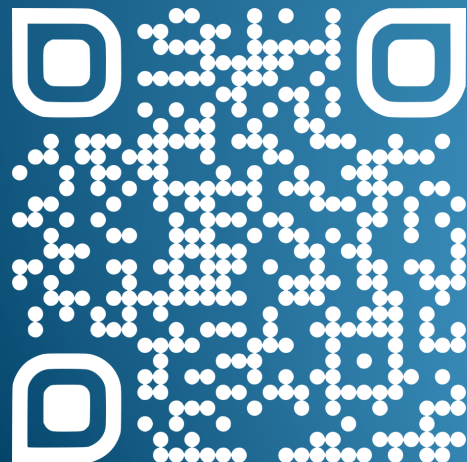


La désaturation

Sortir vite, mais en forme...

...et mon ordi, il sert à quoi ?



Mais pourquoi ?

Situations

Matériel

Sécuriser

Choisir

Facteurs aggravants

Déco



Anticiper

Comprendre

Comportements

Limites



Adaptation

Soi et les autres

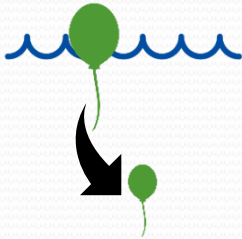
La réalité

Principes physiques

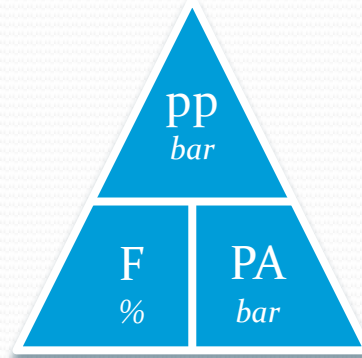
Le corps humain

Naissance et vie d'une bulle

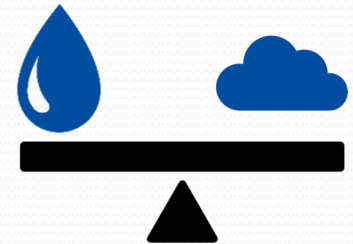
Les principes physiques



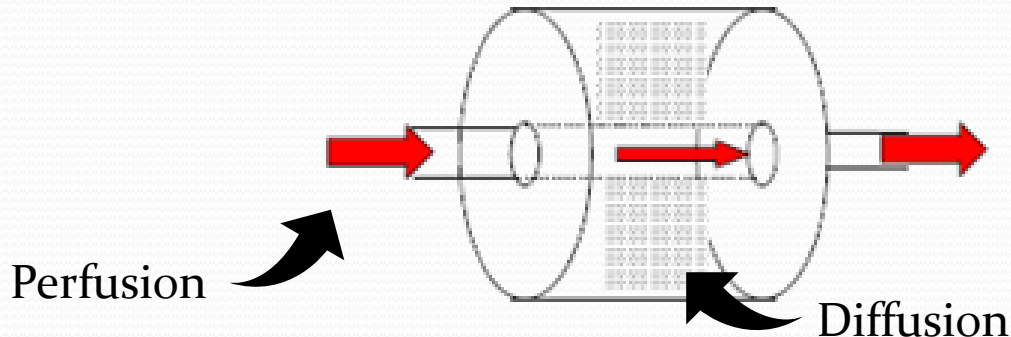
Variations volumes/pression
Boyle-Mariotte



Pressions partielles
Dalton



Dissolution des gaz
Henry



La réalité

Les modèles

Analyse

Jouons

ordinateurs

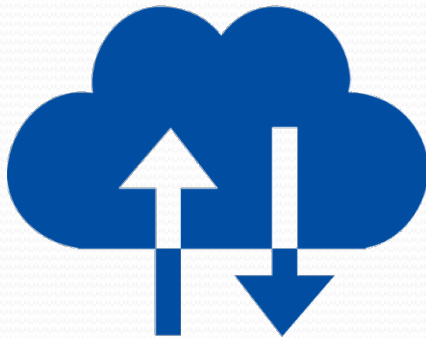
Les échanges gazeux

Gradient de circulation
pulmonaire

Efforts

Surface d'échange
pulmonaire

Caractéristique personnelle



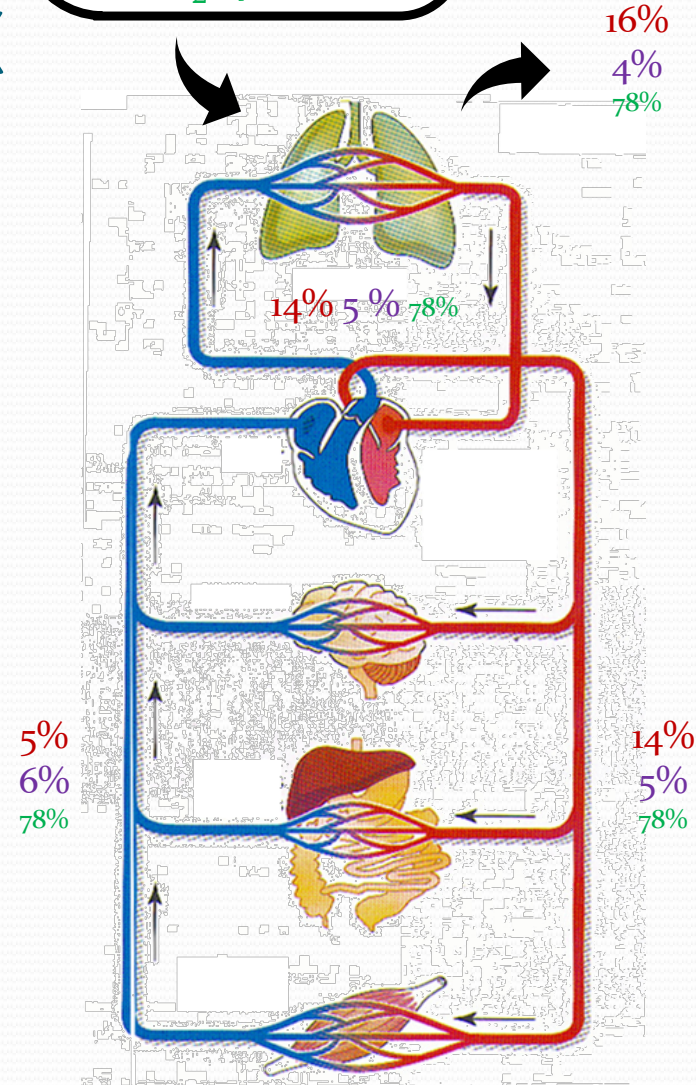
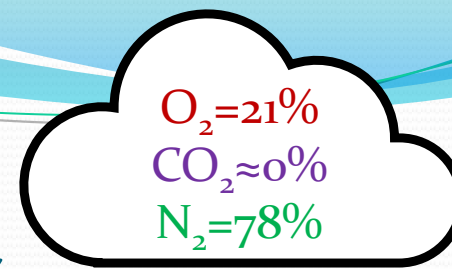
Echange gazeux

Vitesse de diffusion des
gaz

Endogène

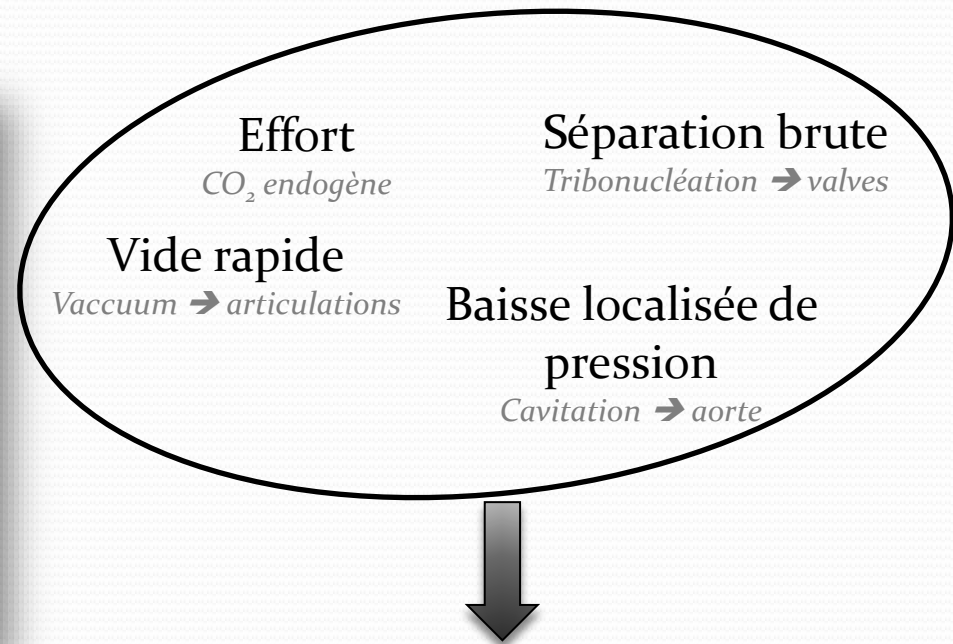
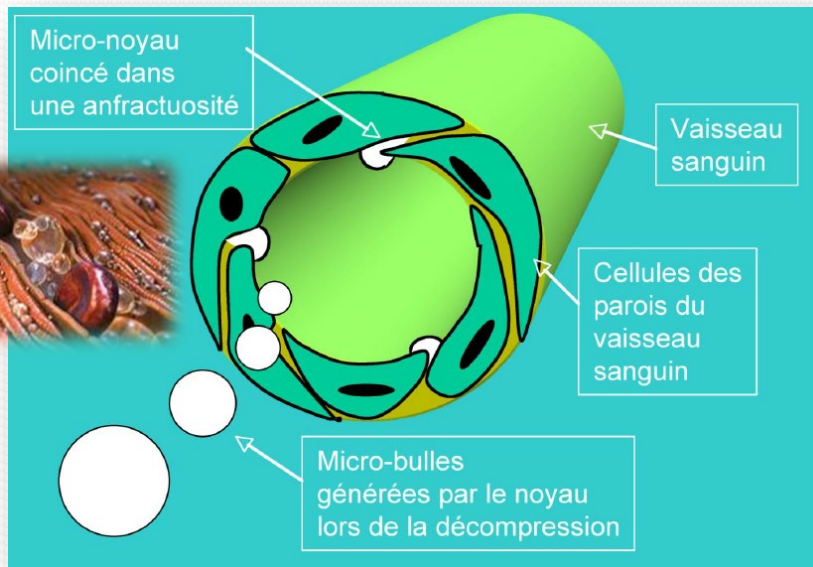
Gradient de pression des
gaz

