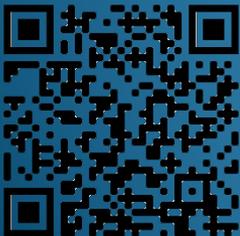


La décompression

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

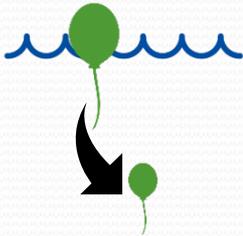
La réalité

Principes physiques

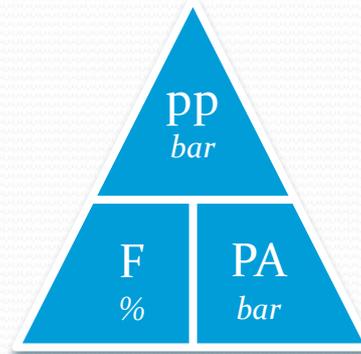
Le corps humain

Naissance et vie d'une bulle

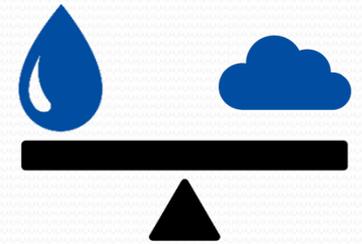
Les principes physiques



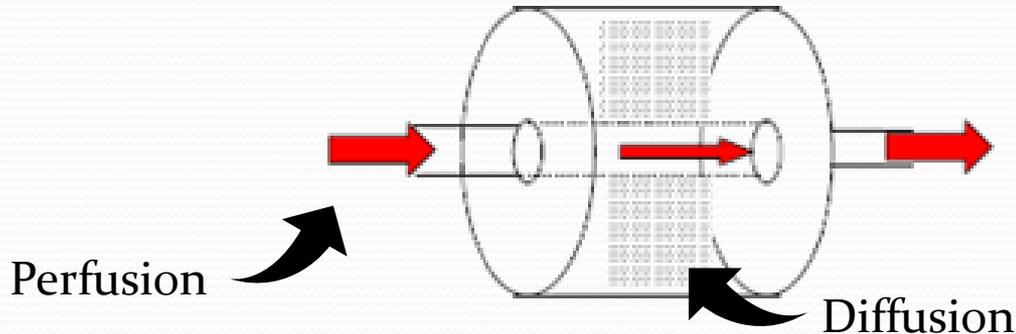
Variations volumes/pression
Boyle-Mariotte



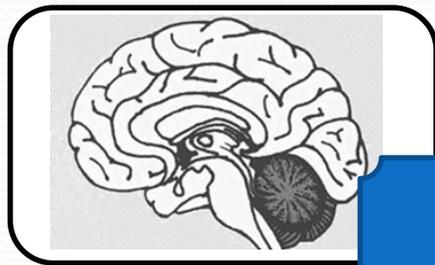
Pressions partielles
Dalton



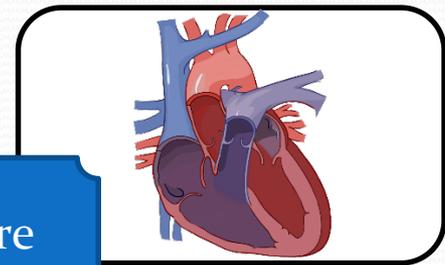
Dissolution des gaz
Henry



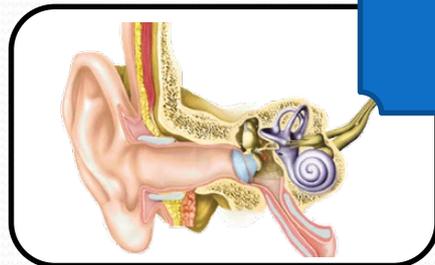
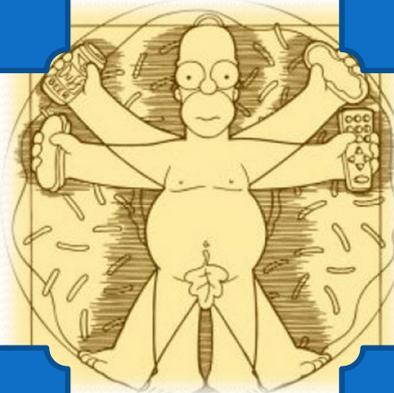
Le corps humain



Nerveux



Circulatoire

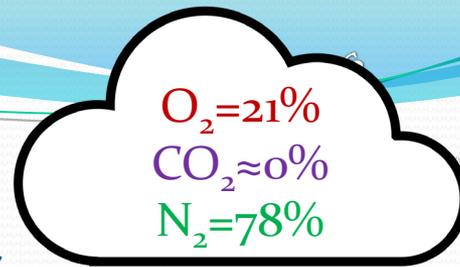


Auditif

Ventilatoire

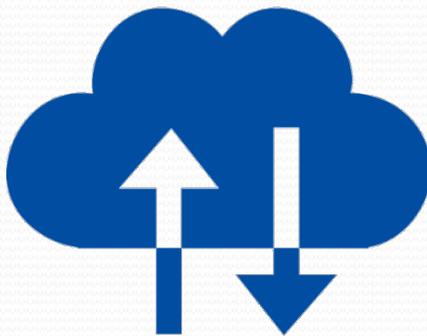


Les échanges gazeux

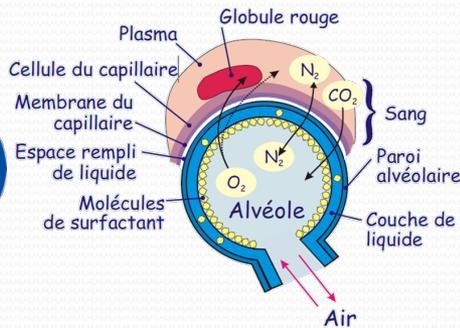


Gradient de circulation
pulmonaire
Efforts

Epaisseur de la MAC
Surface de contact
Caractéristique personnelle

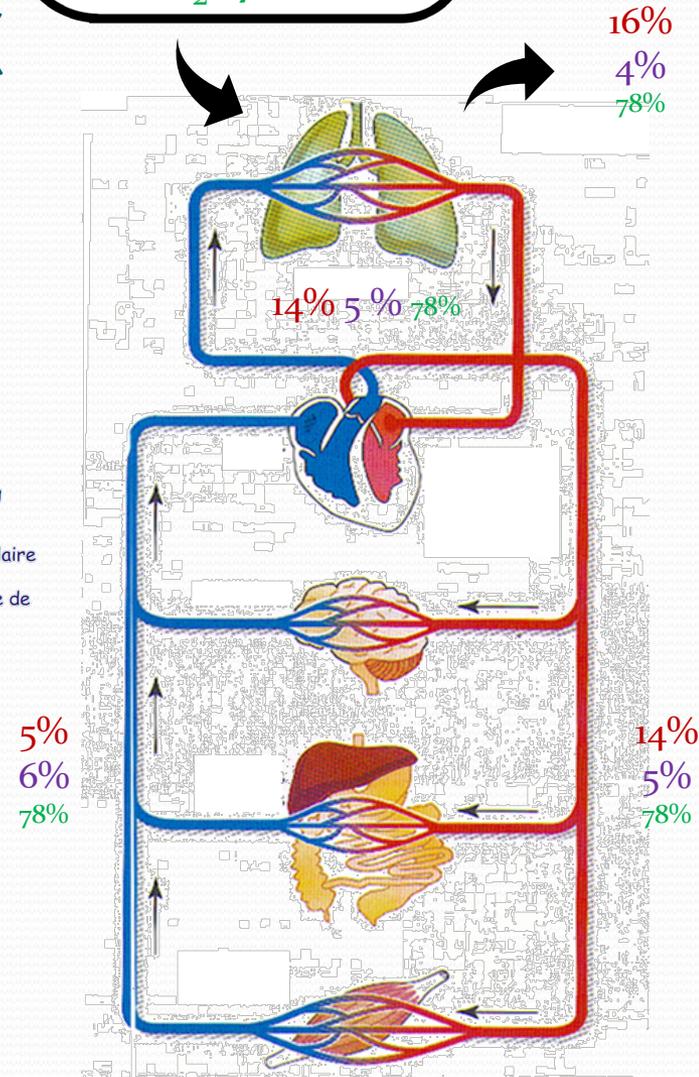


Echange gazeux



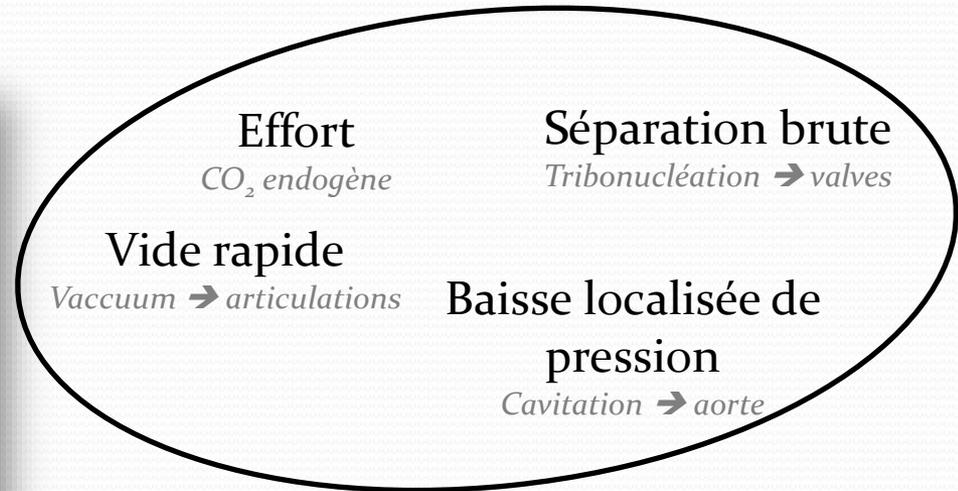
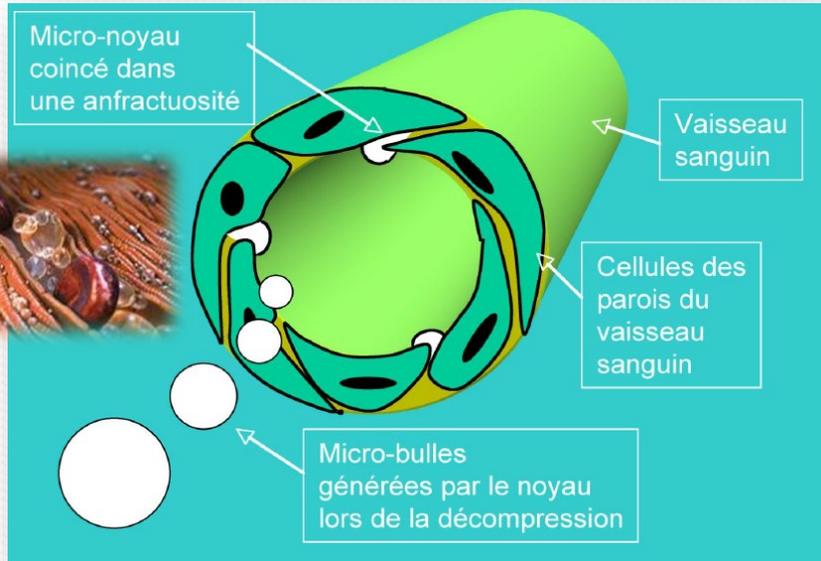
Vitesse de diffusion des
gaz
Endogène

