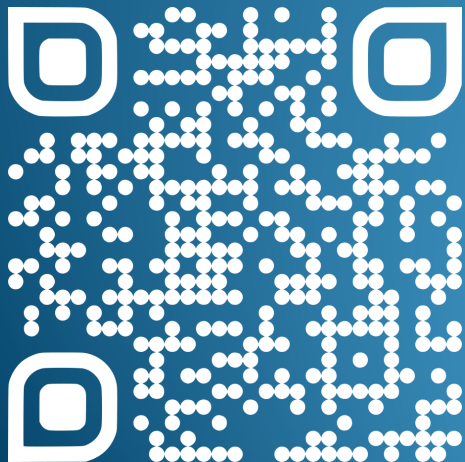


La désaturation

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

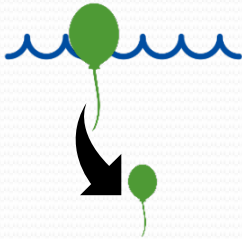
Principes physiques

Le corps humain

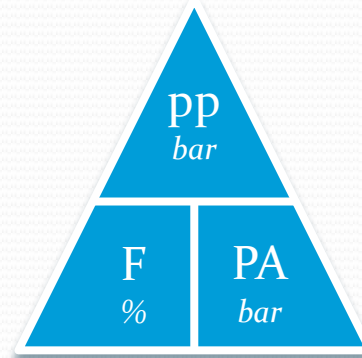
Naissance et vie d'une bulle



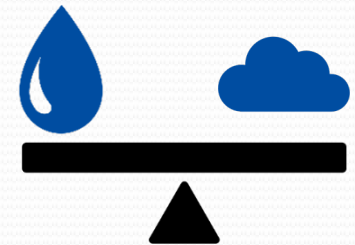
Les principes physiques



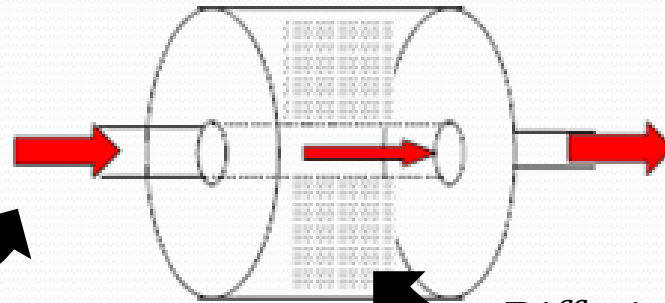
Variations volumes/pression
Boyle-Mariotte



Pressions partielles
Dalton



Dissolution des gaz
Henry

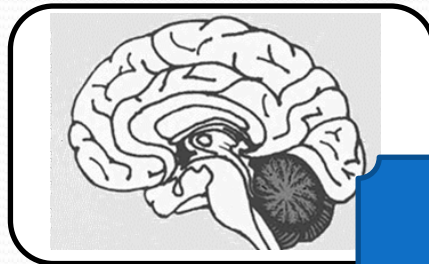


Perfusion

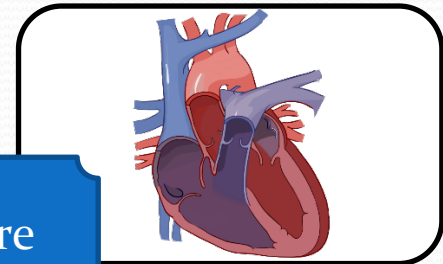
Diffusion



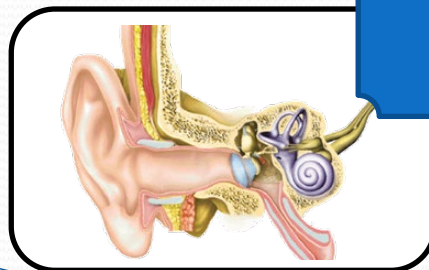
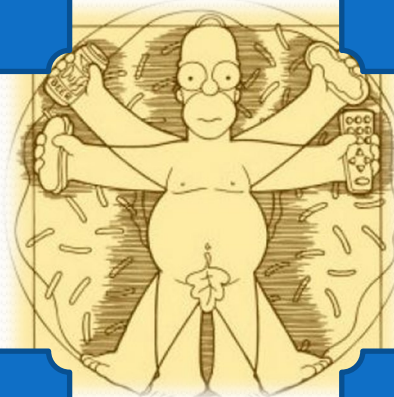
Le corps humain



Nerveux



Circulatoire



Auditif

Ventilatoire



Les échanges gazeux

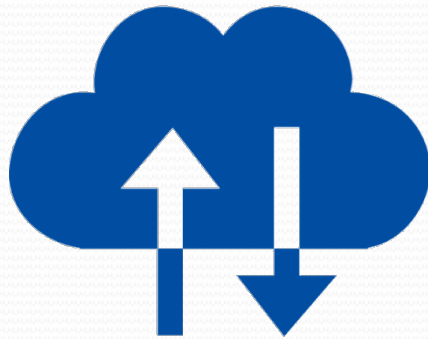
$O_2=0.21$
 $CO_2 \approx 0.00$
 $N_2=0.78$
 $H_2O \approx 0.00$

Gradient de circulation pulmonaire

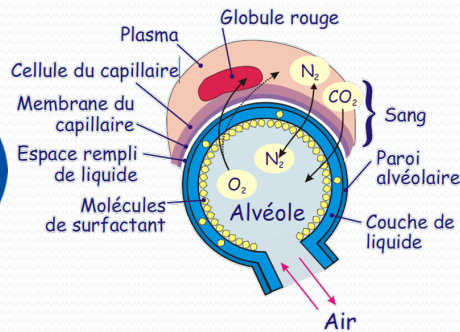
Efforts

Surface d'échange pulmonaire

Caractéristique personnelle



Echange gazeux

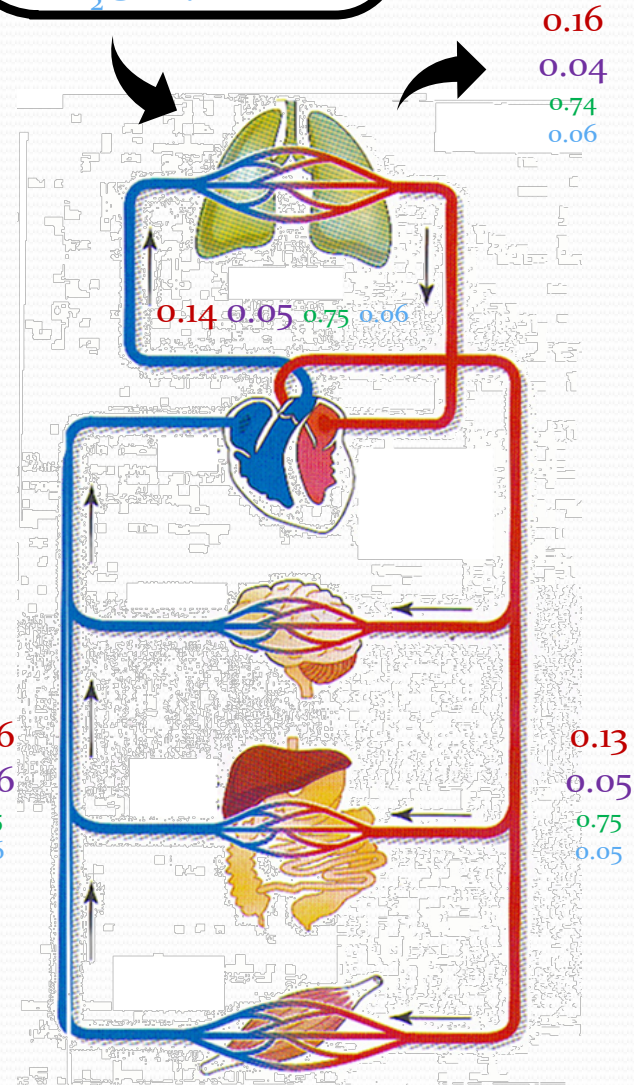


Vitesse de diffusion des gaz

Endogène

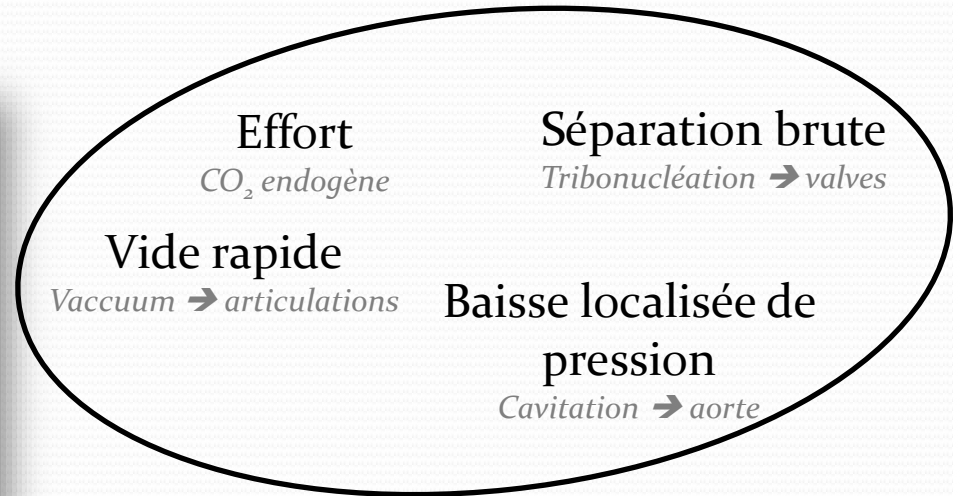
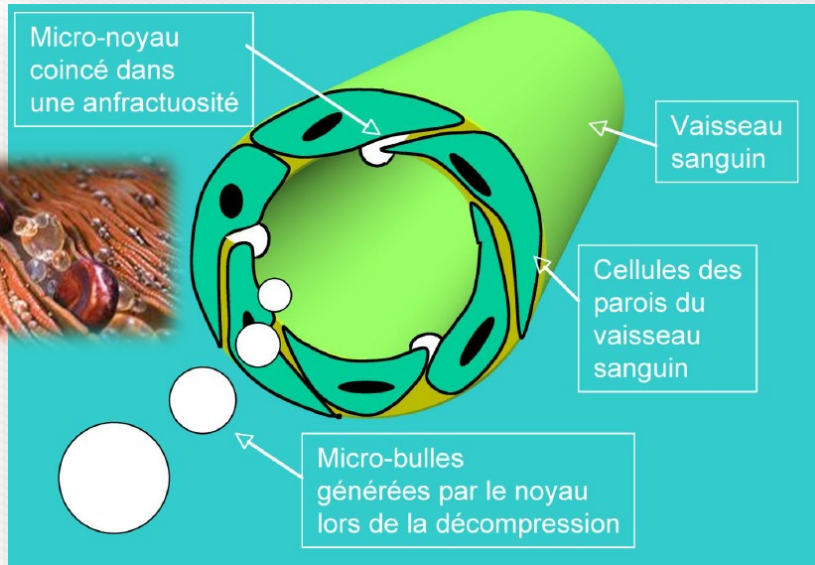
Gradient de pression des gaz

