

Plongée®
plaisir WORLDIVERS®

DÉSATURATION & ORDINATEURS DE PLONGÉE



Alain Foret

Auteur livres et supports pédagogiques Plongée Plaisir – Worldivers (www.plongee-plaisir.com)

Président du Comité Technique CMAS Monde (OC, SCR, CCR)

CC de réserve, Marine nationale (Toulon, Cephismer),

en tant qu'expert désaturation - Ordinateur connecté des Armées (ORCOM)

Invitation : FFESSM CTD 66 – 11/06/2026

Informations complémentaires suite à certaines questions de la salle :

Plus d'informations sur le modèle DCIEM :

Voir la présentation de Pascal Monestiez https://pmonestiez.github.io/dciem/PresA_v01.html#/title-slide

Plus d'informations sur le lecteur/calculateur de tables MT92 :

MTPRO <https://www.safeandsea.fr/mtpro/>

Tous mes remerciements aux organisateurs.

AF

1. Désaturation : de quoi s'agit-il ?
2. Modélisation de la désaturation (modèle, jeux de paramètres)
3. Sc (seuils critiques) et M-Values
4. Facteur de réduction (RF, Wienke) et facteurs de gradient (GF, Baker)
5. Plongées successives

JUSTIFICATION

- Endormissement en France depuis 20 ans (M-Values, GF, Facteur Q, Bühlmann, DCIEM...)

Le pire des ignorants est celui qui ne sait pas ce qu'il ne sait pas.

- Évolution des algorithmes (ordinateurs de plongée)
- Fouillis des informations sur le web et sur les réseaux sociaux

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

- Pointer les éléments clefs (pour faciliter travail personnel). Ne pas attendre d'avoir tout assimilé/compris, impossible en une conférence.
- Dit autrement : **montrer la route...**

~~DÉCOMPRESSION~~
(baisse de pression)



DÉSATURATION
(dégazage de gaz neutre)

ORDINATEURS DE PLONGÉE :

AUCUNE CERTIFICATION DU LOGICIEL

(Certification CE : mesure du temps et de la pression,
pas du logiciel)



**Mesure pression
et temps**
~~Logiciel~~



- La désaturation
- Procédures de désaturation
- Modèles de désaturation
- Ordinateurs **d'aide** à la désaturation
- Tables **d'aide** à la désaturation
- Accidents de désaturation (ADD)
- ...

NORME EN 13319

EN 13319:2000

1 Domaine d'application

La présente norme spécifie les exigences fonctionnelles et de sécurité relatives aux profondimètres, aux caractéristiques de profondimètre d'autres instruments ainsi qu'aux caractéristiques de **mesure du temps et de la profondeur** d'autres instruments.

La présente norme **ne s'applique pas aux informations affichées, destinées à l'utilisateur, en dehors de la profondeur et du temps**. Toute information relative aux obligations en matière de décompression, affichée par l'équipement couvert par la présente norme, est explicitement exclue de son domaine d'application

SATURATION

N_2 poumons = N_2 corps

SOUS-SATURATION

(accumulation de gaz neutre, azote, hélium)

→ On sature

SOUS-SATURATION

(accumulation de gaz neutre, azote, hélium)

→ On sature

SUR-SATURATION

(libération de gaz neutre)

→ On désature (12h après plongée)

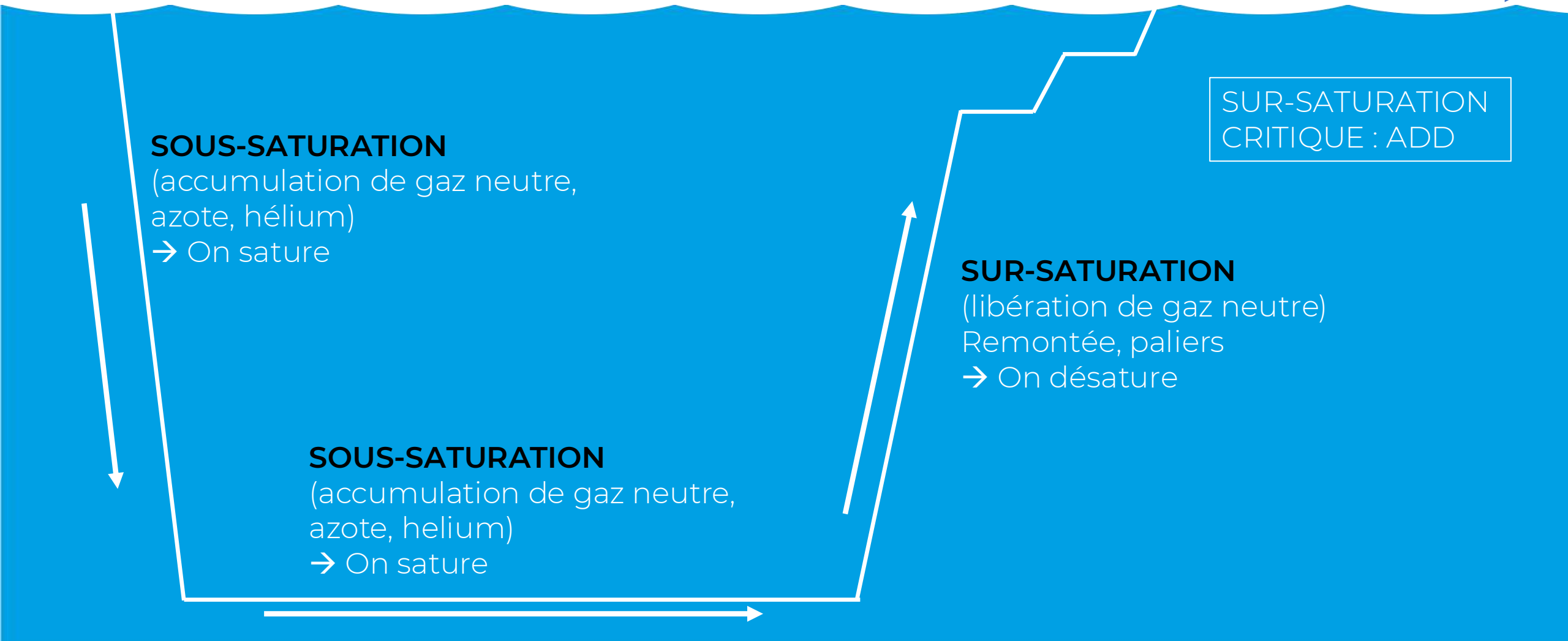
SUR-SATURATION
CRITIQUE : ADD

SUR-SATURATION

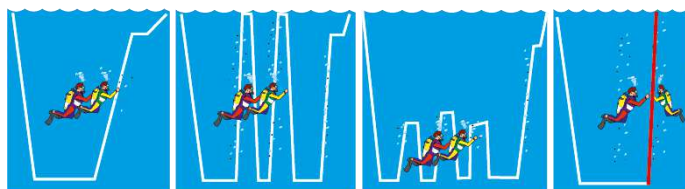
(libération de gaz neutre)

Remontée, paliers

→ On désature

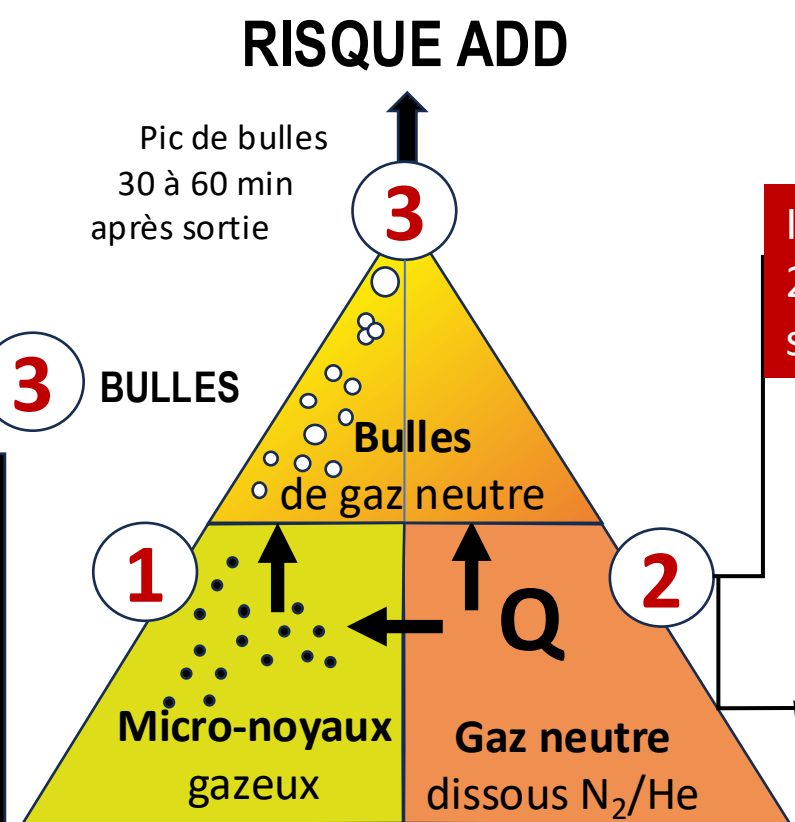
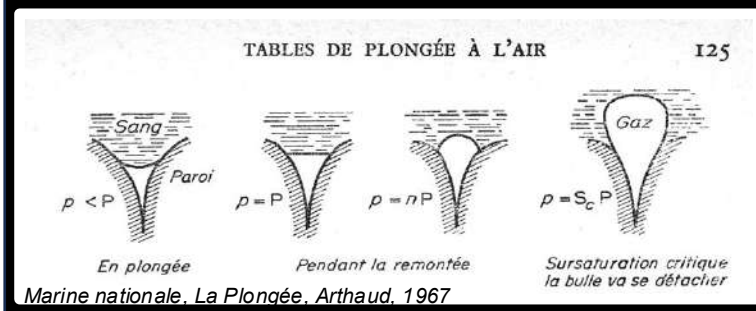
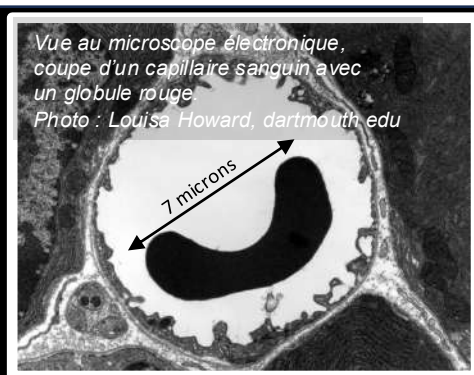
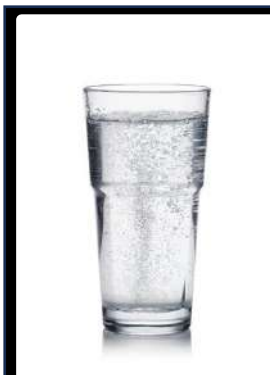