Gradient de pression des
gaz
Profondeur, temps de plongée



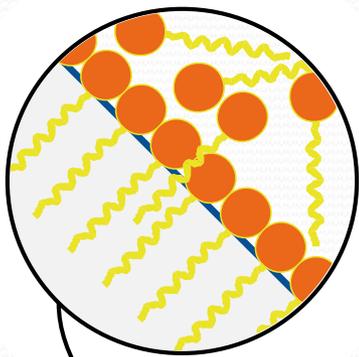
Amorces de bulles

Tout part d'un micro-noyau fait de CO₂

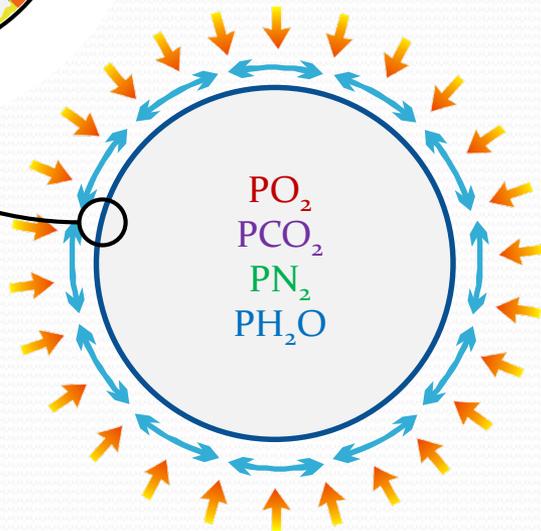


Taille mini pour faire une micro bulle: 0.005µm

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



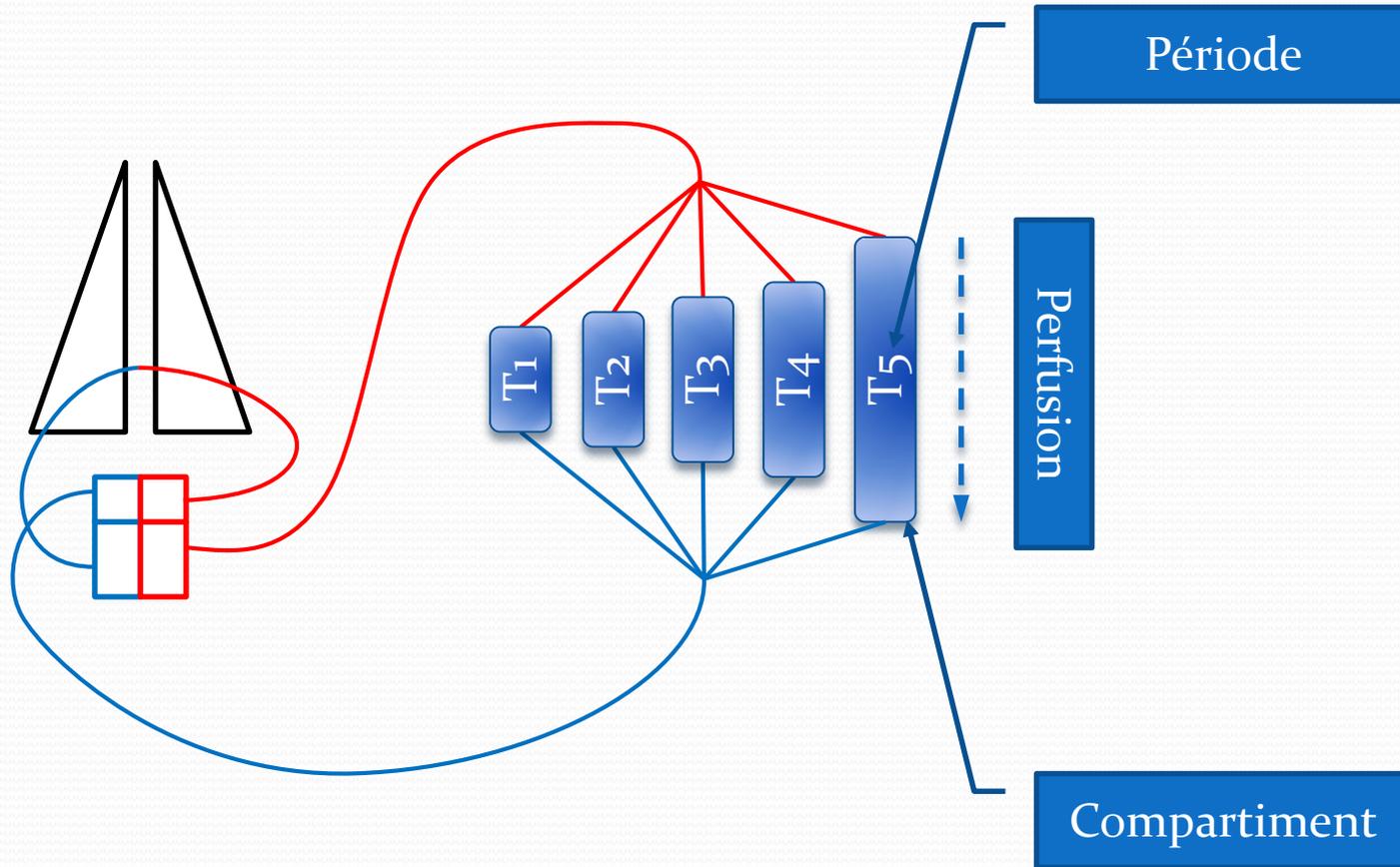
Les modèles

Principes généraux

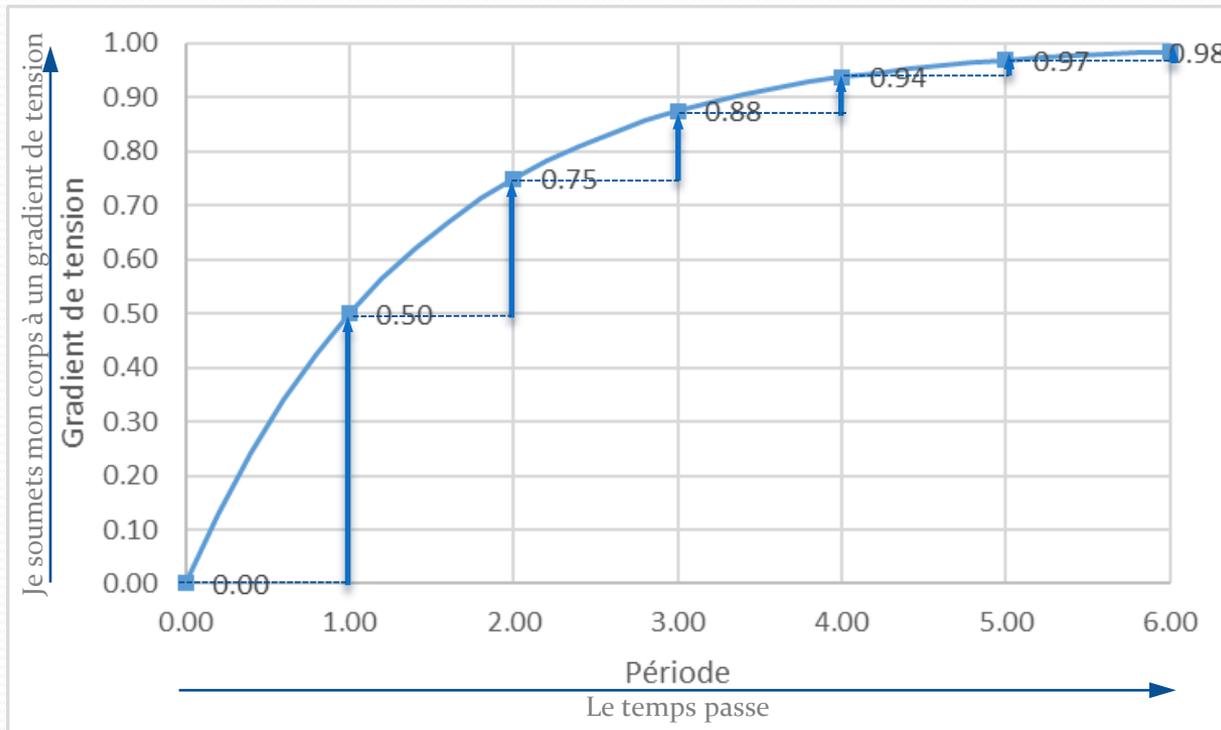
Les Haldaniens

Les bullesques

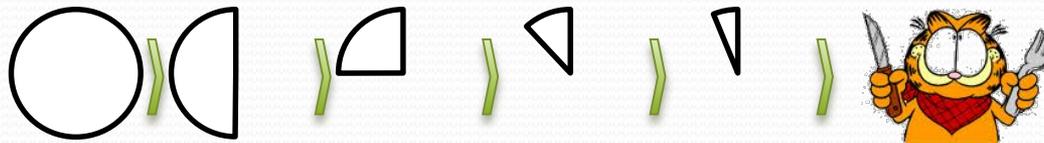
Principes généraux



Saturation et désaturation

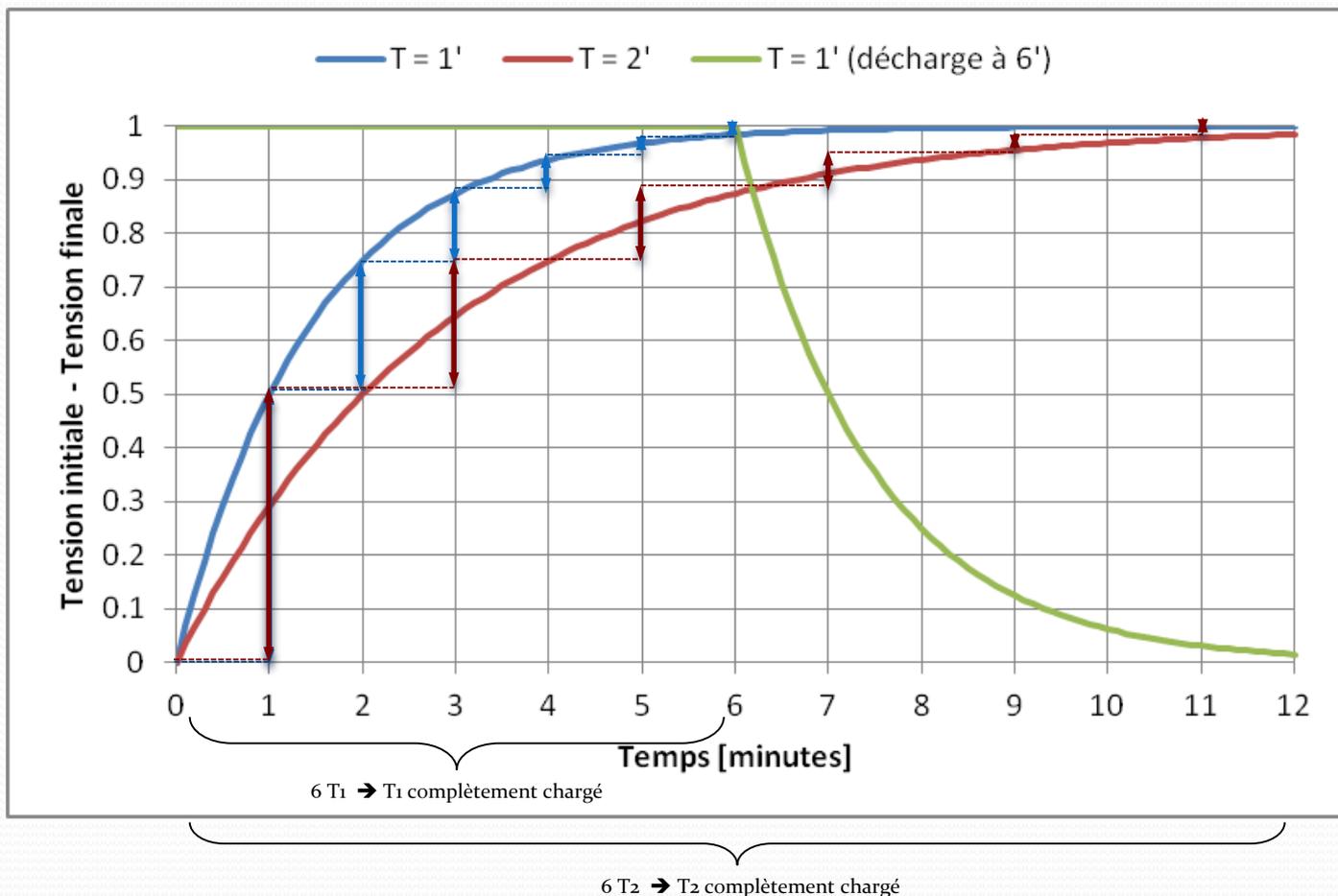


La décompression, c'est comme une bonne pizza
(ou une bonne bière)

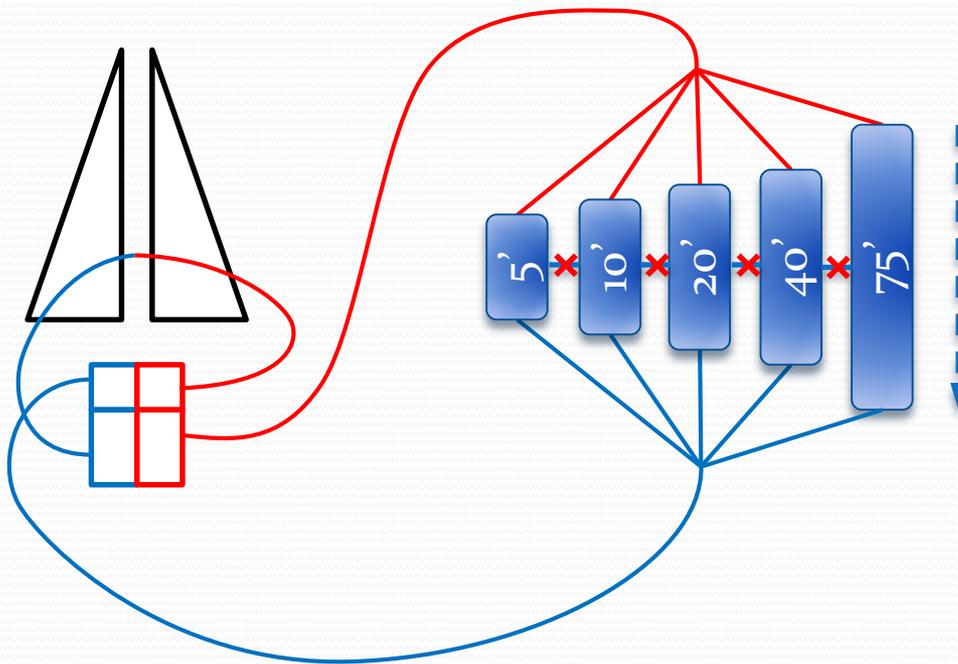


La décompression - S. Besnard

Charge, temps et décharge