Profondeur, temps de plongée



Amorces de bulles

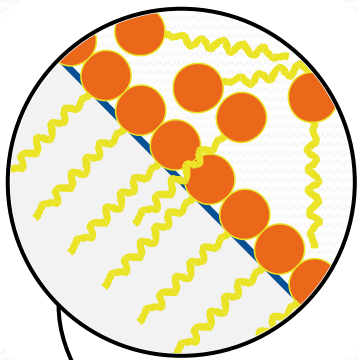
Tout part d'un micro-noyau fait de CO₂



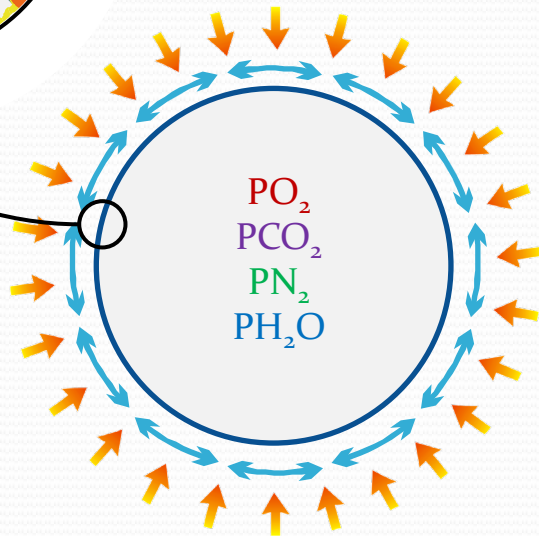
Taille mini pour faire une micro bulle: 0.005µm



