

# La désaturation : perfectionnement et organisation

Colloque des moniteurs de la Somme

# Plan

- .Introduction
- .Epidemiologie
- .Rappel
- .Modèles haldaniens
- .Autres modèles
- .Direction plongée et désaturation

# Introduction

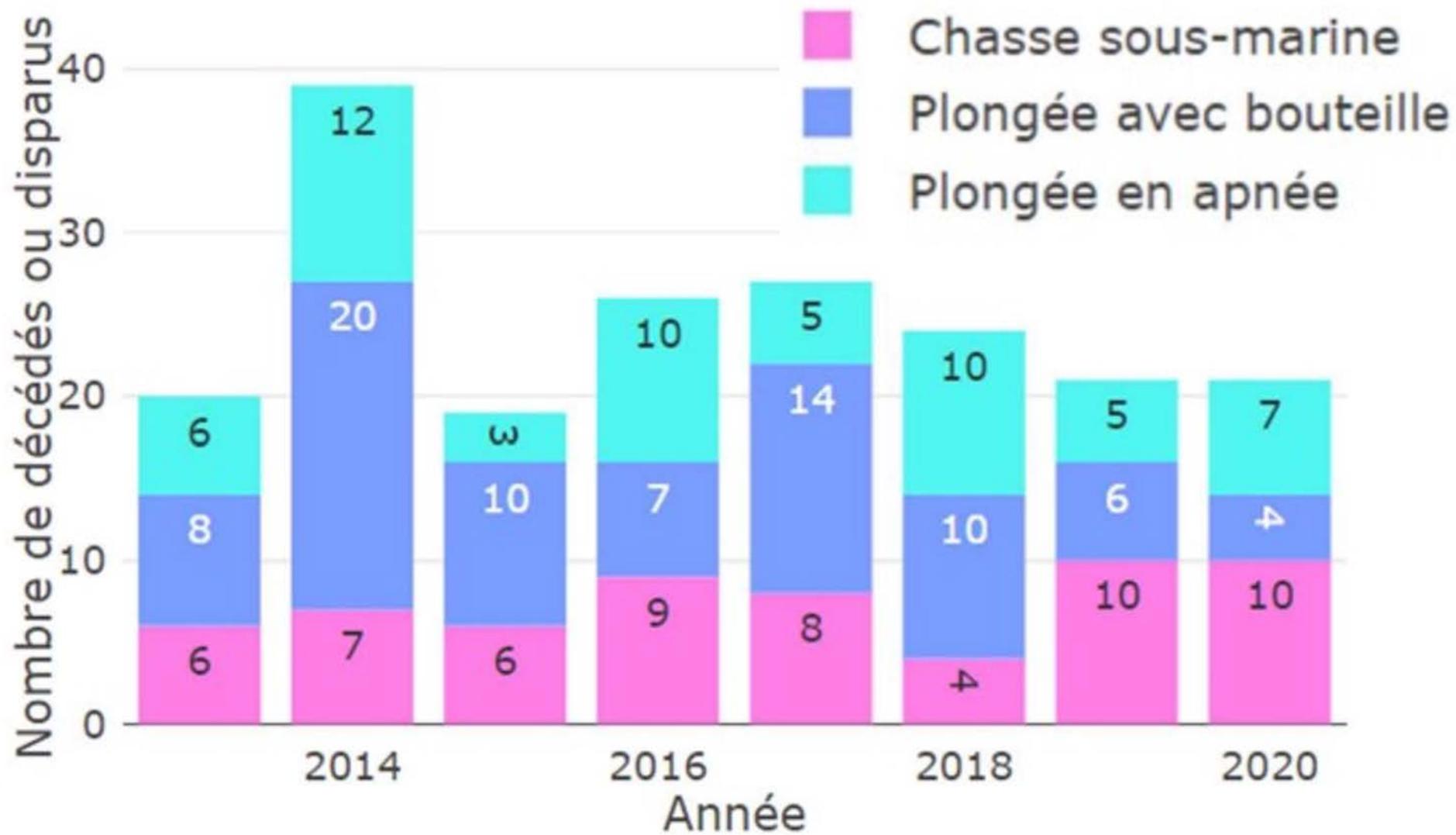
- « Un modèle est une **simplification** d'une réalité complexe ».
- La grande majorité (90%) des ADD, ont lieu dans le respect du protocole de désaturation.
- Dans tout modèle, il existe une part de risque qui est jugée **acceptable**.
- La **validation** des modèles recourt à des bases de données.