SURSATURATION (remontée + vitesse)



Remontée Yo-yo Dents de scie Remontée rapide
10 m (+/- 1 bar)

1 + **2** + SURSATURATION = **3** BULLES



RISQUE ADD

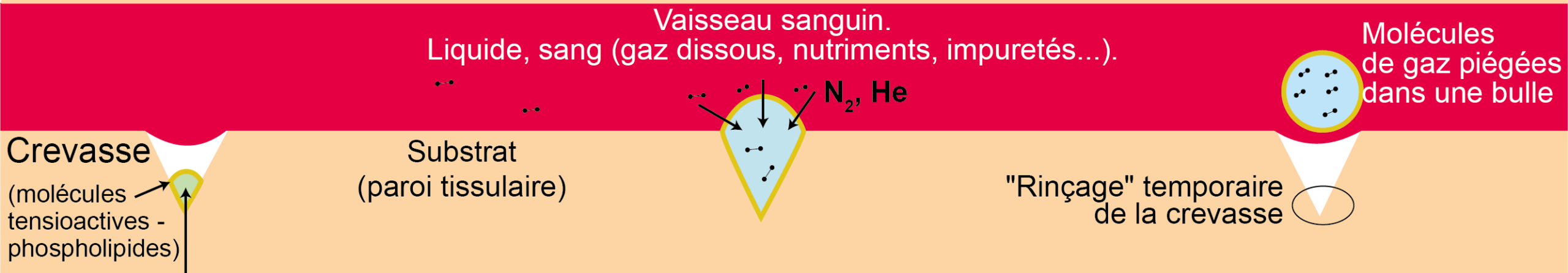
Pic de bulles
30 à 60 min
après sortie

REPRISE PROGRESSIVE
« ACCLIMATATION »
« Rinçage » noyaux
Âge : micronoyaux +++

Durée (t)
IS conseillé
2 à 4 h entre 2 plongées ess, froid, difficultés
selon sévérité désat. ...

Facteur Q (ou PrT index) = $P \times \sqrt{t}$ (Cf. BEPPA)
Indice sévérité désaturation (risque théorique ADD – source : COMEX, 50 ans de recherches, 2012)
Exemples (air) :
20 m/60 min : $20 \times \sqrt{60} = 155$ (1 / 100 000)
30 m/30 min : $30 \times \sqrt{30} = 164$ (1 / 100 000)
40 m/20 min : $40 \times \sqrt{15} = 155$ (1 / 100 000)
50 m/10 min : $50 \times \sqrt{10} = 158$ (1 / 100 000)
50 m/60 min : $50 \times \sqrt{60} = 387$ (1 / 1 000)
35 m/120 min : $35 \times \sqrt{120} = 383$ (1 / 1 000)
40 m/120 min : $40 \times \sqrt{120} = 438$ (1 / 100)
Limite plongée incursion : **Q > 420 (→ SAT)**

Bulles circulantes et micro-noyaux gazeux



1. Micro-noyaux gazeux (CO₂). Poche de gaz préexistante.

2. Apparition puis grossissement d'une bulle (N₂, He).

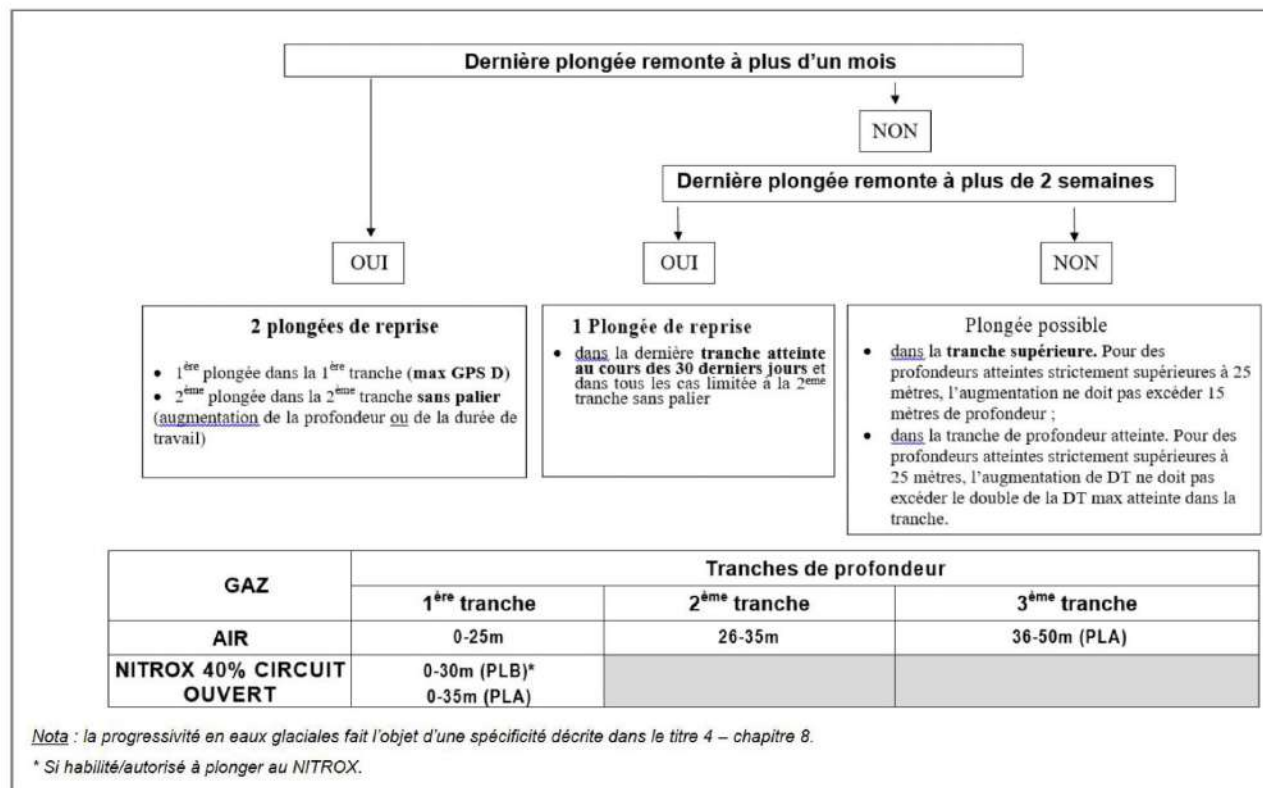
3. Libération de la bulle (détectable par Doppler à partir de 5 microns).

*Diamètre des noyaux gazeux : 1 micron ou moins.
Les capillaires sanguins ont un diamètre de 8 à 10 microns.
À titre de comparaison, le diamètre d'un cheveu est de l'ordre de 40 à 100 microns.*

© Alain Foret

Représentation simplifiée et imagée. D'après Marine nationale, *La Plongée*, Arthaud, 1967.

UNE REPRISE PROGRESSIVE (ACCLIMATATION)



Nota : la progressivité en eaux glaciales fait l'objet d'une spécificité décrite dans le titre 4 – chapitre 8.

* Si habilité/autorisé à plonger au NITROX.

