



Comment éviter les ADD Tables et ordinateurs

**Décompressons avant
de faire surface!**

(c'est Henry qui le préconise...)



Ce que le 2* est sensé connaître après ce cours:

- **Emploi des tables, plongées unitaires et successives**
- **Règles plongées répétitives**
- **Les règles d'exception**
- **Savoir utiliser son ordi**
- **Connaître le fonctionnement de son moyen de back-up**



Ce que le 3* est sensé connaître (en plus) après ce cours:

- Bien comprendre la désaturation
- Qualités minimales demandées à un ordi
- Avoir une vue d'ensemble des ordis présents sur le marché
- Savoir gérer une plongée où différents systèmes de décompression sont utilisés



Ce qu'on va voir dans ce cours

- Règles REVOD
- Base de calcul, Haldane
- Compartiment, période, saturation
- Les modèles
- Terminologie
- Principaux profils de plongée
- Procédures d'exception
- Table US Navy 2008 et comparaison avec version 94
- Plongée en altitude
- Qu'est-ce qu'un ordinateur de plongée?
- La décompression en pratique



REVOD

Réforme et Evolution de la Décompression

- Avant uniquement Table US Navy 1994
- Maintenant tables, ordis et logiciels acceptés
- Mais la formation plongeur pour comprendre ceux-ci est nécessaire, on ne peut pas faire confiance aveugle!
- Un ordi ne mesure que quelques paramètres précis et fait abstraction de tout le reste! Etes-vous prédictibles pour un ordi?...
- Trois niveaux de décompression: 1) Non-palier, 2) Déco légère et 3) Déco lourde
- Le cours actuel de la LIFRAS met donc plus l'accent sur la compréhension des ordis pour en comprendre les limites. 80% des accidents avec séquelles alors que respect des consignes d'ordis!

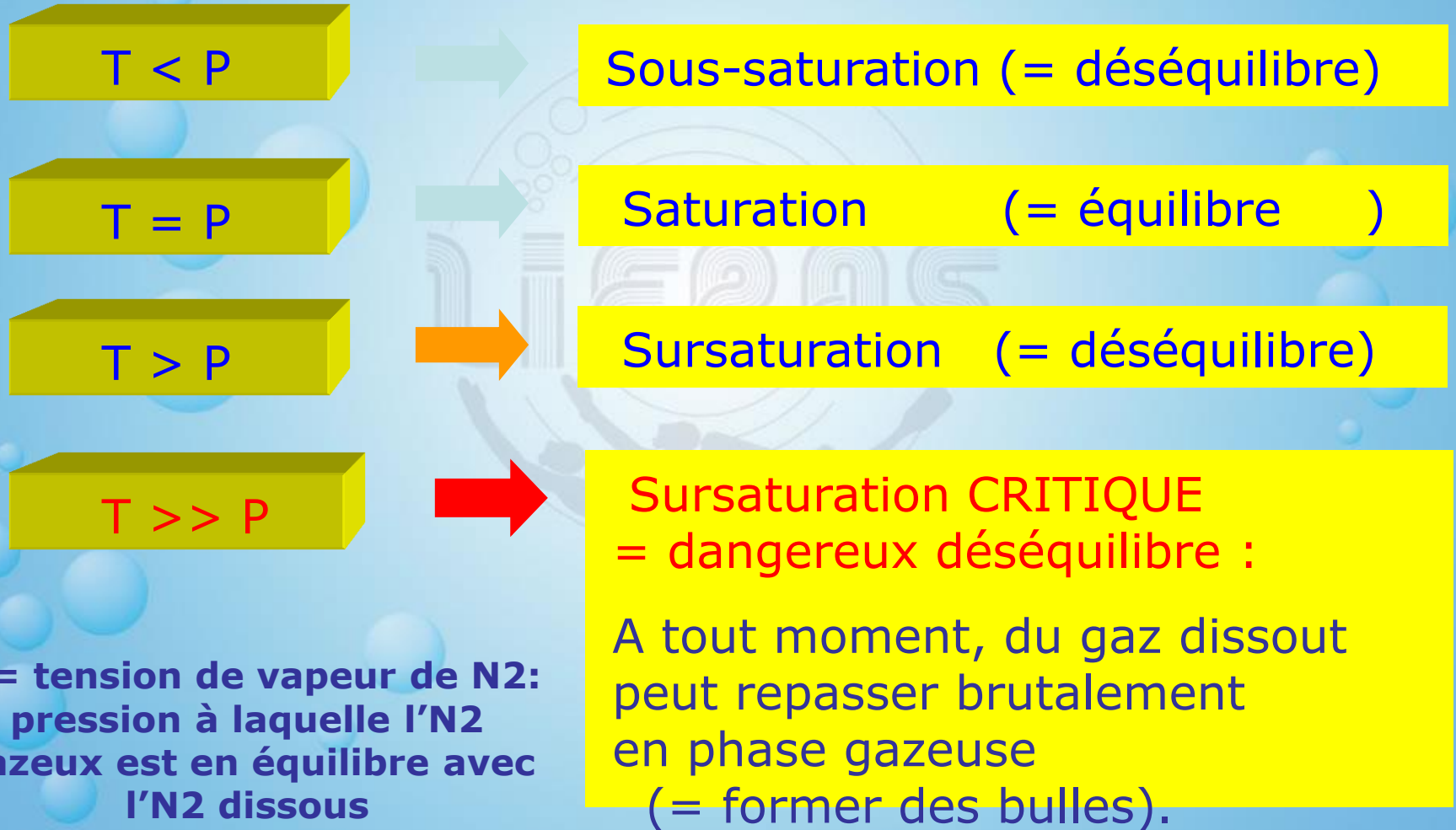


Haldane et équation de désaturation

- En 1903, il établit une équation de désaturation encore utilisée aujourd'hui pour tables et ordis
- Basée sur trois paramètres essentiels: le type de compartiment, le temps et le gradient de pression
- Rappel 1: loi de Henry: dissolution de gaz dans liquide proportionnelle à la pression qu'il subit
- Rappel 2: loi de Dalton: on peut considérer les pressions partielles des différents gaz indépendamment
- On va se focaliser sur l'azote, en arrondissant sa présence à 80%, donc P_{pN_2} en surface de 0.8 bar, donc P_{pN_2} à 40 m: $5 \times 0.8 = 4$ bars
- Haldane s'est intéressé à la vitesse (cinétique) de désaturation



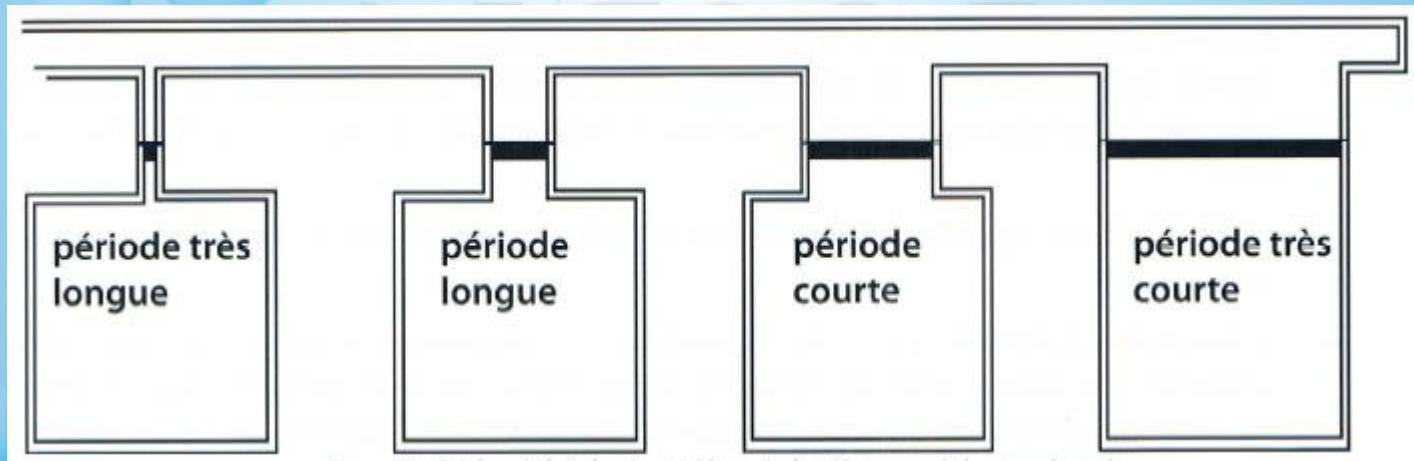
Rappel: état d'équilibre, état de déséquilibre



**T = tension de vapeur de N₂:
 pression à laquelle l’N₂
 gazeux est en équilibre avec
 l’N₂ dissous**

Les compartiments

Rappel: le corps est schématisé en considérant qu'il possède différents compartiments. Certains compartiments se saturent et se désaturent plus vite que d'autres. D'une façon imagée:



Chaque bouteille représente un compartiment

Les compartiments ont été définis en fonction du temps nécessaire pour remplir la moitié



Les compartiments

- Ce temps pour obtenir un demi-remplissage = période
- Compartiment de période 5 minutes, Compartiment de période 10 minutes etc.
- De manière arbitraire on (US Navy) a défini les 9 compartiments suivants: 5, 10, 20, 40, 80, 120, 160, 200, 240 (les 3 derniers pour plongées d'exception)
- De manière très vague on peut considérer les compartiments suivants:

NB: modèle Bühlmann a d'autres jeux de valeur

Période	composant corporel
5	Sang
10	Cerveau
20	Moelle
40	Peau
80	Muscles
120	Oreille Interne
160	Articulations
200	Os
240	Cartilage



Les compartiments

Exemple de calcul de remplissage: pour le Compartiment 20 minutes, il faut 20 minutes pour qu'il se remplisse à moitié (50%). 20 minutes après, la moitié de la moitié restante sera remplie, soit 75% et ainsi de suite:

50% -> 75% -> 87,5% -> 93,7% -> 96,9% -> 98,44%

Un compartiment est considéré complètement saturé après 6 périodes.

Donc le compartiment 20 minutes sera complètement saturé après 6x20 minutes, soit 2 heures.

Le système US Navy considère une désaturation complète sur base du compartiment 240 minutes:

6 périodes x 240 min = 1440 min, soit 24h!



Calcul de saturation de compartiment (3*)

Soit le compartiment 10' et une profondeur de 40m, après 10', 50% de saturation, combien d'N2?