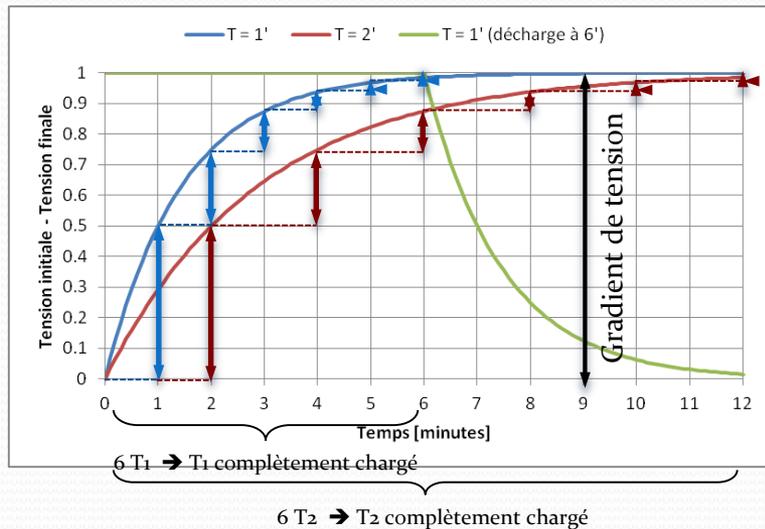


Le modèle Haldanien (1908)



- 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

Successives

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



- Bühlmann (1980) :

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

Altitude & mélanges

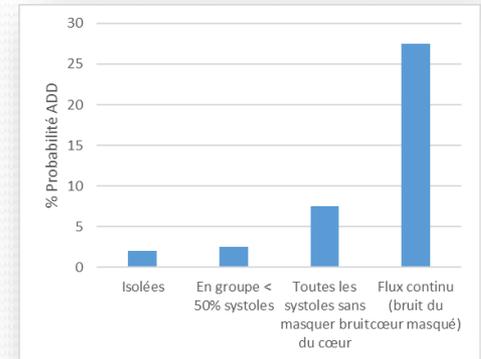


Table 26. Die Koeffizienten ZH-L16 für N₂

| 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 |

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 :

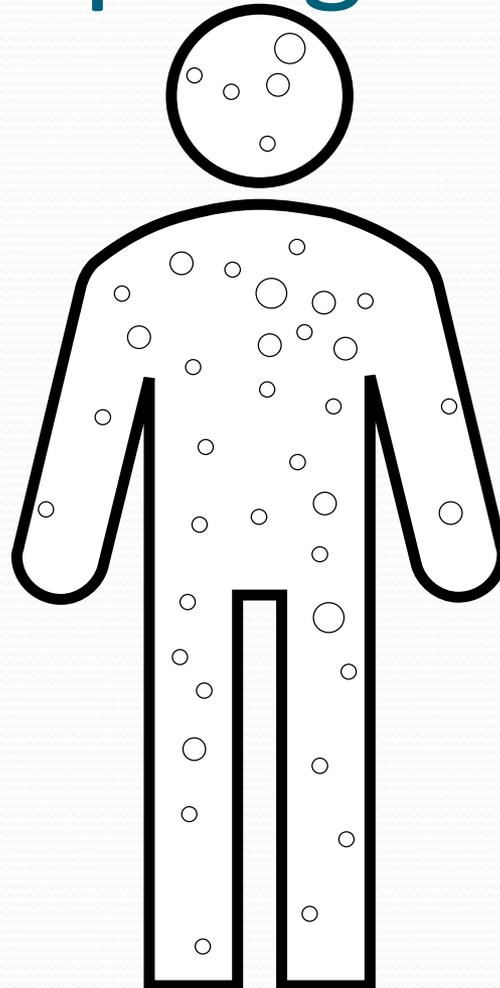
- Nombre fixe
- Beaucoup de petits, quelques gros

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

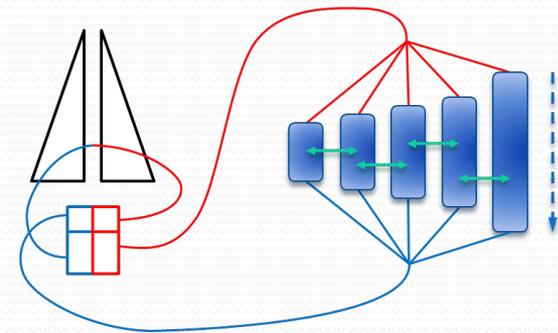
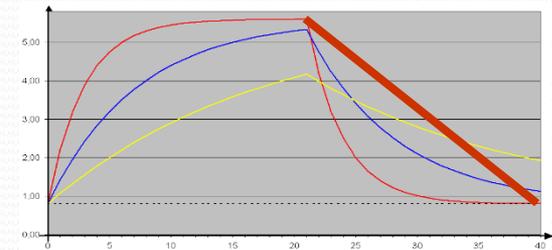
Profondeur élimine les bulles

