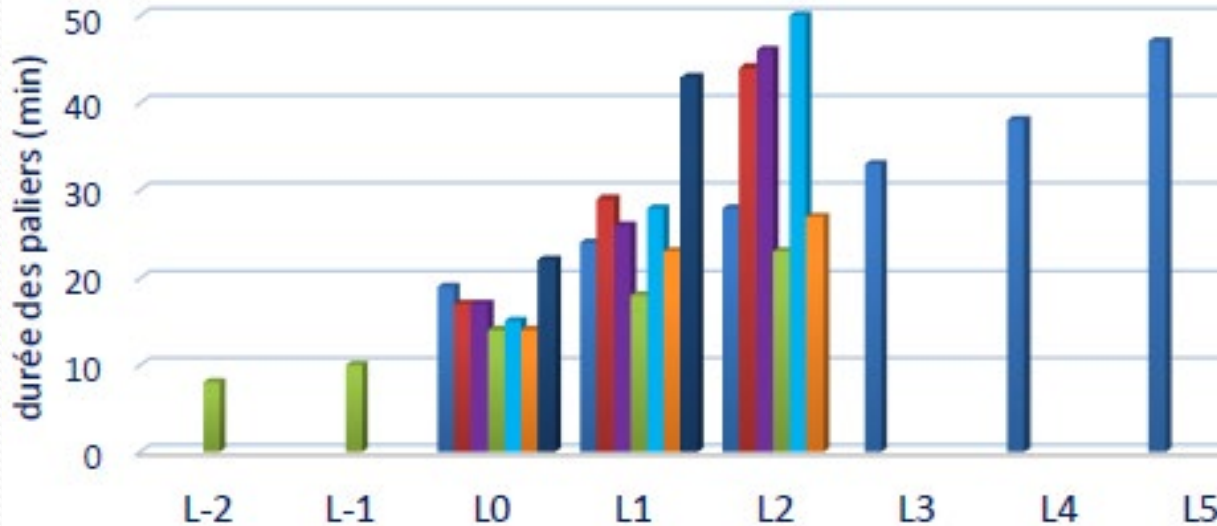


	Algorithme	Conserv.	Palier profond	Palier de sécurité	Vit. remonté e m/min	Modes	# gaz	% O2	Blocage viol déco
GRESSI									
Léonardo	RGBM 9C/2,5-480	SF0-SF2	1' -2' SI DECO	3' - 6 et 3m	10	air/nitrox/prof.	1	21 à 50%	48h
Giotto	RGBM 9C/2,5-480	SF0-SF2	1' -2' SI DECO	3' - 6 et 3m	10	air/nitrox/prof.	2	1G 50%- 1G100%	48h
Newton	RGBM 9C/2,5-480	SF0-SF2	1' -2' SI DECO	3' - 6 et 3m	10	air/nitrox/prof.	2	1G 50%- 1G100%	48h
MARES									
Puck Pro	RGBM 10C/2,5-480	1 à 3	oui	3' - 6 et 2,5m	10	air/nitrox/prof.	2	21 à 100%	24h
Wide	RGBM 10C/2,5-480	1 à 3	oui	3' - 6 et 2,5m	10	air/nitrox/prof.	3	1G 50%- 2G100%	24h
Icon	RGBM 10C/2,5-480	1 à 3	oui	3' - 6 et 2,5m	10	air/nitrox/prof.	3	1G 50%- 2G100%	24h
Smart	RGBM 10C/2,5-480	1 à 3	oui	3' - 6 et 2,5m	10	plon/prof/a pnée	2	21 à 100%	24h
Matrix	RGBM 10C/2,5-480	1 à 3	oui	3' - 6 et 2,5m	10	air/nitrox/prof.	3	1G 50%- 2G100%	24h
SUUNTO									
Zoop	RGBM 9C/2,5-480	P0 à P2	non	3' à 3m	10	air/nitrox	1	21 à 50%	48h
Vyper	RGBM 9C/2,5-480	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	air/nitrox/prof.	1	21 à 50%	48h
Vyper Air	RGBM 9C/2,5-480	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	air/nitrox/prof.	2	21 à 100%	48h
Eon Steel	RGBM 15C/1-720	P-2 à P2	oui	3' à 3m	10	tout + recycleur	8	21 à 100%	48h
Cobra	RGBM 9C/2,5-480	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	air/nitrox/prof.	2	21 à 100%	48h
D4i	RGBM 9C/2,5-480	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	plon/prof/apnée	1	21 à 50%	48h
D6i	RGBM 9C/2,5-480	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	plon/prof/apnée	3	21 à 100%	48h
D9tx	RGBM 9C/2,5-480	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	air/ean/tri/prof.	8	21 à 100%	48h
DX	RGBM 15C/1-720	P-2 à P2	oui	3' à 3m	10	tout + recycleur	8	21 à 100%	48h
SCUBAPRO									
XP10	Bühlmann ZH-L8 ADT	non	non	volontaire	entre 20 et 7	air/nitrox/prof.	1	21 à 50%	24h
XP3G	Bühlmann ZH-L8 ADT MB PMG	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	air/nitrox/prof.	3	21 à 100%	24h
Square	Bühlmann ZH-L8 ADT MB PMG	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	plon/prof/apnée	2	21 à 100%	24h