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

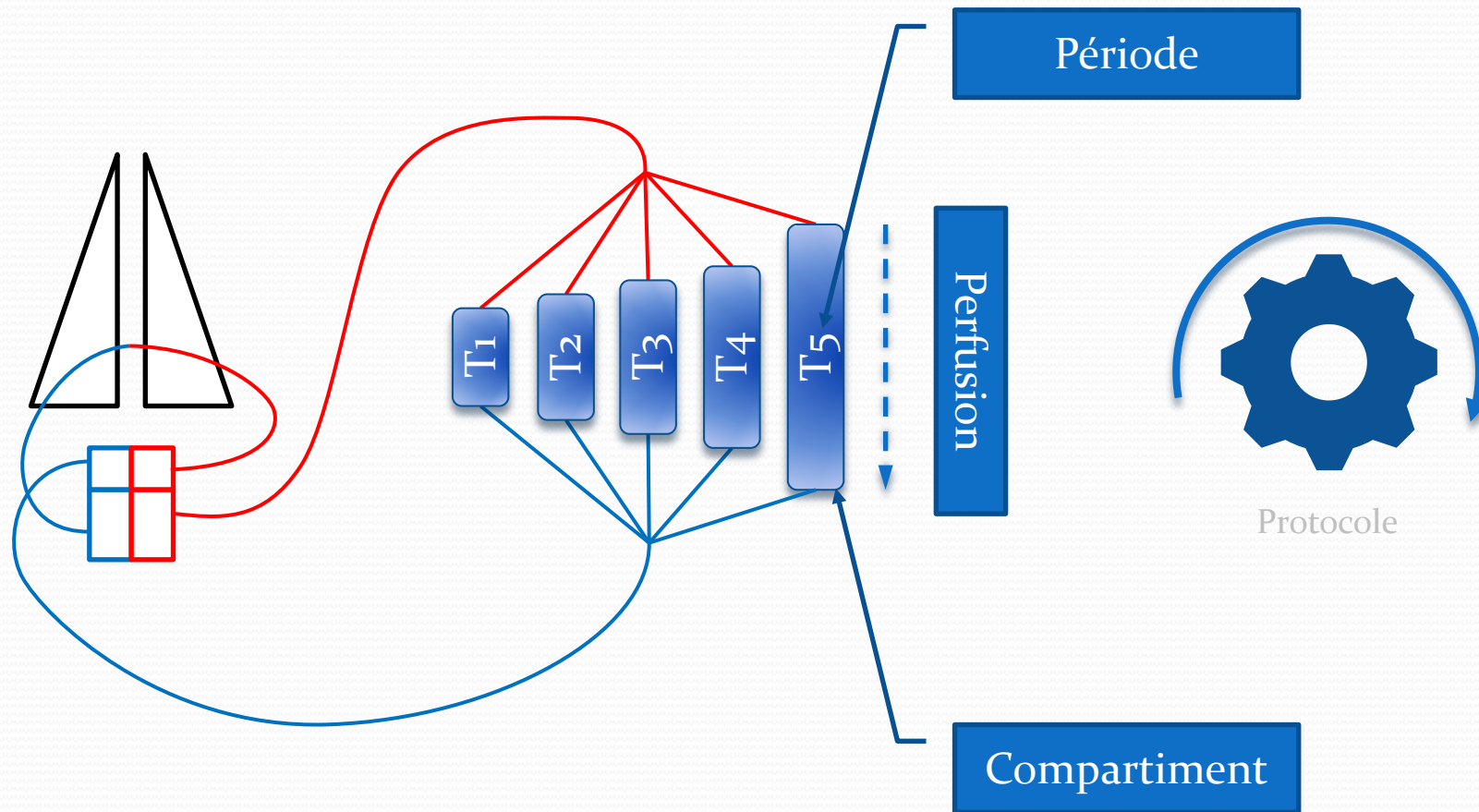
Principes généraux

Les Haldaniens

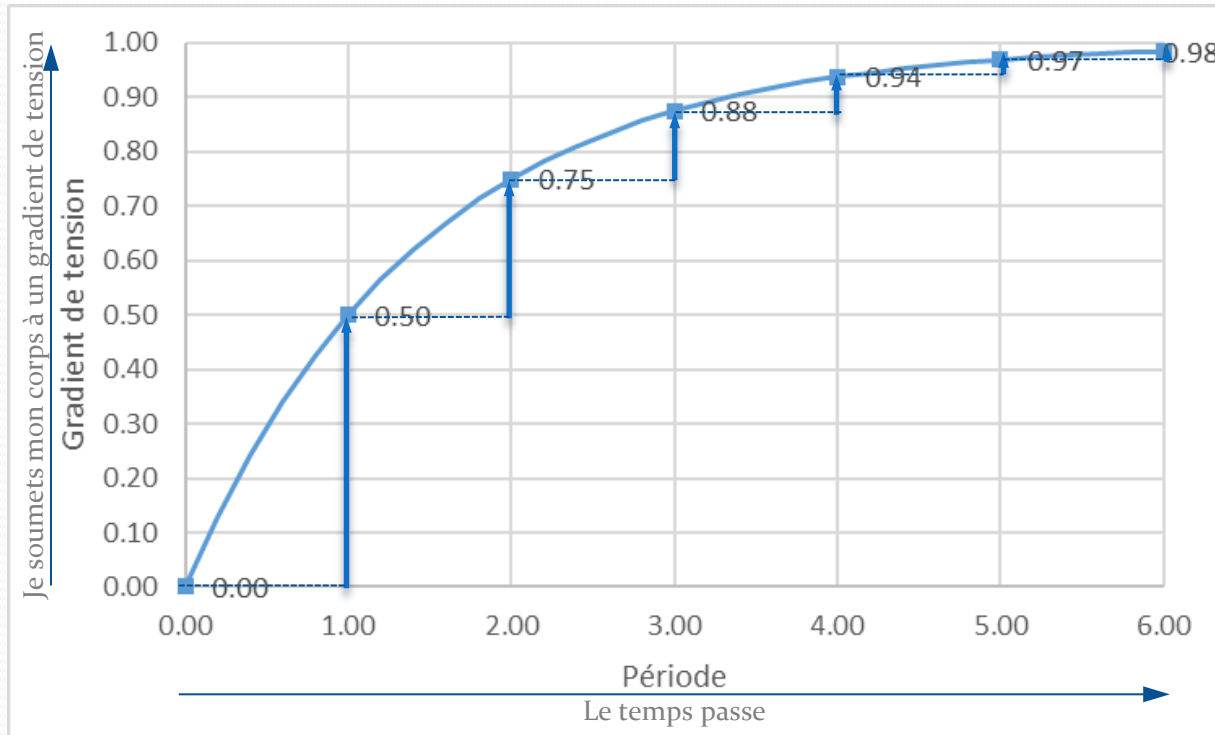
Les bullesques



La modélisation



Saturation et désaturation



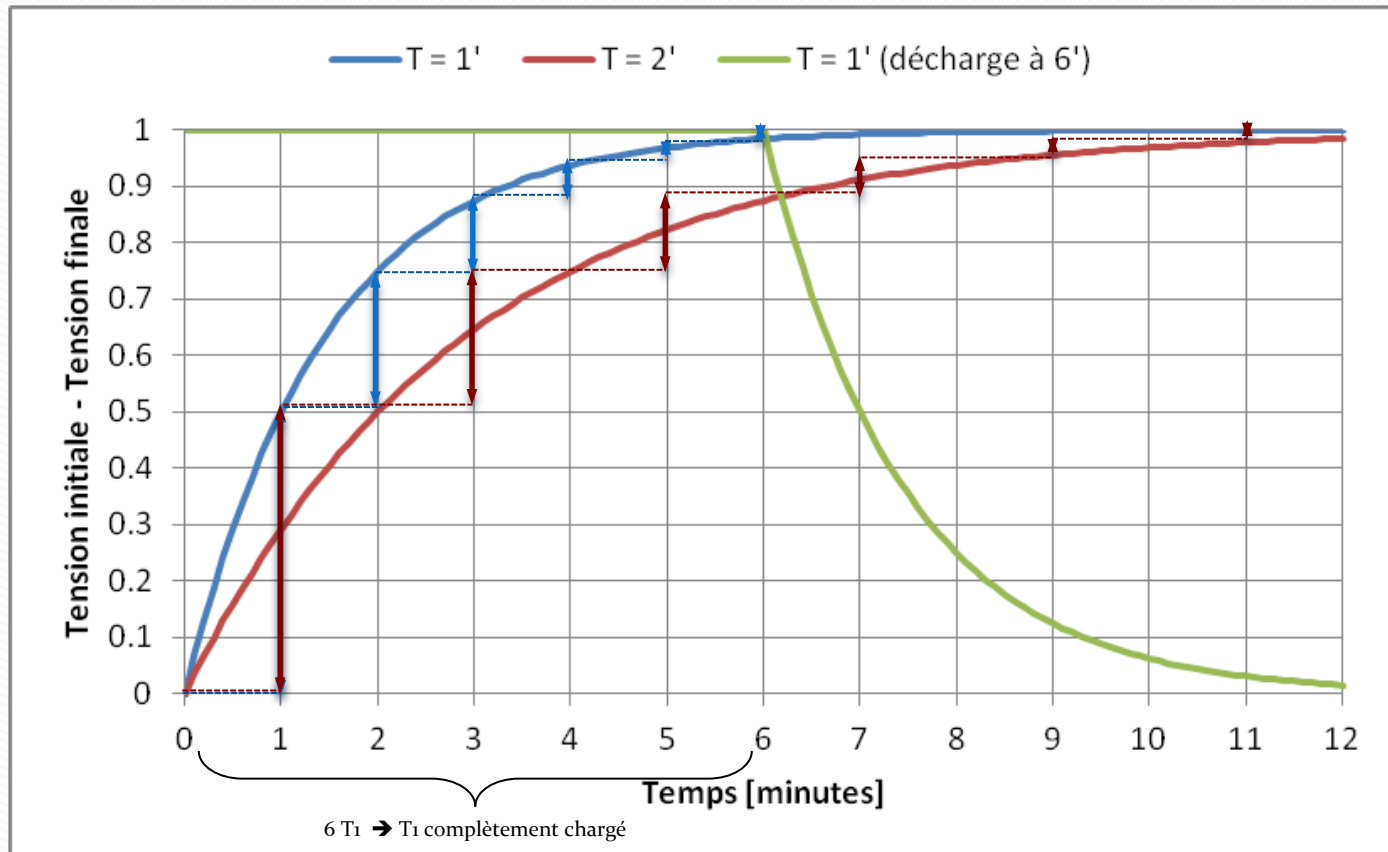
La désaturation, c'est comme une bonne pizza
(ou une bonne bière)



La désaturation - S. Besnard



Charge, temps et décharge

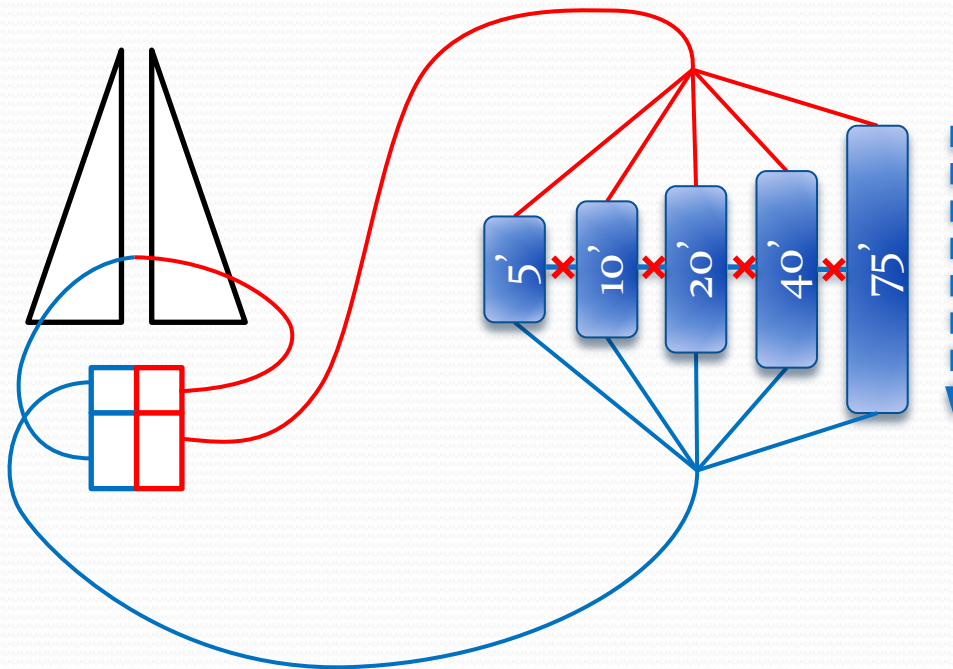


6 T₁ → T₁ complètement chargé

6 T₂ → T₂ complètement chargé



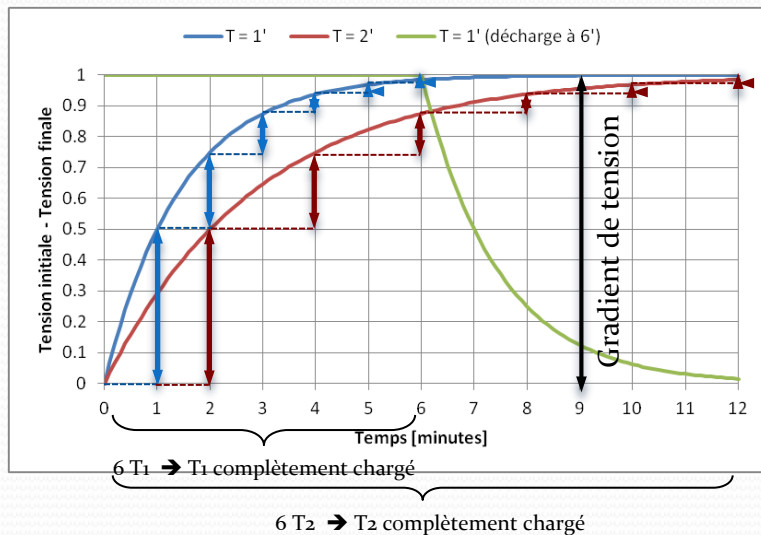
Le modèle Haldanien (1908)



- 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) :
 - Intégration de la diffusion

$$QN_2 = P\sqrt{t}$$

Notion d'engagement

Problèmes articulaires



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

Tabelle 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 |

Modélisation numérique



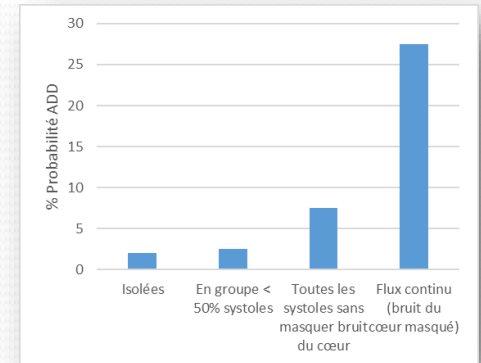
- Bühlmann (1980) :
 - Intégration du gaz alvéolaire (vapeur d'eau) et de L'Hélium (plus diffusif et moins soluble)

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 :

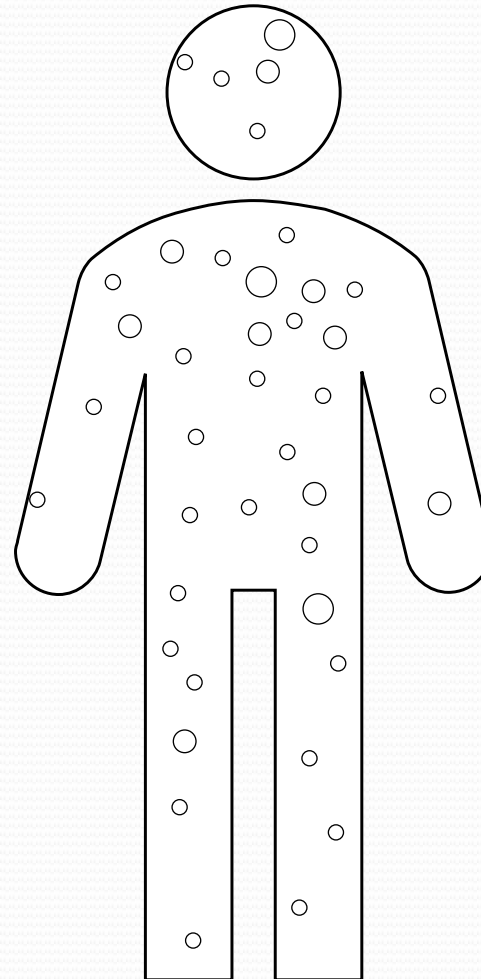
- Nombre fixe
- Beaucoup de petits, quelques gros

Croissance des bulles :

- Variations pression
- Perméabilité variable (microbulles 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

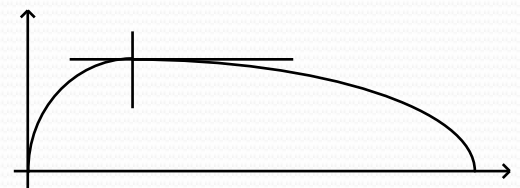
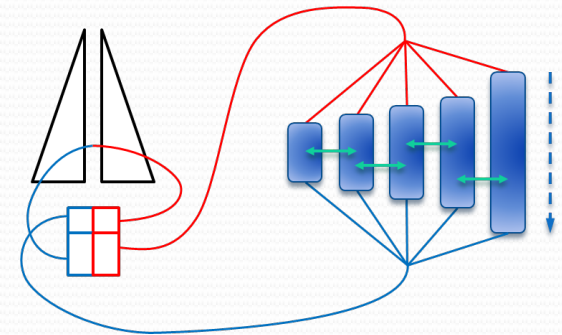
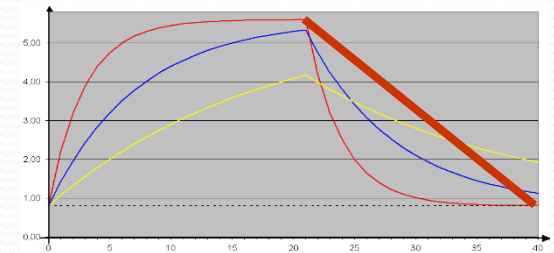
Multi-plongées

*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

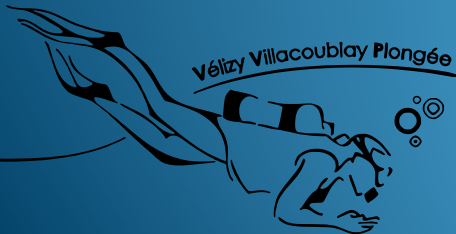


Analyse des modèles

Les points non résolus

Explication des accidents

Bonne pratiques



Les points non résolus

La charge / décharge

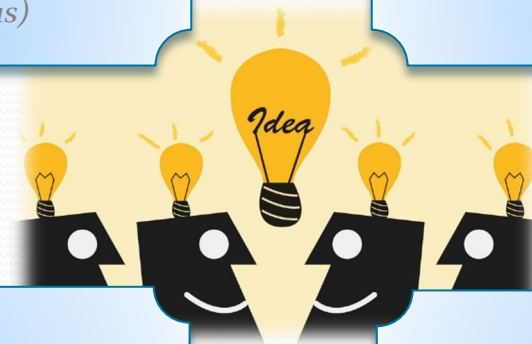
Perfusion (flux sanguin)

Diffusion (taux dans les tissus)

Les tissus

Composition

Localisation (bends?)