- On part de la surface où la $P_{pN_2} = 0.8$ bar
- On va à 40 où la $P_{pN_2} = 5 \times 0.8 = 4$ bars, ce sera la pression d'N2 à saturation
- Donc le gradient de pression = $4 - 0,8 = 3,2$ bars. Le compartiment 10' a besoin de 6 périodes pour y arriver, soit une heure
- après 10' on a atteint 50% de saturation, donc 'la bouteille est remplie à moitié', donc on a fait la moitié du chemin: $3,2 \times 0,5 = 1,6$ bars. On est à 0.8 bar + $1,6 = 2,4$ bars
- après 20' on a atteint 75% de saturation, soit: $3,2 \times 0,75 = 2,4$ bars + 0.8 bar = 3.2 bars



Calcul de saturation de compartiment

La formule simplifiée est la suivante:

$$P_{pN2} = P_{p1} + (P_{p2} - P_{p1}) \times \% \text{saturation}$$

P_{p2} = pression en profondeur

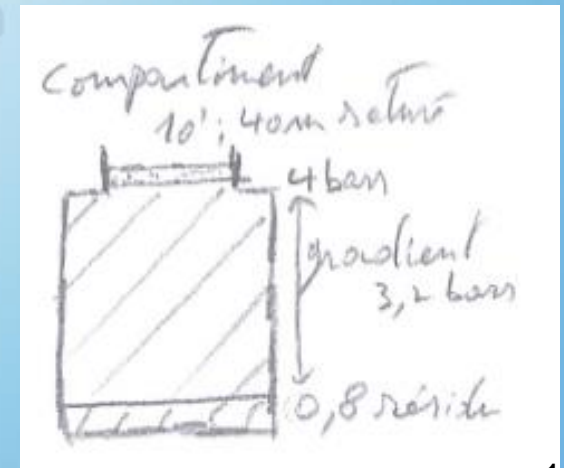
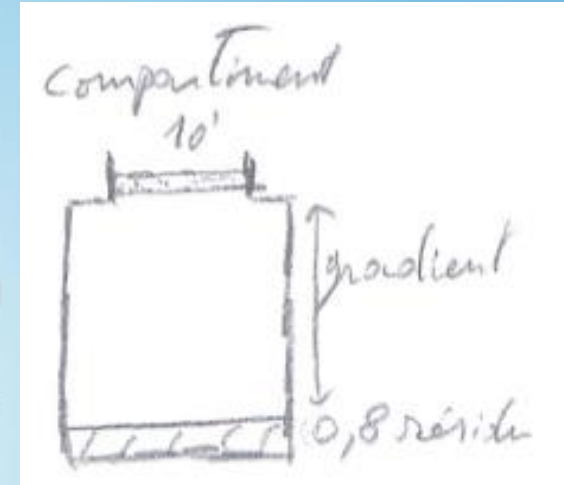
P_{p1} = pression de surface

(0.8 bar au niveau de la mer)

NB: le % de saturation est une fct exponentielle:

tension = pression initiale + (gradient) * [fraction de (dé)saturation]

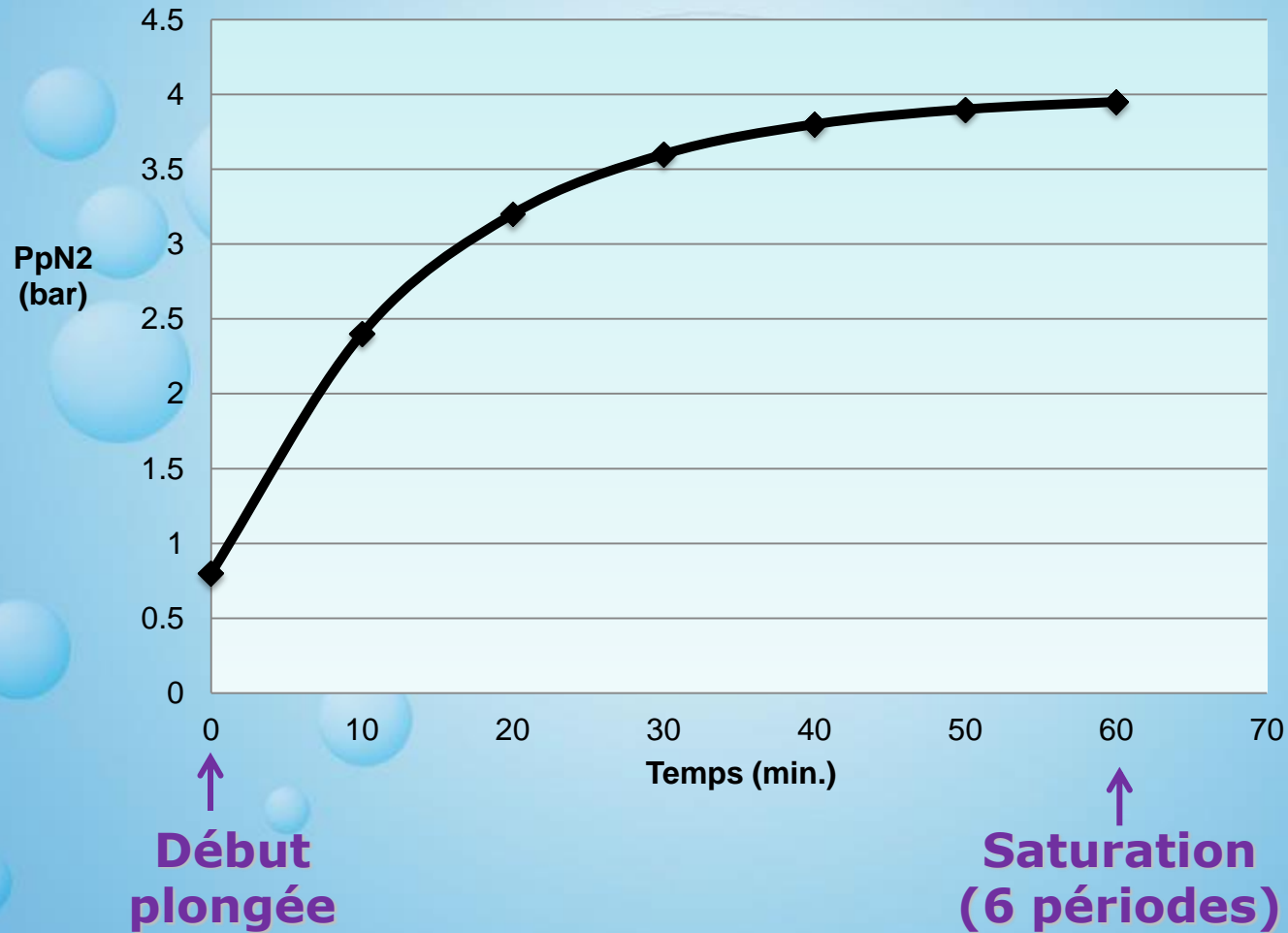
$$p = p_0 + (P - p_0) * (1 - 0.5 * t / T)$$





Calcul de saturation de compartiment

Evolution de la PpN2 du compartiment 10' à 40m





Calcul de désaturation de compartiment

Pour le même exemple, à la remontée:

- On part de la profondeur à saturation: $P_{pN_2} = 4$ bar
- On va à la surface où la $P_{pN_2} = 0.8$ bar
- Donc le gradient de pression = $4 - 0,8 = 3,2$ bars (comme à la descente).
- après 10' on a atteint 50% de désaturation, donc 'la bouteille s'est vidée de moitié', donc on a fait la moitié du chemin: $3,2 \times 0,5 = 1,6$ bars. On est donc à $4 - 1,6 = 2,4$ bars
- après 20' on a atteint 75% de désaturation, soit: $3,2 \times 0,75 = 2,4$ bars. On est donc à $4 - 2,4 = 1,6$ bars



Calcul de désaturation de compartiment

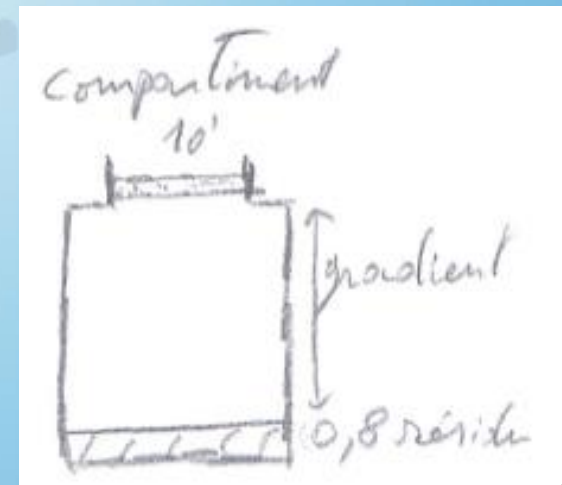
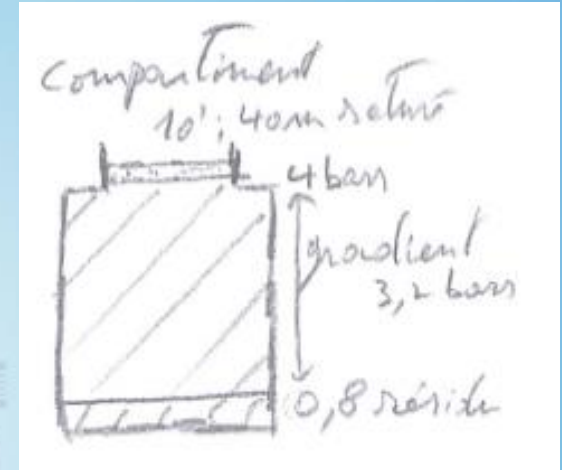
La formule simplifiée est la suivante:

$$P_{pN_2} = P_2 - (P_2 - P_1) \times \% \text{saturation}$$

P_2 = pression atteinte en profondeur

P_1 = pression de surface

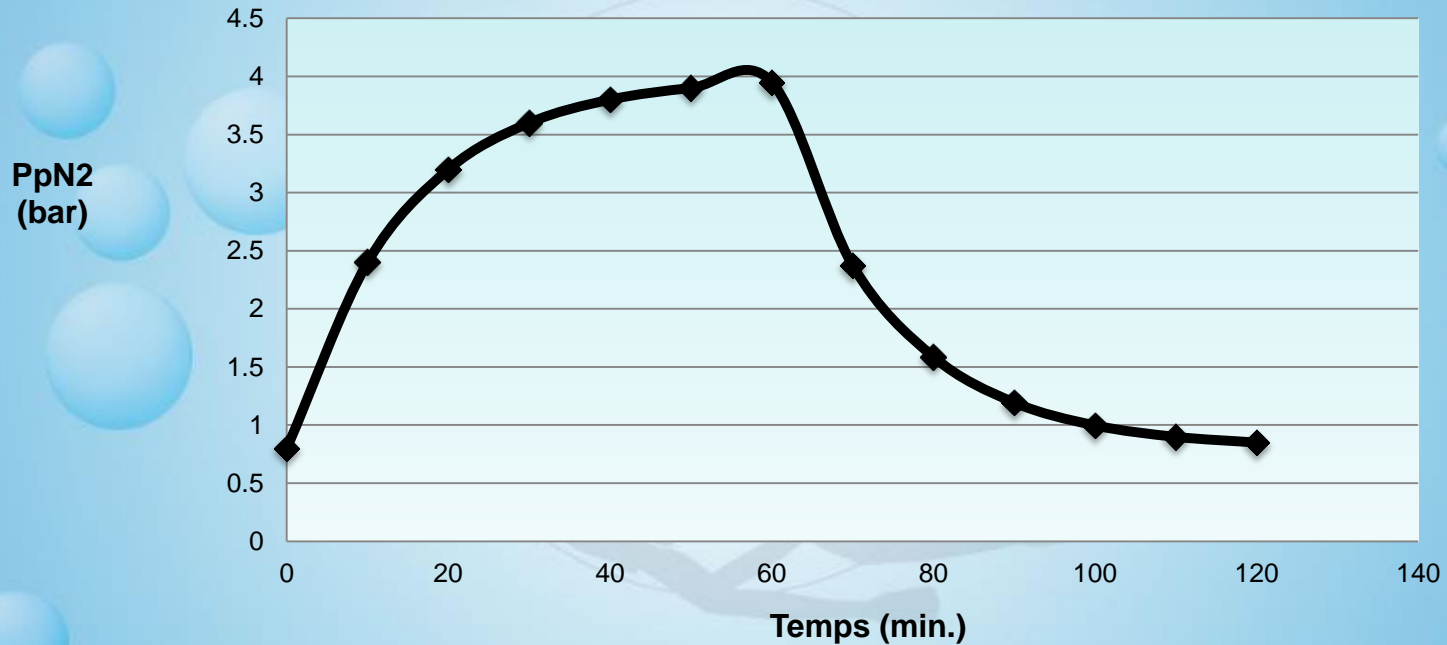
(0.8 bar au niveau de la mer)





Calcul de saturation de compartiment

Evolution de la PpN2 du compartiment 10' à 40m



↑
**Début
plongée**

↑
**Saturation
(6 périodes)**

↑
**Désaturation (6
périodes après)**



Calcul de saturation de compartiment

Le remplissage/saturation se fait rapidement au début, puis de plus en plus lentement. C'est une courbe exponentielle.

De même pour la vidange/désaturation. Celle-ci est plus lente que la saturation.