15 j : 1 plongée de reprise

30 j : 2 plongées de reprise

Plongée de reprise 1

Petits fonds (< 20 m)

Pas de paliers obligatoires

Plongée de reprise 2

Prof. + 10/15 m

Durée ++ progressive

50 m : 3 plongées de reprise

PALIER PROFOND

→ Dangereux à l'air, augmente le niveau de bulles

REMONTÉES LENTES DU FOND (4 À 5 m/min)

→ danger

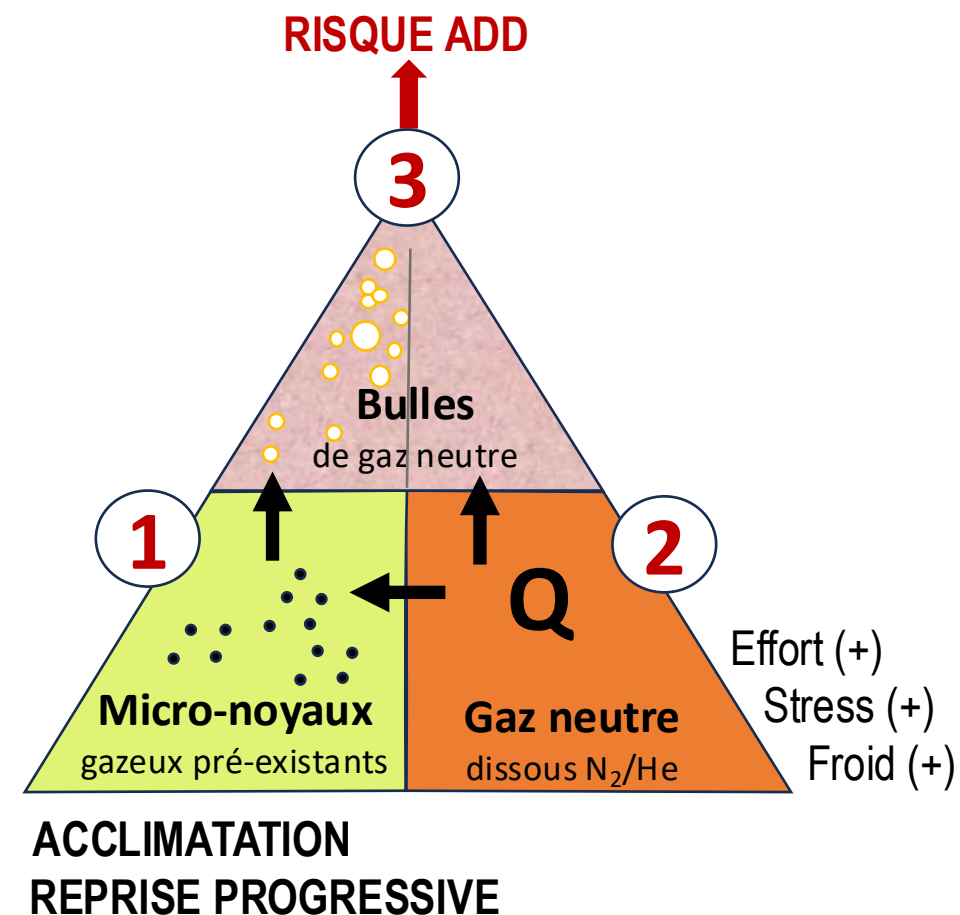
ORDI : REMONTER UN PEU POUR « EFFACER » LES

PALIER

→ danger

ÂGE (> 40 ANS / > 60 ANS) ET MICRO-NOYAUX GAZEUX

- Attention > 30 m
- Reprise progressive
- Paliers O₂ ou nitrox (Cf. BEPPA)
- Plongées nitrox
- Intervalle surface
- Profils
- Etc.



DÉTECTION DES BULLES

Par « effet Doppler (1842) », « bulles silencieuses » (ok)

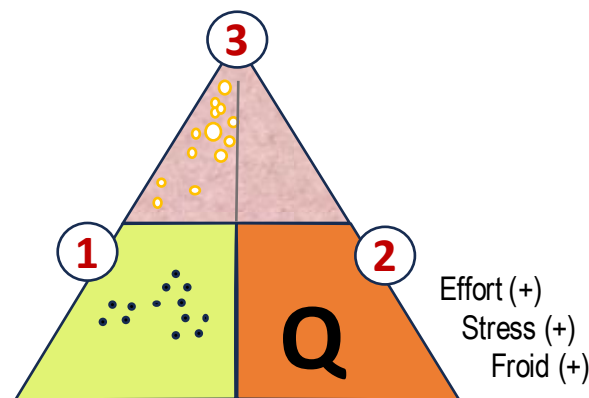
Longueur d'onde de certains sons modifiée lorsque récepteur **en mouvement**

(= **bulles circulantes**)

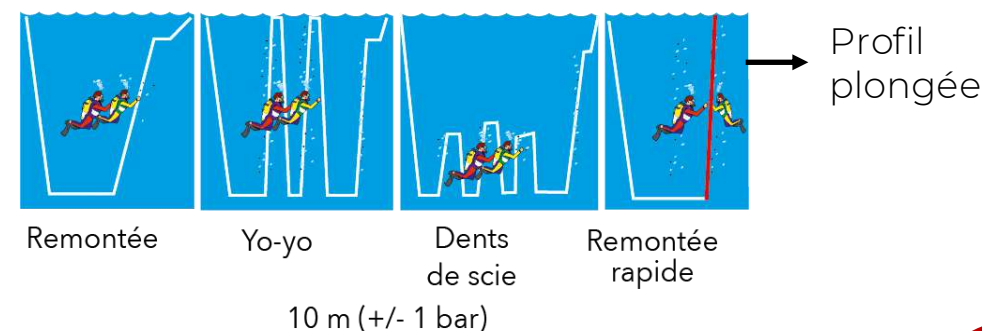
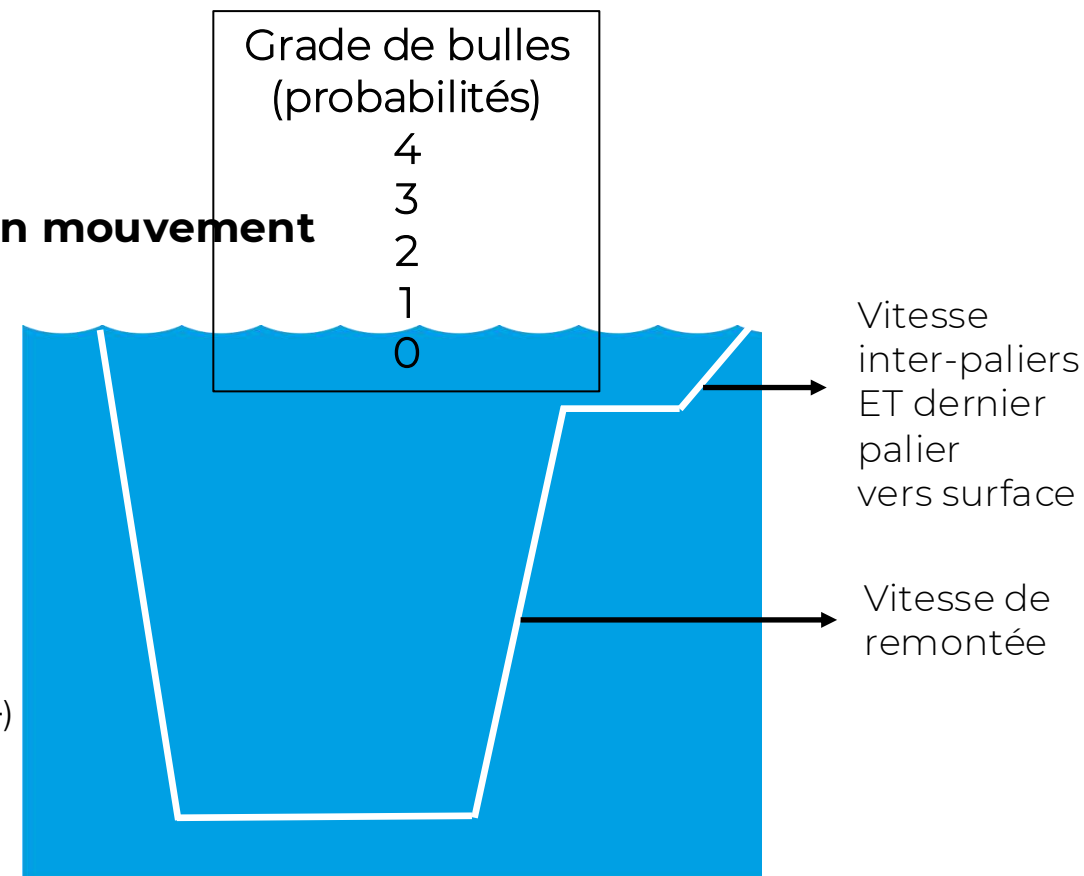


Dr Merrill P. Spencer, directeur du Virginia Mason Research Center (1968-1974)

O'Dive
Azoth Systems



Acclimatation
Retour progressif
(interruption plongée 15 j, 30 j)
→ rinçage micro-noyaux gazeux



LES **5** PILIERS DE LA PRÉVENTION DES ADD

PLUS DE 90% DES ADD AVEC RESPECT DES PROCÉDURES

1

UNE REPRISE PROGRESSIVE

(30 j / 15 j)
+ 10/15 m
Attention durée
Voir Facteur Q

2

RESPECT DU PROTOCOLE

(vitesse de remontée,
temps et profondeur
de paliers)

3

PRISE EN COMPTE DES FACTEURS FAVORISANTS

(dont la quantité
d'azote accumulée)

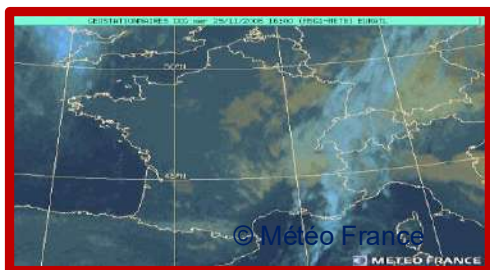
4

ÉVITER LES PROFILS À RISQUES

5

ÉVITER LES COMPORTEMENTS À RISQUES

Modéliser une réalité complexe (physique, économie, médecine, météo, ...)