Les bulles

Génèse

Croissance

La limite

*Saturation du gaz dissous
Flux sanguin*

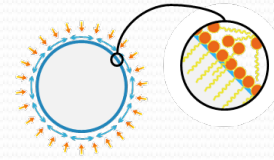
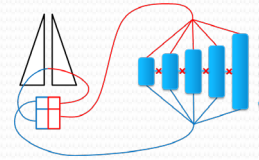
Volume global

Nombre de bulles

Taux de croissance des bulles



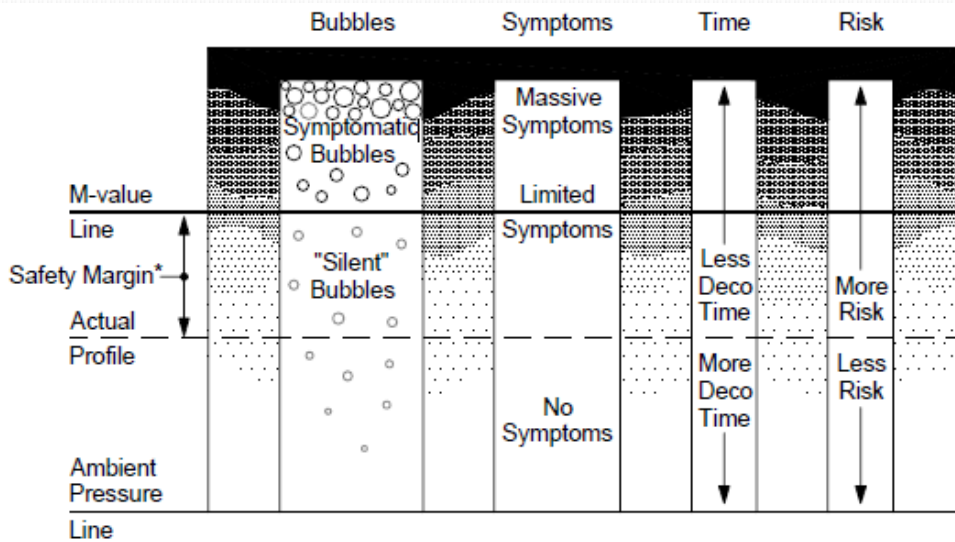
Comparatif des piliers des modèles



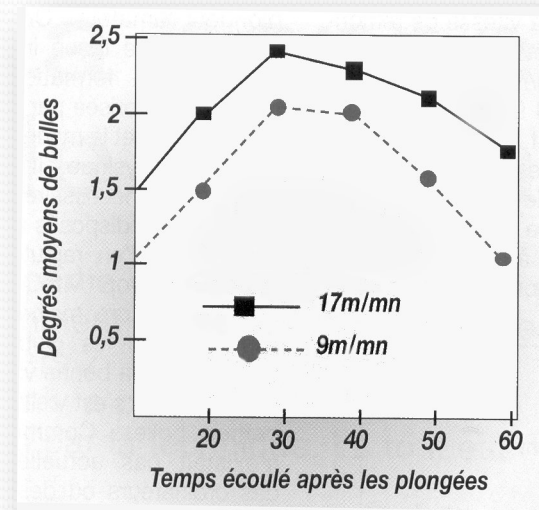
| Analyse | Gaz libre vs. dissout | Bulle |
|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Transfert | Perfusion | Perfusion (+ diffusion) |
| Compartiments | Oui | Oui |
| Périodes | Oui | Oui |
| Critère limite | Sursaturation | Volume de bulle(s)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

Le risque est par rapport à la désaturation → rester longtemps dans l'eau est risqué !



Les principes expliqués

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

Le filtre pulmonaire ne fait pas tout !