Luna	Bühlmann ZH-L8 ADT MB PMG	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	plon/prof/apnée	3	21 à 100%	24h
Sol	Bühlmann ZH-L8 ADT MB PMG	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	plon/prof/apnée	3	21 à 100%	24h
Chromis	Bühlmann ZH-L8 ADT MB	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	plon/prof/apn/nat	1	21 à 100%	24h
Nantis	Bühlmann ZH-L8 ADT MB	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	tout + recycleur	3	21 à 100%	24h
Meridian	Bühlmann ZH-L8 ADT MB	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	plon/prof/apnée	2	21 à 100%	24h
OCEANIC									
Veo 1.0	dual pelagic	non	oui	3' à 3m	18 à 9	air/nitrox	1	21 à 50%	24h
Veo 2.0	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	plon/prof/apnée	1	21 à 50%	24h
Veo 3.0	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	plon/prof/apnée	2	21 à 100%	24h
Géo 2	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	plon/prof/apnée	2	21 à 100%	24h
OC1 (montre)	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	plon/prof/apnée	4	21 à 100%	24h
Atom 3	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	plon/prof/apnée	3	21 à 100%	24h
Data Mask	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	plon/prof/apnée	1	21 à 50%	24h
VTX	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	plon/prof/apnée	4	21 à 100%	24h
VT 4.1	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	plon/prof/apnée	4	21 à 100%	24h
PRO+3	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	air/nitrox/prof.	3	21 à 100%	24h
BEUCHAT									
Voyager 2G	pelagic	oui	oui	3' à 4,5m	18 à 9	plon/prof/apnée	2	21 à 100%	24h
HW - OSTC									
OSTC 3	Bühlmann ZH-L16 - /5/640	oui	x	oui	libre	recycleurs / apnée	5	21 à 100%	signalée
OSTC Sport	Bühlmann ZH-L16 -/5/640	oui	x	oui	libre	circuit ouvert	3	1G 50%- 2G100%	signalée
LIQIVISION									
KAON	Bühlmann ZH-L16 -/5/640	3 niveaux	x	oui	a u choix	loisir/tek/prof	3	1G 50%- 2G100%	signalée
LYNX	Bühlmann ZH-L16 -/5/640	3 niveaux	x	oui	a u choix	loisir/tek/prof	3	1G 50%- 2G100%	signalée
XEO	Bühlmann ZH-L16 -/5/640	réglable	x	oui	a u choix	trimix/ccr	10	21 à 100%	signalée
SHERWATER									
PETREL 2	Bühlmann ZH-L16 - /2,5/720	oui	oui	oui	10	recycleur	5	21 à 100%	x