ÉLABORATION D'UN MODÈLE (MODÉLISATION) – ANALYSE & RECHERCHE

Simplification



Paramètres clefs
(retenus)

- Connus (mesurables)
- ou hypothèses



Formules

Modèle
Mathématique



Fiabilité

- Indice de confiance
 - Taux d'erreur
 - Taux de risque
 - Effets secondaires
 - ...
- acceptés / acceptables



**Tests
Validation**

- Réel 
- ou bases de données 

010101
010101



Publication

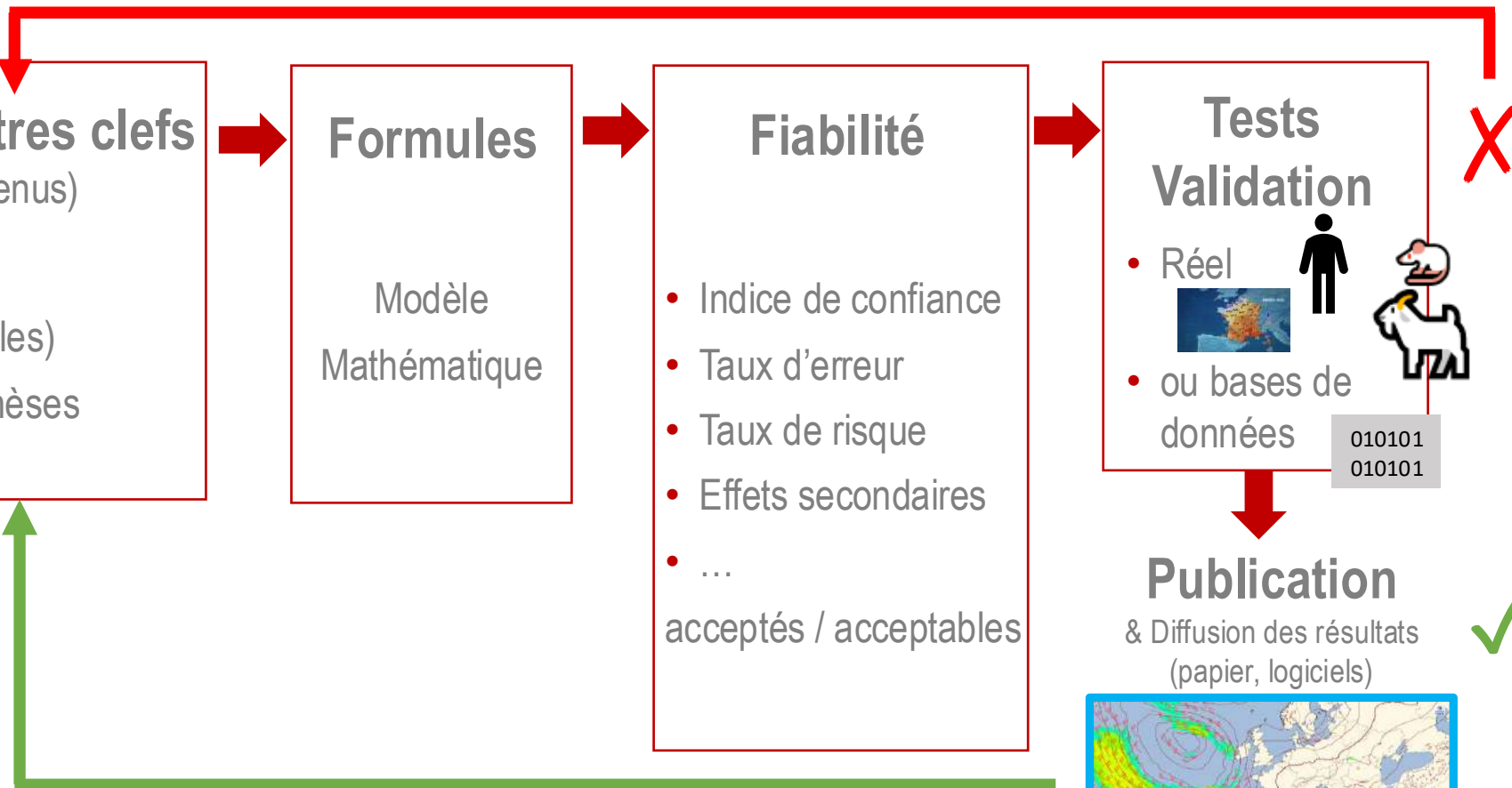
& Diffusion des résultats
(papier, logiciels)