Profondeur, temps de plongée



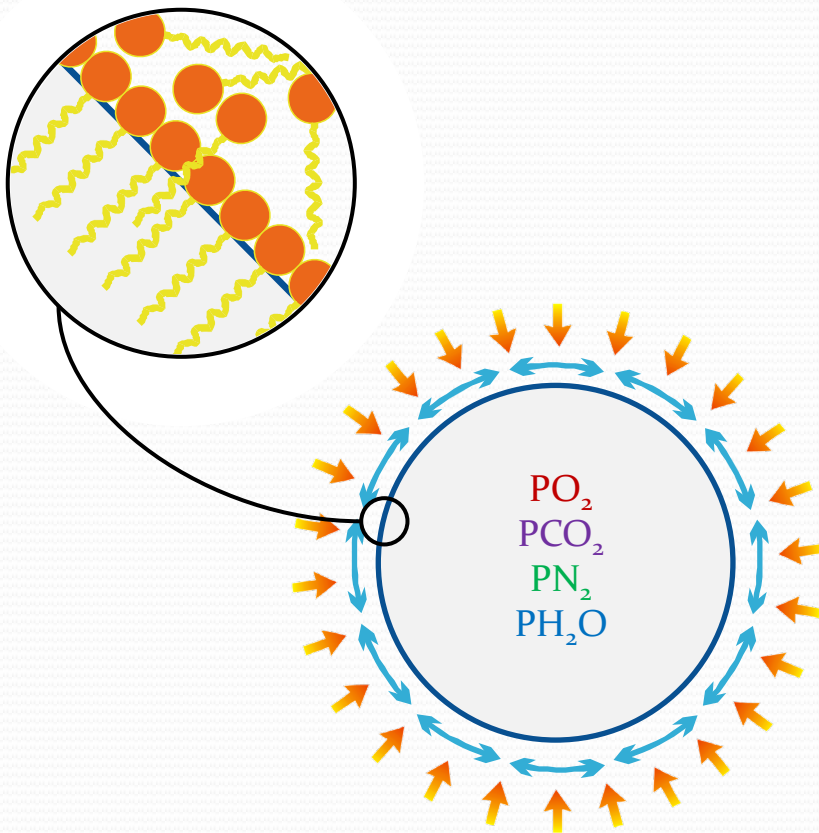
Amorces de bulles

Tout part d'un micro-noyau fait de CO_2



Taille mini pour faire une micro bulle: $0.005\mu\text{m}$

Vie et survie d'une bulle



Stabilisée par

Agrégation
Plaquettes

Surfactant
Grand pour petites bulles

Changement de volume par

Transfert de gaz
Effort (CO_2 plus que N_2)

Baisse de pression
Remontée



Coalescence
Amplifié par le mouvement



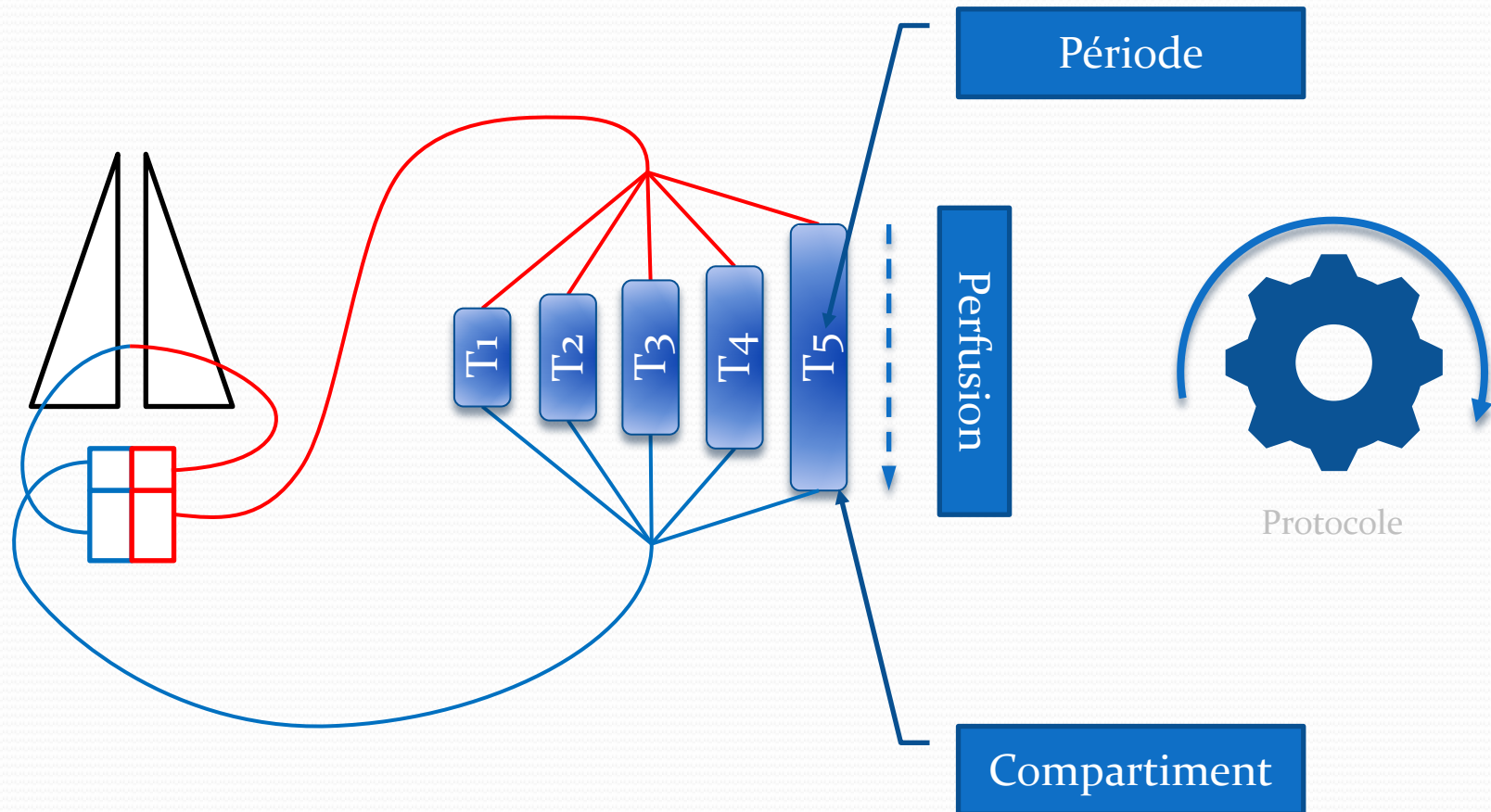
Les modèles

Principes généraux

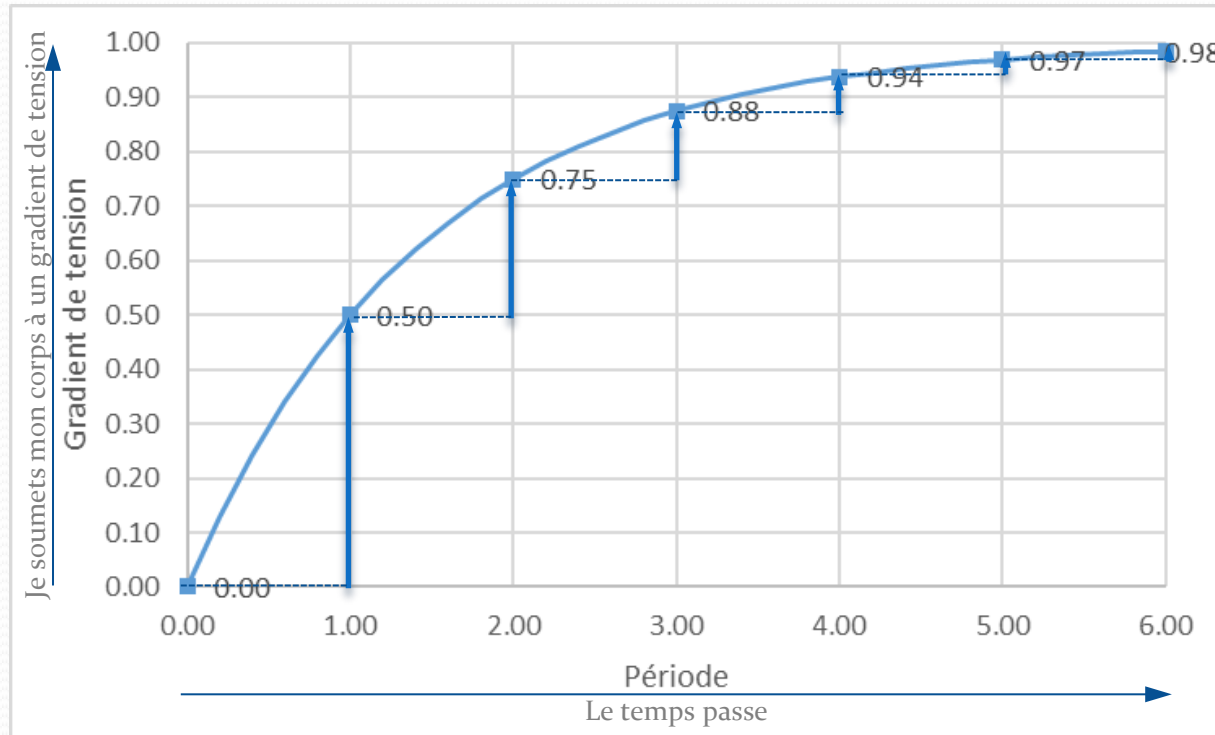
Les Haldaniens

Les bullesques

La modélisation



Saturation et désaturation

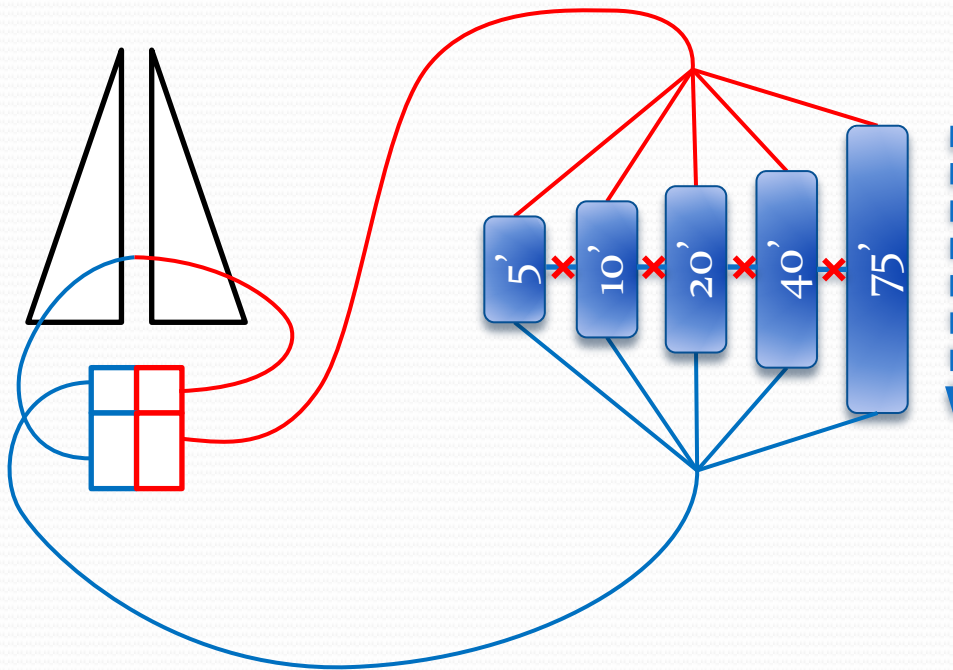


La désaturation, c'est comme une bonne pizza
(ou une bonne bière)