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

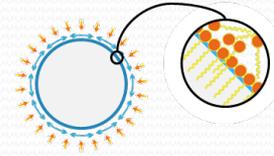
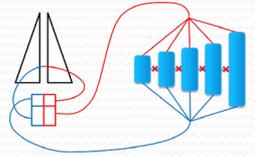
*Saturation du gaz dissous
Flux sanguin*

Volume global

Nombre de bulles

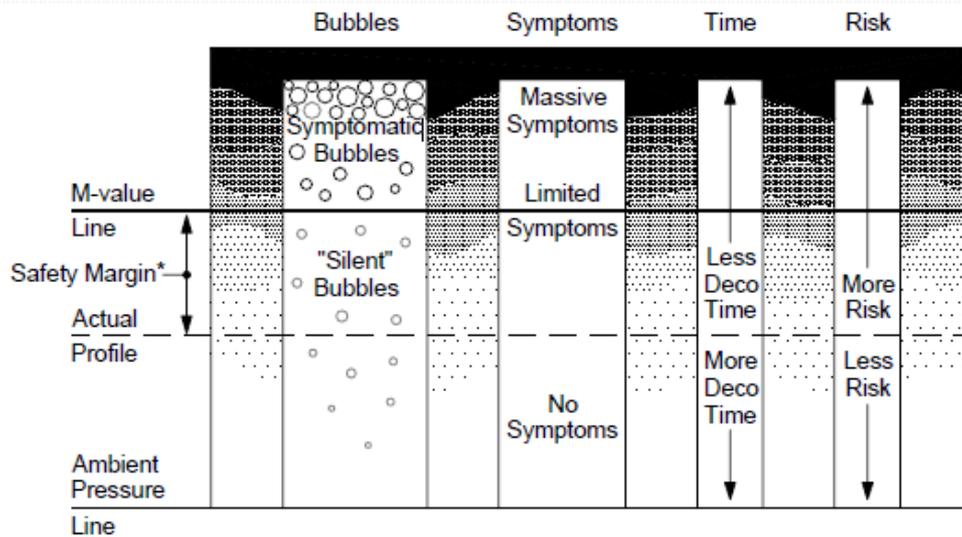
Taux de croissance des bulles

Comparatif des piliers des modèles

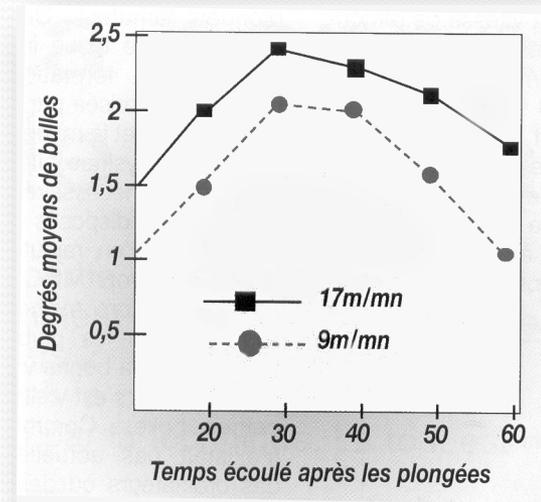


| | | |
|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Analyse | Gaz libre vs. dissout | Bulle |
| Transfert | Perfusion | Perfusion (+ diffusion) |
| Compartiments | Oui | Oui |
| Périodes | Oui | Oui |
| Critère limite | Sursaturation | Volume de 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