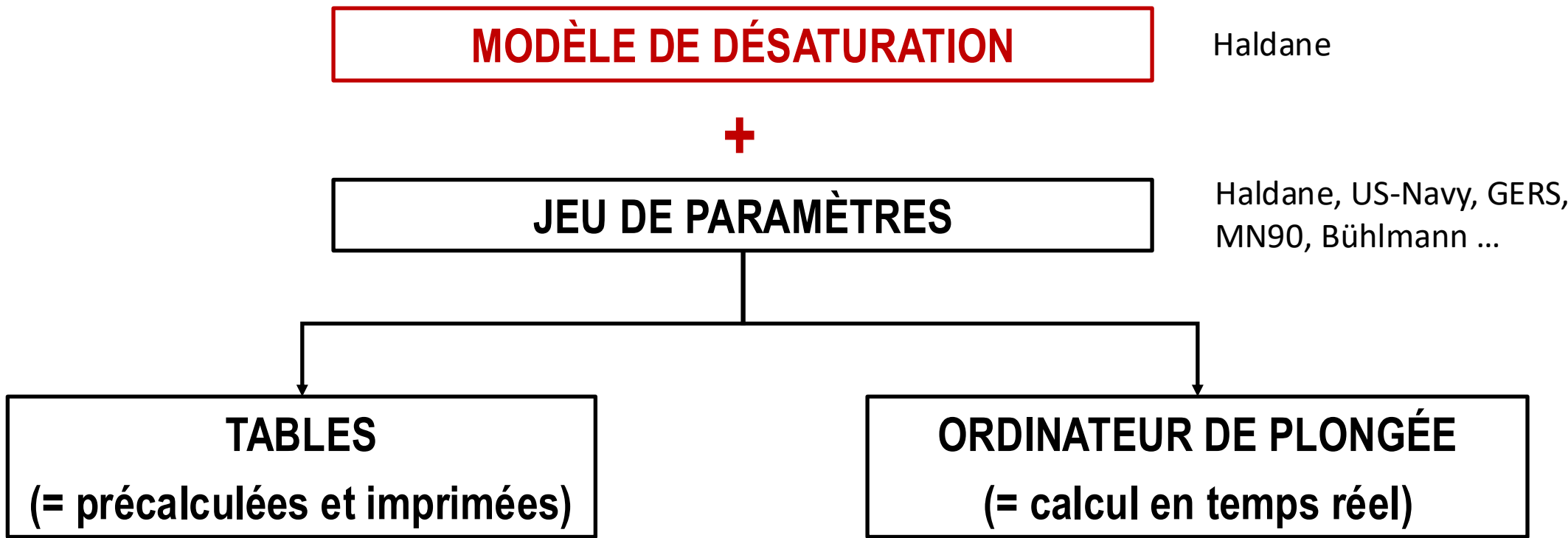


Paramètres ignorés



Mises à jour, améliorations



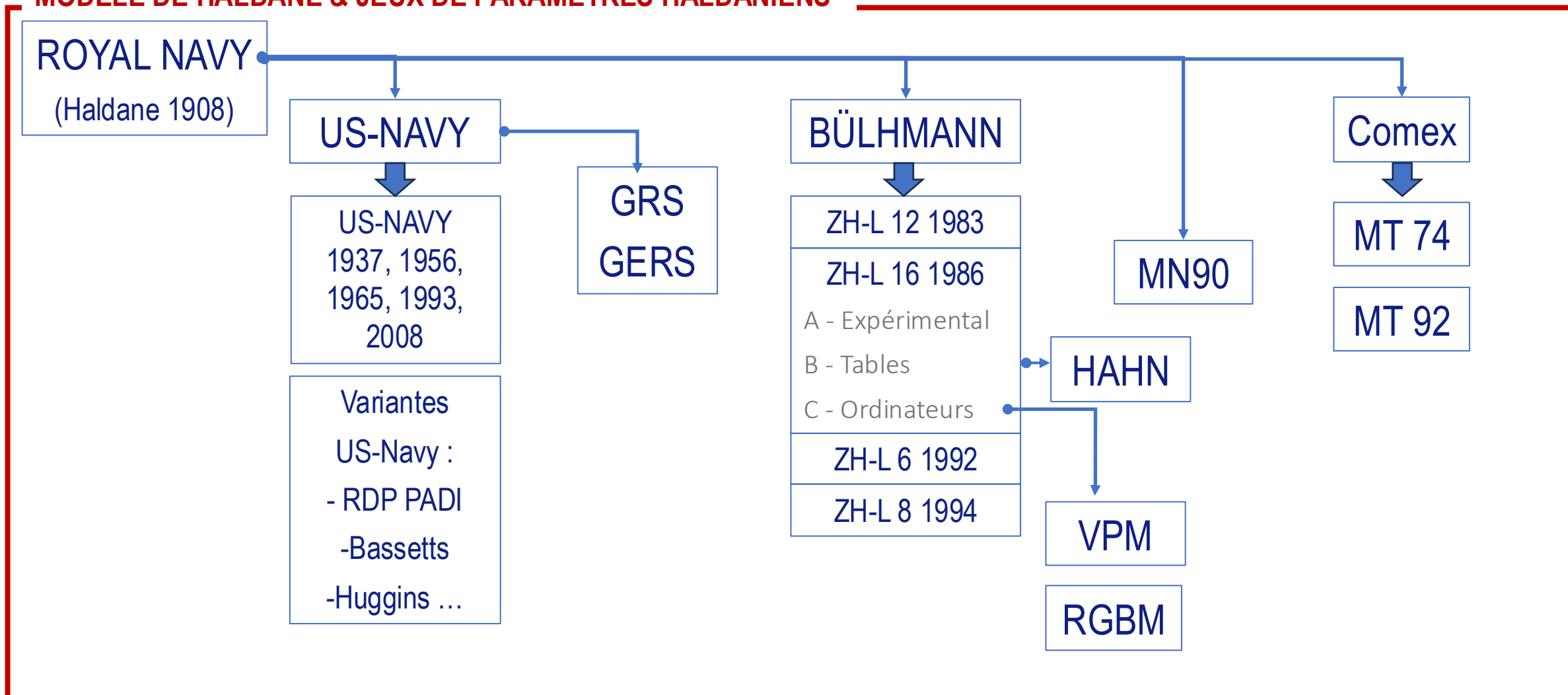


Prof.	Durée	3 m	DTR	GPS
20 m	35 min		2	G
	40 min		2	H
	45 min	1	3	I
	50 min	4	6	I
	55 min	9	11	J
	60 min	13	15	K
	1h05	16	18	K
	1h10	20	22	L

Même jeu de paramètres
Plongées identiques :
mêmes résultats



MODÈLE DE HALDANE & JEUX DE PARAMÈTRES HALDANIENS



MODÉLISÉ

UNE PLONGÉE PAR JOUR
→ **PALIER OBLIGATOIRE**

Niveau de saturation théorique
(ex. conso 20 L/min)

(Niveau de bulles théorique)

NON MODÉLISÉ

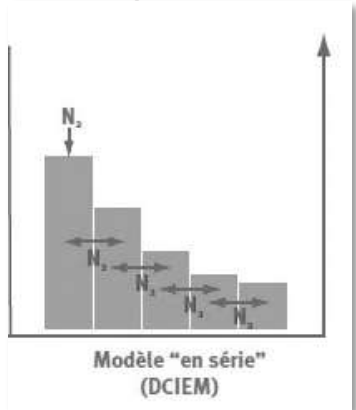
Niveau de saturation réel
Niveau de bulles réel
2 plongées par jour (ou +)
Paliers facultatifs
Paliers profonds (invalidés à l'air)
Procédures de rattrapage (1, 2, 3 min)
Passage en mode « SOS »
Remontée lente
Remontée rapide
Yo-yo (ludion)
Dents de scie (ludion)
etc. (facteurs individuels...)

MODÈLES DE DÉSATURATION

DCIEM

BSAC

HALDANE



RÉGIONS ANATOMIQUES
FACTICES : COMPARTIMENTS



Deux équations

1. Équation Haldane (Schreiner)
2. Remontée : Sc ou M-Values

Applicables à :

- Azote (air, nitrox)
- Hélium (héliox, trimix)
- PpO₂ constante (CCR)

Gestion native
des successives

Pas de modélisation
des successives

JEUX DE PARAMÈTRES (et non « modèles »)

- Haldane
 - Us-Navy et variantes (PADI, Huggins, ...)
 - MN90
 - Comex
 - Bühlmann (1982, 1986)
 - Hahn
 - RGBM (Bruce Wienke)
 - VPM, ...
- TOUS HALDANIENS

MODE D'EMPLOI

OU ALGORITHME +

- Successives
- Interruption paliers Remontée rapide
- Yo-Yo
- Dents de scie
- Effort
- Froid ...

T _{1/2} (min)	5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
Sc	2,72	2,54	2,38	2,20	2,04	1,82	1,68	1,61	1,58	1,56	1,55	1,54

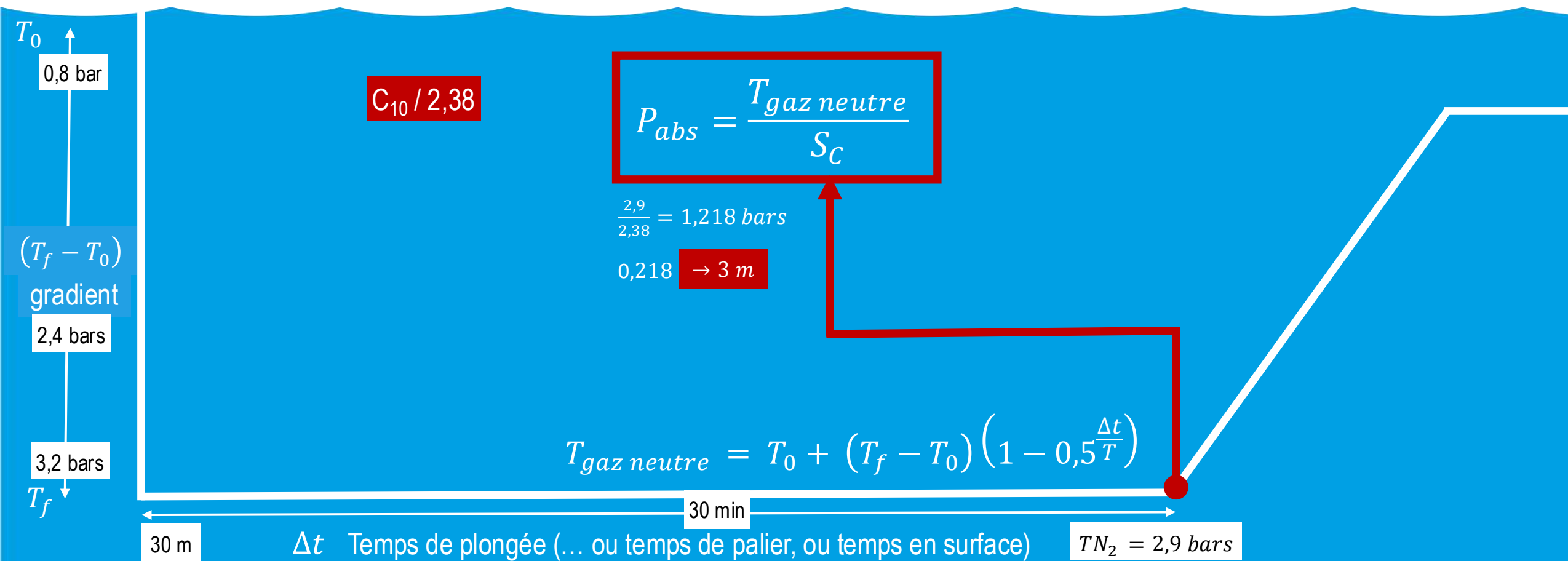
Exemple : MN90

T _{1/2} (min)	4	8	12,5	18,5	27	38,3	54,3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
M ₀ (bar)	3,24	2,54	2,25	2,03	1,85	1,69	1,59	1,52	1,47	1,43	1,4	1,37	1,34	1,31	1,29	1,27
Δ M (bar/m)	0,19	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10

Exemple : ZH-L 16 C (1986) → ZH L 16 C GF n'existe pas (invention marketing)

TABLES MN90

$T_{1/2}$ (min)	5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
Sc	2,72	2,54	2,38	2,20	2,04	1,82	1,68	1,61	1,58	1,56	1,55	1,54