# Statistique

## Opérations de plongée depuis 2013

*La plongée concerne les opérations de plongée apnée, plongée bouteille et chasse sous-marine*





# Epidemiologie Marine Nationale

- Peu de données en plongée loisir en France.
- Données de la marine nationale disponibles.
- Les plongeurs de la marine : 150 000 plongées/an  $\pm$  10 %
- Nombre de plongeur : 1 800 plongeurs
  - Plongeurs de bord : 1600 plongeurs (air, profondeur max 35 m)
  - Plongeurs d'armes : 200 plongeurs (air

# Résultats

- .De 1990 à 2002 : **61** accidents de désaturation.
- .Respect de la procédure **tables MN90** : *à priori* proche de 100 %
- .Risque admis : 1 accident/ 30 000 plongées

# Répartition

Catégorie de plongeurs	Effectif	Nombre d'accident
Plongeurs de bord	1600	26
Plongeurs démineurs	200	33
Nageurs de combat	70	2

# Evolution

- .Aucun décès à déplorer.
- .Atteinte neurologique 89 % dont 66 % médullaire
- .Accident vestibulaire 8 %
- .Osteo articulaire 3 %
- .Evolution favorable des accidents neurologiques avec une récupération **dans 97 %**
- .Prise en charge **précoce** en caisson hyperbare

Rappel

1 litre d'air  
à 1 bar.



0,2 bar d'O<sub>2</sub> (20%)  
0,8 bar de N<sub>2</sub> (80%)

1 litre d'air  
à 2 bars.



0,4 bar d'O<sub>2</sub> (20%)  
1,6 bar de N<sub>2</sub> (80%)