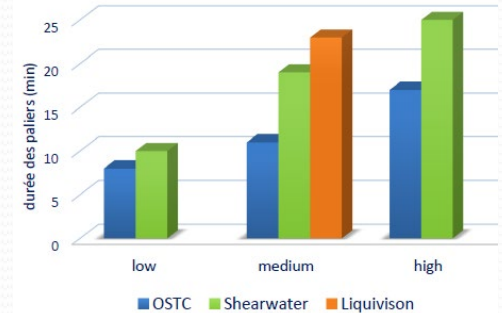
Courbe de sécu @ 30m



Conservatisme



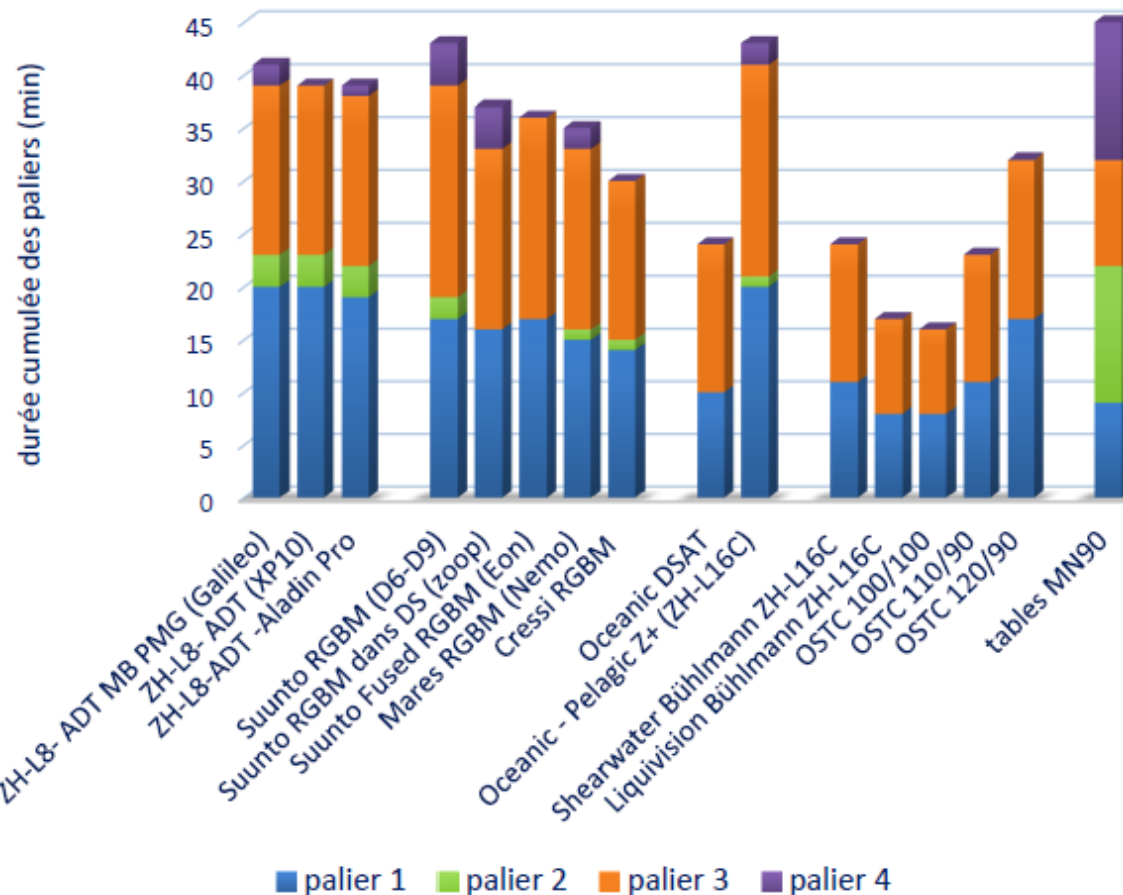
- Uwatec Galileo
- Suunto Zoop
- Suunto D6-D9
- Suunto Eon
- Mares Nemo
- Cressi Leonardo
- Oceanic VTX (Pelagic Z+)



Plongée de 30' @ 30m



Analyse sur 4 plongées



Comment gérer ?



Remontée rapide

5' à m...ndeur



Pas de mix de moyen
de désaturation



Panne d'ordinateur



Appareil de réserve



Compter sur la palanquée

Redondance de la déco

Planification



Communication

Connaissance du matériel

Quelques points



Y'en a-t-il vraiment besoin ?