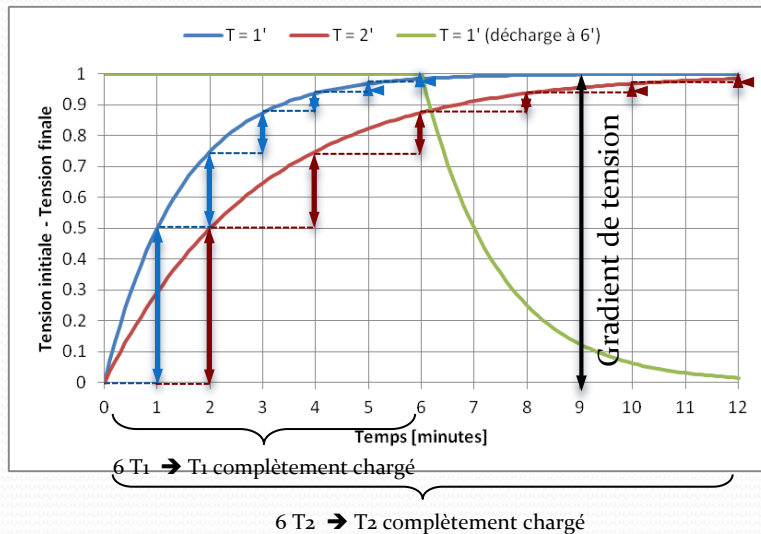
La désaturation - S. Besnard

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

Succursives

La suite d'Haldane

- Hempleman (1958) :
 - Intégration de la diffusion

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

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



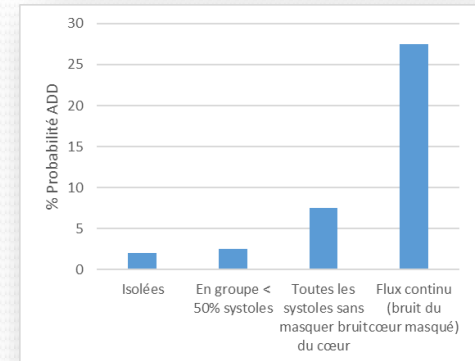
- Bühlmann (1980) :
 - Intégration du gaz alvéolaire (vapeur d'eau) et de L'Hélium (plus diffusif et moins soluble)

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 :

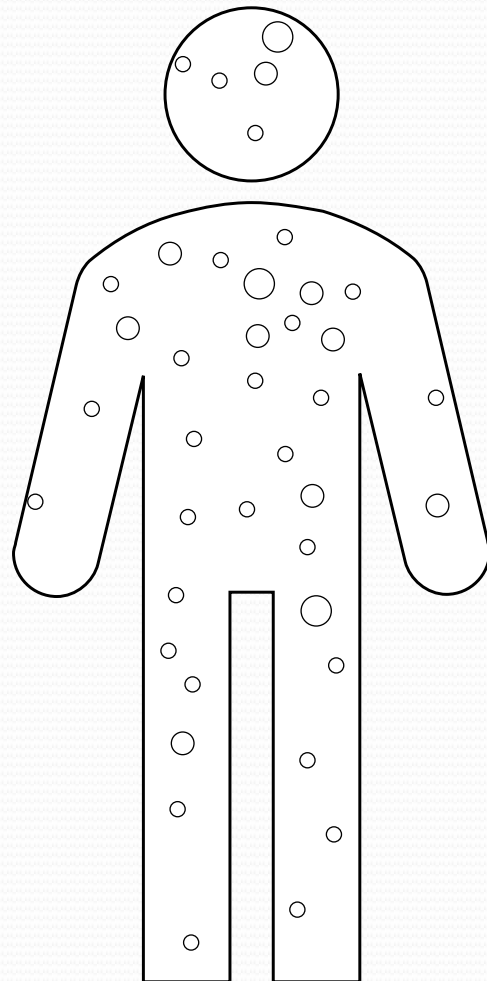
- Nombre fixe
- Beaucoup de petits, quelques gros

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 (O_2)
- 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

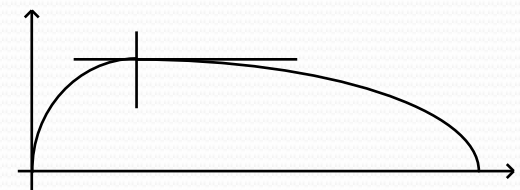
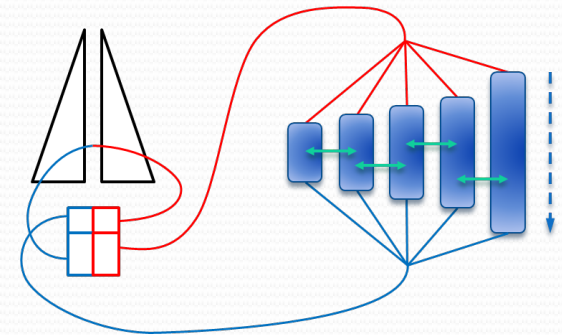
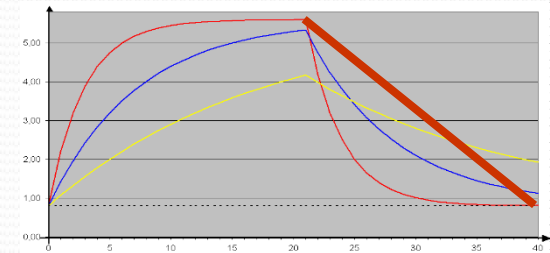
Profondeur élimine les bulles

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



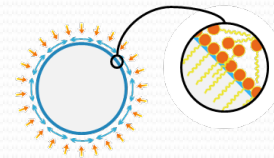
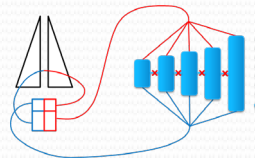
Analyse des modèles

Comparatifs

Explication des accidents

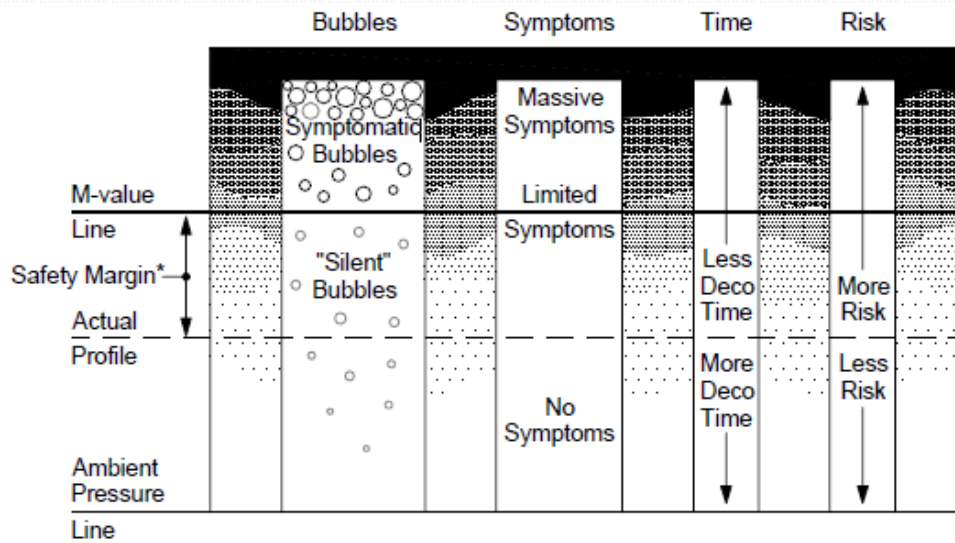
Bonnes pratiques

Comparatif des piliers des modèles

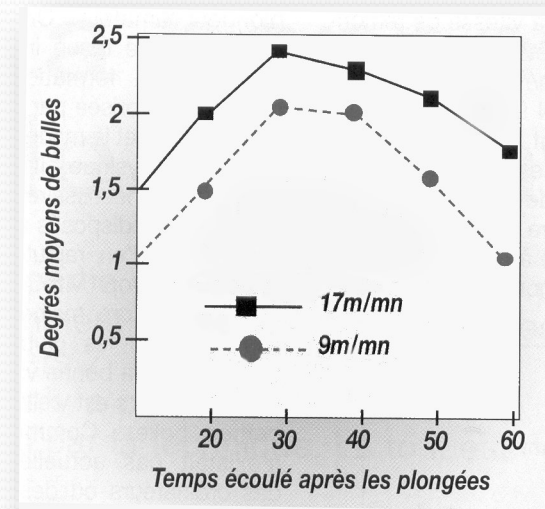


Analyse	Gaz libre vs. dissout	Bulle
Transfert	Perfusion	Perfusion (+ diffusion)
Compartiments	Oui	Oui
Périodes	Oui	Oui
Critère limite	Sursaturation	Volume de bulle(s)
Conséquence en plongée	Maximisation du gradient de pression	Gestion des tailles de bulles

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

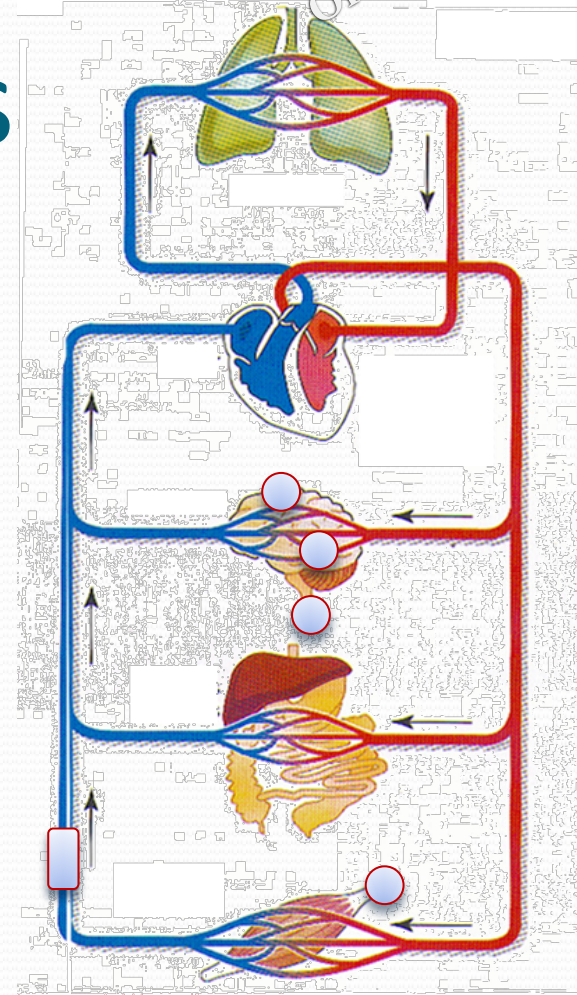
Forçage

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

La réalité

Les modèles

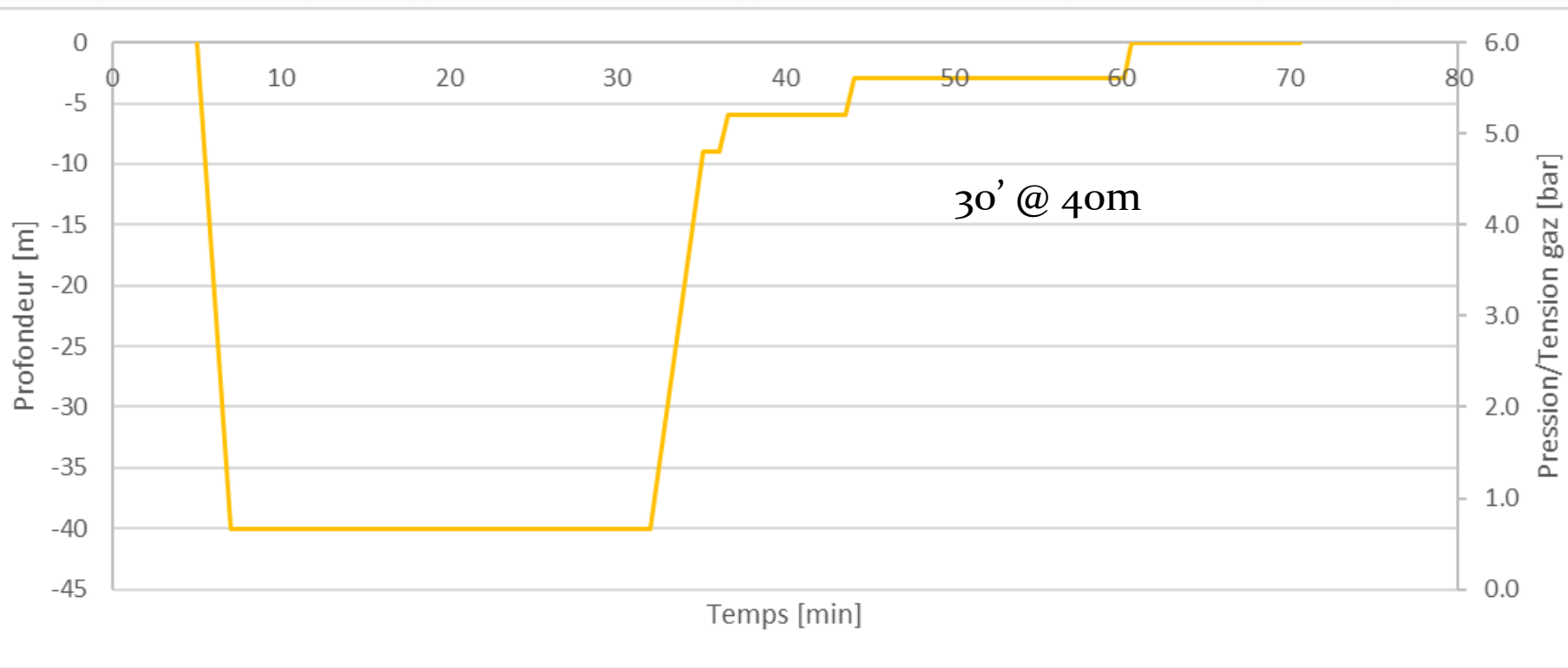
Analyse

Jouons

Tables

Ordinateurs

Que se passe-t-il en plongée ?