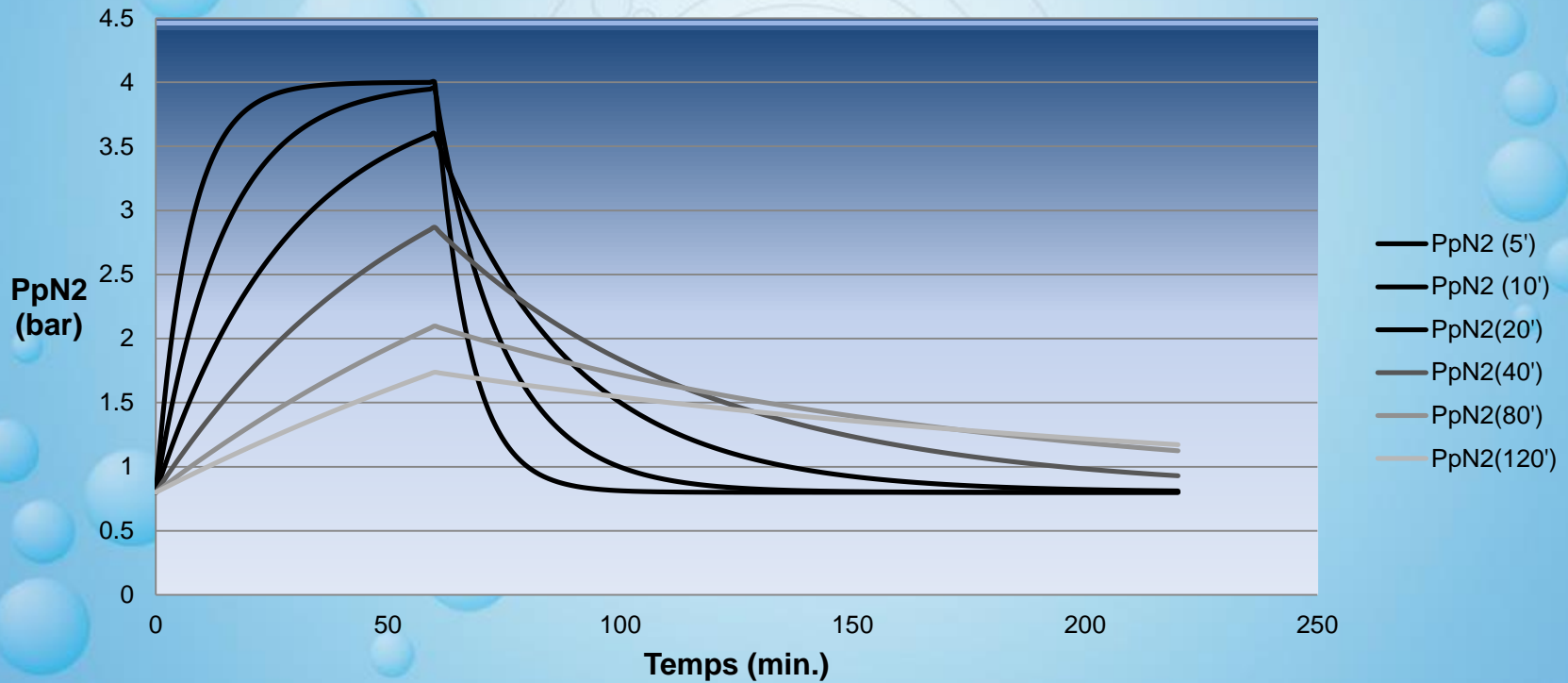
On a vu l'évolution de la PPN2 dans un seul compartiment. Mais le corps est composé de plusieurs compartiments qui se saturent avec des vitesses différentes. Comment le 'remplissage' de ces compartiments se fait-il?



Calcul de saturation de compartiment (3*)

Evolution du remplissage puis de la vidange d'une série de 6 compartiments

Evolution de la PpN2 de différents compartiments





Limites à ne pas dépasser

Bien, on peut schématiser et calculer la sat/désat, mais cela ne nous dit rien sur les limites tolérables pour le corps humain.

Ce sont les expériences sur animaux (chèvres de Haldane) puis sur l'homme (US Navy etc.), par essais et erreurs, qui ont permis de dériver des valeurs à ne pas dépasser: les M-Values.

Il y a un M-Value à ne pas dépasser pour chaque compartiment, sous peine d'avoir un 'éventuel ennui statistiquement établi'.

Puisque ces valeurs sont approximatives et expérimentales, cela ne veut pas dire qu'elles couvrent chaque cas! Dépendent de: âge, corpulence, fatigue, hydratation, froid, shunt cardiaque...



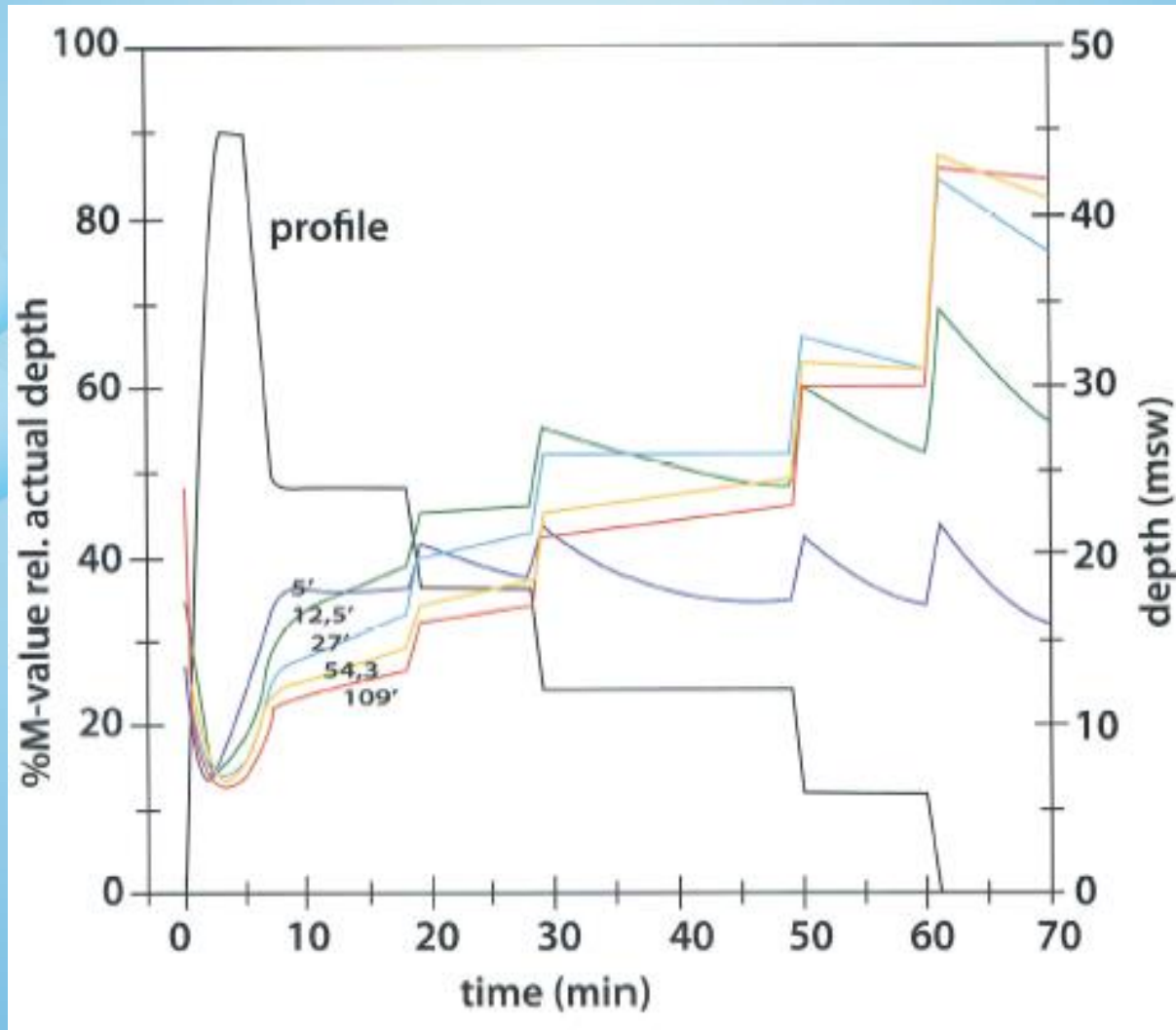
Compartiment directeur

Durant une plongée, il y aura un compartiment qui fixera la décompression la plus importante. C'est le compartiment qui s'approche le plus de la limite admissible: le compartiment directeur, celui qui dirigera la déco.

On peut exprimer la situation à tout moment en parlant du % utilisé du M-value. Ne jamais dépasser 100% évidemment.



Simulation de l'évolution des M-values durant une plongée de 62 minutes





Constatations de la diapo précédente

- On voit bien que les compartiments rapides se saturent plus vite que les lents. Cependant ils désaturent également plus vite.
- En début de plongée le compartiment directeur est un rapide alors qu'à la fin de plongée c'est l'inverse.
- On n'est pas loin de 100% du M value pour les plus lents en fin de plongée, pas pour les courts
- On note que les lents continuent à se saturer lorsqu'on fait des paliers même peu profonds!
- Le % de M value lors d'une remontée d'une profondeur à une autre augmente. Pas intuitif mais il faut penser au fait qu'on diminue la pression et que les M values sont plus faibles aux profondeurs réduites.



Les limites du modèle Haldanien

- **Modèle basé sur la considération que chaque compartiment est indépendant (modèle de la perfusion) et que tout passe par le sang, mais en réalité on sait qu'il y a des transferts entre les tissus.**
- **On ne sait pas se qui se passe en cas de re-compression des bulles.**
- **On ignore l'influence des autres gaz comme le CO₂.**
- **En fonction de l'éloignement des tissus il y a une déconcentration d' N_2 qui est 'consommé' avant**
- **Il existe des microbulles, pas seulement N_2 dissous**
- **Etc.**



Dominance du modèle haldanien

- **Malgré tout aucun autre modèle n'est arrivé à le détrôner, il est le plus utilisé**
- **Modèle néo-haldanien basé sur la volonté d'éviter la formation des bulles**
- **Il existe des modèles bullaires qui considèrent qu'il y a toujours des microbulles mais qu'il faut éviter qu'elles n'atteignent un seuil de taille inacceptable: VPM (variable permeability model) ou RGBM (reduced gradient bubble model).**
- **Ces modèles bullaires utilisent toujours le modèle de compartiments de type haldanien, mais ils conduisent à l'établissement de paliers profonds.**



Terminologie





Terminologie



- **Plongée dans la courbe sans palier (no-déco): pas de palier obligatoire**
- **Plongée à décompression obligatoire: max 60m et TTS max 25 min (sinon déco extrême, formation spécifique)**
- **TTS (Time To Surface): temps nécessaire depuis le début de la remontée pour arriver en surface, comprend les paliers éventuels**
- **Palier de décompression: obligatoire, à respecter!**
- **Palier de sécurité: non obligatoire, faire 5min à 5m si possible**
- **Palier de surface: dans l'eau en surface, immobile (3-5 min)**



Terminologie



- **Plongée unitaire:** lorsqu'il n'y a plus de sursaturation résiduelle
- **Plongée successive:** il existe encore une sursaturation résiduelle.
- **Plongées successives multiples (on ne parle plus de répétitives):** suite de plongées avec sursaturation résiduelle
- **Intervalle de surface:** temps entre 2 plongées
- **Profondeur max:** la plus profonde atteinte durant la plongée
- **Planification:** la préparation d'une saine décompression
- **Conservatisme:** prise de mesures supplémentaires pour réduire le risque



Terminologie

- **Temps fond:** depuis immersion jusqu'au début remontée (NB: on ne parle plus de temps table)
- **Temps de plongée:** depuis immersion jusqu'en surface
- **Temps sans déco (NDL):** temps autorisé à profondeur actuelle sans palier obligatoire
- **Vitesse de descente:** US NAVY recommande 20 m/min (narcose)
- **Vitesse de remontée:** table US NAVY 10 m/min, mais les ordis ont leur propre vitesse qui en général varie avec la profondeur (comme 20m/min en dessous de 50m et 7 m/min de 6m en surface)