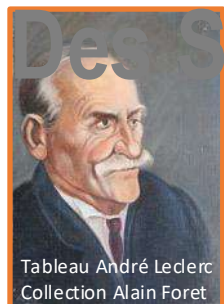


Tableau André Lederer
Collection Alain Foret

J. S. Haldane, 1908

Des Sc aux M-values

$$P_{abs} = \frac{T_{gaz\ neutre}}{S_c}$$

$$T_{gn\ max} = S_c \times P_{abs}$$

$$= S_c \left(P_{atm} + \frac{p}{10} \right)$$

Conversion P_{abs}
en profondeur

$$= S_c \times P_{atm} + \frac{1}{10} S_c \times p$$

Même équation

$$T_{gn\ max} = M_0 + \Delta M \times p$$

M_{value}

Une variable
supplémentaire

T_{gn} : Tension de gaz neutre (ex. N_2)

ΔM Variable supplémentaire
Tout modèle à S_c peut se
transformer en modèle à M-Values

$$S_c \rightarrow M_0$$

$$10\% S_c \rightarrow \Delta M$$

Ex. MN90

C_{10}
2,38

0,238

Workman

C_{10}
2,68

0,268

-% \rightarrow 0,16

Bühlmann

C_8
2,54

0,254

-% \rightarrow 0,153



Photo www.uhms.org

Équation de
Robert D. Workman
(1965)

M-Values Albert A. Bühlmann : notées a,b

Albert A. Bühlmann
(ZH-L 12, 16, paires de coef. a et b
avec 16 compartiments)



$$M_0 = a + \frac{P_{amb} (surface)}{b}$$

$$\Delta M = \frac{1}{b}$$



Photo www.uhms.org

Équation de
Robert D. Workman
(1965)

ANNEXE I

Extrait de Bühlmann A. A., Vollm E. B., Nussberger P., Tauchmedizin, Springer-Verlag, 2002, p. 158.

8 Theoretische Toleranzgrenzen und experimentelle Ergebnisse

Tabelle 25. Die Koeffizienten ZH-L16 für N₂

Kompartiment Nr.	t _{1/2} N ₂ [min]	ZH-L16A „theoretisch“		ZH-L16B Tabelle a	ZH-L16C Computer a
		b	a		
1	4,0	0,5050	1,2599	1,2599	1,2599
1 b	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

Tabelle 26. Die Koeffizienten ZH-L16A für Helium

Kompartiment Nr.	t _{1/2} He [min]	Koeffizient b	Koeffizient a
1	1,51	0,4245	1,7424
1 b	1,88	0,4770	1,6189
2	3,02	0,5747	1,3830
3	4,72	0,6527	1,1919
4	6,99	0,7223	1,0458
5	10,21	0,7582	0,9220
6	14,48	0,7957	0,8205
7	20,53	0,8279	0,7305
8	29,11	0,8553	0,6502
9	41,20	0,8757	0,5950
10	55,19	0,8903	0,5545
11	70,69	0,8997	0,5333
12	90,34	0,9073	0,5189
13	115,29	0,9122	0,5181
14	147,42	0,9171	0,5176
15	188,24	0,9217	0,5172
16	240,03	0,9267	0,5119

Un jeu de paramètres haldaniens (air, nitrox) : ZH-L 16 C (Bühlmann, 1986)

1	$T_{1/2}$ (min)	4	8	12,5	18,5	27	38,3	54,3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
2	M_0 (bar)	3,24	2,54	2,25	2,03	1,85	1,69	1,59	1,52	1,47	1,43	1,4	1,37	1,34	1,31	1,29	1,27
	ΔM (bar/m)	0,19	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10

$$M_p = M_0 + (\Delta M \times p)$$

Exemple $T_{1/2}$ 12,5'

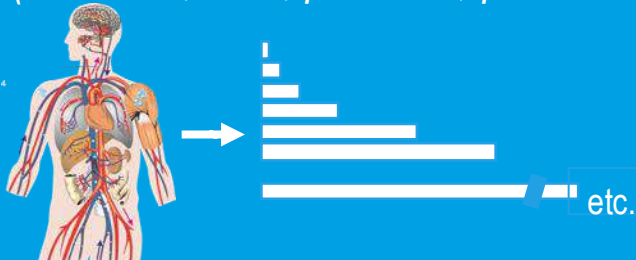
$$M_{0m} = 2,25 \text{ bar}$$

$$M_{3m} = 2,25 + 3 \times 0,14 = 2,67 \text{ bar}$$

$$M_{6m} = 2,25 + 6 \times 0,14 = 3,09 \text{ bar}$$

M-Value et GF :
100% ordinateurs

Demi-vie :
calcul du niveau de saturation
(descente, fond, parcours, paliers ...)



$$T_{\text{gaz neutre}} = T_f + R \left(t - \frac{T}{\ln 2} \right) - \left(T_f - T_0 - R \times \frac{T}{\ln 2} \right) \times 0,5^{\frac{t}{T}}$$

30 m / 30 min

M-Values :
fixent les conditions
de la remontée

$T_{1/2}$ 12,5 min
2,7 bars



Photos Fabricants

Un jeu de paramètres haldaniens (hélium) : ZH-L 16 (Bühlmann, 1986)

AIR/NITROX

N ₂	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T _{1/2}	4	8	4,72	12,5	18,5	27	38,3	54,3	77	109	146	187	239	390	498	635

Rapport de la masse molaire des gaz : demi-vies divisées par **2,645**

HÉLIOX

He	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T _{1/2}	1,51	3,02	4,72	6,99	10,21	14,48	20,53	29,11	14,20	55,19	70,69	90,34	115,3	147,4	188,2	240

TRIMIX

Moyenne pondérée des valeurs du jeu de paramètres air/hélium en fonction du %N2 et %He

**Bühlmann
1986**



(Comex, 1992), Hélium paliers courts/profonds en début de désaturation
 → Prévention ADD vestibulaires (Oreille interne) et bends
 → Modification ZH-L 16 en appliquant des GF asymétriques (ex. 30.70) → force des paliers profonds (héliox, trimix uniquement)

SÉCURISEZ VOS PLONGÉES

Reprise
progressive

Éviter les
comporte
ments à
risque

Éviter les
profils à
risque

Plonger
souvent

Renoncer à
plonger

Réduire
profondeur

Réduire
Durée

Paliers
Nitrox
O₂

Sport
quotidien

Hygiène
de vie

Plongée
nitrox

1 seule
plongée / j

Limiter
Facteur Q

Repos

Durcir les
GF

Modèle de Haldane

Jeux de paramètres avec Sc



Peut se transformer en jeux de paramètres à M-Values

$$M_0 = Sc \times P_{atm}$$

$$\Delta M = 10\% \text{ de } M_0$$



Si M-Values, GF possible pour durcir la désaturation

Gradient Factors (GF)

PRINCIPE

Réduire les M-Values acceptées à la remontée

→ Augmente la durée des paliers (et, selon les cas, leur profondeur).

MÉTHODE

GFlow = premier palier, le plus profond

GFhigh = dernier palier le plus proche de la surface

M-Values et Facteurs de Gradient (GF)

1	$T_{1/2}$ (min)	4	8	12,5	18,5	27	38,3	54,3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
2	M_0 (bar)	3,24	2,54	2,25	2,03	1,85	1,69	1,59	1,52	1,47	1,43	1,4	1,37	1,34	1,31	1,29	1,27
	ΔM (bar/m)	0,19	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10

$$M_p = M_0 + (\Delta M \times p)$$

Exemple $T_{1/2}$ 12,5'

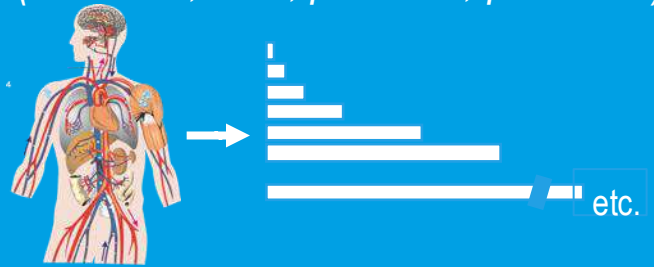
$$M_{0m} = 2,25 \text{ bar}$$

$$M_{3m} = 2,25 + 3 \times 0,14 = 2,67 \text{ bar}$$

$$M_{6m} = 2,25 + 6 \times 0,14 = 3,09 \text{ bar}$$

	2,12	1,87
	2,53	2,26
	2,94	2,64
	GF 90/90	GF 70/70

Demi-vie :
calcul du niveau de saturation
(descente, fond, parcours, paliers ...)



$$T_{\text{gaz neutre}} = T_f + R \left(t - \frac{T}{\ln 2} \right) - \left(T_f - T_0 - R \times \frac{T}{\ln 2} \right) \times 0,5^{\frac{t}{T}}$$

30 m / 30 min

M-Values :
fixent les conditions
de la remontée

$T_{1/2}$ 12,5 min
2,7 bars

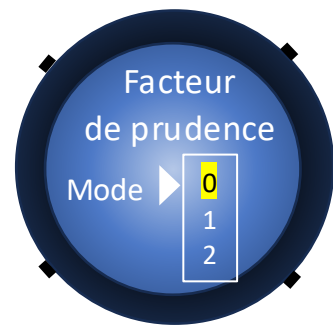
Paliers
+ longs

Paliers
+ profonds
+ longs

GF : rien de nouveau

Pré-paramétrés (depuis 30 ans)

- Scubapro : L0, L1... ; MBLO, MBL1...
- Suunto : P0, P1...
- Mares : R0, R1...
- Cressi Sub : SF0, SF1, SF2...
- Seac : SFT LEV de 0 à 5
- Tusa : SF0, SF1...