Accumulations

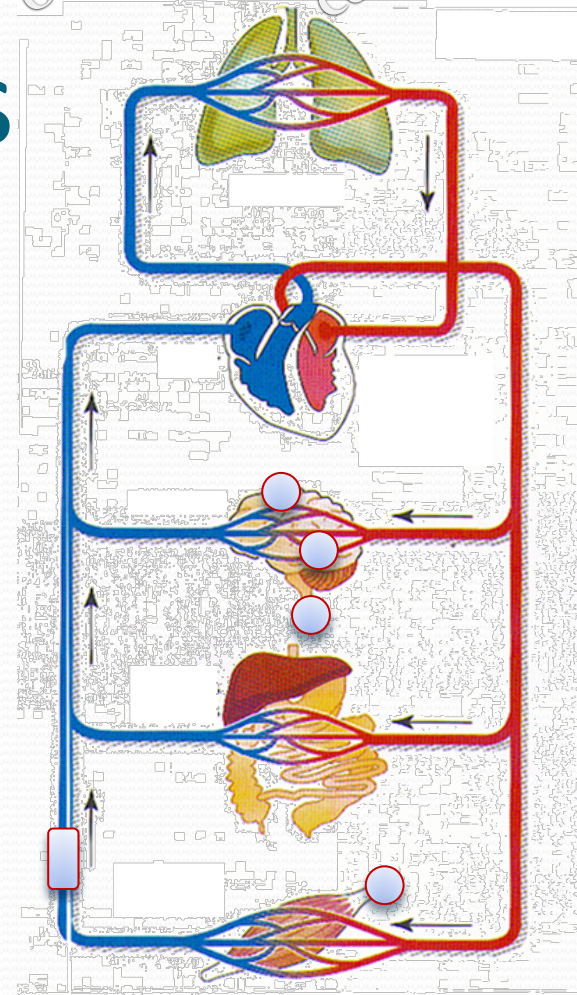
Forçage

By-pass

Cœur

Recompression

Yo-yo, successives proches



Les bonnes pratiques



Plongée de réadaptation
Effet pendant 7 à 10 jours



Adaptation du corps à la présence de microbulles



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

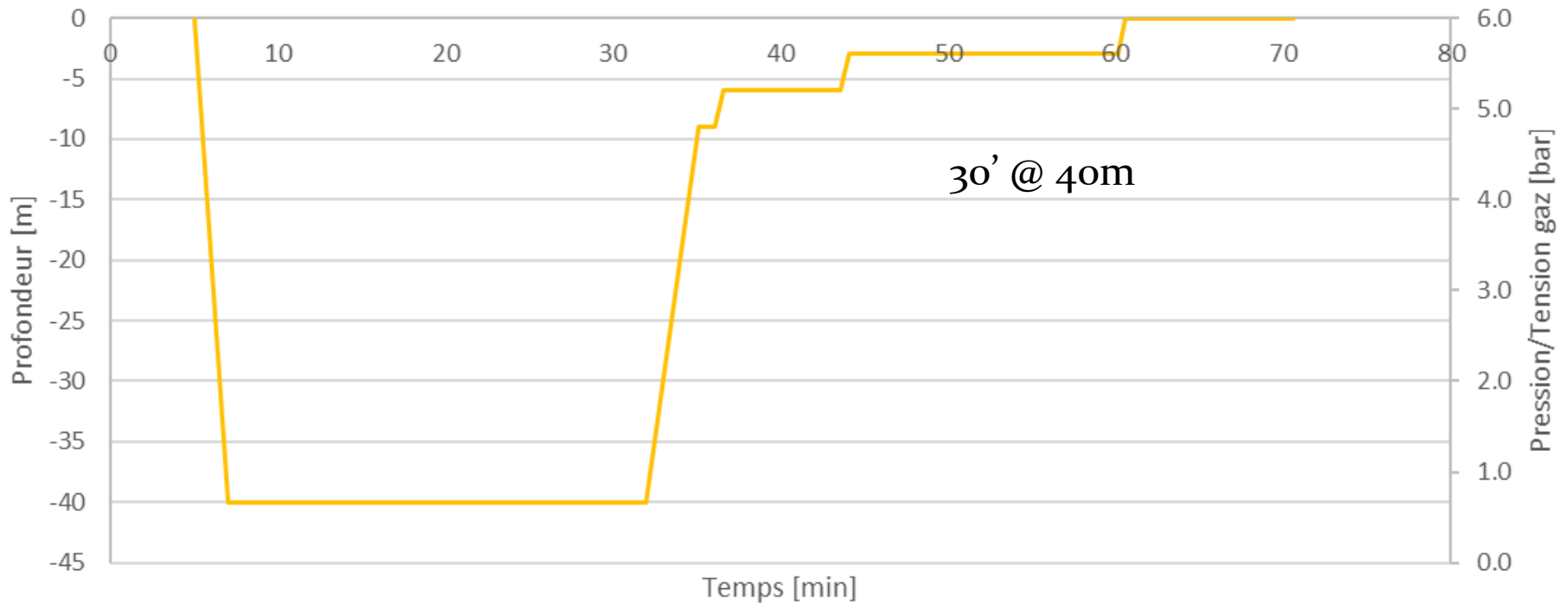
Plongée successive

Plongée aux mélanges

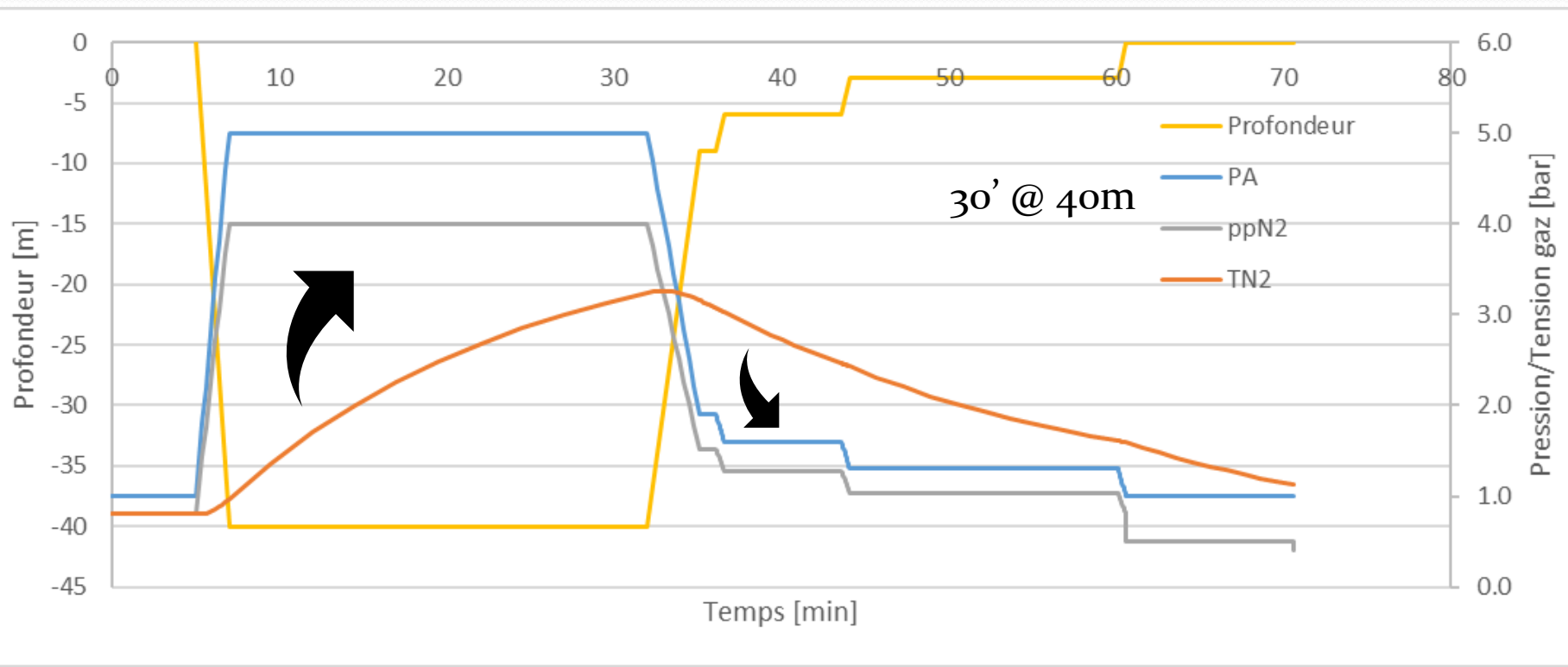
Cas d'étude = 30' @ 40m



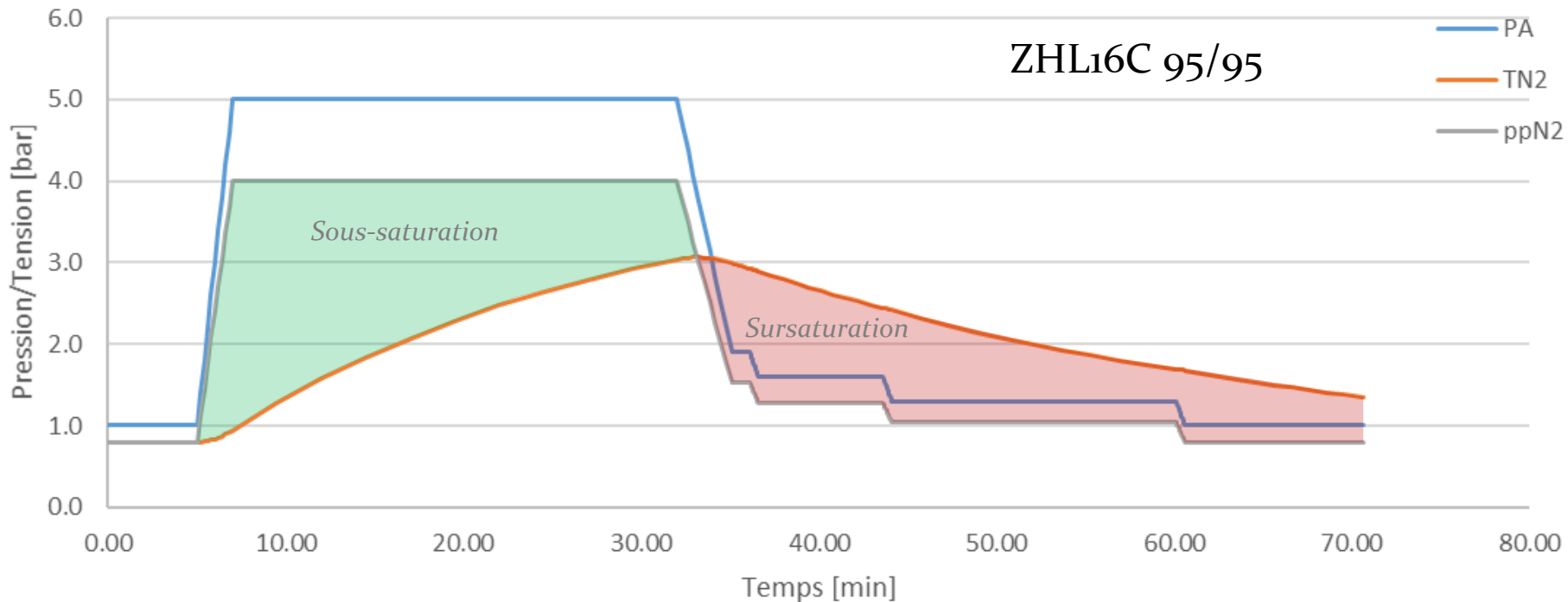
Que se passe-t-il en plongée ?



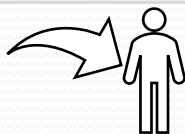
Analyse d'une courbe



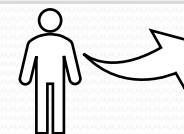
Analyse d'une courbe



N₂

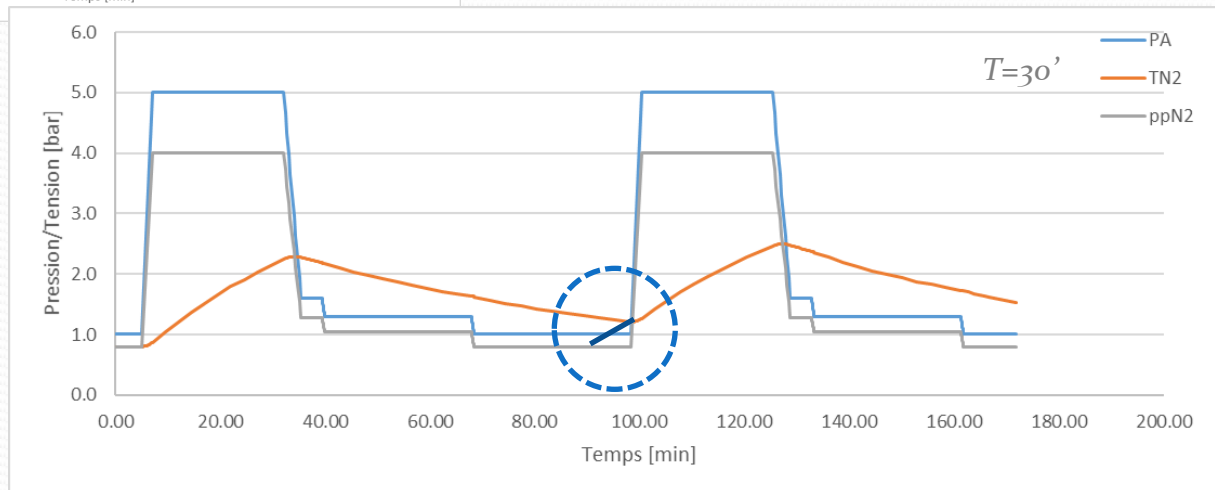
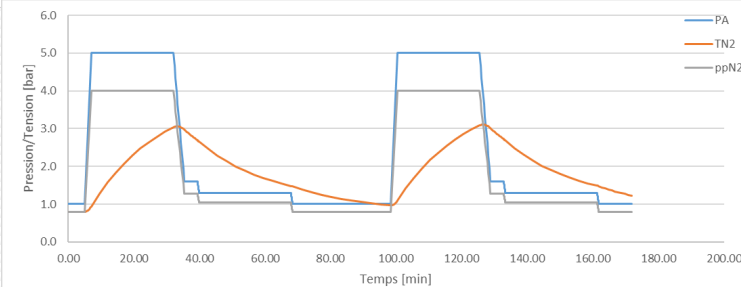
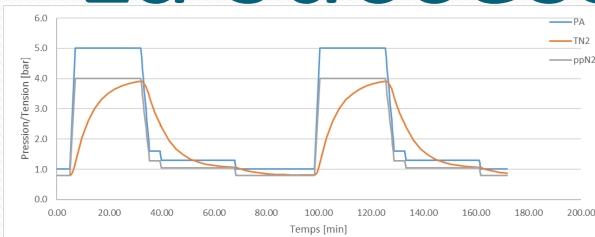