Les tables de décompression





Les tables

- **Il existe différentes tables come la MN90 en France, les tables suisses, britanniques BSAC et table Bühlmann (pas extrapolation nitrox ni altitude)...**
- **Le LIFRAS avait opté pour la table US NAVY 94, depuis 2011 c'est la nouvelle version US NAVY 2008**





Table US NAVY 1994

t	s	Pal.		Paliers		Paliers				Paliers				
(min)		(min)	3 m	(min)	3 m	(min)	3 m	3 m	s	(min)	3 m	3 m	3 m	s
3 m		18 m		27 m		42 m				60 m				
60	A	15	C	10	C	5			C	5				1
120	B	20	D	15	E	10			E	10				4
6 m		25	E	20	F	15		2	G	15			7	10
50	B	30	F	25	G	20		6	I	20			14	27
100	D	40	G	30	H	25		14	J	25			21	25
9 m		50	H	40	7 J	30		5	21 K	30				
30	B	55	I	50	18 L	45 m				5				1
45	C	60	J	60	25 M	10			E	10			2	4
60	D	70	2 K	30 m		15			G	15			5	13
75	E	80	7 L	10	D	20			H	20			10	23
95	F	21 m		15	E	25			K	25			2	5
120	G	10	C	20	F	30			L	30			3	16
12 m		15	D	25	G	48 m				5				2
15	B	20	E	30	3 I	10			D	10			1	6
25	C	30	F	40	15 K	15			F	15			2	18
30	D	35	G	50	2 24 L	20			H	20			3	6
40	E	40	H	33 m		25			J	25			4	21
50	F	45	I	10	D	30			K	30			6	2
70	G	50	J	15	F	35			L	35			11	6
80	H	60	8 K	20	G	40			M	40			20	21
100	I	70	14 L	25	3 H	51 m				5				2
15 m		24 m		30	7 J	10			D	10			1	7
15	C	5	8	40	2 21 L	15			F	15			4	22
25	D	10	C	36 m		20			H	20			7	2
30	E	15	D	5	C	25			J	25			11	2
40	F	20	E	10	D	30			L	30			10	22
50	G	25	F	15	F	35			D	35			11	3
60	H	30	G	20	2 H	40			F	40			24	24
70	I	35	H	25	5 I	45			J	45			2	2
80	J	40	I	30	14 J	50			K	50			5	13
90	K	50	10 K	35	25 L	55			L	55			2	3
100	L	60	17 L	39 m		60			D	60			5	16
18 m		27 m		10	E	54 m				5				3
15	C	15	F	15	F	10			D	10			3	11
20	D	20	2 H	20	5 I	15			F	15			4	24
25	E	25	5 I	25	14 J	20			J	20			5	2
30	F	30	14 J	30	5 25 L	25			K	25			10	13
40	G	40	5 25 L	39 m		30			L	30			1	3
50	H	50	10 K	10	E	57 m				5				3
60	I	60	17 L	15	1 F	10			D	10			3	16
70	J	70	17 L	20	4 H	15			G	15			4	7
80	K	80	17 L	25	10 J	20			I	20			6	20
90	L	90	17 L	30	3 18 M	25			K	25			2	6
100		100	17 L	30	3 18 M	30			L	30			2	20



Déco O2

Table US NAVY 2008



Plus de palier 3m

Première profondeur 9m, plus 3 et 6m

Temps plus long

(min)	6m O ₂	S	(min)	6m O ₂	S	(min)	6m O ₂	S	(min)	6m O ₂	S	(min)	9m	6m O ₂	S	(min)	15m	12m	9m	6m O ₂	S						
9 m																											
17		A	15		B	10		B	11		C	10			D	5					C						
27		B	21		C	14		C	17		E	15			F	10				1	1	F					
38		C	28		D	19		D	21		F	20		2	1	H	15			5	3	I					
50		D	34		E	23		E	28		H	25		8	4	I	20			22	12	L					
62		E	41		F	28		F	30		I	30		24	13	L	25			3	41	21	*				
76		F	48		G	32		G	35	4	2	J	35		38	20	N	30		1	8	60	28	*			
91		G	56		H	37		H	40	14	7	L	40		51	27	*	51 m									
107		H	63		I	42		I	45	23	12	M	45		72	33	*	5					D				
125		I	71		J	47		J	50	31	17	N	39 m			10				2	1	G					
145		J	80		K	50	2	1	K	55	39	21	O	6			C	15			7	4	J				
167		K	89		L	55	9	5	L	60	56	24	*	10			E	20			1	29	15	L			
193		L	95	2	1	M	60	14	8	M	30 m			15		1	1	G	25		1	6	46	23	*		
260		N	100	4	2	N	70	24	13	N	12		D	20		4	2	I	54 m								
307		O	110	8	4	O	80	44	17	*	15		E	25		17	9	K	5				D				
80	5	1	Z	120	21	7	O	90	64	24	*	21		G	30		34	18	M	10			3	2	G		
12 m																											
12		A	18 m			9		B	30	3	2	J	40	3	67	31	*	20			4	34	18	M			
20		B	12		B	12		C	35	15	8	L	42 m			6			C	25		4	7	54	26	*	
27		C	17		C	16		D	40	26	14	M	6				E	5						D			
36		D	22		D	20		E	45	36	19	N	10				H	10			4	2	H				
44		E	28		E	24		F	50	47	24	*	15		2	1	H	15				17	9	K			
53		F	33		F	28		G	55	65	28	*	20		7	4	J	20						*			
63		G	39		G	32		H	33 m			25		26	14	L	20		1	7	37	19	*				
73		H	45		H	36		I	11		D	30		44	23	*	25		2	6	9	67	28	*			
84		I	51		I	39		J	16		F	35	4	59	30	*	60 m										
95		J	57		J	40	1	1	J	20		H	45 m			10				5	3	*					
108		K	60		K	45	10	5	K	25	3	2	I	5			C	15			2	22	11	*			
121		L	65	2	1	L	50	17	9	M	30	14	7	K	10		1	1	F	20		5	7	43	21	*	
135		M	70	7	4	L	55	24	13	M	35	27	14	M	15		3	2	H	25	5	6	11	78	29	*	
151		N	80	14	7	N	60	30	16	N	40	39	20	N	20		14	8	K	66 m							
170	6	2	O	90	23	10	O	70	54	22	*	45	50	26	*	25		35	19	M	15		1	7	30	15	*

Vert: plongée avec déco lourde et O₂ recommandée

Va jusqu'à 66m mais LIFRAS recommande max 60m à l'air



Successives



PLONGÉES SUCCESSIVES

INTERVALLES ENTRE LES PLONGÉES (de h:min. à h:min.)

A																								0:10	
B																									0:10 3:20 12:00
C																									0:10 1:39 4:49 12:00
D																									0:10 1:09 2:38 5:48 12:00
E																									0:10 0:54 1:57 3:24 6:34 12:00
F																									0:10 0:45 1:29 2:28 3:57 7:05 12:00
G																									0:10 0:40 1:15 1:59 2:58 4:25 7:35 12:00
H																									0:10 0:36 1:06 1:41 2:23 3:20 4:49 7:59 12:00
I																									0:10 0:33 0:59 1:29 2:02 2:44 3:43 5:12 8:21 12:00
J																									0:10 0:31 0:54 1:19 1:47 2:20 3:04 4:02 5:40 8:50 12:00
K																									0:10 0:28 0:49 1:11 1:35 2:03 2:38 3:21 4:19 5:48 8:58 12:00
L																									0:10 0:26 0:45 1:04 1:25 1:49 2:19 2:53 3:36 4:35 6:02 9:12 12:00
M																									0:10 0:25 0:42 0:59 1:18 1:39 2:05 2:34 3:08 3:52 4:49 6:18 9:28 12:00
N																									0:10 0:24 0:25 0:40 0:54 1:11 1:30 1:53 2:18 2:47 3:22 4:04 5:03 6:32 9:43 12:00

Prof. (m)	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
3														
6														
9	469	349	279	229	190	159	132	109	88	70	54	39	25	12
12	213	187	161	138	116	101	87	73	61	49	37	25	17	7
15	142	124	111	99	87	76	66	56	47	38	29	21	13	6
18	107	97	88	79	70	61	52	44	36	30	24	17	11	5
21	87	80	72	64	57	50	43	37	31	26	20	15	9	4
24	73	68	61	54	48	43	38	32	28	23	18	13	8	4
27	64	58	53	47	43	38	33	29	24	20	16	11	7	3
30	57	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	10	7	3
33	51	47	42	38	34	31	27	24	20	16	13	10	6	3
36	46	43	39	35	32	28	25	21	18	15	12	9	6	3
39	40	38	35	31	28	25	22	19	16	13	11	8	6	3
42	38	35	32	29	26	23	20	18	15	12	10	7	5	2
45	35	32	30	27	24	22	19	17	14	12	9	7	5	2
48	33	31	28	26	23	20	18	16	13	11	9	6	4	2
51	31	29	26	24	22	19	17	15	12	10	8	6	4	2
54	29	27	25	22	20	18	16	14	11	10	8	6	4	2
57	28	26	24	21	19	17	15	13	10	10	8	6	4	2

PENALISATIONS EN MINUTES

TABLE DE PLONGÉE LIFRAS 1994 d'après l'U.S. Navy 1993

A																									0:10 2:20	
B																										0:10 1:16 3:36
C																										0:10 0:55 2:11 4:31
D																										0:10 0:52 1:47 3:03 5:23
E																										0:10 0:52 1:44 2:39 3:55 6:15
F																										0:10 0:52 1:44 2:37 3:31 4:48 7:08
G																										0:10 0:52 1:44 2:37 3:29 4:21 5:40 8:00
H																										0:10 0:52 1:44 2:37 3:29 4:21 5:13 6:08 7:24 9:44
I																										0:10 0:52 1:44 2:37 3:29 4:21 5:13 6:06 7:00 8:16 10:36
J																										0:10 0:52 1:44 2:37 3:29 4:21 5:13 6:06 7:00 8:16 10:36
K																										0:10 0:52 1:44 2:37 3:29 4:21 5:13 6:06 7:00 8:16 10:36
L																										0:10 0:52 1:44 2:37 3:29 4:21 5:13 6:06 7:00 8:16 10:36
M																										0:10 0:52 1:44 2:37 3:29 4:21 5:13 6:06 7:00 8:16 10:36
N																										0:10 0:52 1:44 2:37 3:29 4:21 5:13 6:06 7:00 8:16 10:36
O																										0:10 0:52 1:44 2:37 3:29 4:21 5:13 6:06 7:00 8:16 10:36
Z																										0:10 0:52 1:44 2:37 3:29 4:21 5:13 6:06 7:00 8:16 10:36
Prof.	Z	O	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A										
9 m	372	308	261	224	194	168	146	126	108	92	77	63	51	39	28	18										
12 m	188	169	152	136	122	109	97	85	74	64	55	45	37	29	21	13										
15 m	131	120	109	99	90	81	73	65	57	49	42	35	29	23	17	11										
18 m	101	93	86	79	72	65	58	52	46	40	35	29	24	19	14	9										
21 m	83	77	71	65	59	54	49	44	39	34	29	25	20	16	12	8										

USN 2008 Plongées Successives / Répétitives



Différences avec anciennes tables

- 2008 plus de plongées 3 et 6 m
- 2008 plus de palier à 3 m
- 2008 temps plus longs repris pour plongées peu profondes et temps non arrondis à facteurs 5'
- 2008 paliers à l'O2 100%
- 2008 plus sévères pour temps tables importants (ex: 15m 100', avant no-déco, maintenant palier + indice de sursaturation plus grand)
- 2008 calcul successives plus sévère pour petites profondeurs
- vitesse de descente 20 m/min max recommandé
- tables 2008 valables jusque 300m au lieu de 700m