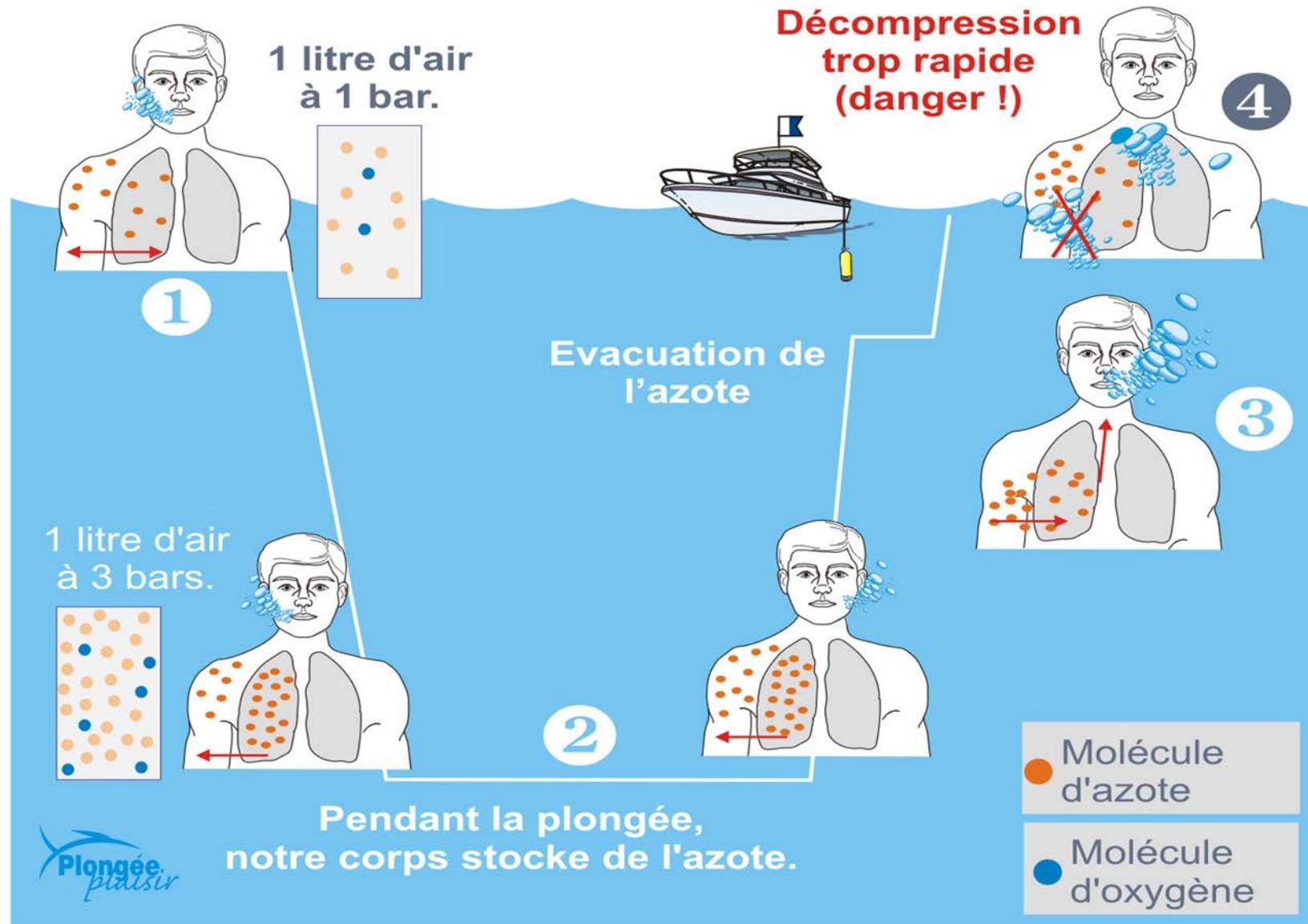
10 m

1 litre d'air  
à 3 bars.



20 m

-  Molécule d'azote
-  Molécule d'oxygène



# Historique

- Au XIXe, Travail en milieu hyperbare (mines, piles de ponts) observation mal des caissons, la recompression soulage les symptômes.
- Paul BERT : Rôle des bulles intravasculaires.
- Préconisation d'une remontée lente, de l'ordre **0,5 à 1m/min.**

# Haldane

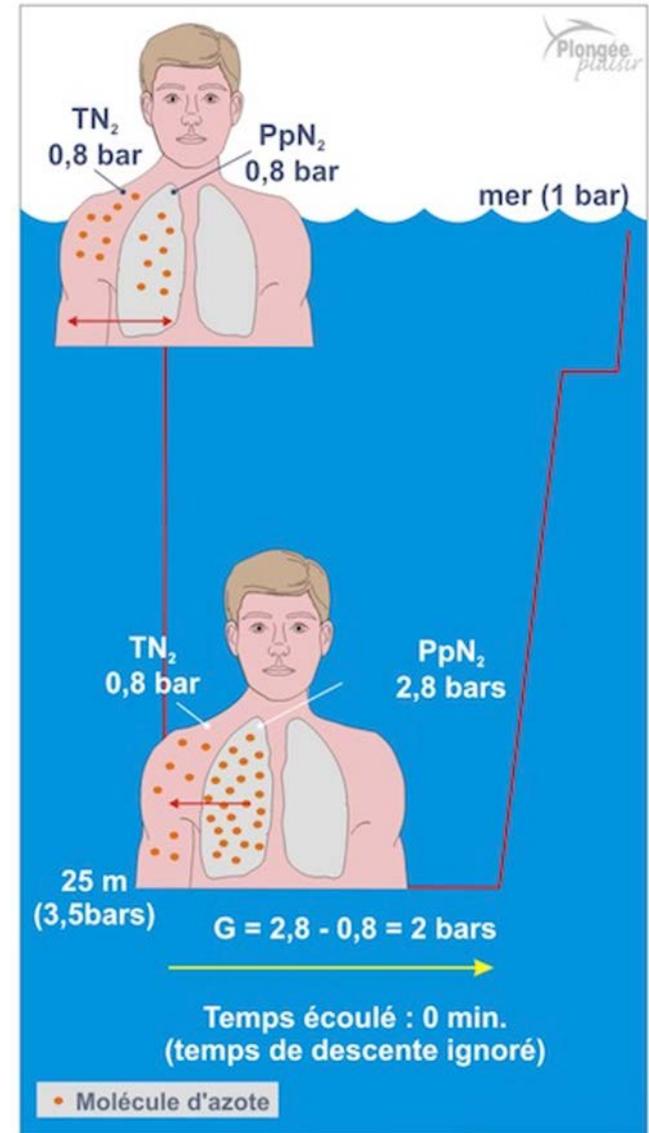
- La remontée lente interdit les plongées profondes car temps de remontée trop long.
- L'objectif d'Haldane est de déterminer un protocole permettant ces plongées profondes avec un bon niveau de sécurité.
- Naissance de la plongée par palier