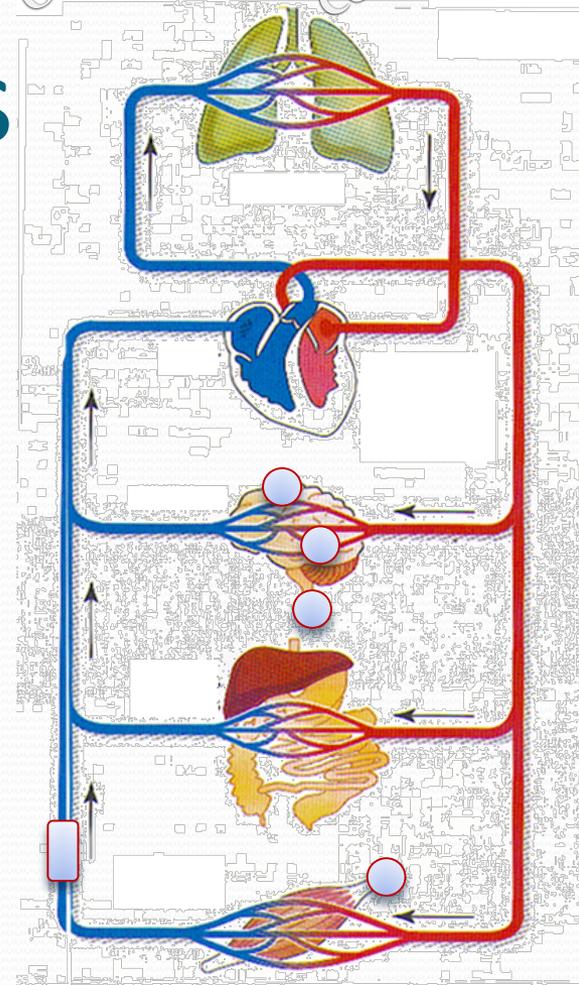
Forçage

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

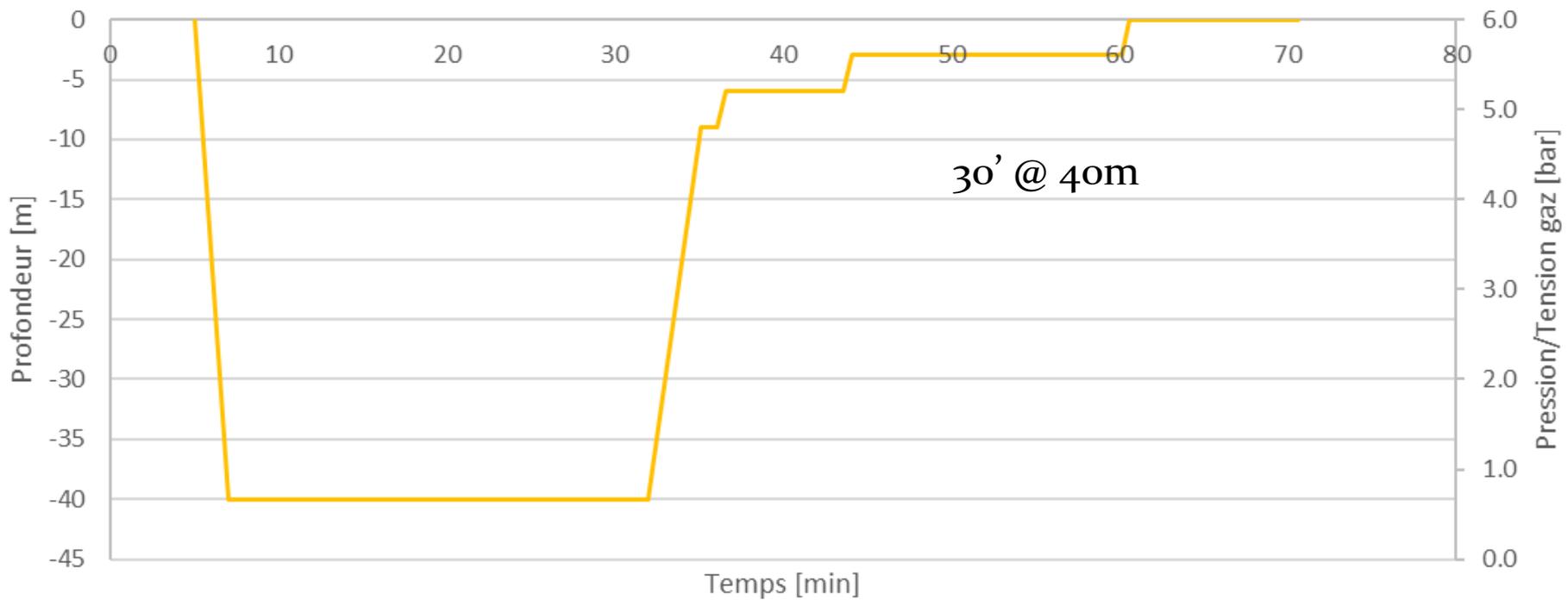
Profils de saturation

Plongée successive

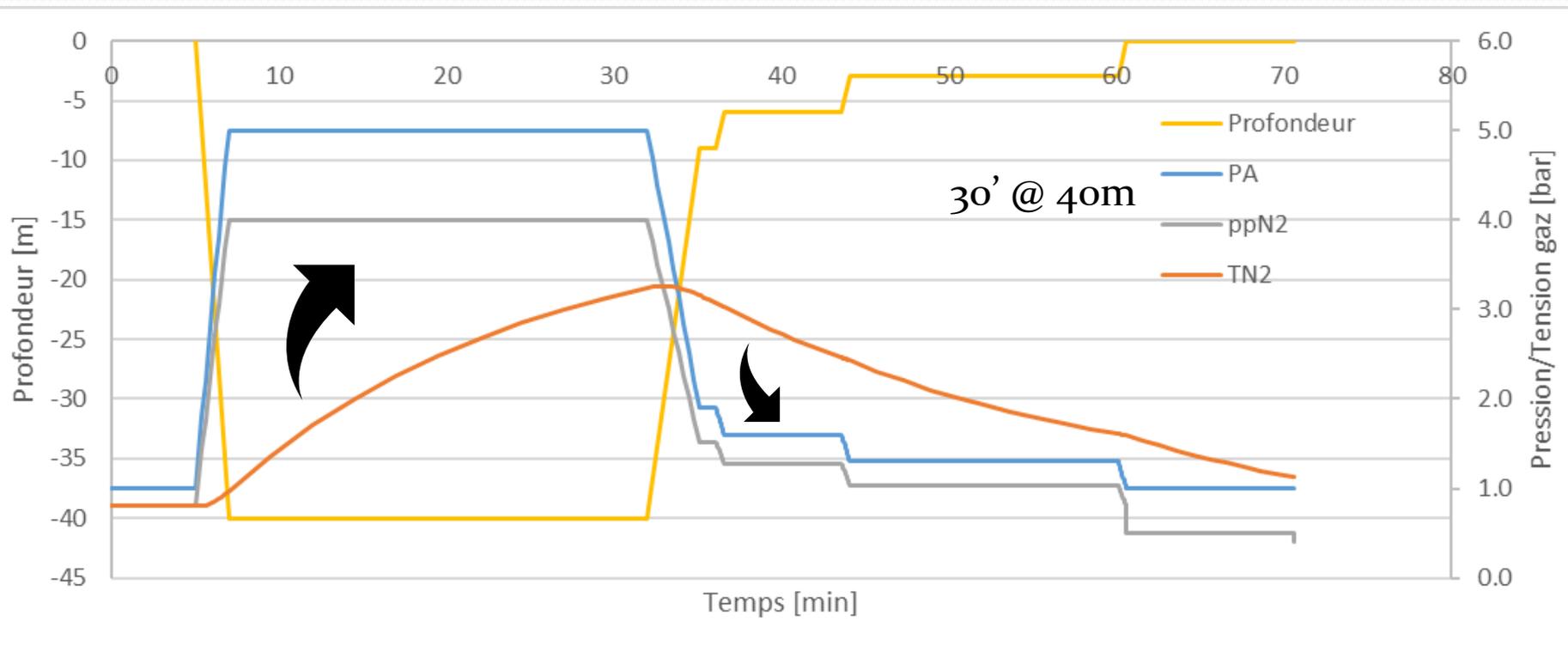
Plongée aux mélanges

Cas d'étude = 30' @ 40m

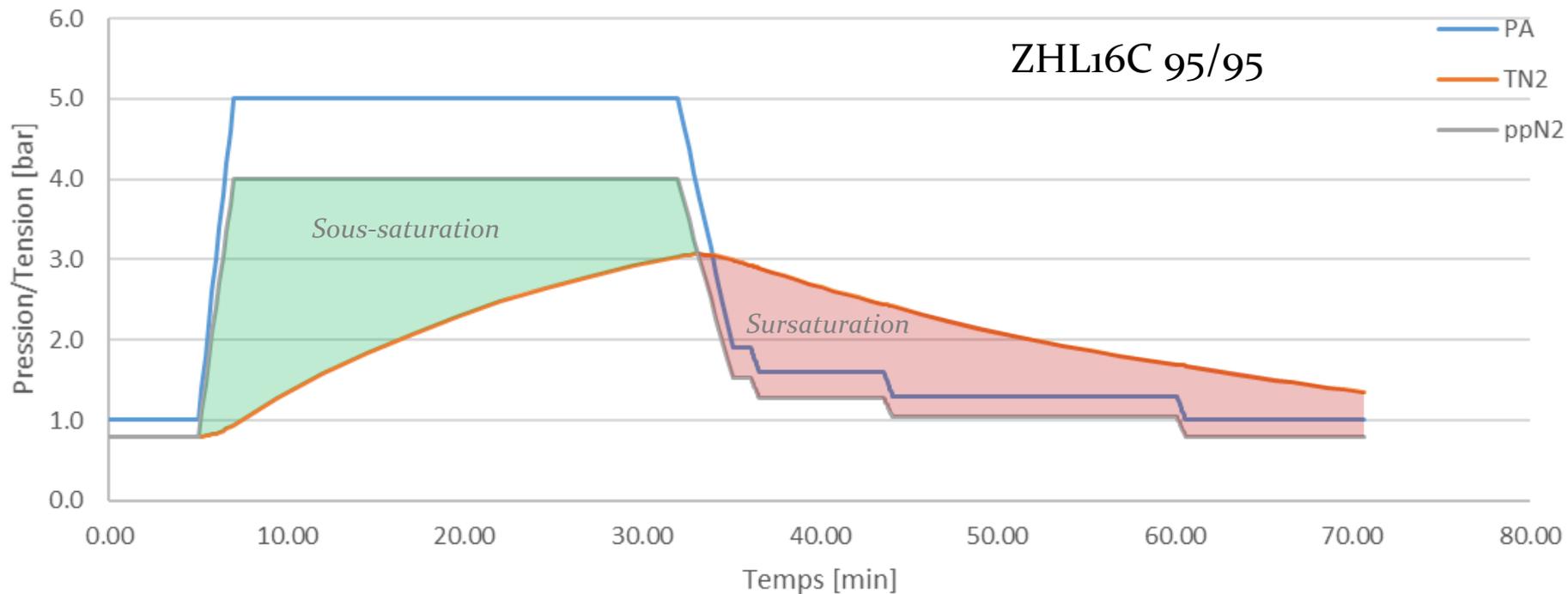
Que se passe-t-il en plongée ?