Différences avec anciennes tables

- maintenant plongée consécutive fortement déconseillée
- avion d'office 24h et plus 12h. 48h si incident ou si plongée exceptionnelle.
- plongée successive: avant 10'-12h, maintenant 10'-15h50
- successive plus profonde OK si Max 40m et max 12 m de différence avec précédente
- LIFRAS recommande max 60m



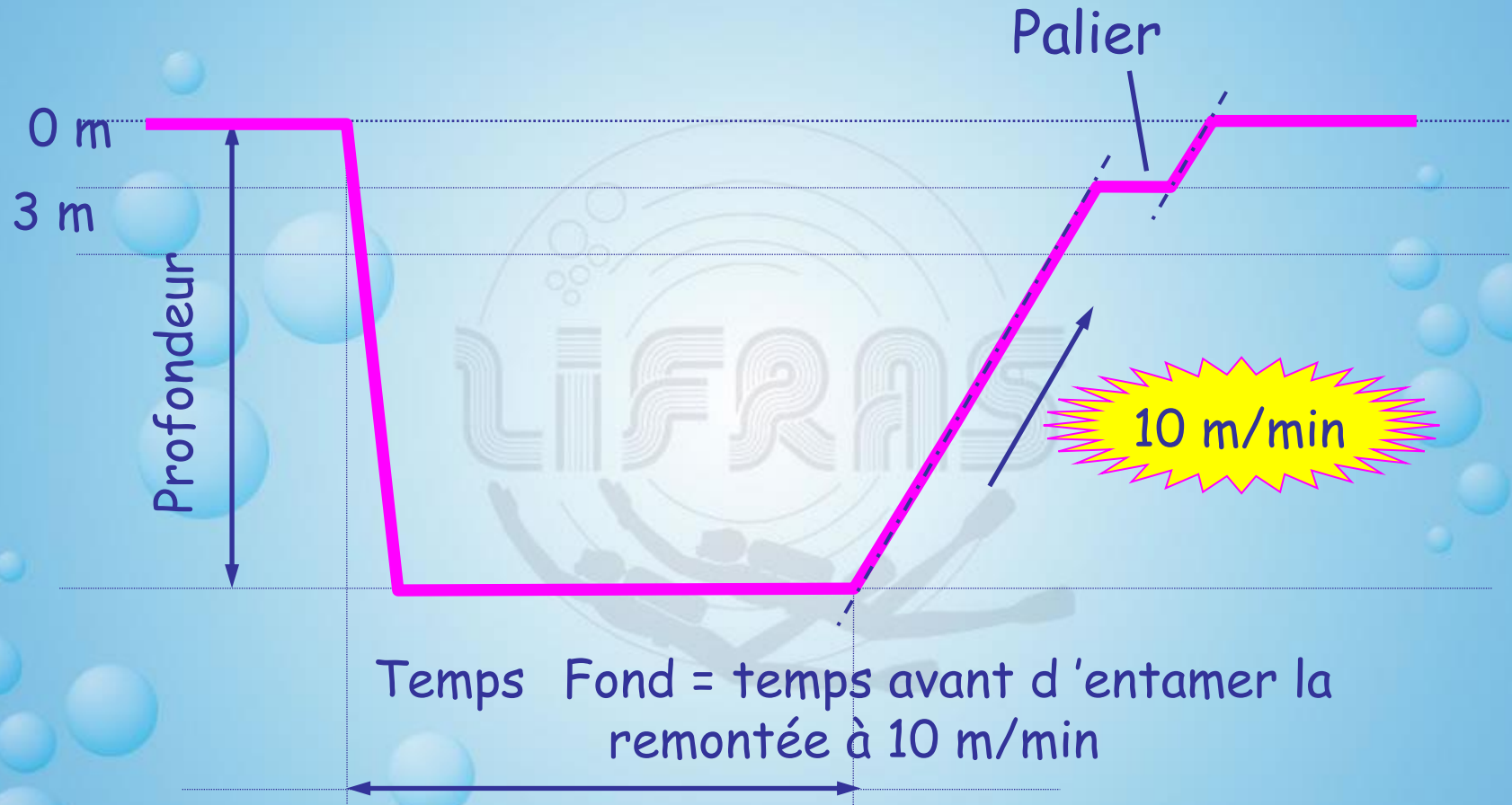
Principaux profils de plongée





Plongée unitaire

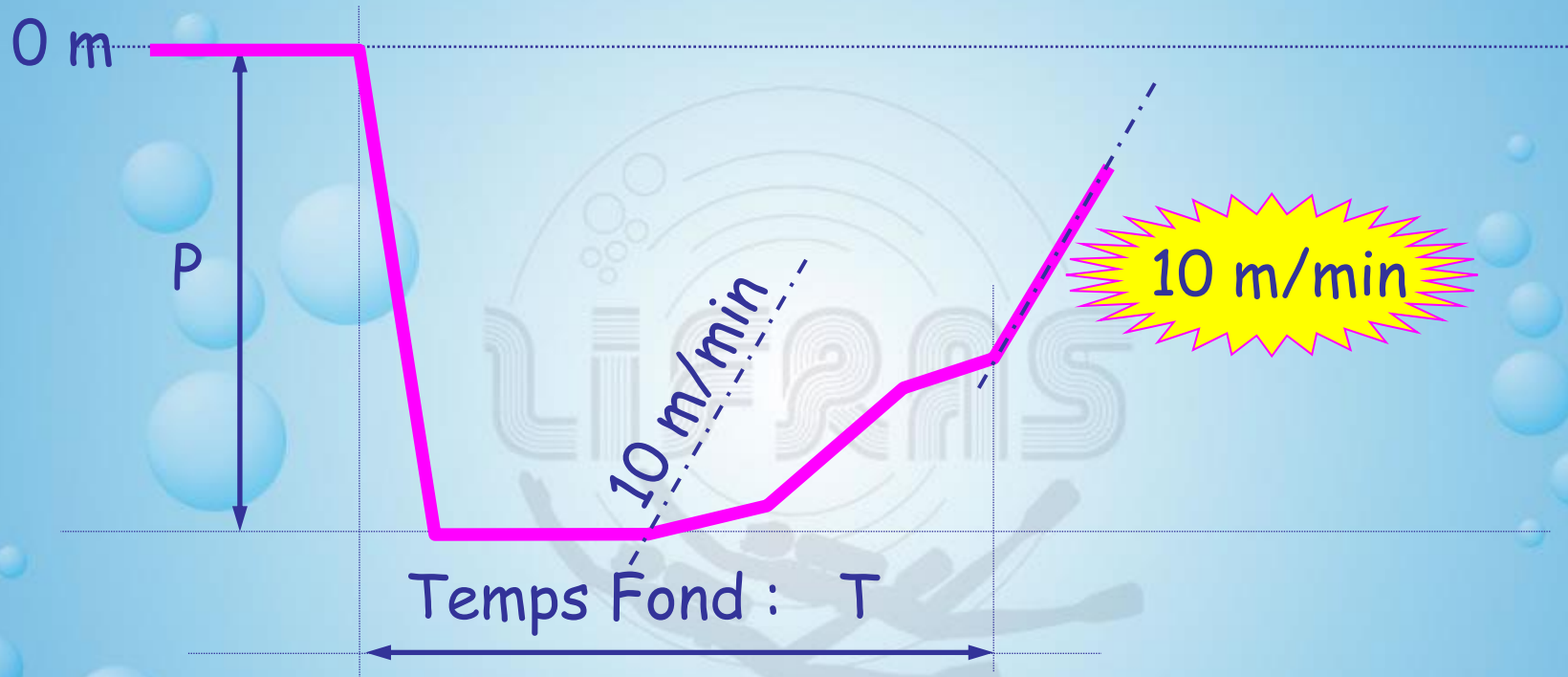
Paramètres de plongée



Vitesse de remontée : max. 10 m/min !
Cela vous sert de 1^{er} palier .



Remontée trop lente : Définition du "Temps Fond"



T fond = avant d'entamer la remontée à 10m/min

(note : si vous remontez trop lentement jusqu'au 1^{er} palier :
T = temps écoulé jusqu'à l'arrivée au 1^{er} palier)



Remontée trop rapide arrêtée avant le 1^{er} palier ou avant la surface si pas de palier obligatoire

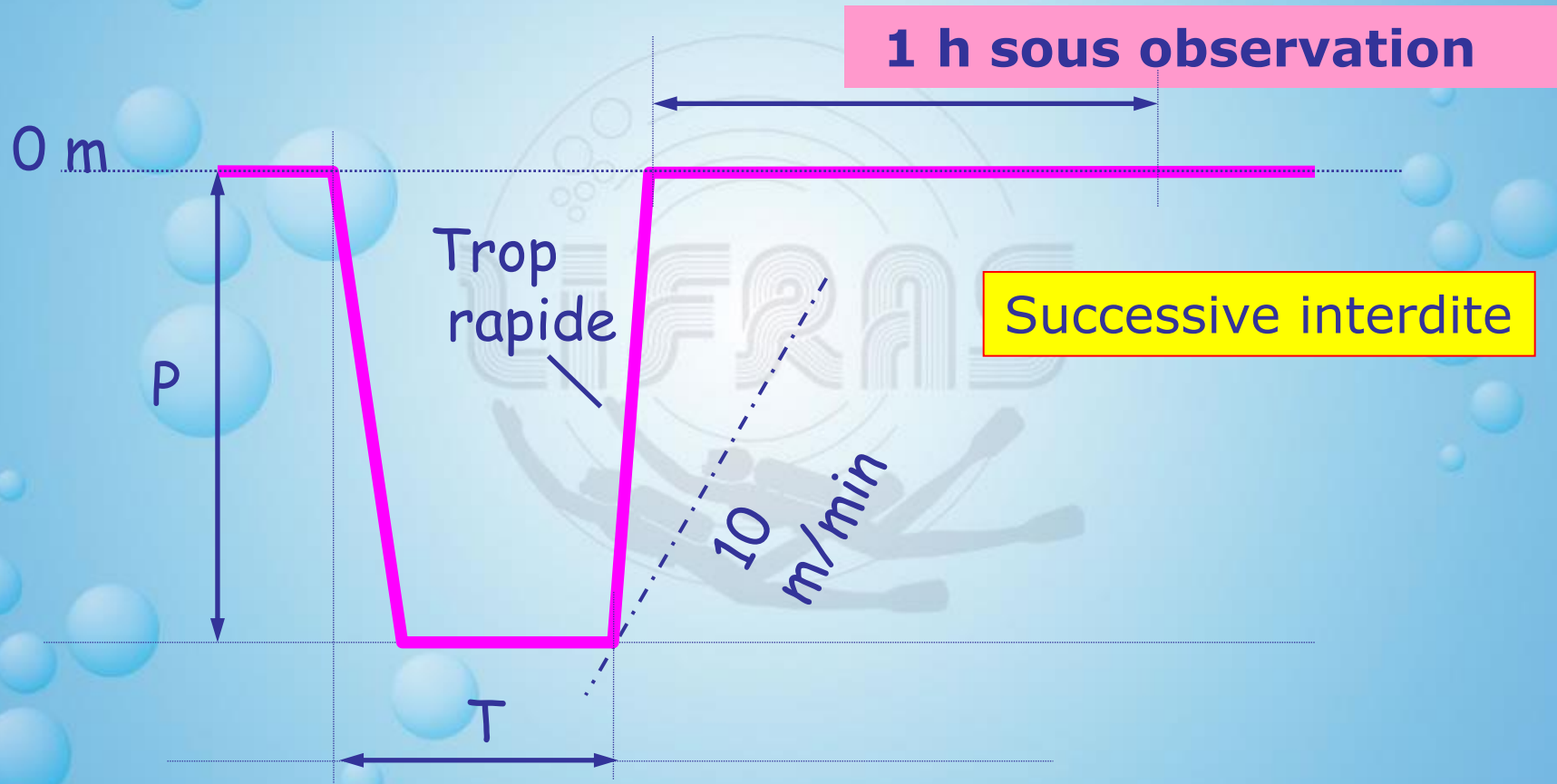
Danger



(x) Cette "règle d'exception" est seulement un palliatif à une situation anormale : **remonter trop vite est dangereux.**
On ne se met pas volontairement en situation d'exception !