Photos Fabricants

Saisie libre



- Shearwater
- Garmin
- OSTC
- Scubapro certains modèles
- Suunto Ocean
- ...

GF : quelle
utilité,
pourquoi ?

Air/Nitrox :
Accroître les paliers
(marge de sécurité)

GF jumeaux
ex. 90/90
85/85
80/80

Héliox/trimix :
Forcer des paliers
profonds

GF asymétriques
ex. 30/70
50/80

Reste arbitraire

Prof. (m)	Durée (min)	GF	Paliers (min)					Écart tables (min)
			12 m	9 m	6 m	3 m	Total	
18	45	T ZH86				0	0	n/a
18	45	100/100				0	0	0
18	45	95/95				0	0	0
18	45	90/90				0	0	0
18	45	85/85				1	1	+1
18	45	80/80				3	3	+3
18	45	75/75				5	5	+5
21	40	T ZH86				2	2	n/a
21	40	100/100				0	0	-2
21	40	95/95				1	1	-1
21	40	90/90				2	2	0
21	40	85/85				4	4	+2 (+100%)
21	40	80/80				7	7	+4 (+200%)
21	40	75/75				9	9	+7 (+350%)
30	30	T ZH86			2	7	9	n/a
30	30	100/100				7	7	-2
30	30	95/95			1	8	9	0
30	30	90/90			1	10	11	+2 (+22%)
30	30	85/85			2	12	14	+5 (+55%)
30	30	80/80			3	14	17	+8 (+89%)
30	30	75/75			5	16	21	+12 (+133%)
39	20	T ZH86			3	7	10	n/a
39	20	100/100			1	7	8	-2
39	20	95/95			2	7	9	-1
39	20	90/90			3	8	11	+1 (+10%)
39	20	85/85		1	4	10	15	+5 (+50%)
39	20	80/80		1	5	11	17	+7 (+70%)
39	20	75/75		2	5	13	20	+10 (+100%)
50	15	T ZH86			2	4	8	n/a
50	15	100/100			1	4	8	-1
50	15	95/95			1	4	9	0
50	15	90/90			1	5	9	+1 (+7%)
50	15	85/85			2	5	11	+4 (+29%)
50	15	80/80	1		3	5	13	+8 (+57%)
50	15	75/75	1		6	6	16	+15 (+107%)

A. PLONGÉES AZOTE (AIR/NITROX)

$Gf_{low} = Gf_{high}$ = entre 90/90 et 80/80

Pourquoi ?

2 raisons :

1. Ne pas faire moins de paliers qu'avec les tables papier.
2. Prendre une marge de sécurité (facteurs favorisant les ADD).

GF ASYMÉTRIQUES (ex. 30/70, 50/80...)



Forcer des paliers profonds



Pourquoi ?

Plongées hélium (**trimix, heliox**)

Prévenir les risques de :

- Bends ;
- ADD de l'oreille interne ;
- Ostéonécrose.

Courts paliers (1') à partir de ½ P. ou plus

À L'AIR : DANGEREUX

Prof. m	Durée min	GF %	Paliers (min)							
			21 m	18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m	
30	30	100/100							1	10
30	30	90/90							2	12
30	30	60/90							5	10
30	30	45/80						3	5	13
30	30	30/70				1	3	7	17	
50	15	100/100						1	4	9
50	15	90/90						2	5	11
50	15	60/90				2	2	5	10	
50	15	45/80			1	2	4	6	13	
50	15	30/70		1	2	2	4	7	17	

TABLE XXV. Comparaison des profils de désaturation (ZH-L₁₆C 1b, air, atm = 1) avec différents jeux de GF.

5. LES PLONGÉES SUCCESSIVES :

Pas simplement la suite d'une d'une précédente plongée

1. NON-MODÉLISATION DES SUCCESSIVES CHEZ HALDANE – DÈS 1908

Se contenter de considérer le gaz neutre résiduel dans chacun des compartiments à l'issue de l'intervalle en surface ne suffit pas.

2. Procédure de 1908 à 1948

« Pour répondre au risque accru lors de la décompression, il est souhaitable, pour calculer les paliers, d'additionner les deux périodes d'exposition. »

3. 1948-1952 : Le Cdt Jean Alinat invente la méthode de la sur-pénalisation par le GPS (majoration)

GPS : Un compartiment (ex. 120 min) dicte la désaturation en surface

Repris dans toutes les tables au monde (U.S Navy, Bühlmann...)

4. Années 1980, adaptation du GPS pour les ordinateurs

- Haldane J.-S. et coll., *The Prevention of decompression air Illness*, J. Hyg., 1908, pp. 369-370.
- Haldane J.-S. et coll., *The Prevention of decompression air Illness*, J. Hyg., 1908, p. 370.
- *US-Navy Diving Manual*, 1916, chapitre X, p. 84.
- GRS, PV « Essais et recherches » n°41 du 12 mai 1948, PV n° 47 et note n° 84 GRS du 16 mars 1949.
- *La plongée en scaphandre*, 1949
- Lang and Vann dans *Proceedings of repetitive Diving Workshop*, American Academy of Underwater Sciences, March 18-19, 1991, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina, USA, p. 123.



Milieu années 1980 : Adaptation du GPS pour les ordinateurs de plongée

Algorithme additionnel (hors modélisation)

$$Td = 1 - 0,5^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

- Choix d'un compartiment directeur en surface (ex. 60 ou 120 min)
- Le niveau de désaturation de ce compartiment en fin d'intervalle surface est calculé (ex. 15%, 20%, 50%...) et appliqué à tous les autres compartiments.

		Compartiments (demi-vie en minutes), exemples						
IS (min)		5	10	15	20	60	80	120
30		-98%	-88%	-75%	-65%	-29%	-23%	-16%
60		-100%	-98%	-94%	-88%	-50%	-41%	-29%
90		-100%	-100%	-98%	-96%	-65%	-54%	-41%
120		-100%	-100%	-100%	-98%	-75%	-65%	-50%
150		-100%	-100%	-100%	-99%	-82%	-73%	-58%
180		-100%	-100%	-100%	-100%	-88%	-79%	-65%
240		-100%	-100%	-100%	-100%	-94%	-88%	-75%

Milieu années 1980 : Adaptation du GPS pour les ordinateurs de plongée

Compartiments (demi-vie en minutes), exemples							
IS (min)	5	10	15	20	60	80	120
30	-98%	-88%	-75%	-65%	-29%	-23%	-16%
60	-100%	-98%	-94%	-88%	-50%	-41%	-29%
90	-100%	-100%	-98%	-96%	-65%	-54%	-41%
120	-100%	-100%	-100%	-98%	-75%	-65%	-50%
150	-100%	-100%	-100%	-99%	-82%	-73%	-58%
180	-100%	-100%	-100%	-100%	-88%	-79%	-65%
240	-100%	-100%	-100%	-100%	-94%	-88%	-75%

A	B	C	D	E	F
N° de compartiment	T _{1/2} (min)	N ₂ résiduel lors de l'arrivée en surface	N ₂ résiduel en fin d'intervalle surface (pas de compartiment directeur)	N ₂ résiduel fin d'IS, taux de désaturation avec compartiment directeur de 60 min*	N ₂ résiduel fin d'IS, taux de désaturation avec compartiment directeur de 120 min*
1	4	1,45838	0,80027	1,03043395	1,18845
2	8	1,88871	0,80072	1,18105022	1,44234
3	12,5	2,01829	0,80855	1,22640263	1,51879
4	18,5	1,97976	0,84075	1,21291548	1,49606
5	27	1,84004	0,90343	1,16401405	1,41362
6	38,3	1,6679	0,97047	1,10376581	1,31206
7	54,3	1,49162	1,01942	1,04206527	1,20805
8	77	1,33247	1,03698	0,98636461	1,11416
9	109	1,20042	1,02604	0,94014613	1,03625
10	146	1,11069	1,00275	0,9087409	0,98331
11	187	1,04874	0,97826	0,88705845	0,94676
12	239	0,99848	0,95294	0,86946752	0,9171
13	305	0,95795	0,92878	0,85528313	0,89319
14	390	0,92507	0,90662	0,84377367	0,87379
15	498	0,89892	0,8873	0,83462118	0,85836
16	635	0,8782	0,87091	0,82736959	0,84614

Prof. (m)	Durée (min)	Facteur Q	Paliers (min) Sans surpénéalisation	Paliers (min) Surpénéalisation C _{60 min}		Paliers (min) Surpénéalisation C _{120 min}	
			3 m	6 m	3 m	6 m	3 m
12 m	60 min	92	0		0		0
15 m	60 min	116	0		0		0
18 m	45 min	120	0		0		6
18 m	60 min	139	3		7		14
20 m	45 min	134	1		6		12
20 m	60 min	154	13		15		23
25 m	30 min	136	1		6		15
25 m	45 min	167	20		21	2	29
30 m	15 min	116	0		1		5
30 m	20 min	134	1		5		13
30 m	30 min	164	13	1	18	4	24

Comparaison, en guise d'illustration, selon que l'on pratique ou non une correction pour les plongées successives (jeu de paramètres ZH-L 16 C).