La réalité

Les modèles

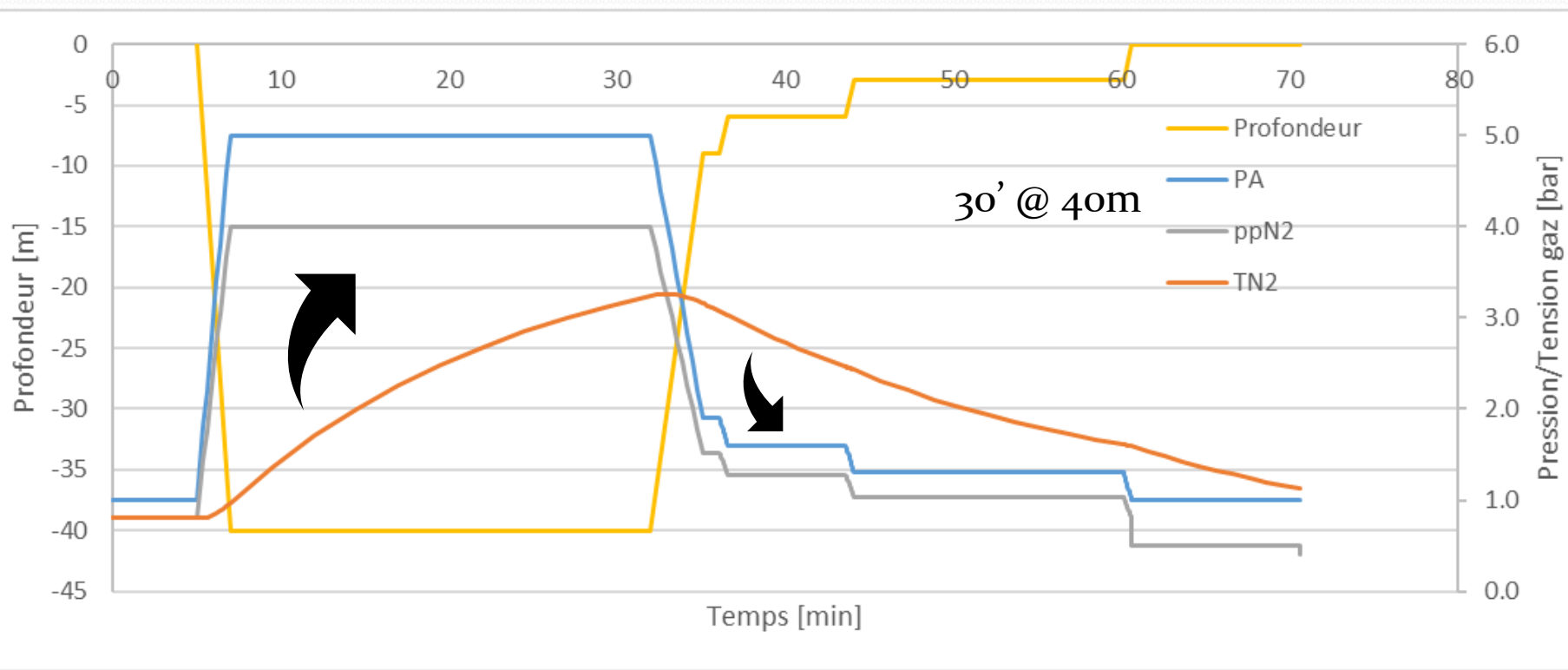
Analyse

Jouons

Tables

Ordinateurs

Analyse d'une courbe



La réalité

Les modèles

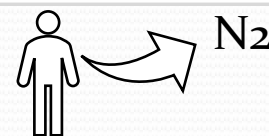
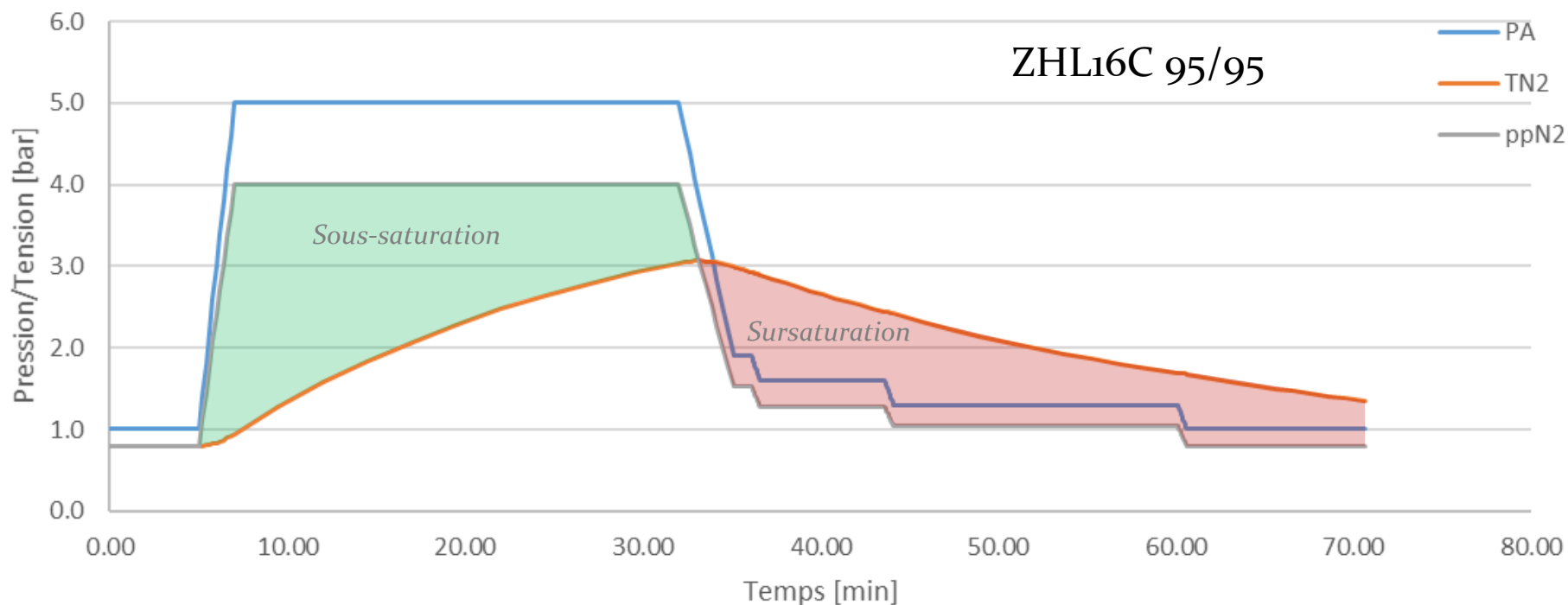
Analyse