Plongée sans palier Remontée trop rapide jusqu'en surface

Danger



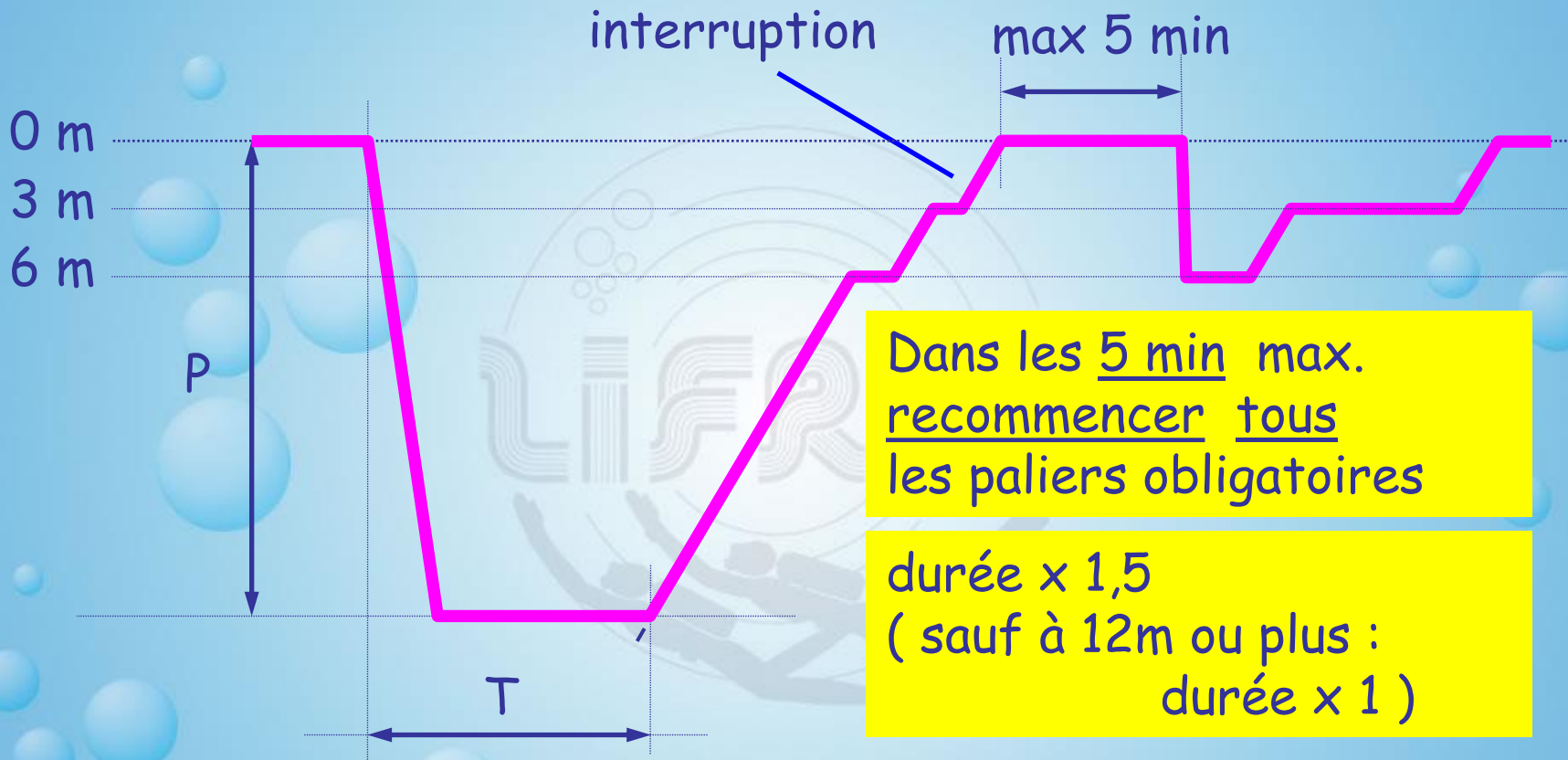
Remonter trop vite est dangereux.

On ne se met pas volontairement en situation d'exception !



Plongée avec palier : Interruption de palier

Danger

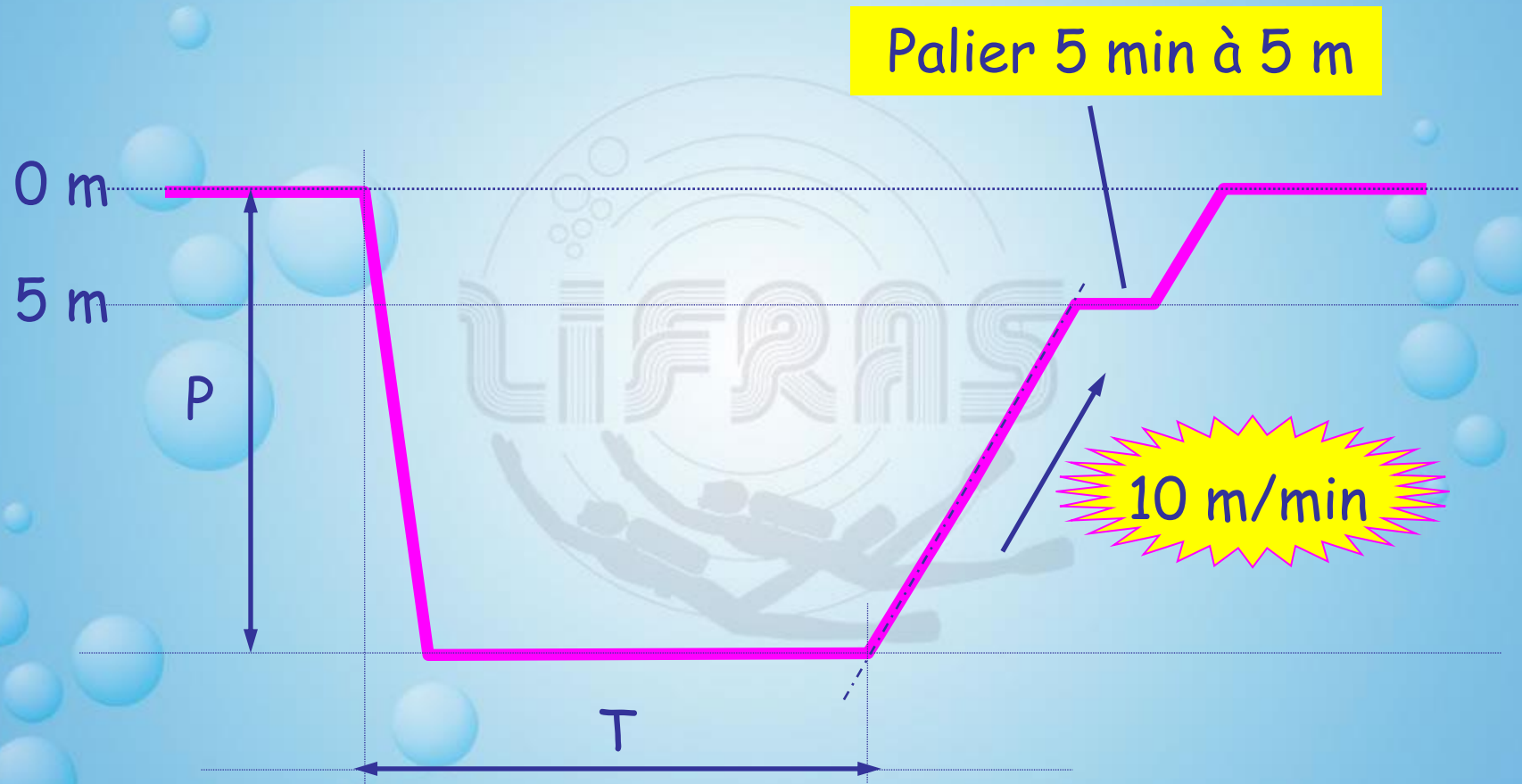


Successive interdite

(Même procédure en cas de remontée trop rapide
arrêtée au-dessus du 1^{er} palier ou en surface)



Plongée sans palier : le palier de sécurité



Buts : sécurité et "défatigation"



Diminuez le risque d'ADD (à l'ordi comme aux tables)

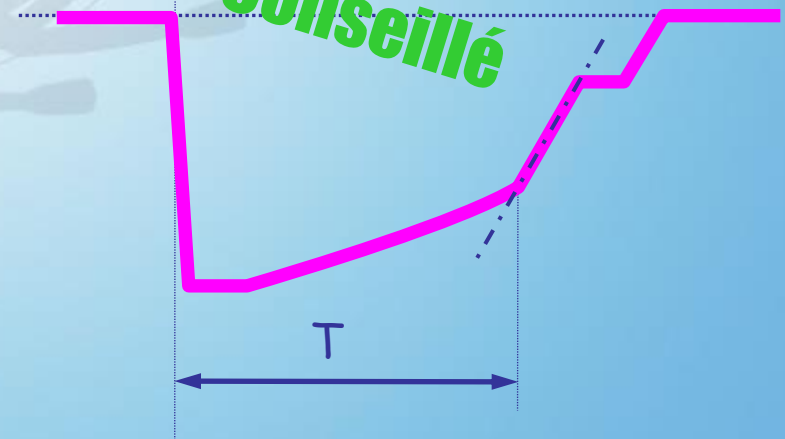


La plongée « border-line »
= en permanence remonter
ce qu'il faut pour rester
juste à la limite d'avoir des paliers,
puis sortir sans effectuer de palier
de sécurité...