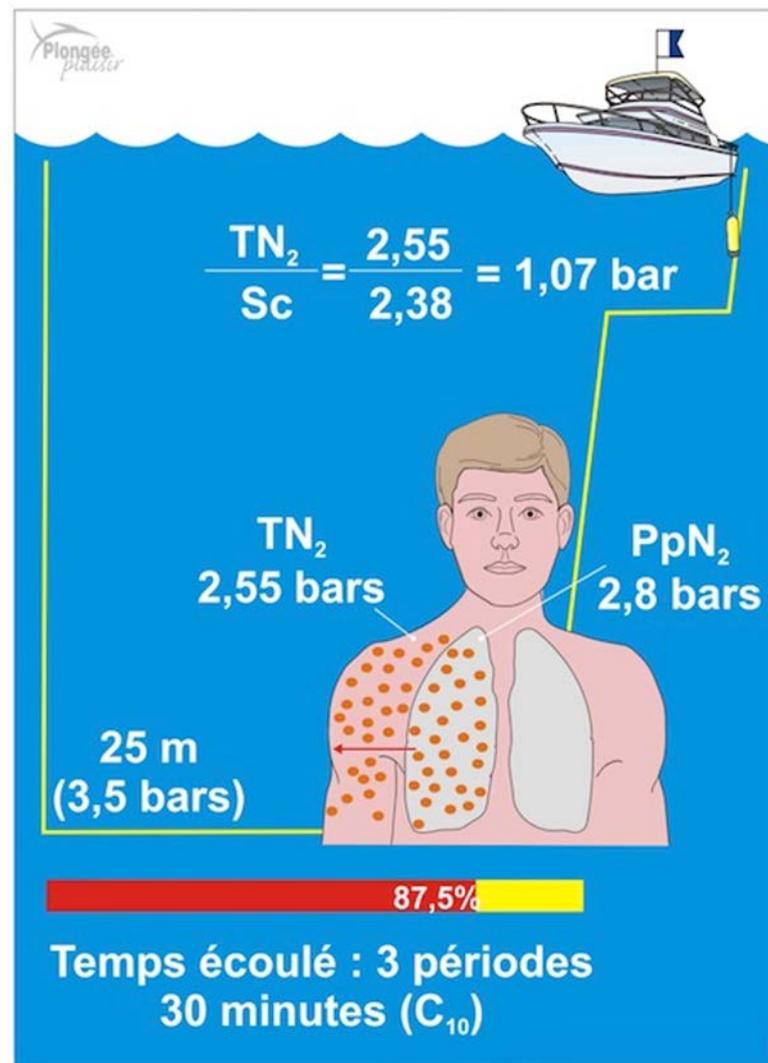
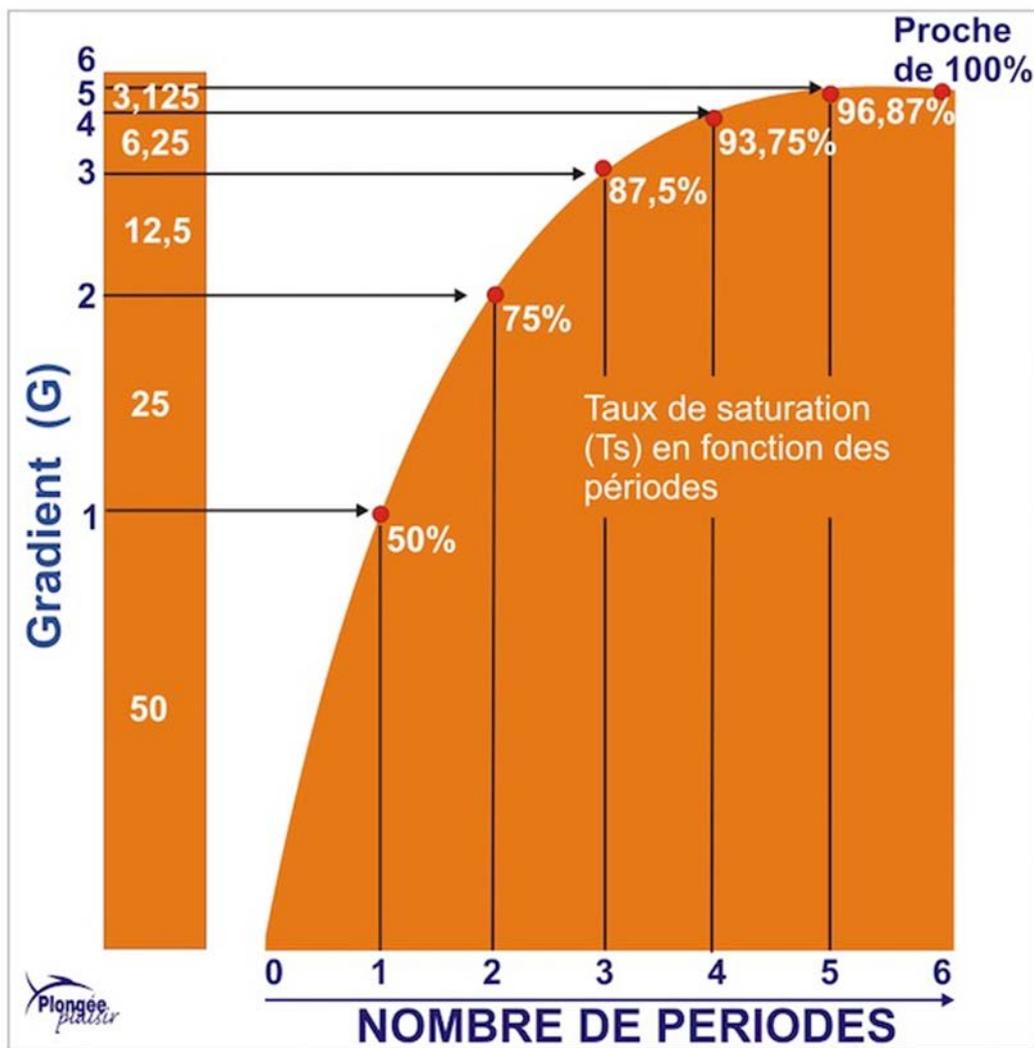
# Hypothèses du modèle d'Haldane