Jouons

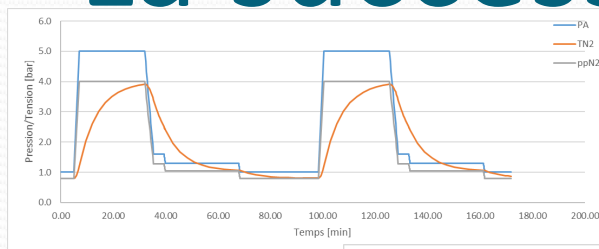
Tables

Ordinateurs

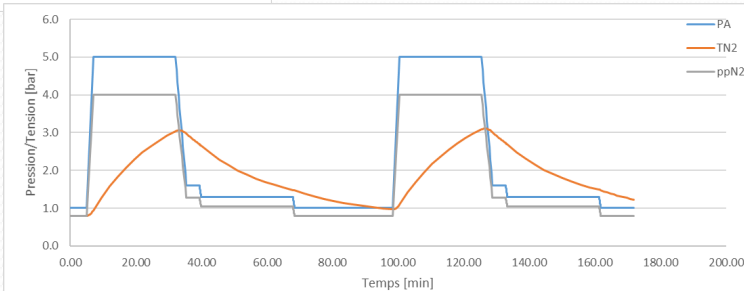
Analyse d'une courbe



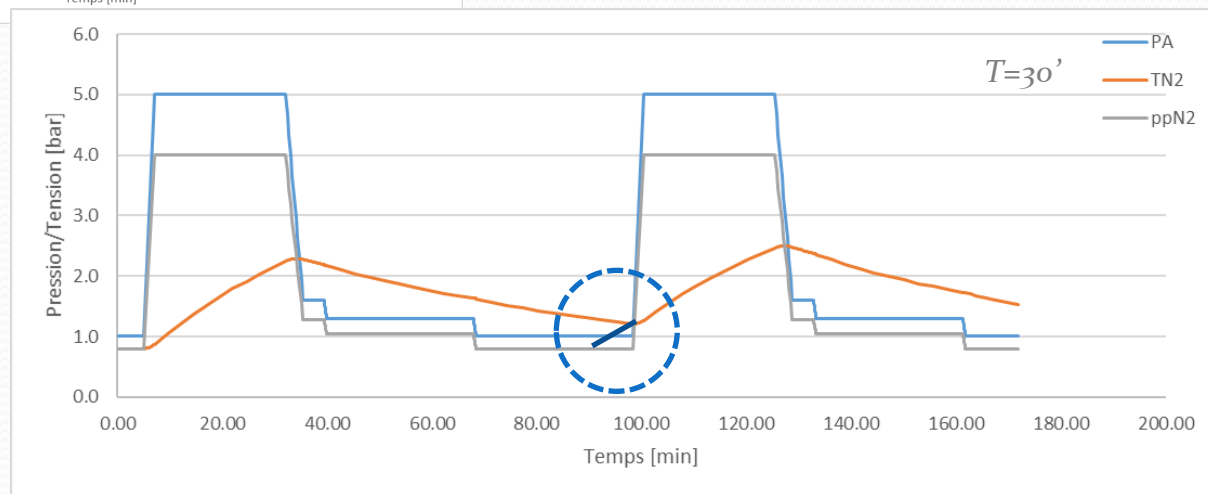
La successive



$T=5'$



$T=15'$



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

La réalité

Les modèles

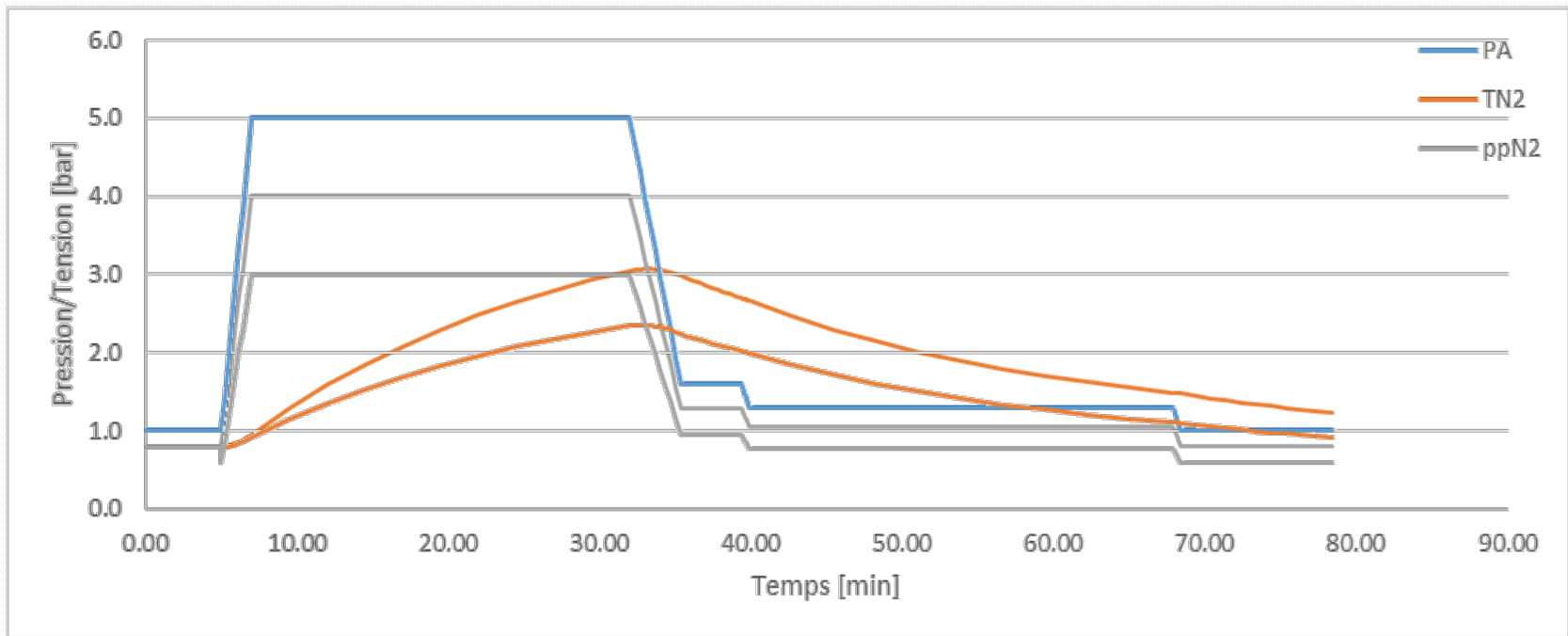
Analyse

Jouons

Tables

Ordinateurs

Le Nitrox



La réalité

Les modèles

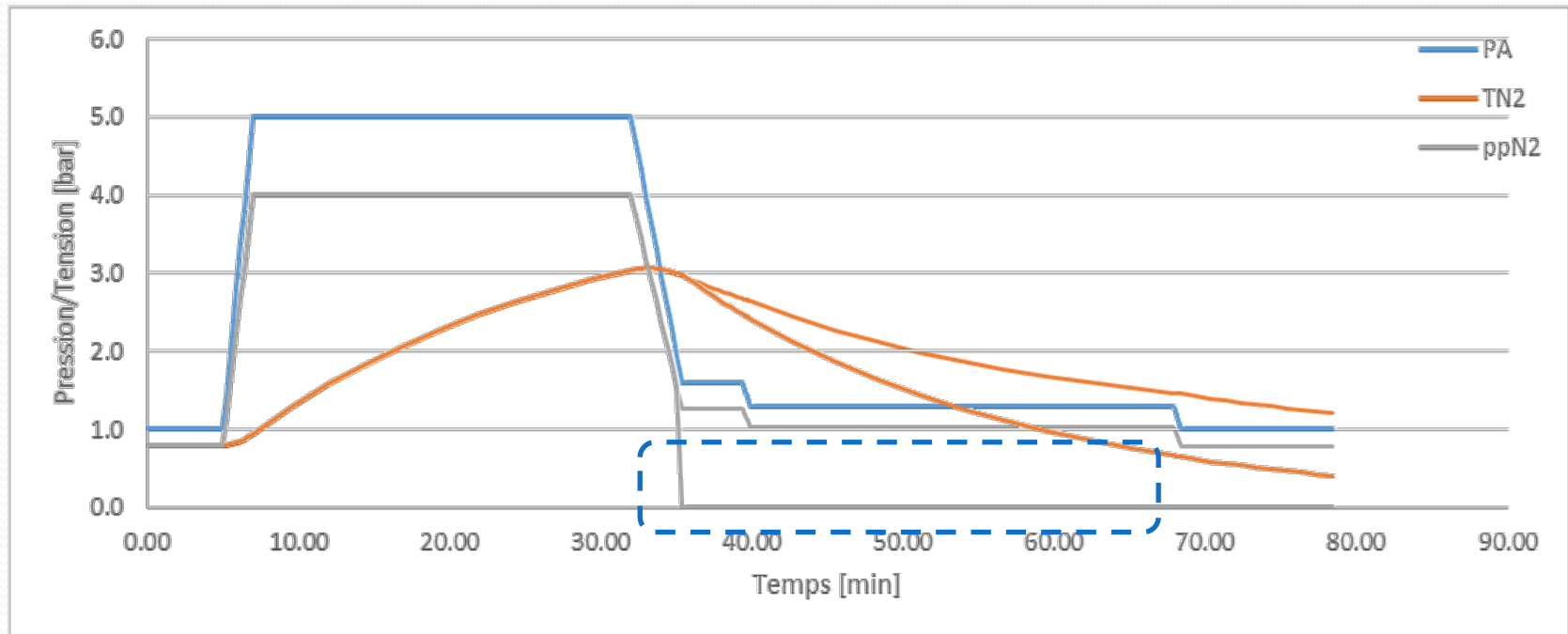
Analyse

Jouons

Tables

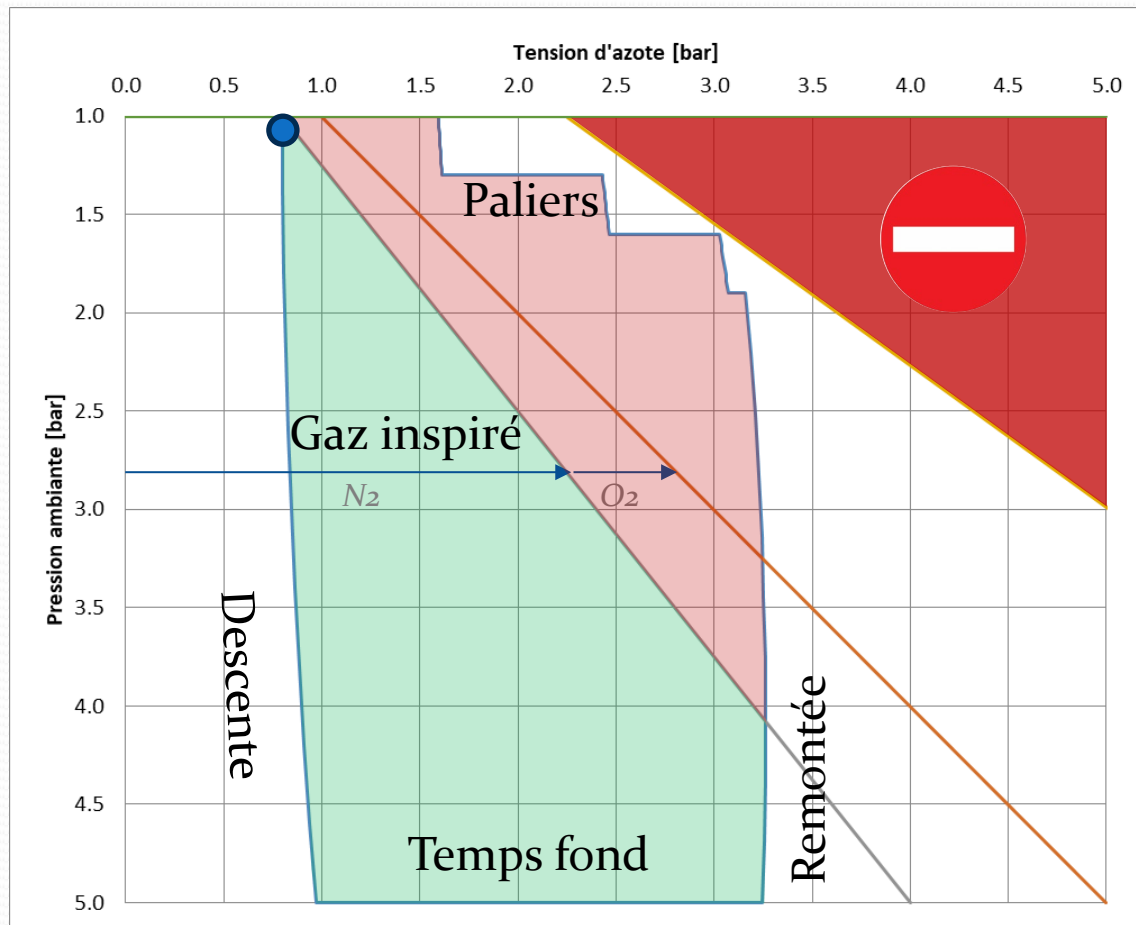
Ordinateurs

La déco O_2

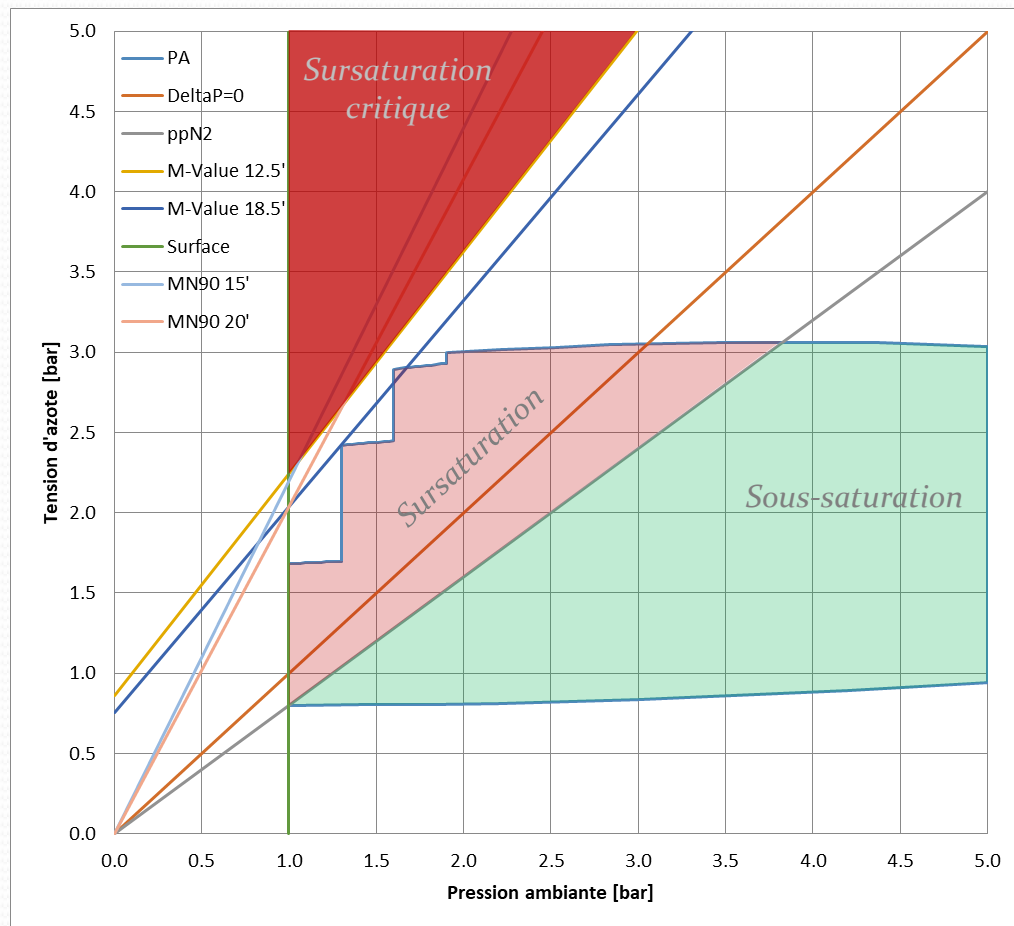


Voyons ça autrement