... est une cause reconnue d'ADD

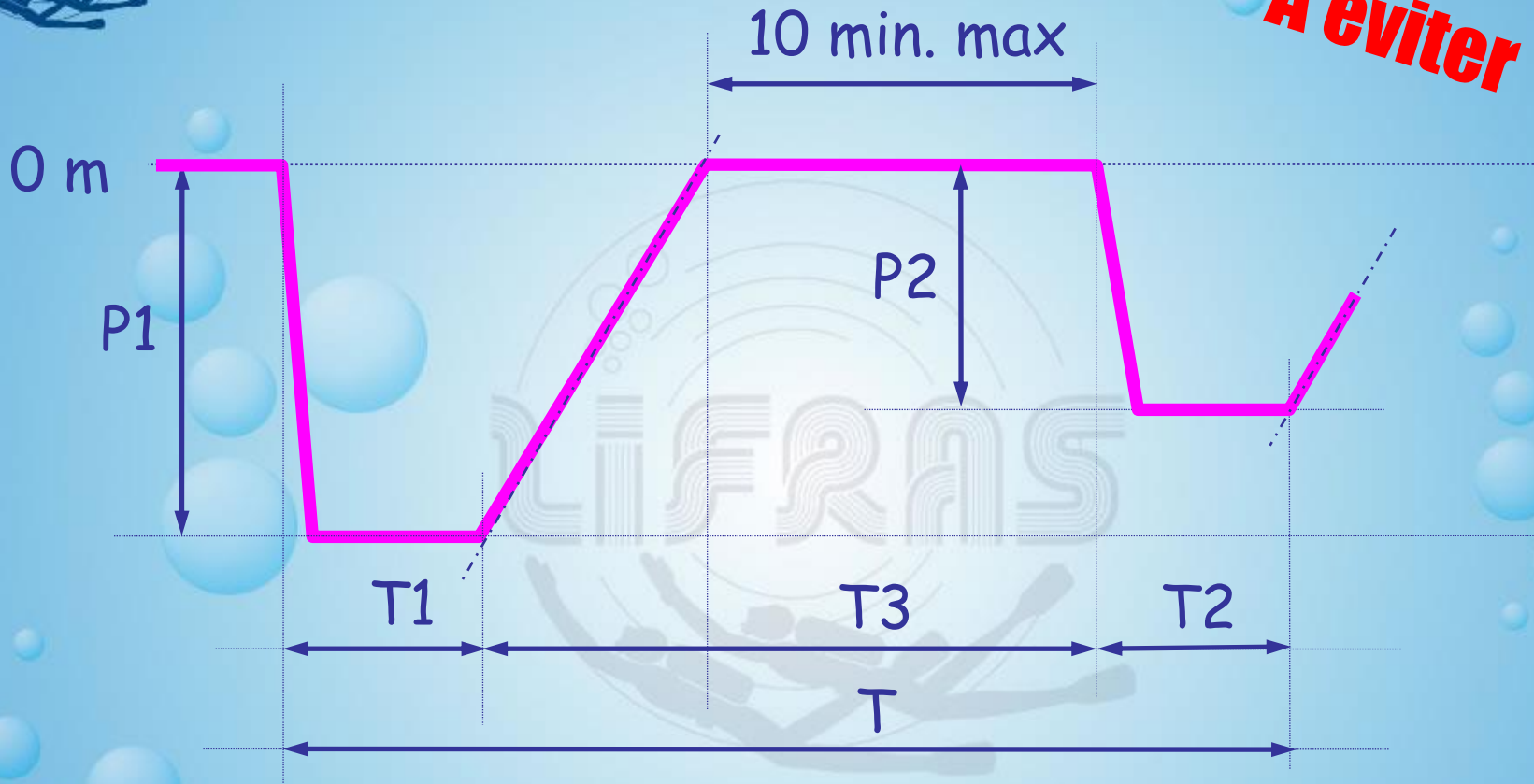
Danger

Conseillé



Plongée consécutive

À éviter



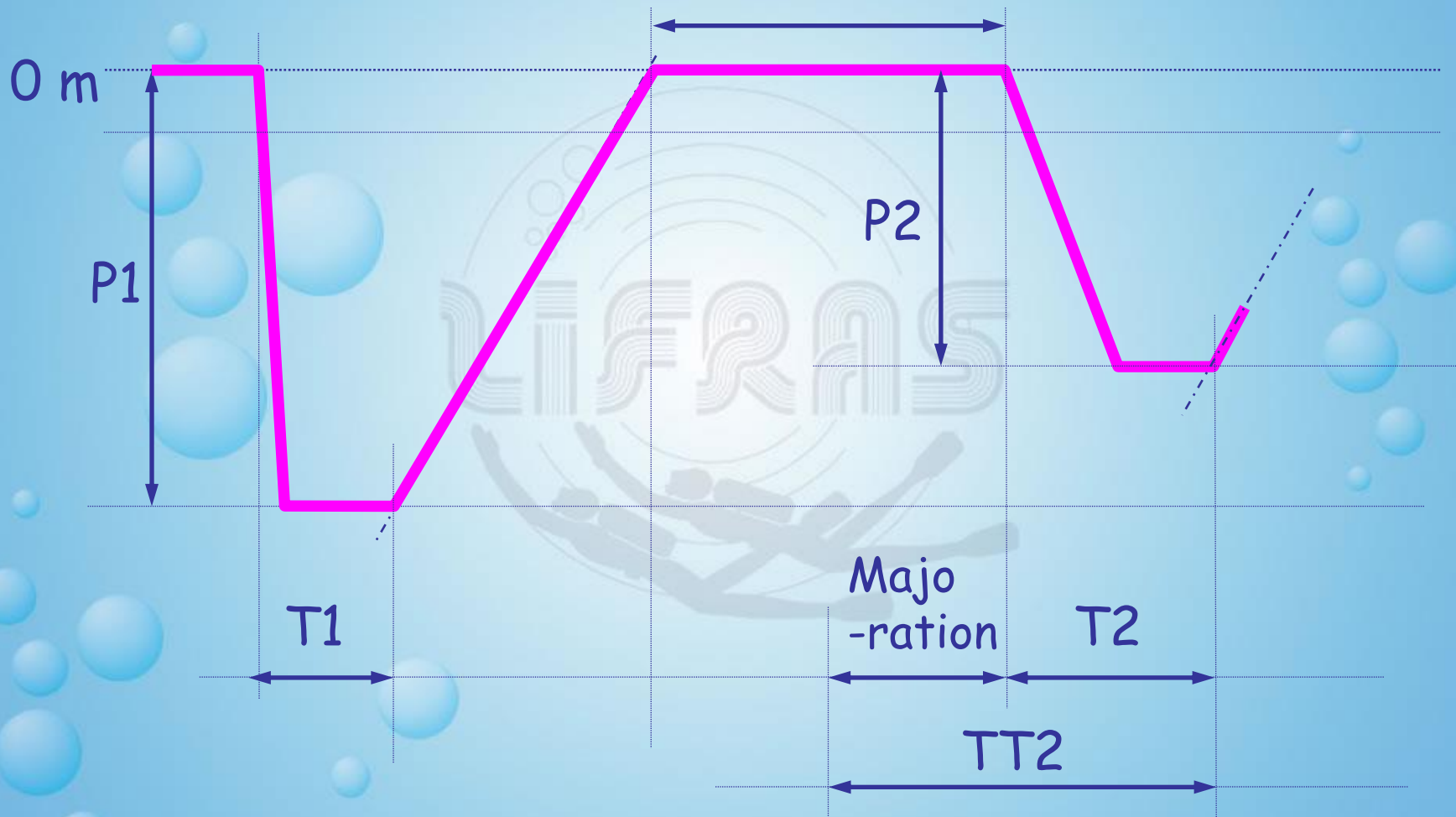
Intervalle < 10 min :

$P = \max (P1, P2)$, $T = T1 + T2 + T3 =$
 point de vue tables, c'est une seule longue plongée



Plongée successive

Intervalle > 10 min et < 15h50



Temps Table 2^e plongée : $TT_2 = T_2 + \text{Majoration}$



Profils de plongées successives

Danger

Danger

Court intervalle surface

Successive + profonde
OK si max 40m et max
12 m de différence avec
précédente

> 3 h

Conseillé

Intervalle > 3 h,
successive moins profonde



Les règles d'exception





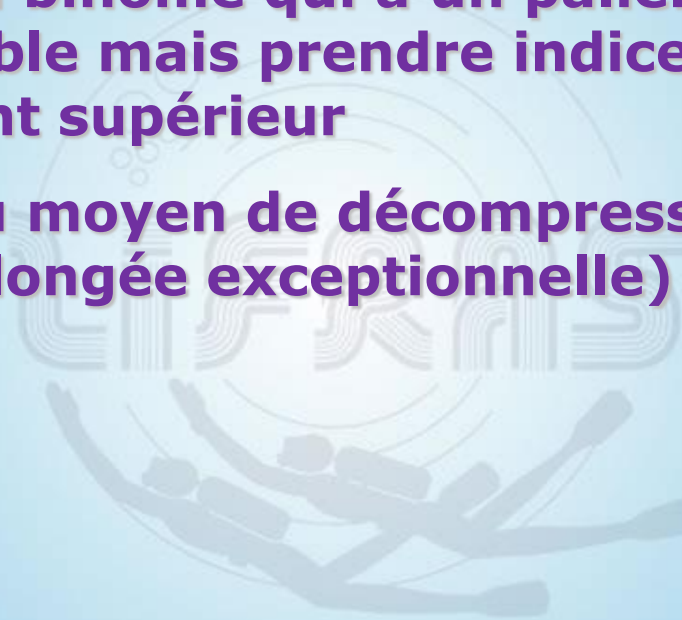
Les règles d'exception

- **Froid et effort:** prendre temps table immédiatement supérieur
- **Mer houleuse:** avant on faisait le palier de 3m à 6m, maintenant plus besoin car palier d'office à 6m
- **Remontée trop rapide sans arriver en surface:** s'arrêter et attendre le temps qui aurait été nécessaire pour remonter à 10m/min
- **Remontée trop rapide en surface:** si plongée sans-palier, placer sous surveillance. Si paliers obligatoires, refaire les paliers et ajoutant 50% de temps au palier de 6m dans le cas des tables, et aux paliers de 9 m à 3 m pour les ordis



Les règles d'exception

- Plongée aux tables, le palier dure plus longtemps que prévu à cause du binôme qui a un palier plus long -> successive possible mais prendre indice alphabétiquement supérieur
- Changement du moyen de décompression: attendre 24h ou 48h (si plongée exceptionnelle)





Plongées en altitude





Plongée en altitude

Table US NAVY 2008 valable jusqu'à 300m sans adaptation

Coefficients de correction à apporter. Simplement faire le rapport des pressions: pression standard niveau mer/pression où vous êtes (donc coefficient >1), et corriger comme suit:

- **profondeur équivalente: profondeur table x coefficient**
- **vitesse de remontée plus lente: 10m par min /coefficient**
- **palier moins profond: palier / coefficient**

NB1: il faut attendre 12h à l'altitude avant de plonger, sinon il faut appliquer un indice de sursaturation car plongée considérée comme successive. Ex: à 2000m ->F.

NB2: si on plonge en mer et qu'on veut aller en montagne après, besoin d'attendre également (tableau existe).



Les ordinateurs de plongée





L'ordinateur

C'est quoi? Une machine qui calcule sur base d'algorithmes néo-haldaniens et utilisant des paramètres de mesure:

- **Profondeur**
- **Temps**

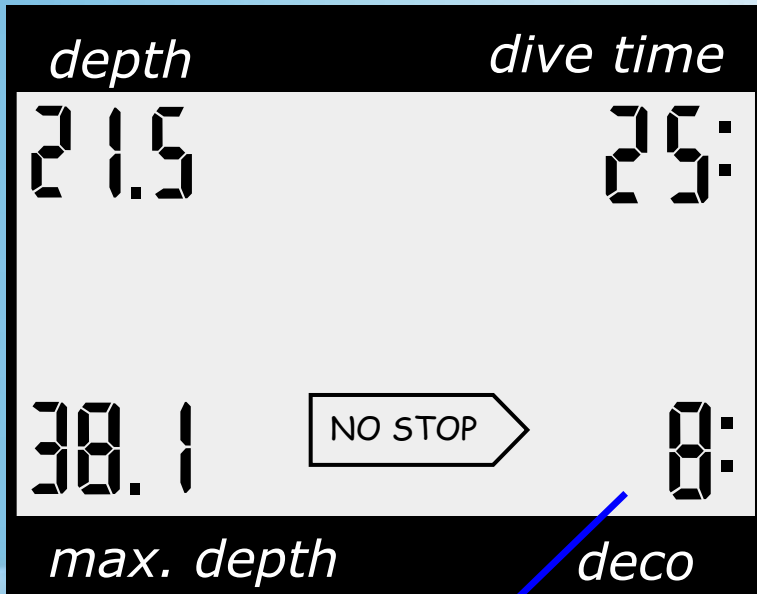
Un ordinateur fournit au moins les informations suivantes:

- **Profondeur actuelle**
- **Profondeur max**
- **Temps écoulé**
- **Temps avant palier (no-déco limit) ou TTS**
- **Palier éventuel: profondeur et temps**



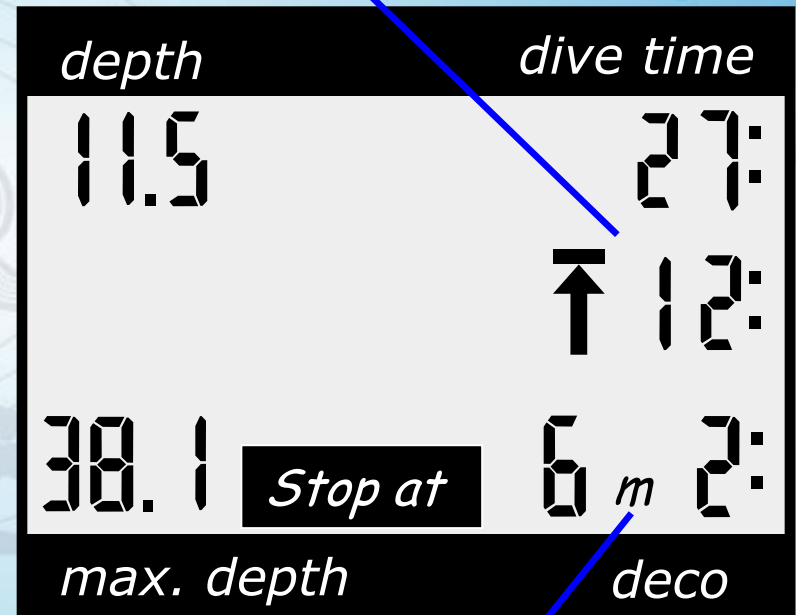
Ordinateur type "Full deco computer"

durée minimum requise pour la remontée, tous les paliers compris (x)



temps de plongée restant à la profondeur courante, avant d'avoir un palier obligatoire

(x) permet de vérifier si la quantité résiduelle d'air suffit ...



profondeur et durée du 1^{er} palier



L'ordinateur

Comment il calcule?