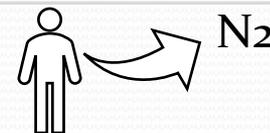
Analyse d'une courbe



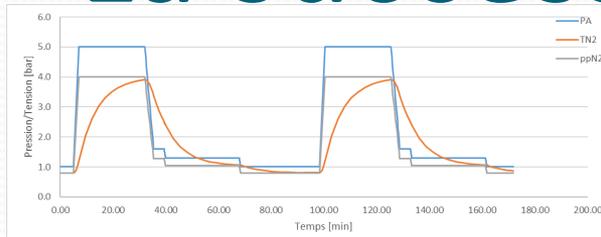
Analyse d'une courbe

N₂

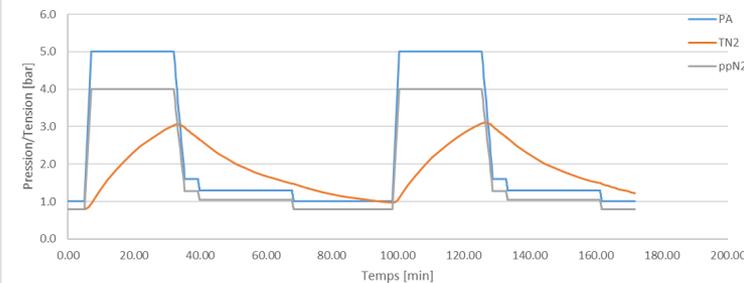
La décompression - S. Besnard

N₂

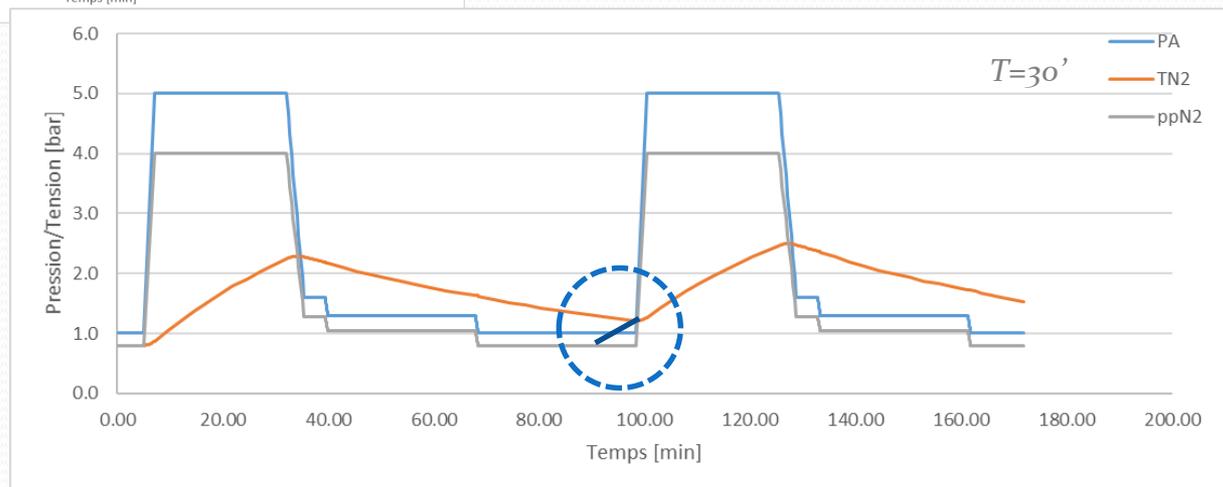
La successive



$T=5'$



$T=15'$

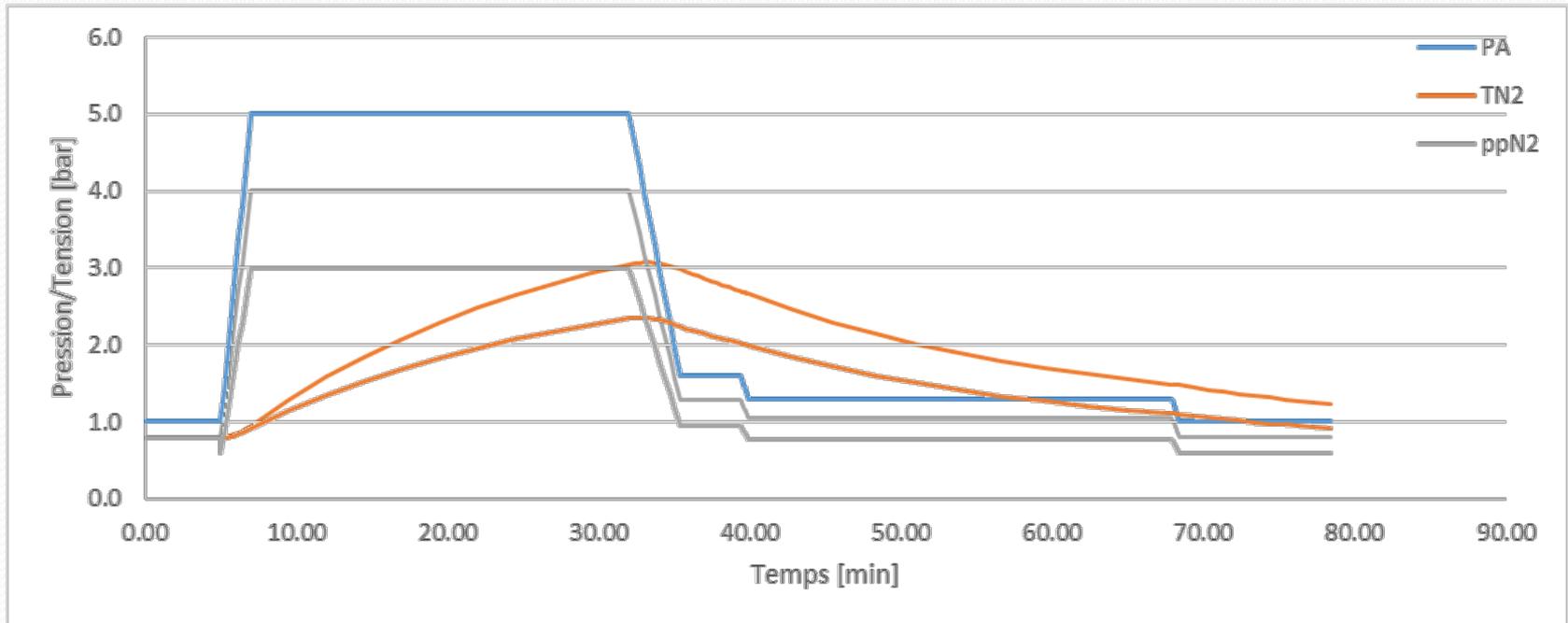


$T=30'$



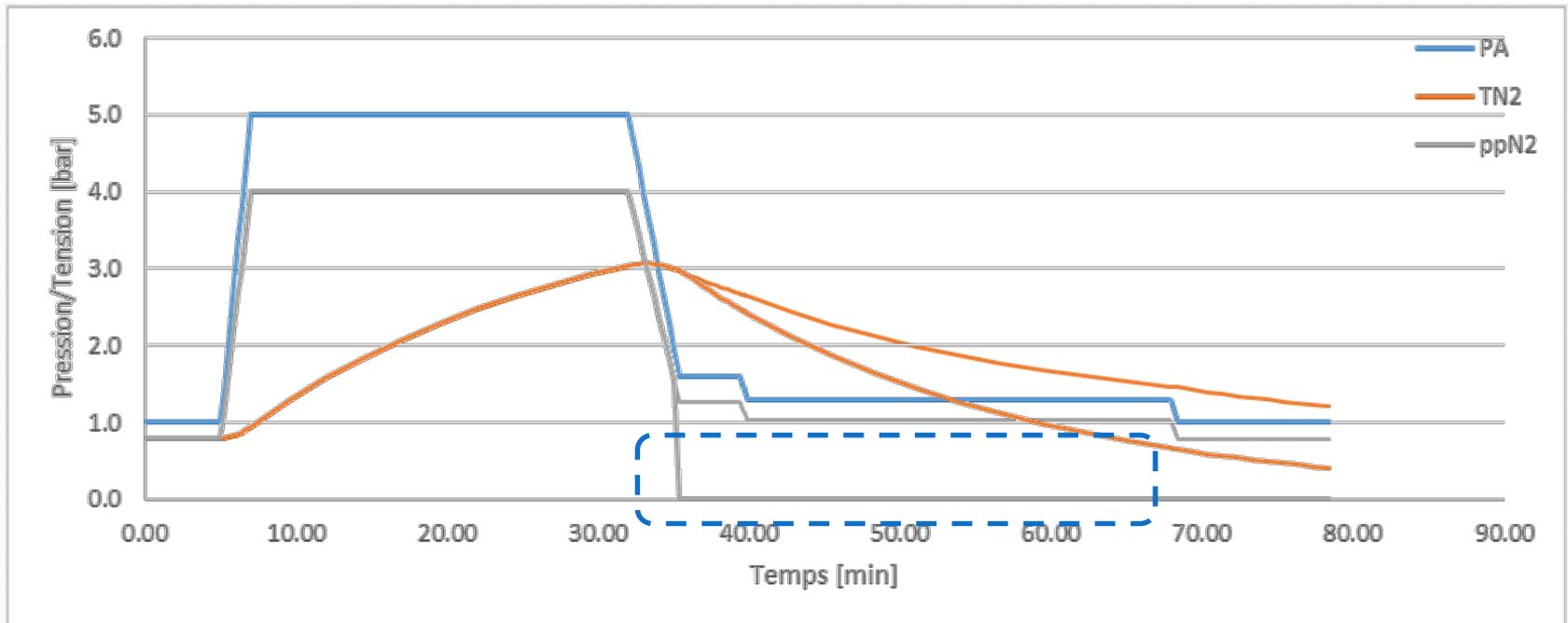
Temps pour revenir à la même tension d'azote: la majoration