La désaturation - S. Besnard



N₂

La successive



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



La réalité

Les modèles

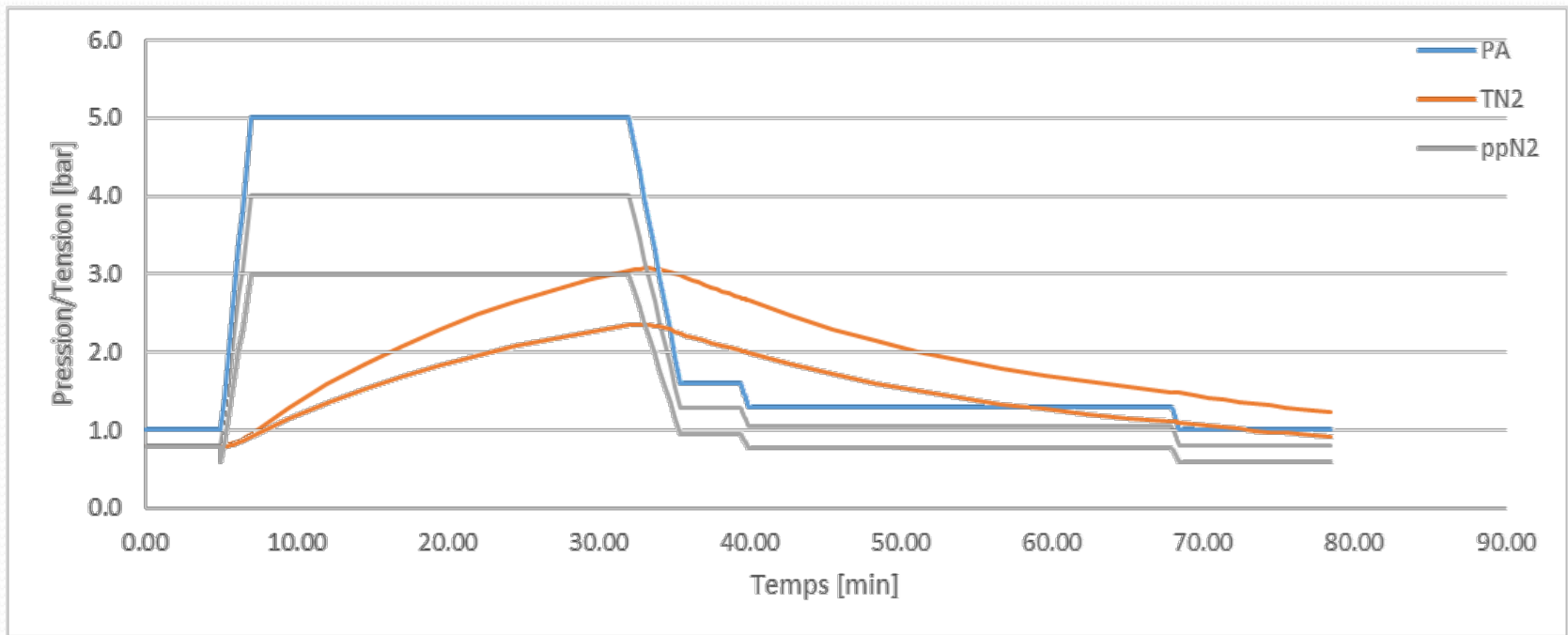
Analyse

Jouons

Ordinateurs

Conclusion

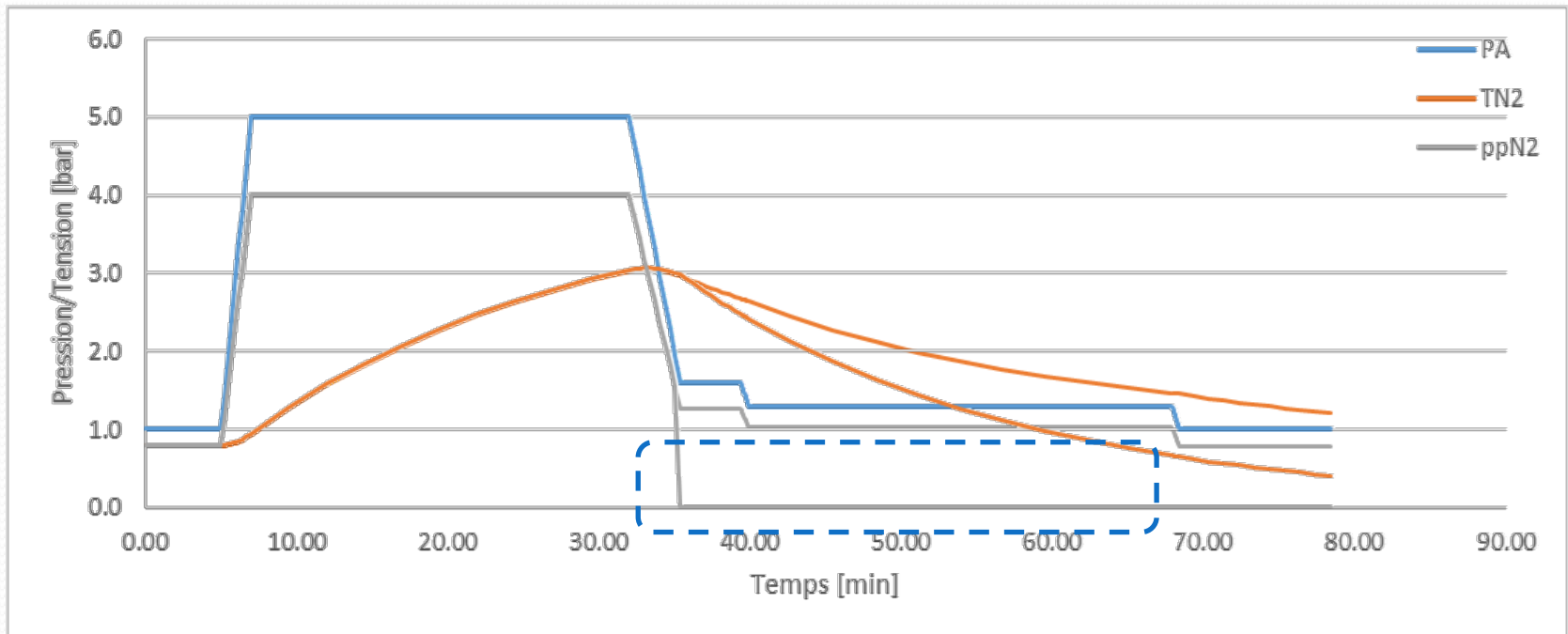
Le Nitrox



La désaturation - S. Besnard

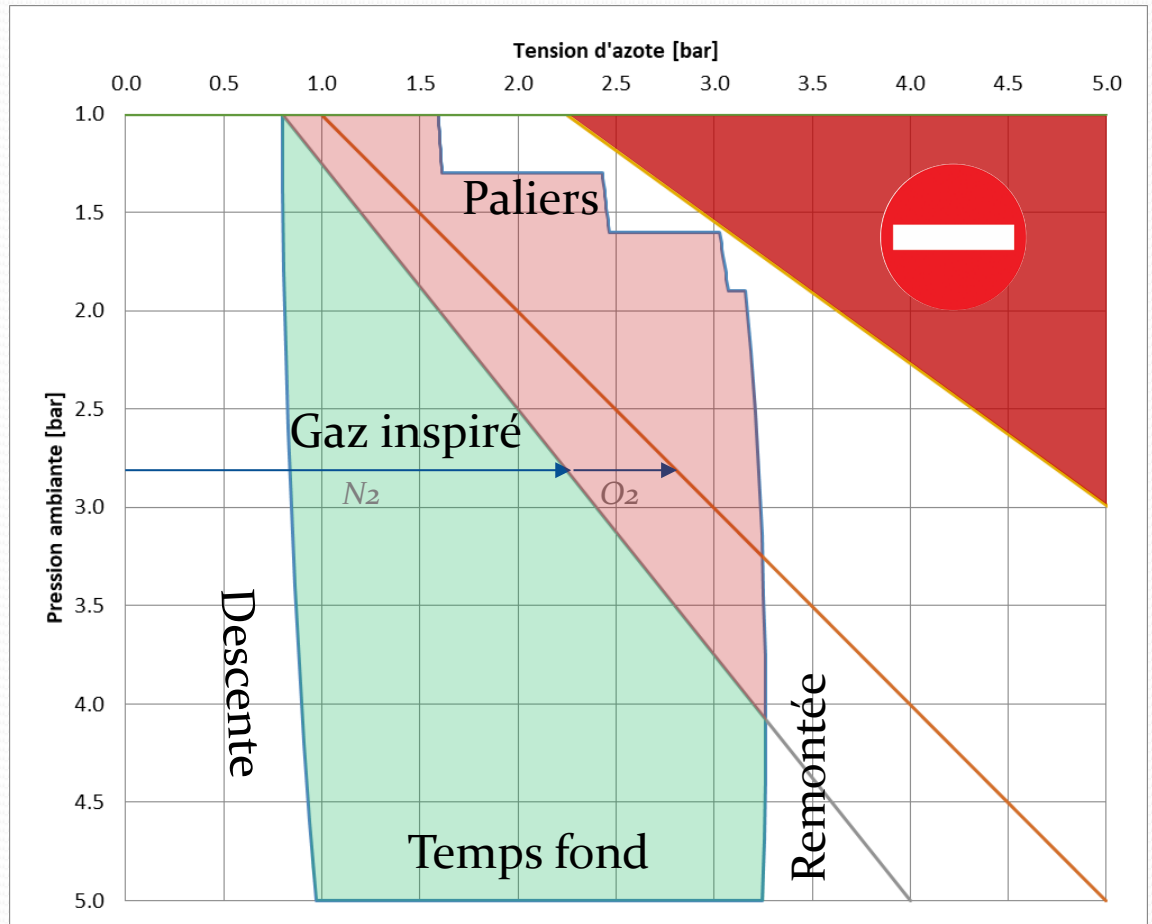


La déco O₂

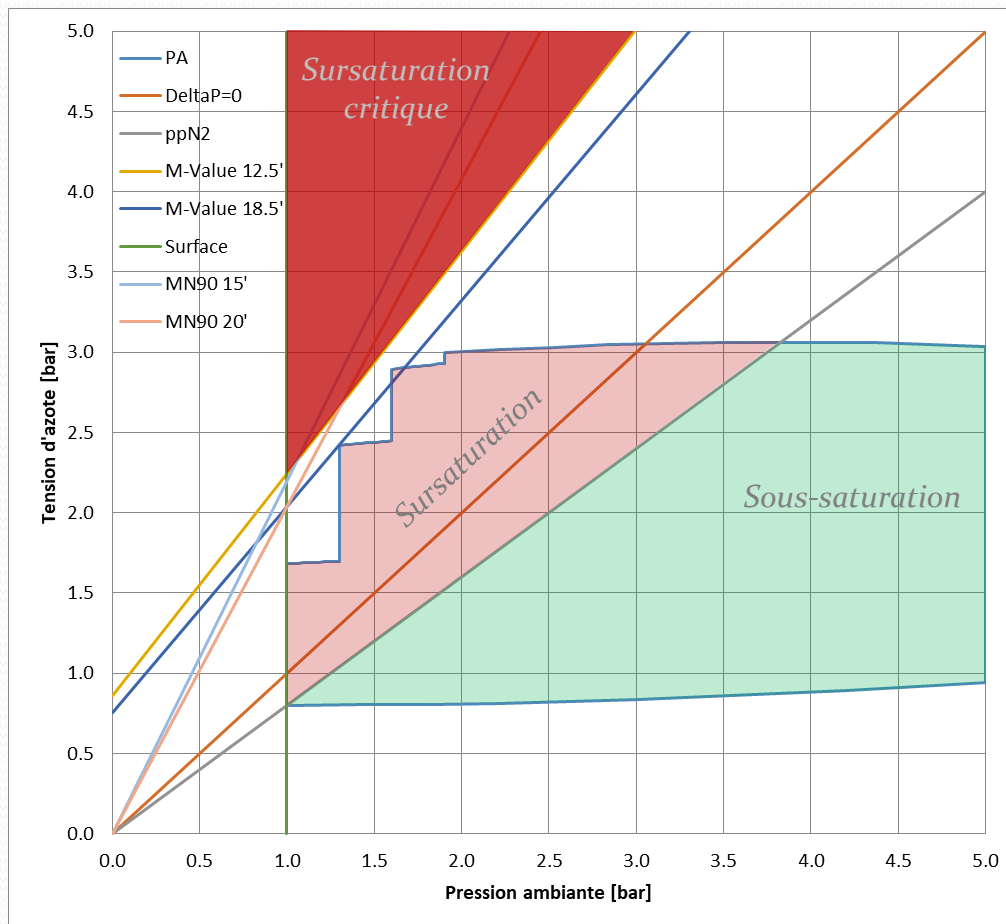


Voyons ça autrement

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