LES PLONGÉES SUCCESSIVES : NON MODÉLISÉES

MODÉLISATION

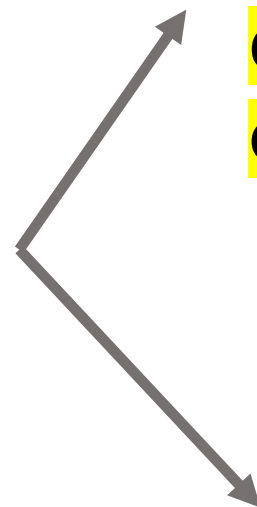
(HALDANE et tous les jeux de paramètres haldaniens)

1 PLONGÉE / 24 h

Tables : Surpénalisation additionnelle (mode d'emploi), non modélisée : GPS (*Repetitive Group*)

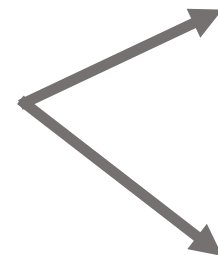
Création du GPS : 1948-1952,

GRS/GERS Cdt Jean Alinat

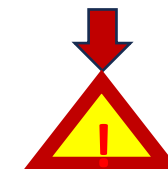


Ordinateurs

Algorithme additionnel
Taux de désaturation surface C_{120}
ou C_{60} appliqué à tous les
compartiments

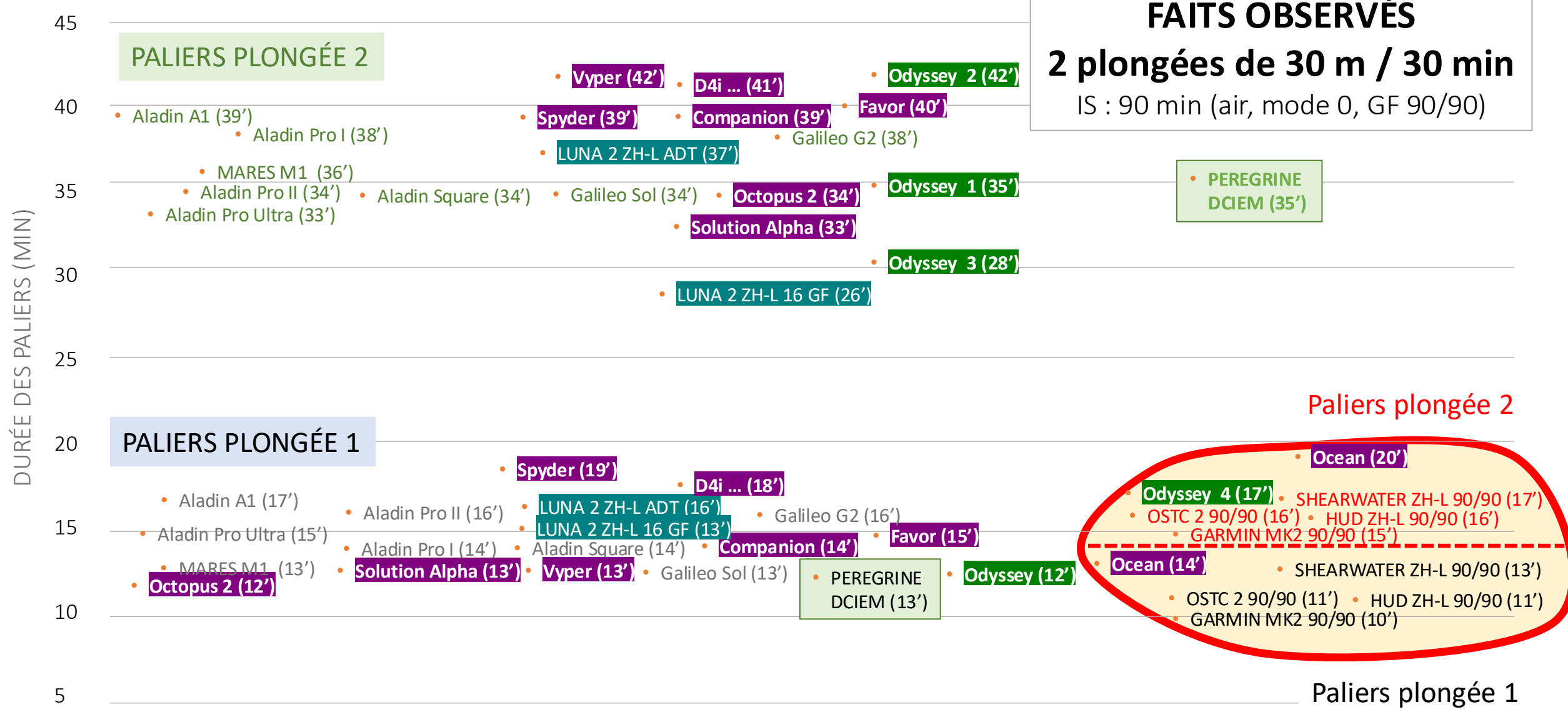


Sinon, pas de correction



Selon modèles ordi.

FAITS OBSERVÉS
2 plongées de 30 m / 30 min
 IS : 90 min (air, mode 0, GF 90/90)



Paliers plongée 2

Ocean (20')

Odyssey 4 (17')

SHEARWATER ZH-L 90/90 (17')

OSTC 2 90/90 (16')

HUD ZH-L 90/90 (16')

GARMIN MK2 90/90 (15')

Ocean (14')

SHEARWATER ZH-L 90/90 (13')

OSTC 2 90/90 (11')

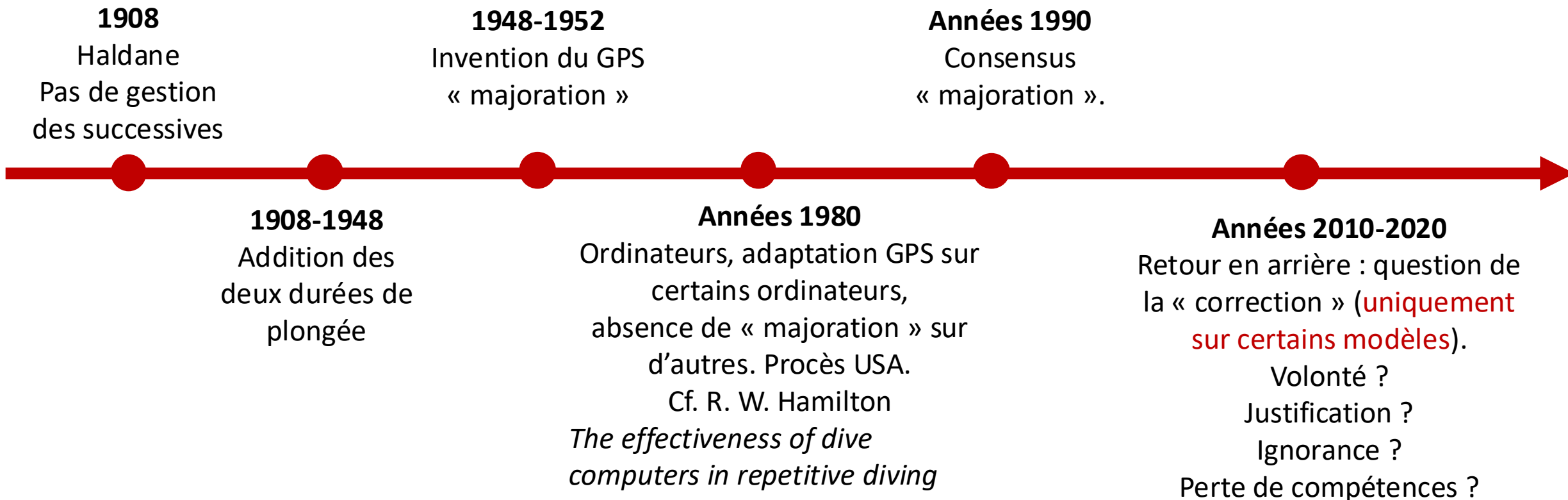
HUD ZH-L 90/90 (11')

GARMIN MK2 90/90 (10')

Paliers plongée 1

Les choses peuvent nous paraître nouvelles pour avoir été
seulement oubliées.

Adaptation d'après Albert CAMUS, Noces



Plongée®
plaisir WORLDIVERS®

JE VOUS
REMERCIE



Alain Foret

Auteur livres et supports pédagogiques Plongée Plaisir – Worldivers (www.plongee-plaisir.com)

Président du Comité Technique CMAS Monde (OC, SCR, CCR)

CC de réserve, Marine nationale (Toulon, Cephismer),

en tant qu'expert désaturation - Ordinateur connecté des Armées (ORCOM)

Invitation : FFESSM CTD 66 – 11/06/2026