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



Les M-Values

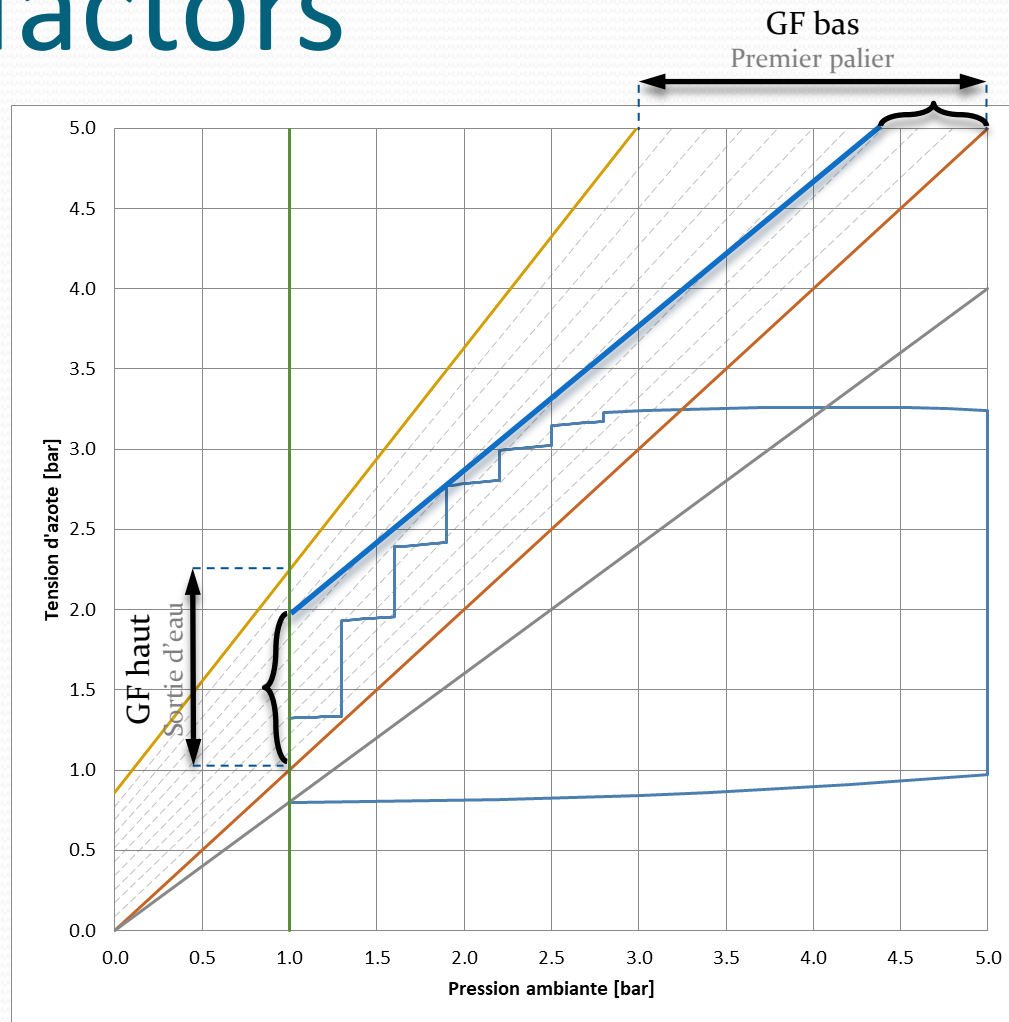


Les gradient factors

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 Tables

Rappels (?)

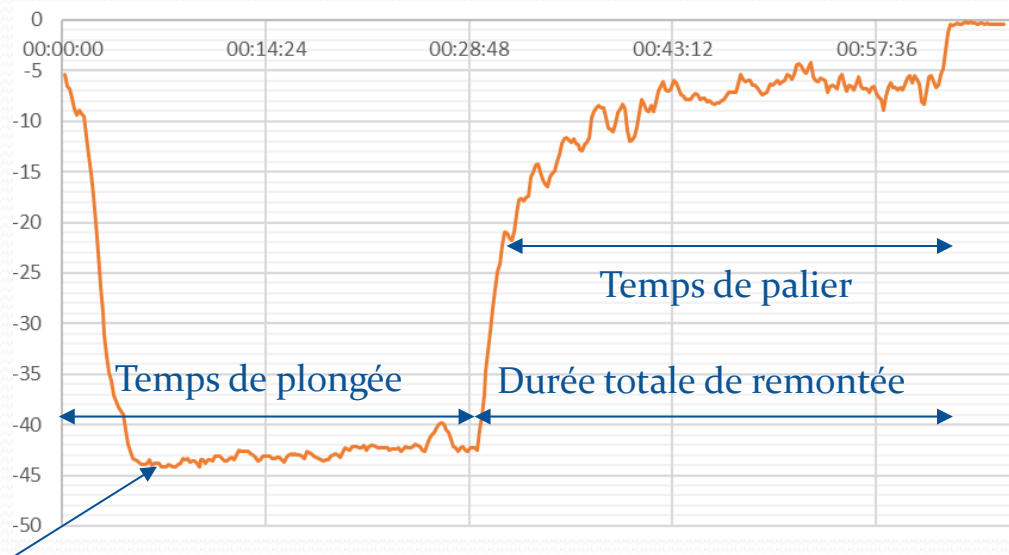
Plongée simple

Plongée successive

Rappels

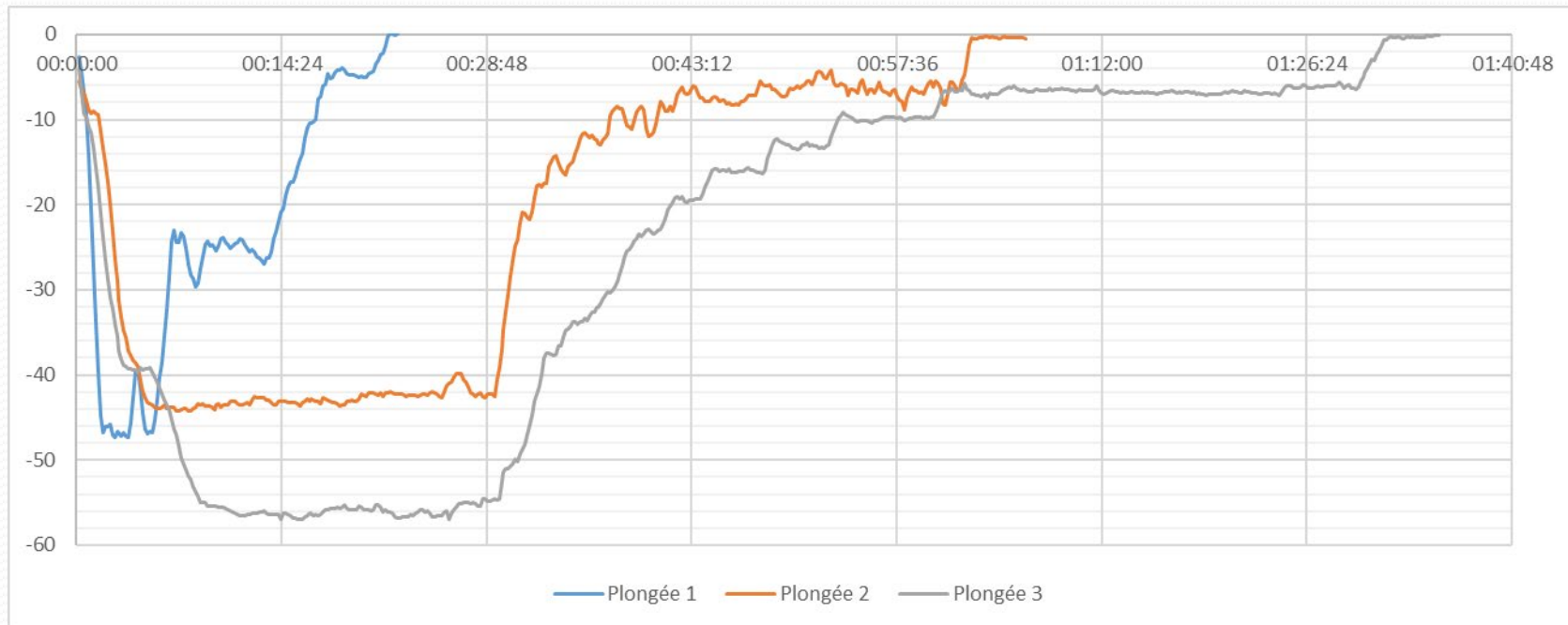
- Des hypothèses fortes
- Et une plongée carrée

- Au niveau de la mer
- Vitesse de remontée de 15 m/min
- Vitesse entre les paliers de 6 m/min
- Plongée loisir (effort modéré)
- Plongées et paliers à l'air
- Profondeur limitée à 60 m
- 2 plongées par 24h max
- Profil : jeune homme sportif...