Les M-Values

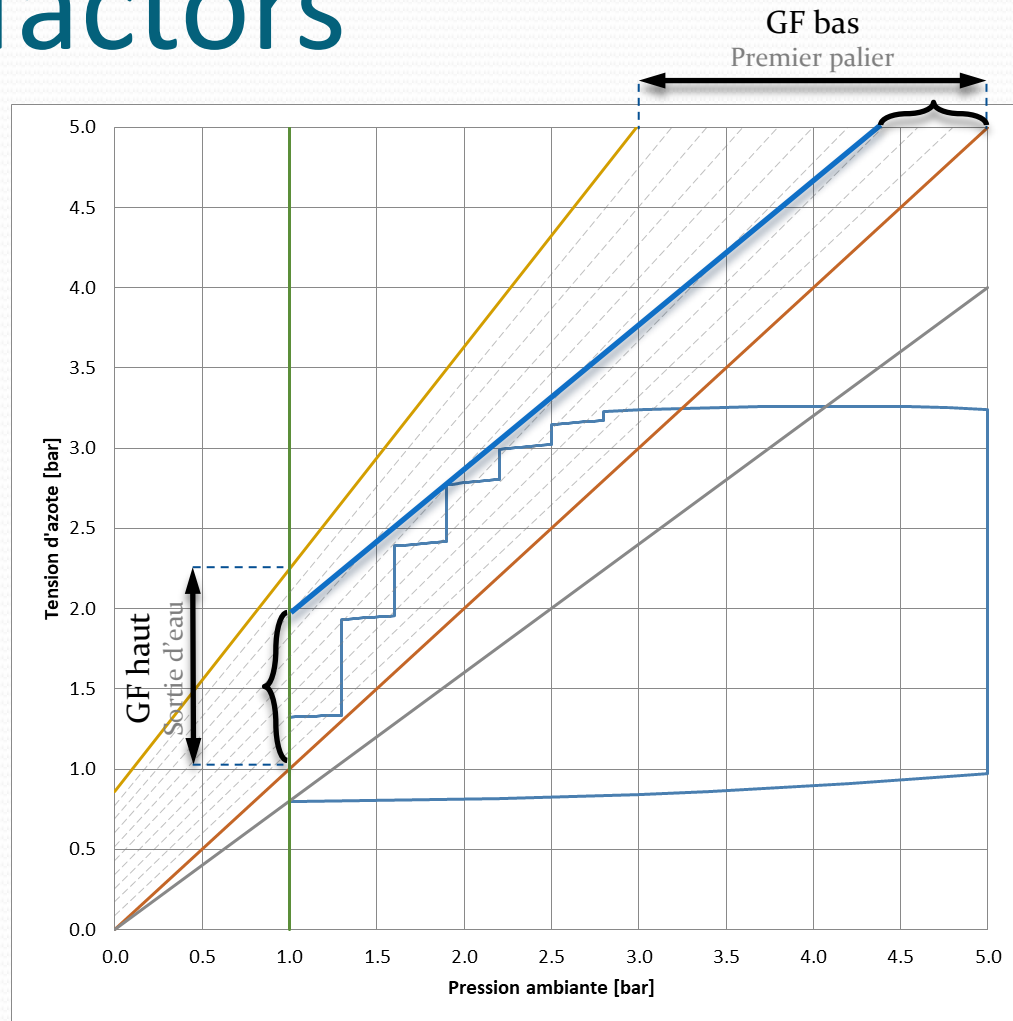


Les gradient factors

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

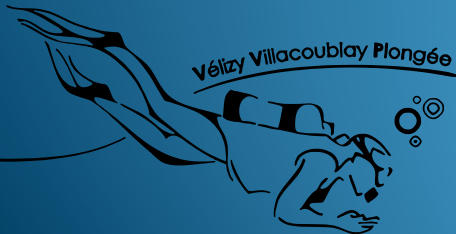


Les ordinateurs

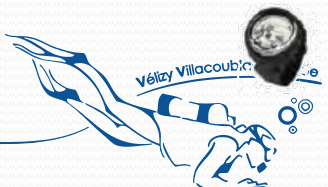
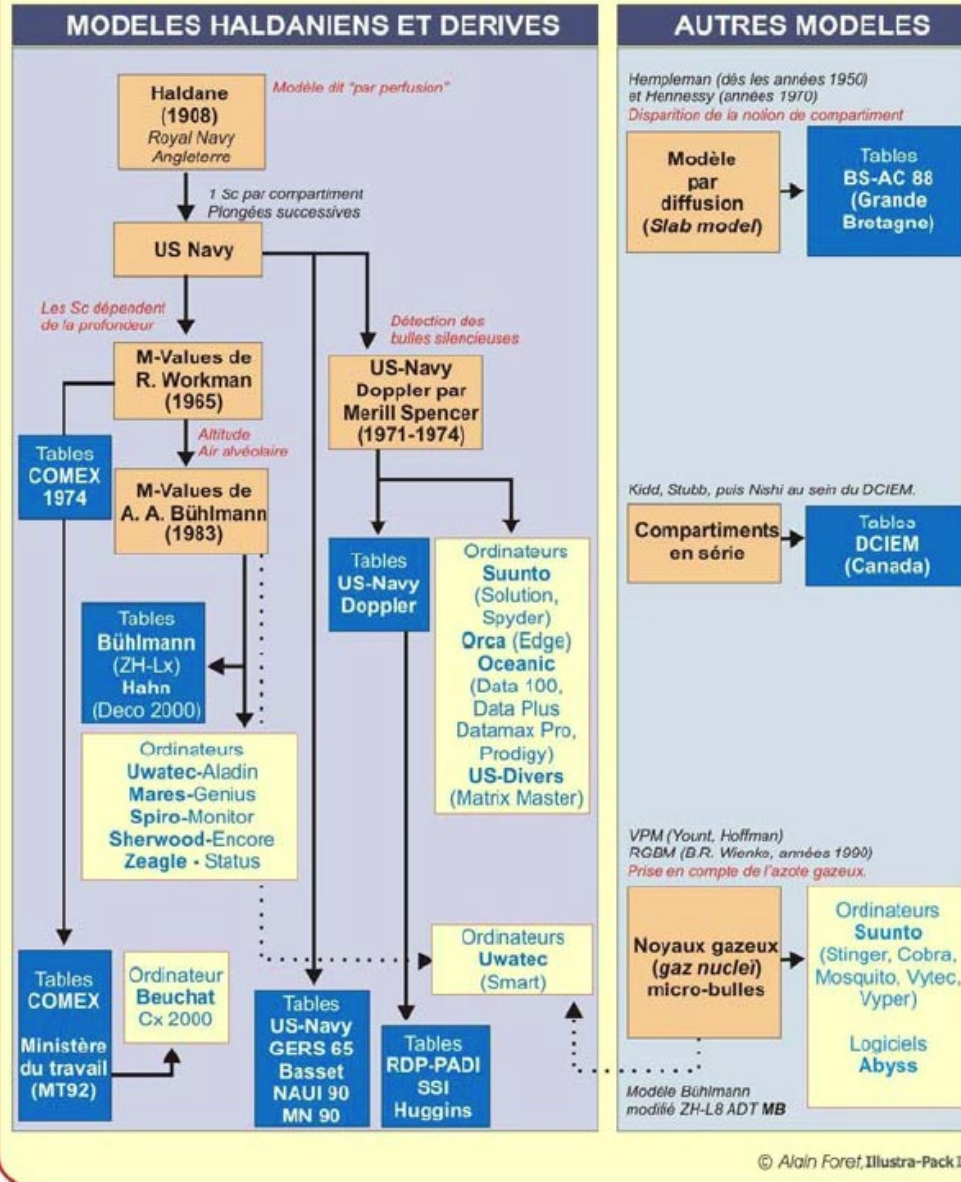
Une boîte noire ?

Comparatifs

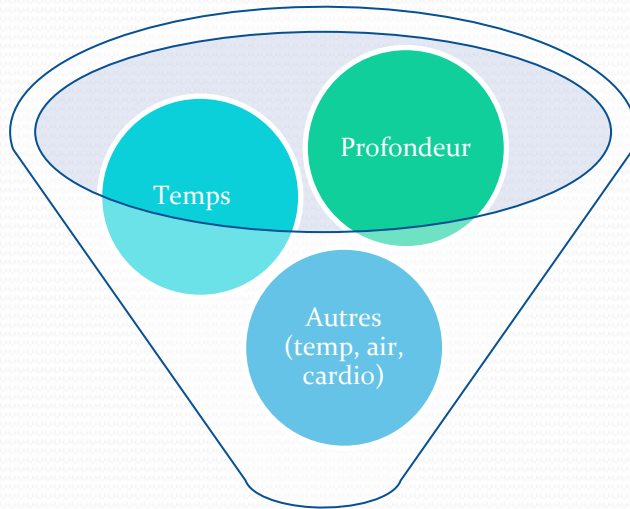
Comment les gérer



LES MODELES DE DECOMPRESSION



Comment ça marche ?