Le Nitrox



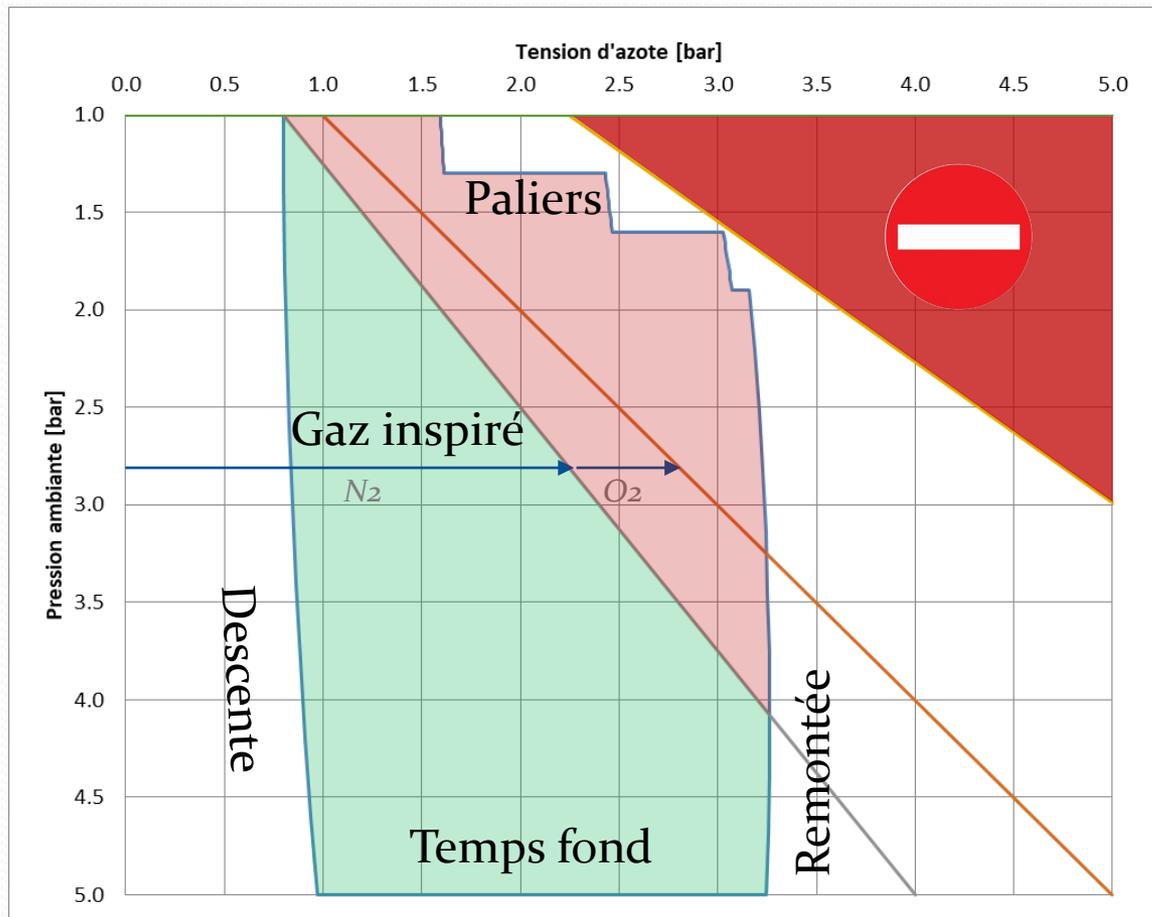
La décompression - S. Besnard

La déco O₂

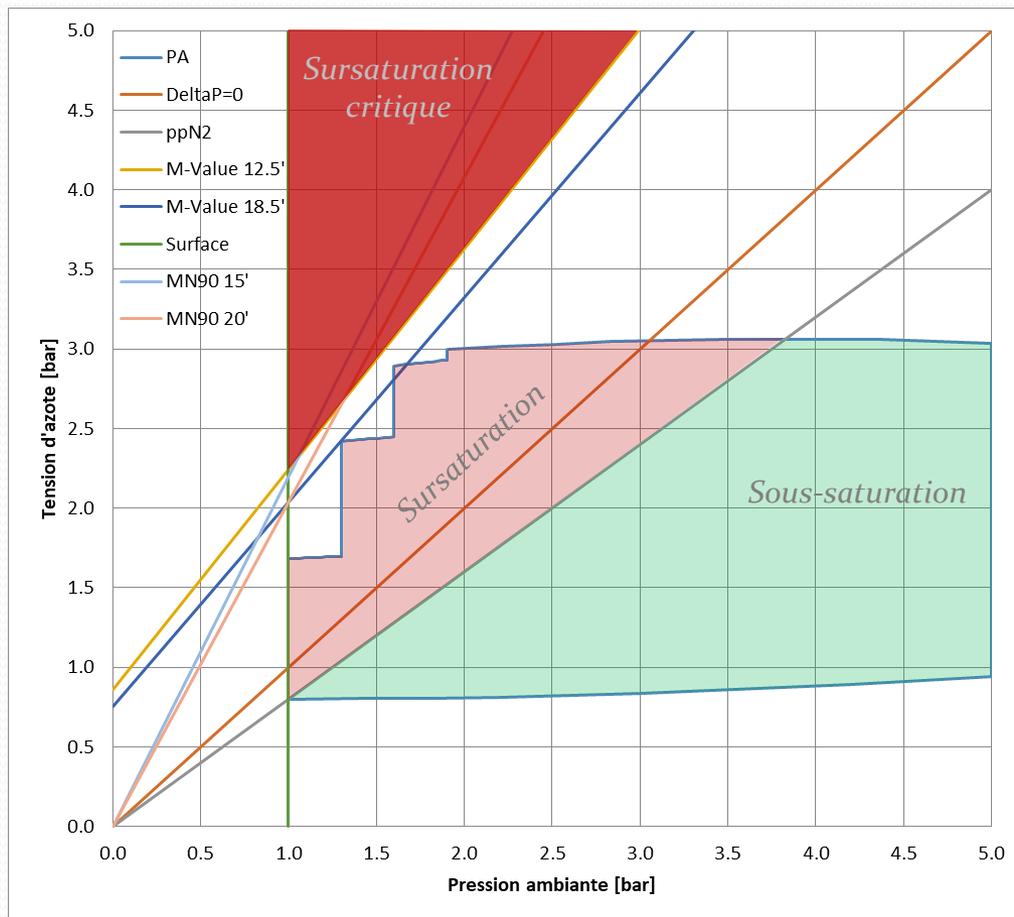


Voyons ça autrement

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



Les M-Values

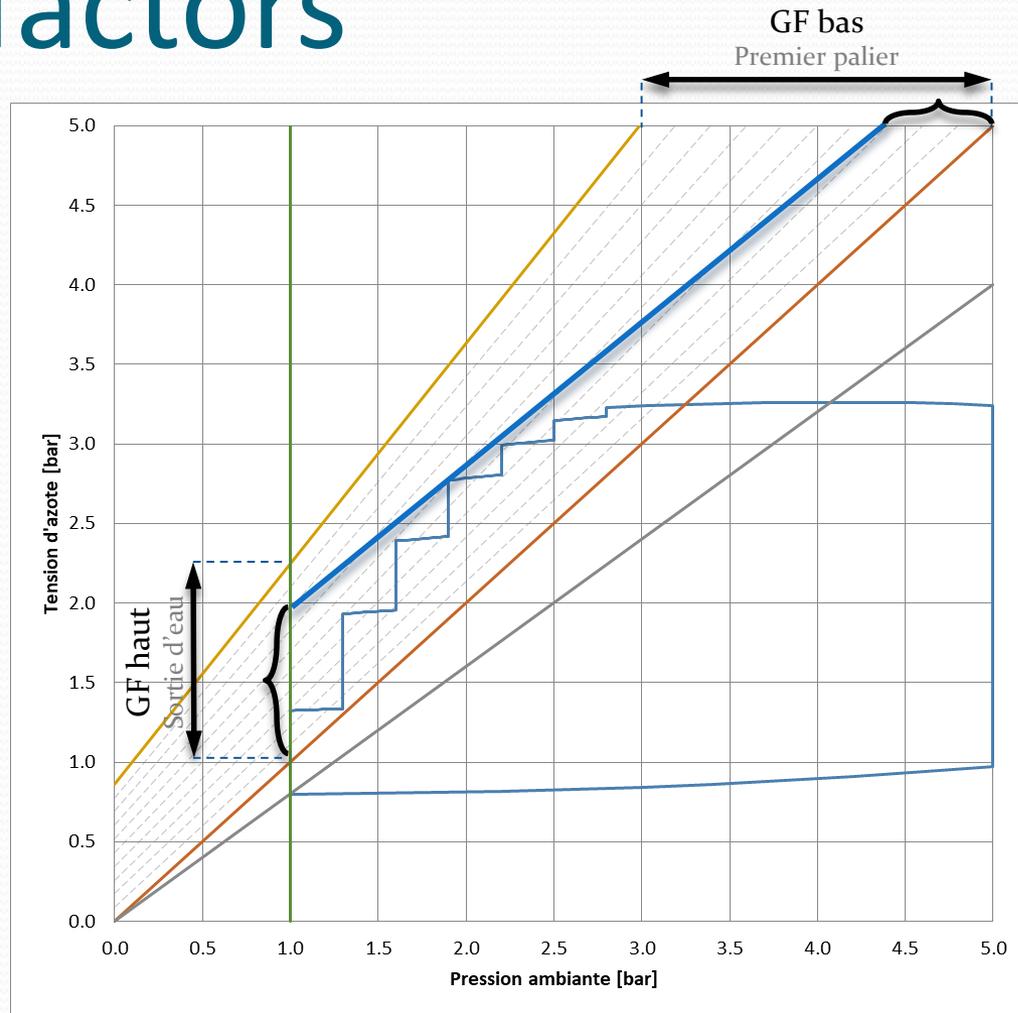


Les gradient factors

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



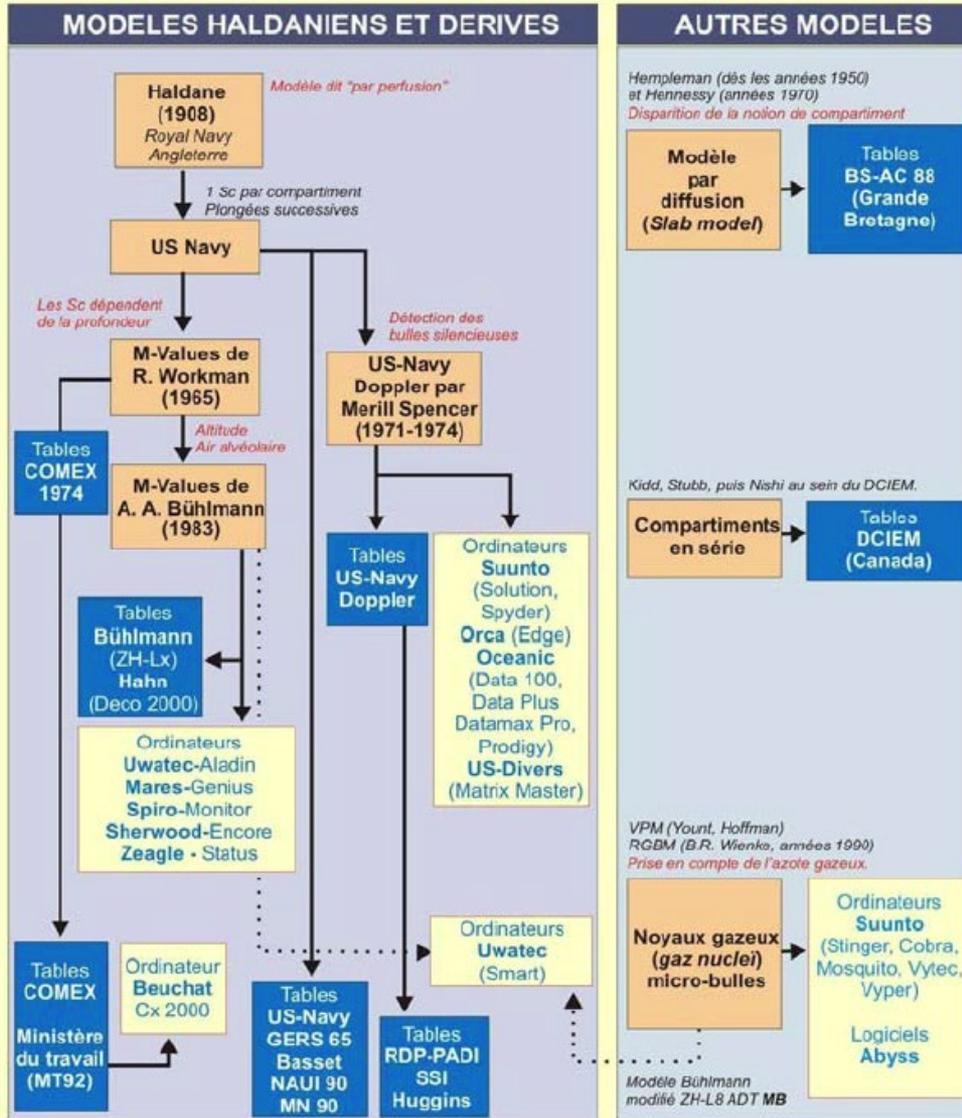
Les ordinateurs

Une boîte noire ?