Profondeur max

Voyons concrètement



	1	2	3
Profondeur	48m	45m	57m
Temps	13:30	29:20	29:40
Paliers	3:00	31:00	57:00

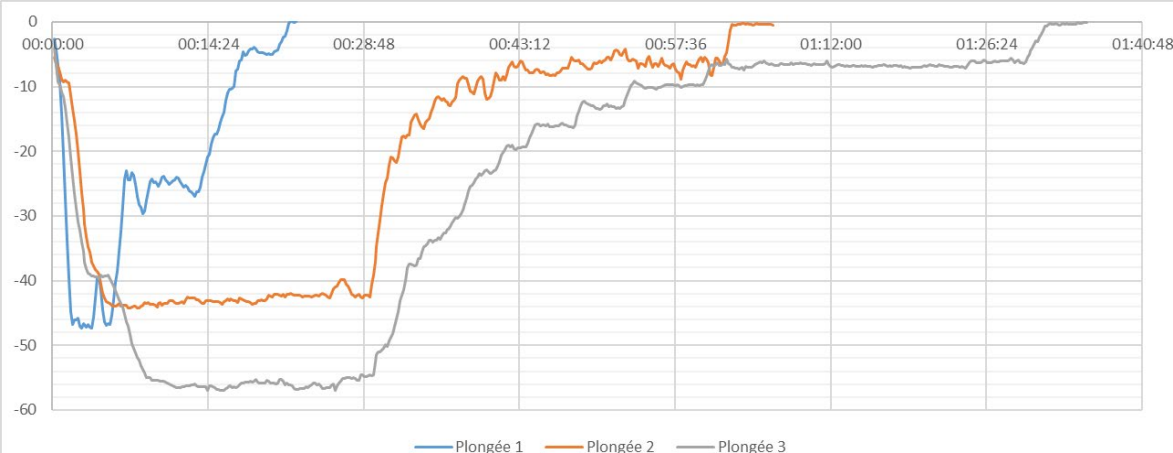
La réalité

Les modèles

Analyse

Jouons

Plongées simples

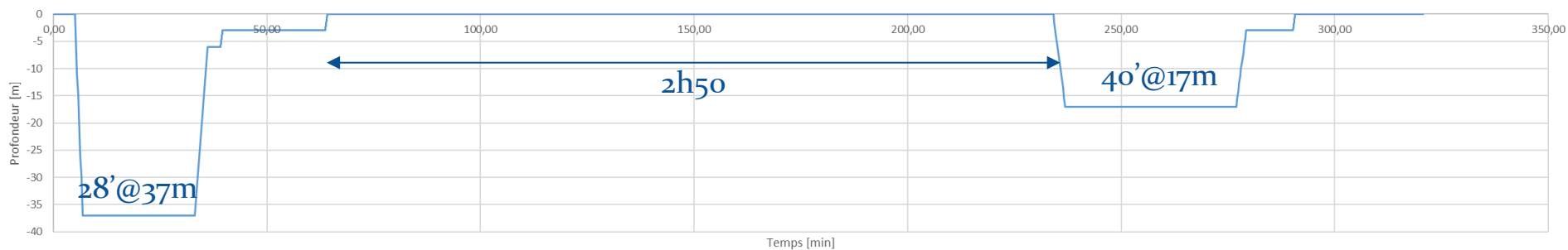


— Plongée 1 — Plongée 2 — Plongée 3

	1	2	3
Profondeur	48m	45m	57m
Temps	13:30	29:20	29:40
DTR faite	8:20	33:40	1:02:30
DTR MN 90	13:00	48:00	1:20:00

Prof.	Durée	12 m	9 m	6 m	3 m	DTR	GPS	Prof.	Durée	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m	DTR	GPS		
42m	5 min					3	C	52m	30 min			4	15	41	65	M		
	10 min				2	6	E		35 min				6	22	47	80	O	
	15 min				5	9	G		40 min			1	10	26	52	94	O	
	20 min			1	12	17	I		45 min		2	15	29	59	110	*		
	25 min			3	22	29	J		50 min		5	17	32	64	123	*		
	30 min			6	31	41	L		55 min		8	19	36	71	139	*		
	35 min			11	37	52	M		55m	5 min				1	5	D		
	40 min		1	16	43	64	N			10 min				1	5	11	G	
	45 min		3	21	47	75	*			15 min				4	13	22	I	
	50 min		6	24	50	84	*			20 min			1	6	27	39	K	
55 min		8	29	55	96	*	25 min				3	11	37	56	M			
60 min		13	30	60	107	*		30 min				6	18	44	73	N		
45m	5 min					3	C		35 min		1	9	23	50	88	O		
	10 min				3	7	F		40 min		3	12	29	55	104	P		
	15 min			1	6	11	H		45 min		5	17	31	62	120	*		
	20 min			3	15	22	I		50 min		8	19	35	69	136	*		
	25 min			5	25	34	K		55 min		12	22	37	76	152	*		
	30 min			9	35	48	L	58m	5 min					2	7	D		
	35 min		1	15	40	60	M		10 min					2	5	12	G	
	40 min		3	20	46	73	N		15 min				1	4	16	26	J	
	45 min		6	24	50	84	*		20 min				2	7	30	44	K	
	50 min		10	28	54	96	*		25 min				4	13	40	62	M	
	55 min		14	30	60	108	*		30 min		1	7	21	46	81	N		
	60 min	1	18	32	65	121	*		35 min		2	11	26	52	97	O		
48m	5 min					4	D		40 min		5	15	30	59	115	P		
	10 min				4	8	F		45 min		8	18	33	66	131	*		
	15 min			2	7	13	H		50 min	1	11	21	37	74	150	*		
	20 min			4	19	27	J		55 min	3	14	23	39	83	168	*		
	25 min			7	30	41	K	60m	5 min					2	7	D		
	30 min		1	12	37	55	M		10 min					2	6	13	G	
	35 min		3	18	44	70	N		15 min				1	4	19	29	J	
	40 min		6	23	48	82	O		20 min				3	8	32	48	L	
	45 min		10	27	53	95	*		25 min				5	15	41	66	M	
		50 min	1	14	30	59	109	*		30 min			1	8	22	48	O	
	55 min	2	18	32	64	121	*		35 min		4	11	28	54	103	P		
	60 min	5	19	36	70	135	*		40 min		6	17	30	62	121	P		
50m	5 min				1	5	D		45 min	1	9	19	35	69	139	*		
	10 min				4	8	F		50 min	2	13	22	37	78	158	*		
	15 min			2	9	15	H		55 min	5	15	24	40	88	178	*		
	20 min			4	22	30	J	62m	5 min					2	7	*		
	25 min		1	8	32	46	L		10 min					2	7	14	*	
	30 min		2	14	39	60	M		15 min				1	5	21	33	*	
		35 min		5	20	45	75	N	65m	5 min					3	8	*	
		40 min		9	24	50	88	O		10 min					3	8	16	*
		45 min	1	12	29	55	102	*		15 min				2	5	24	37	*
		50 min	2	17	30	62	116	*										
	55 min	5	19	34	67	130	*											
52m	5 min				1	5	D											
	10 min				1	4	10	F										
	15 min				3	10	18	I										
	20 min			1	5	23	34	K										
	25 min			2	9	34	50	L										

Plongées successives ?

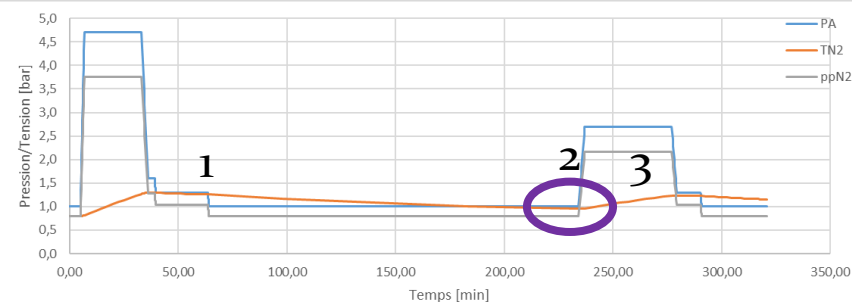
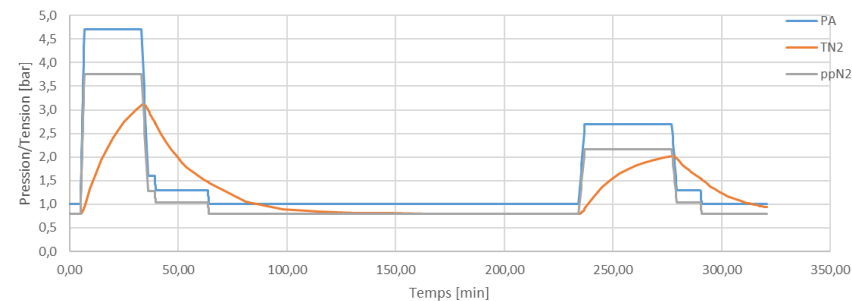


• Quelle est ma majoration ?

1. Azote en fin de plongée (groupe de plongées successives)

2. Azote restant avant la 2^{ème} plongée (tableau 1)

3. Simulation de la deuxième plongée (tableau 2)



La réalité

Les modèles

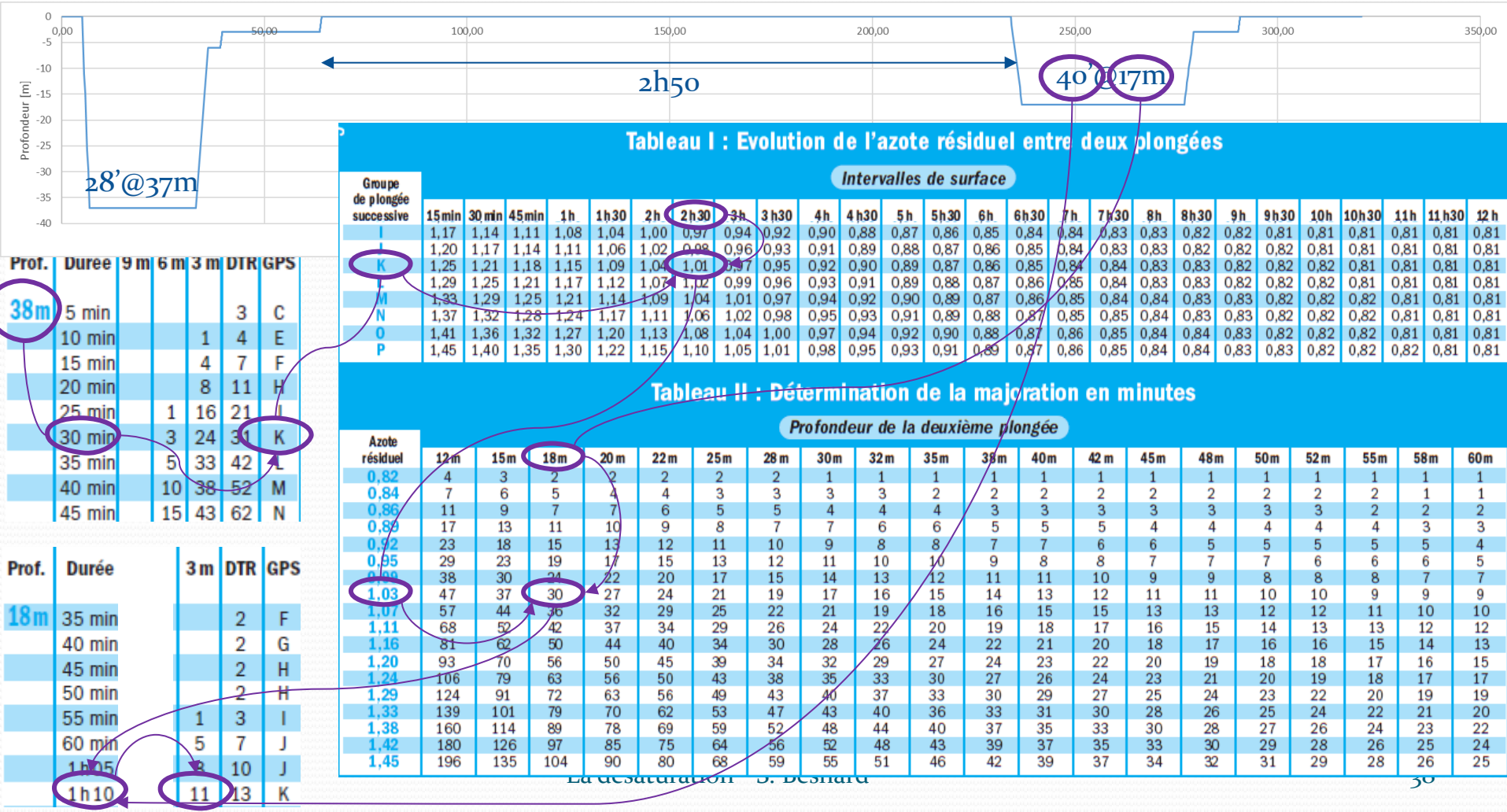
Analyse

Jouons

Tables

Ordinateurs

Plongées successives ?