Paramètres de désaturation

+

Affichage



Modèle



Erreurs acceptées



Ordinateur



Répondra toujours même si

Hors limites
(remontée rapide, palier non respecté, profils accidentogènes)

Je ne suis pas en forme

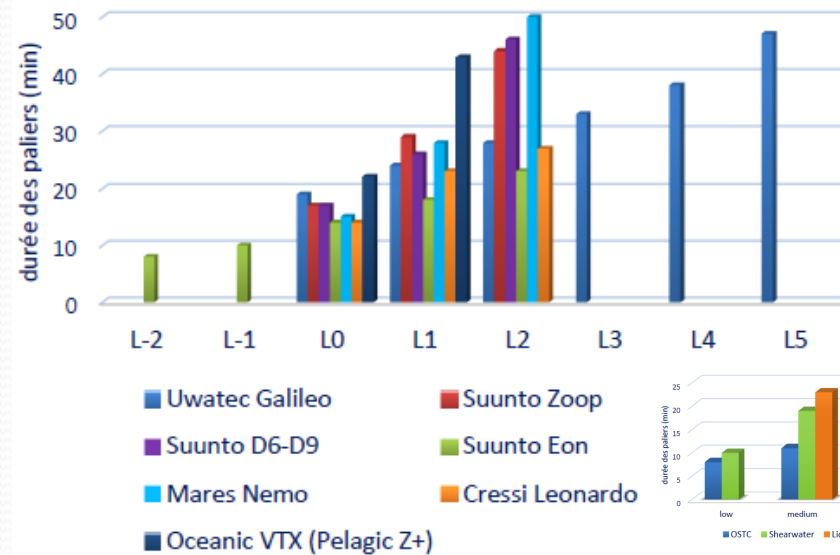
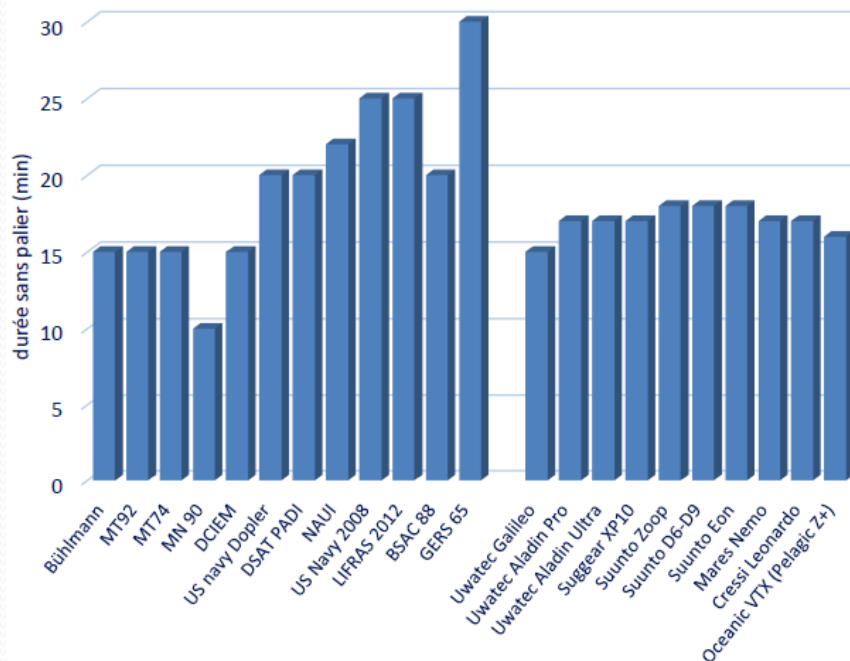
Les conditions sont mauvaises



| | Algorithmme | Conserv. | Palier profond | Palier de sécurité | Vit. remonté e m/min | Modes | # gaz | % O2 | Blocage viol déco |
|--------------------|---------------------------|------------|----------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------|----------------|-------------------|
| CRESSI | | | | | | | | | |
| 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 | volonta ire | 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 |
| LIQUIVISION | | | | | | | | | |
| 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 |



Une plongée à 30m

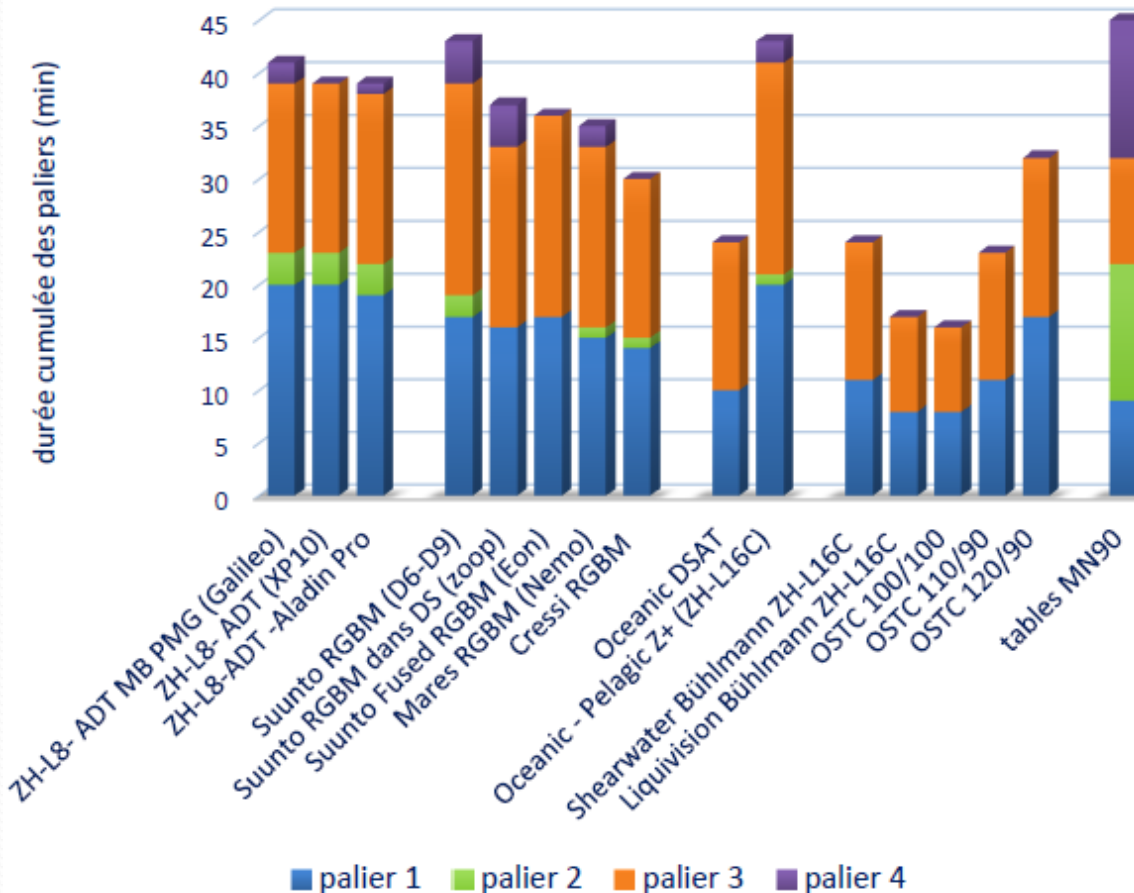


« No déco »

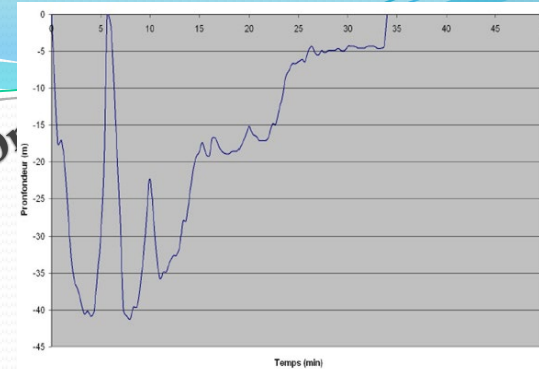
Paliers d'une plongée de 30'



Analyse sur 4 plongées



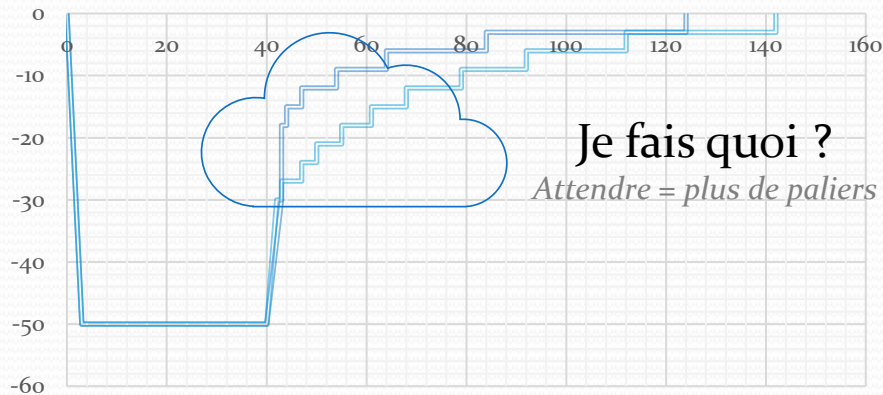
Comparaison sous l'eau



| 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 interrogations



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

Note : Les paliers profonds sont inutiles à l'air

- 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



Quelques interrogations



Autre problème ?



Remontée anormale



Protocole

Planification  **Communication**

Connaissance du matériel



Procédures d'Urgence : Remontée Anormale



Vitesse de remontée excessive (>15 m/min)



Redescendre en moins de 3 min à mi-profondeur pour un palier de 5 min.



Palier obligatoire non-réalisé



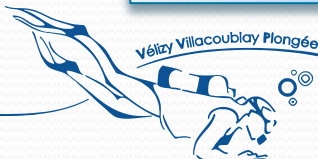
Se réimmerger en moins de 3 min, suivre l'ordinateur et ajouter 3 min à 3m.



Ré-immersion impossible ?



Appliquer : oxygénothérapie, observation ou déclenchement des secours selon la gravité.



C'est quoi la sécurité ?



Accidents malgré respect des protocoles

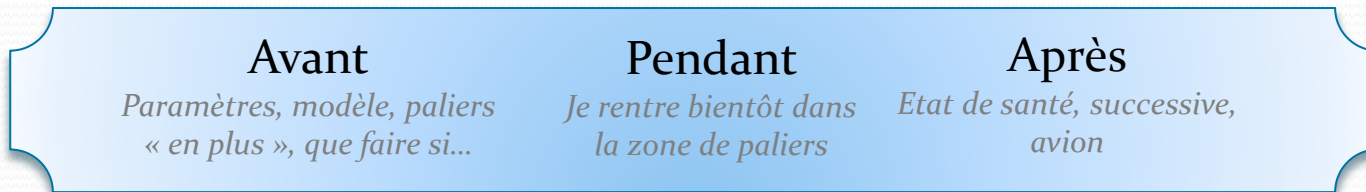


Analyser

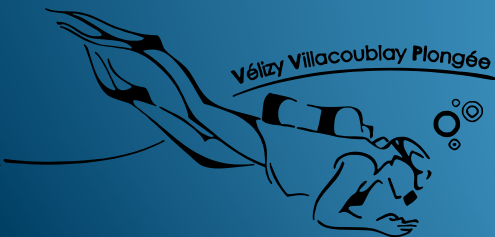


Communiquer

Savoir sortir des protocoles
(attention, besoin d'expérience et de prise de recul)



Conclusion générale



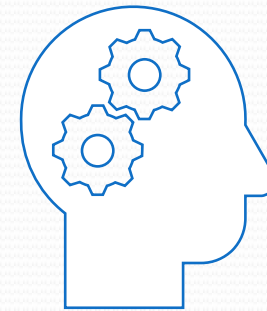
Considérations pour vous



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



Et pour votre palanquée...

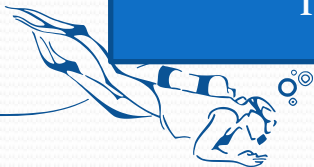
Prendre la température de la palanquée
Définir des règles (que faire si, communiquer)

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