Parlez-vous

Avant

*Paramètres, modèle, paliers
sécu, que faire si...*

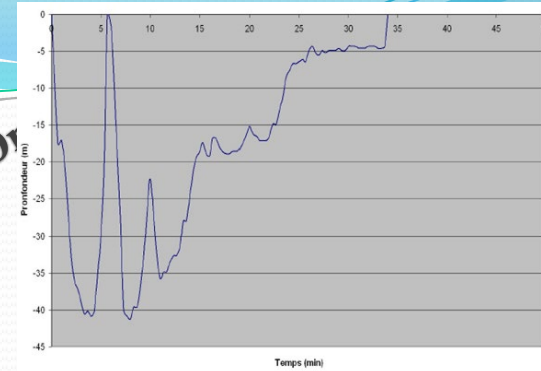
Pendant

*Je suis dans la
zone de paliers*

Après

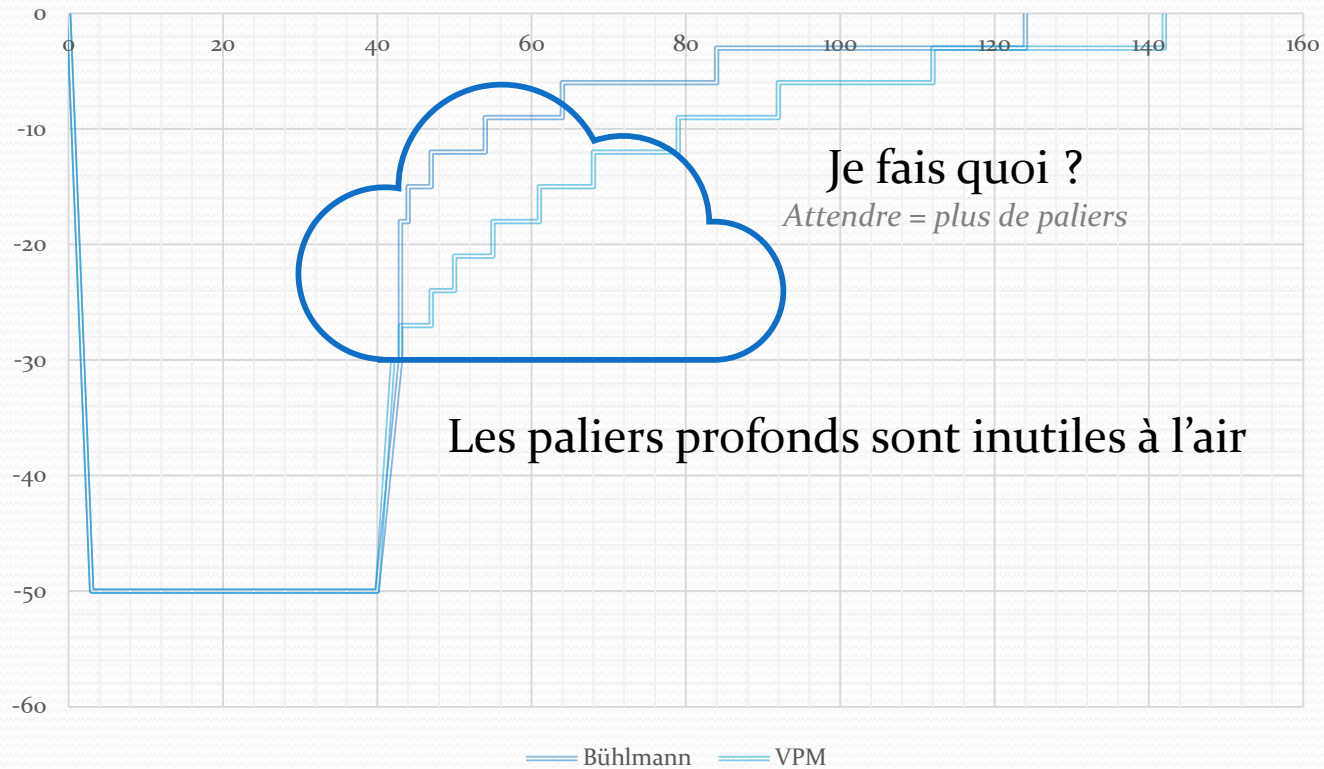
*Etat de santé, successive,
avion*

Comparaison sous l'eau



Temps [min]	Profondeur [m]	Ordi #1	Ordi #2	Ordi #3
8	42	1' @ 3m		5' @ 3m
10	22	3' @ 3m		1' @ 6m (DTR=9')
13	30	1' @ 6m (DTR=9')		5' @ 6m (DTR=9')
21	18	5' @ 3m (DTR=7')		2' @ 6m (DTR=7')
24	6	6' @ 3m (DTR=7')		1' @ 6m (DTR=7')
26	5	4' @ 3m	7' @ 3m	8' @ 3m
Fin de plongée	-	30'	32'	34'

Quelques points



Données : Mv-Plan (Bühlmann) + V-Planner (VPM)

Et si ?

- Le coup de la panne d'ordi :
 - Stop et on sort
 - Sieste l'après-midi
- Remettre à zéro la déco, c'est effacer son histoire.



Je ne prête pas



Je ne change pas

Conclusion générale

Considérations pour vous



VOUS

**Vous êtes votre baromètre pour savoir
si votre déco vous va**

Comprenez votre modèles et ses limitations, écoutez-vous



Adaptabilité

Le modèle répond à VOS besoins

Plongée plus dure ou complexe, âge qui évolue

Changez de modèle, adaptez le conservatisme

Et pour votre palanquée...

Prendre la température de la palanquée
Définir des règles (que faire si, communiquer)

Communiquer régulièrement
Adapter (conditions, profils)
Anticiper (retour, conso, déco)

Débriefer
Surveiller

Vérifier le matériel
Vérifier son bon fonctionnement

Être vigilant sur le positionnement et le rythme
Surveiller (comportement, ordis)

Merci



Petit Phoenix