Comparatifs

Comment les gérer

LES MODELES DE DECOMPRESSION



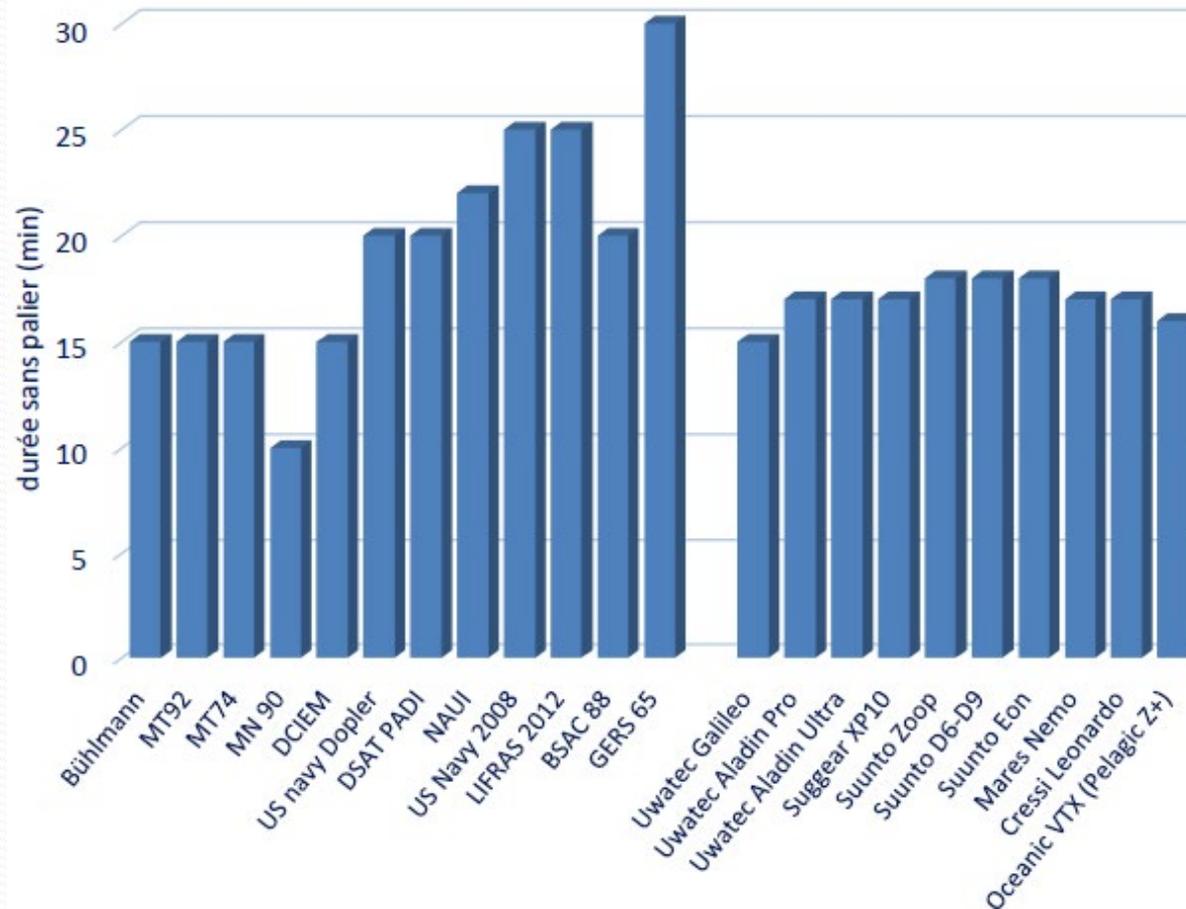
© Alain Foret, Illustration-Pack II



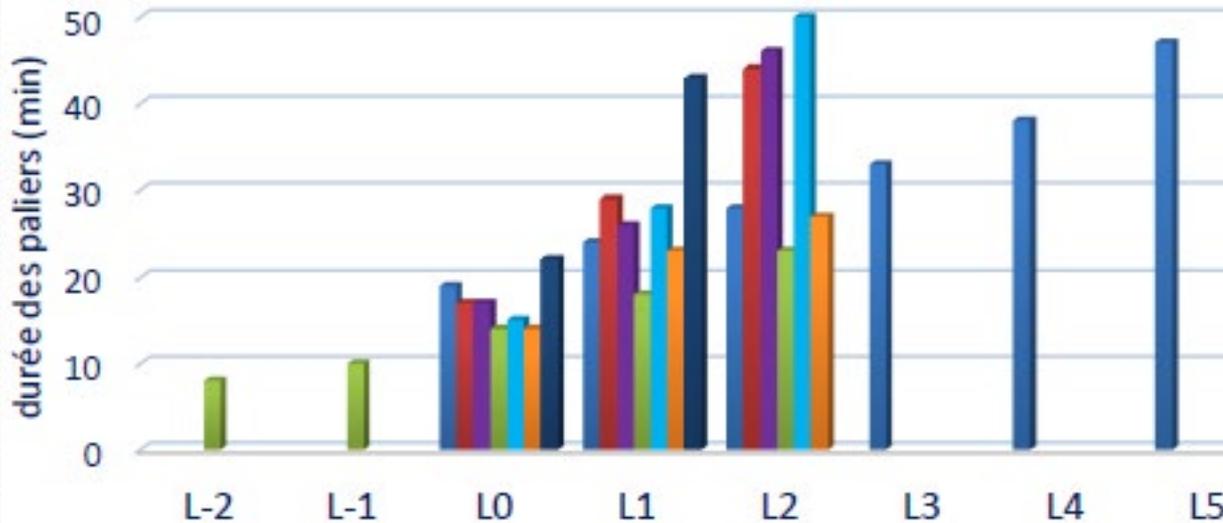
| | Algorithme | Conserv. | Palier profond | Palier de sécurité | Vit. remonté e m/min | Modes | # gaz | % O2 | Blocage viol déco |
|-------------------|----------------------------|------------|----------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------|----------------|-------------------|
| 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

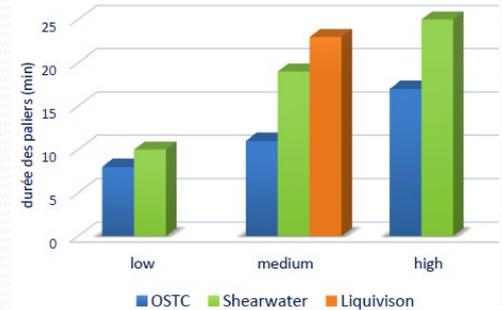
Suunto D6-D9

Suunto Eon

Mares Nemo

Cressi Leonardo

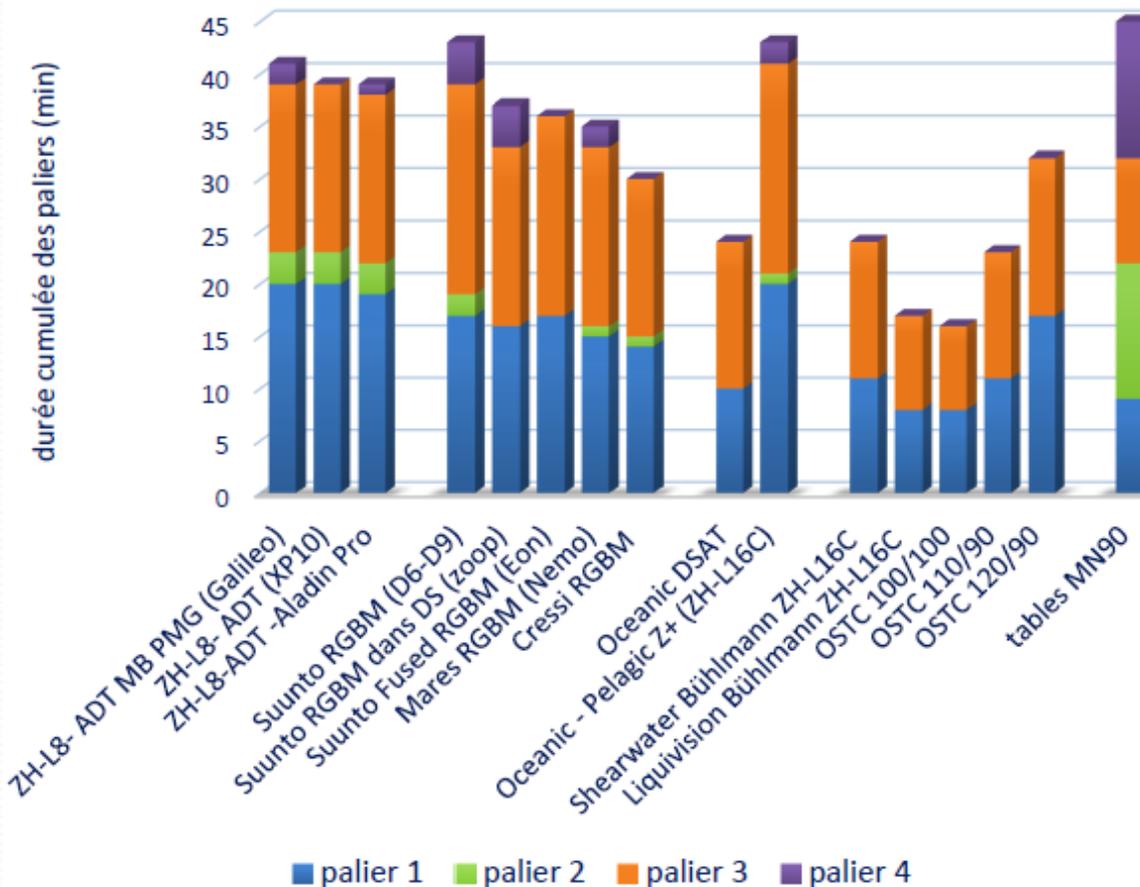
Oceanic VTX (Pelagic Z+)



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...*

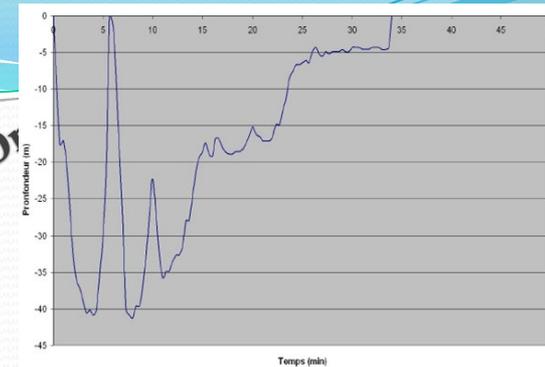
Pendant

*Je suis dans la
zone de paliers*

Après

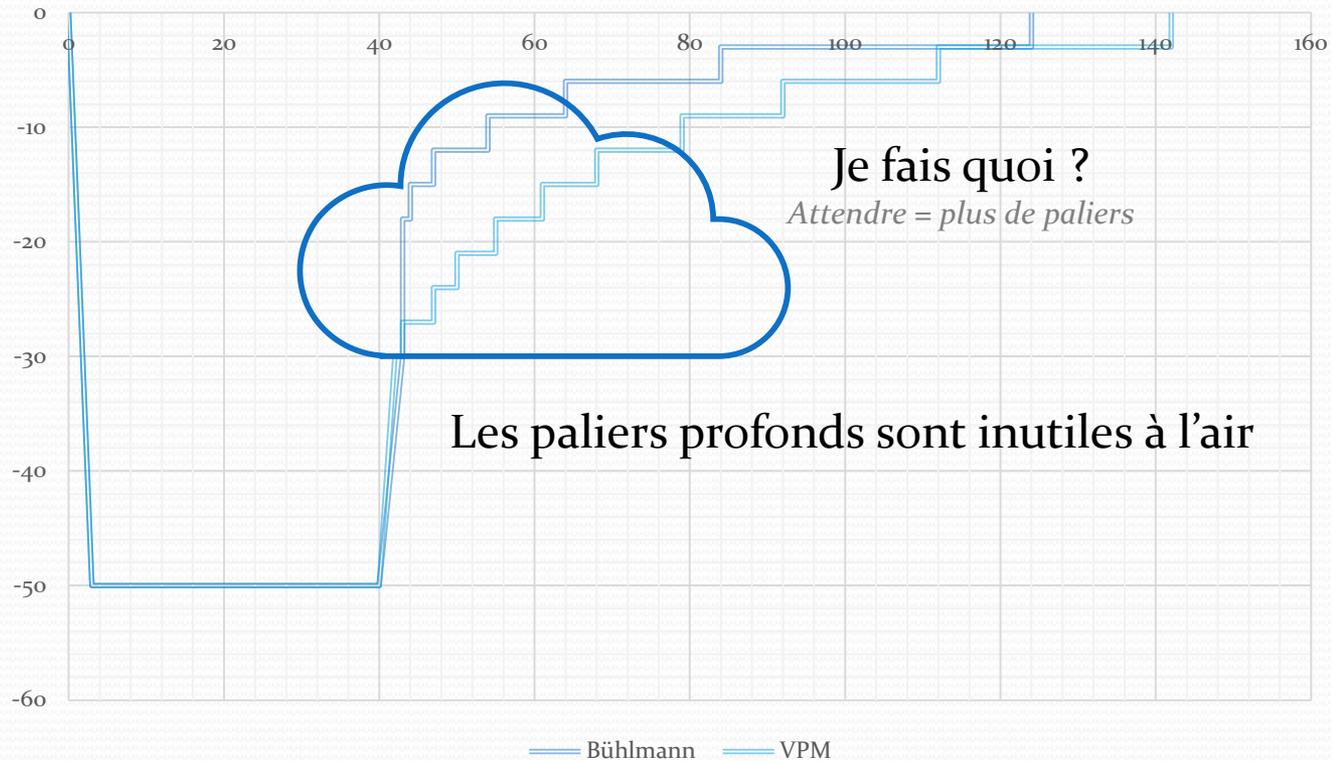
*Etat de santé, successive,
avion*

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