Les ordinateurs

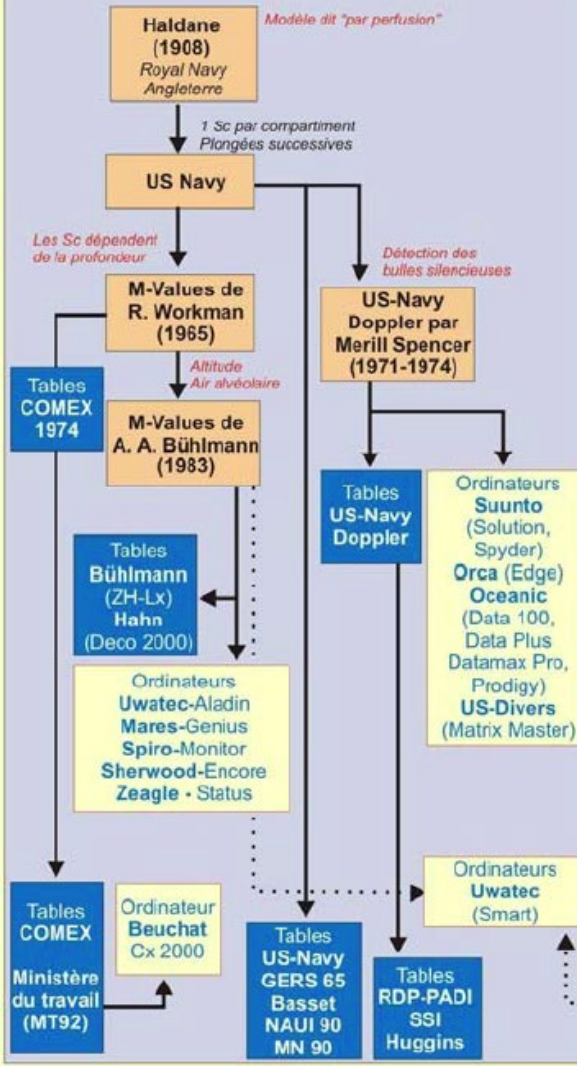
Une boîte noire ?

Comparatifs

Comment les gérer

LES MODELES DE DECOMPRESSION

MODELES HALDANIENS ET DERIVES

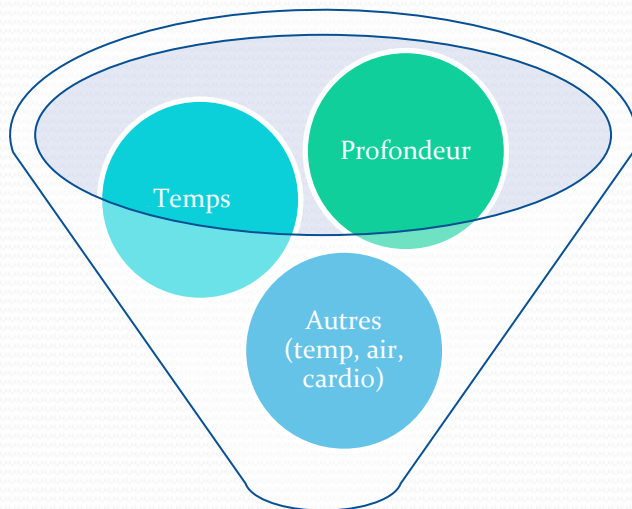


AUTRES MODELES



© Alain Foret, Illustra-Pack II

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

Paramètres

Essentiel

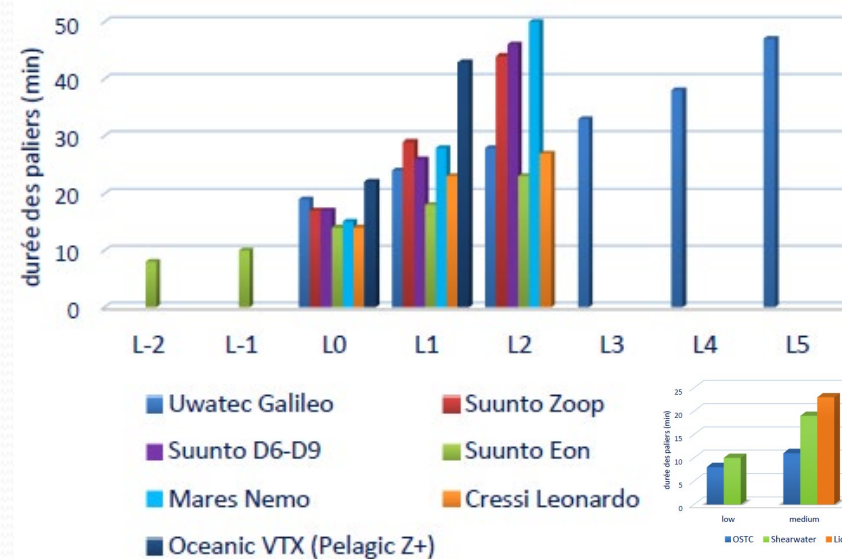
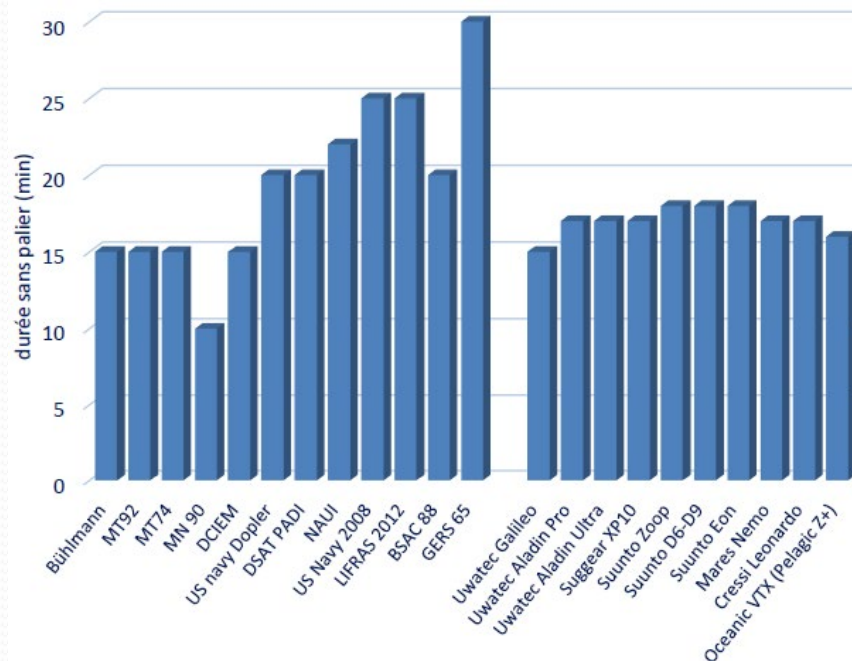
- Gaz respiré
- Conservatisme
- Altitude
- Paliers profonds, de « sécurité », ...

Accessoire

- Eau douce/salée
- Unités
- Alarmes
- Date / heure

	Algorithme	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

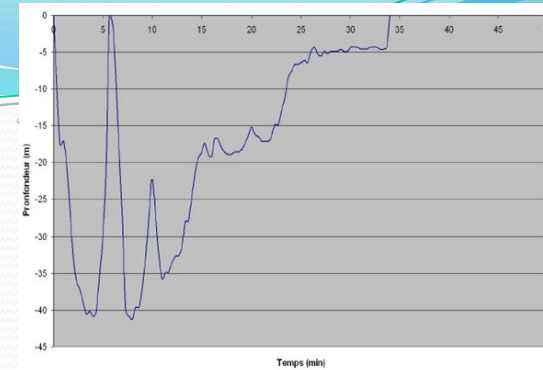
Une plongée à 30m



« No déco »

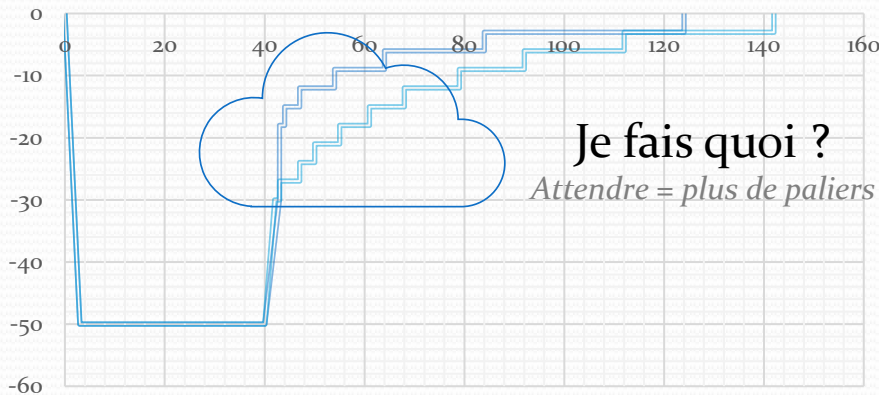
Paliers d'une plongée de 30'

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

Planification



Communication

Connaissance du matériel



Procédures d'Urgence : Remontée Anormale



Vitesse de
remontée
excessive
(>15 m/min)



mi-profondeur



< 3 min

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



< 3 min



3 m



+ 3 min

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



Ré-immersion
impossible ?

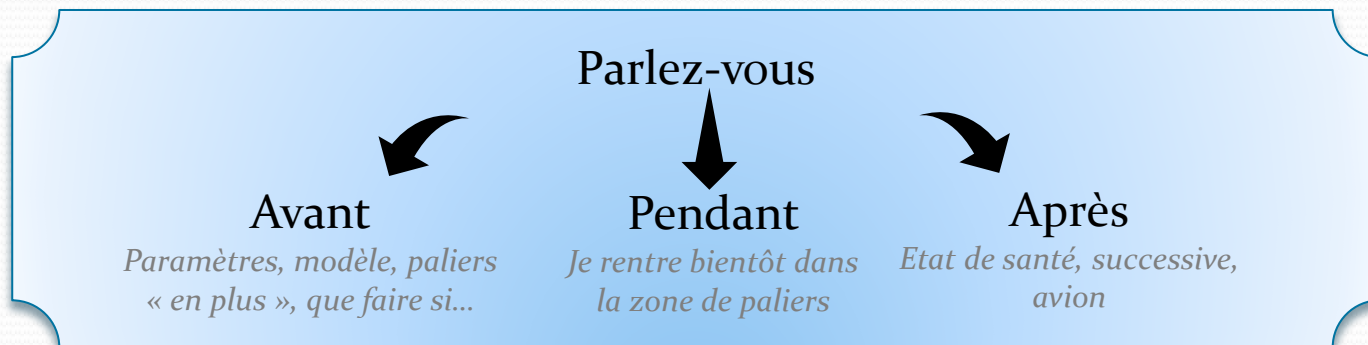


Appliquer : oxygénothérapie,
observation ou déclenchement
des secours selon la gravité.

C'est quoi la sécurité ?



Accidents malgré respect des protocoles



Conclusion générale

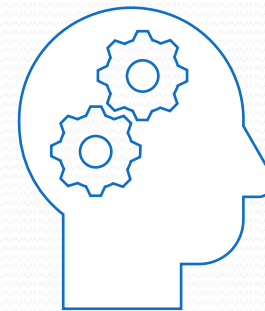
Considérations pour vous



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

Merci



Petit Phoenix