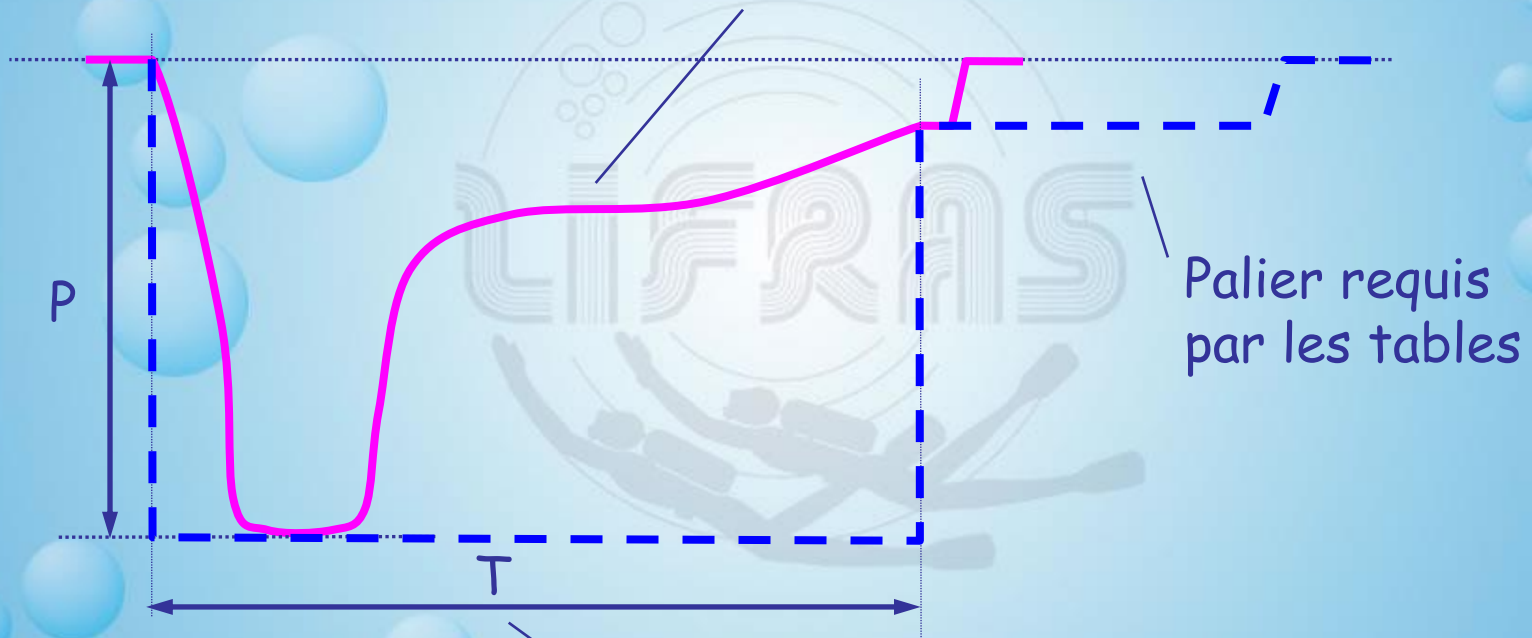
- Fait des relevés de Pression
- Calcule constamment l'état de saturation avec l'équation de Haldane et le temps écoulé, compartiment par compartiment
- À la remontée il identifiera le compartiment directeur qui dictera le palier. Il affichera en fait le No Deco Limit: temps max qu'on peut passer à la profondeur actuelle sans palier obligatoire.

Avantage par rapport aux tables: calcule constamment, donc pour plongées non-carrées est plus intéressant que tables car permet de rester plus longtemps sous l'eau.



Comparaison théorique Tables - Ordinateurs

- Ordinateur : calcul sur base du profil réel



- Tables : calcul sur base d'une plongée carrée à la profondeur max.



Les ordinateurs

Il en existe de nombreux.

Les fabricants gardent comme secret commercial les algorithmes servant à calculer la décompression

Le principe de base est toujours le même: compartiments haldaniens

Variet en fonction de:

- le modèle de décompression adopté (toujours néo-haldanien)**
- puissance du processeur déterminant le cycle de mesures, la précision du calcul**
- l'affichage**



Les ordinateurs

Que ne font-ils pas?

- Ne peuvent pas prendre en compte d'autres conditions de plongée: état de fatigue, effort, (froid), profils yo-yo, remontées trop rapides (l'ordinateur ne suit pas), corpulence, problèmes médicaux, quantité d'air respiré, état hydrique
- Pour palier à cela, les fabricants ont 'adapté' les algorithmes. Secret commercial -> pas validé ni invalidé, pas documenté. Ca a l'air de marcher...

NB: Possibilité pour certains ordis de 'durcir' manuellement



Les ordinateurs

Autres notes:

- **Plongées successives:** pour première plongée en général paramètres conservatifs, donc sécuritaires. Mais en plongée successive ce n'est en général pas le cas! Comme si saturation résiduelle quasi pas calculée. Plongées carrées en successives: les tables sont plus conservatrices que les ordis alors que c'est le contraire en plongée unitaire.
- **Suivi aveugle de la limite No-deco de l'ordi (plongée border-line) -> alimente les statistiques d'accident**
- **Le temps avant envol indiqué par les ordis est souvent trop court**



Les ordinateurs

Quel ordi?

- En gros les ordis vendus depuis 2002 ayant au moins 8 compartiments donc le plus court de 5' et le plus long au moins 640' conviennent. Si ce n'est pas le cas, pas terrible pour plongées successives et temps avant envol.
- Petits ordis = manque de place pour processeur, moins de calculs, plus conservateurs
- critères de choix types: taille d'affichage, lisibilité, facilité d'utilisation, informations à la sortie, changement des piles, interface PC, Nitrox...
- Certains permettent la planification, bon pour plongées à palier, nécessaire pour plongées profondes



La décompression en pratique





La décompression en pratique

Les moyens de décompression sont individuels, homogènes: pas question d'interchanger des paramètres, chacun doit suivre les règles adoptées pour sa déco. Aussi, ne pas prêter son ordi d'une plongée à l'autre si pas désaturé.

La détermination des paliers se fait de manière individuelle, mais les paliers se feront par toute la palanquée. Toujours le plus conservatif.

Moyen de décompression principal: moyen premier utilisé, il doit permettre planification précise de la déco: temps de remontée, profondeur et durée des paliers.

Back-up: si panne du moyen électronique besoin d'un système de rechange fiable. Après le masque, ordi = 2nd cause de problème de matos.



La décompression en pratique

La validité du back-up est laissée sous la responsabilité du plongeur. Son choix dépendra du type de plongée.

- Peut être second ordi
- Peut être une table avec profondimètre et horloge
- Peut être plaquette avec planification statique
- En plongée no-déco, peut-être le moyen primaire de son compagnon s'il représente correctement l'état de saturation du plongeur considéré

Si plongée table, pas besoin de back-up car ne tombe pas en panne.



La décompression en pratique

Moyens de décompression différents au sein d'une même palanquée:

- Planifiez à sec pour éviter tout problème
- Restez groupé pendant toute la plongée
- Chacun doit respecter son moyen de déco
- Respectez le plus contraignant de la palanquée

En déco légère en plongée table, si prolongement de palier: pas de conséquence particulière mais il y a tout de même une sursaturation additionnelle (on continue à respirer de l'azote sous pression!) -> utiliser l'indice de saturation supérieur



La décompression en pratique

Si le back-up est une table pour une successive, comment estimer la charge de gaz résiduelle?

Considérer le pire cas, c-à-d. comme si on avait plongé à la table: profondeur max et temps fond (durée total – paliers – temps de remontée)

Changement de moyen de décompression: revenir à la 'case zéro'. Selon ordi, sinon 24h si unitaire, 48h si successive.

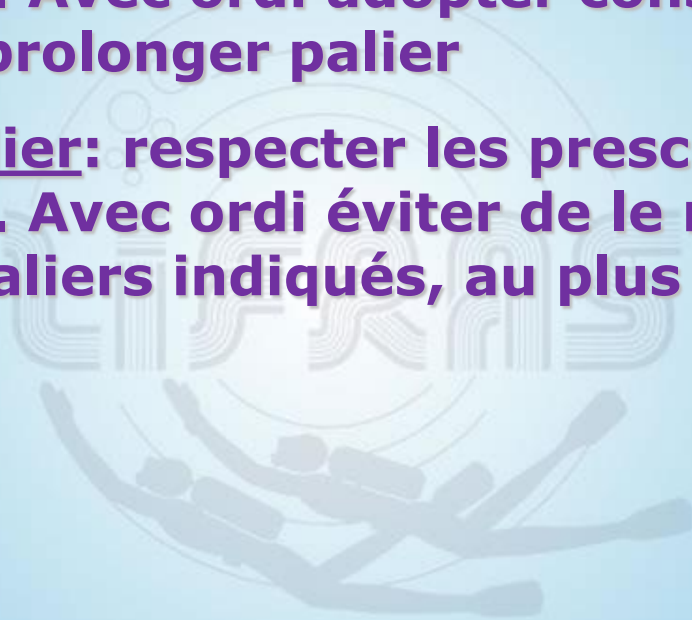
Plongée en mer difficile: si on le sait avant le départ, faire plongée sans palier. Si le temps se lève pendant, on peut à l'ordi faire une déco à une profondeur un peu plus grande pour le confort (affecte le temps de palier).



La décompression en pratique

Plongée sous effort et froid: respecter les prescriptions du moyen sélectionné. Avec ordi adopter conservatisme: écourter plongée, prolonger palier

Interruption de palier: respecter les prescriptions du moyen sélectionné. Avec ordi éviter de le mettre en mode 'erreur', faire les paliers indiqués, au plus tôt le mieux.





La décompression en pratique

Pour votre sécurité, soyez conservatifs:

- **Courbe de plongée non-palier avec palier de sécurité 5 min 5 m**
- **Ralentir la vitesse de remontée dans les derniers mètres**
- **Effectuer un palier de surface (restez dans l'eau) pendant 3-5 min si possible**
- **Si possible préférer Nitrox, Déco O2**
- **Limiter nombre de plongées successives multiples**
- **Maximiser l'intervalle de surface de min 2h**
- **Lors de planification considérer temps plus long et profondeur visée dépassée**
- **LIFRAS recommande: max 60 m à l'air et PpO2 1.6 bar**



La décompression en pratique

Planification:

On se rend compte de la complexité potentielle de la situation. Donc bien planifier avant la plongée!

En surface avant la plongée, évaluer la plongée à faire en fonction de tous les paramètres pertinents: état de saturation éventuel, condition physique, hydratation, temps depuis dernière plongée, type de plongée désirée, gaz respirés, moyens de déco primaires et back-up en cas de problème, fixer une série de critères qui conditionneront en temps réel la suite à donner durant la plongée, signes à utiliser pour exprimer ce que l'ordi donne comme info au CP...