- .Diffusion alvéolaire **instantanée**.
- .Diffusion tissulaire **instantanée**.
- .Les différents organes et tissus représentés par des **compartiments** (5) caractérisés par une **période**.
- .Taux de perfusion **constant**.
- .Charge et décharge **symétrique**.

# Haldane

- Vitesse de remontée : **10 m/min**
- Modèle à **5** compartiments, de période : 5, 10, 20, 40 et 75 min.
- Période est le temps nécessaire pour que le compartiment échange la moitié du gradient.
- Le gradient est la différence entre la  $PpN_2$  initiale et  $PpN_2$  à





# Calcul TN2 f

**.TN2 f = TN2 i + G x TS**

.Exemple : Quel est le TN2 f du compartiment de période 10 min après une plongée de 30 min sur un fond de 25 m.

.TN2 i = 1 bar x 80 % soit 0,8 bar

.G = PpN2 f – PpN2 i soit (3,5 bar x 0,8) - (1bar x 0,8)

.C = 2,8 - 0,8 soit 2 bar

# Palier

- Le rapport de **TN2 f/P abs** est dénommé **Seuil sursaturation**
- Nous avons un TN2 f/P abs = 2,55 ( Pabs en surface = 1 bar)
- Le Seuil de sursaturation  $2,55 > 2,38$ , ce qui ne permet pas de rejoindre la surface en toute

sécu  
com

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5 min	7 min	10 min	15 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	80 min	100 min	120 min
2,72	2,54	2,38	2,2	2,04	1,82	1,68	1,61	1,58	1,56	1,55	1,54

# Calcul palier

- .Ce palier, on peut calculer sa profondeur.
- . $P_{abs} = TN2 f / S_c$  donc dans notre exemple  $2,55/2,38$  soit  $1,07$  bar ce qui correspond à un palier à  $0m70$  qui peut être arrondi à  $1m$ .
- .On peut également calculer sa durée qui est le temps nécessaire pour que la  $TN2 f$  du Compartiment  $10$  min diminue en dessous de  $2,38$  bar.

# Résumé d'Haldane

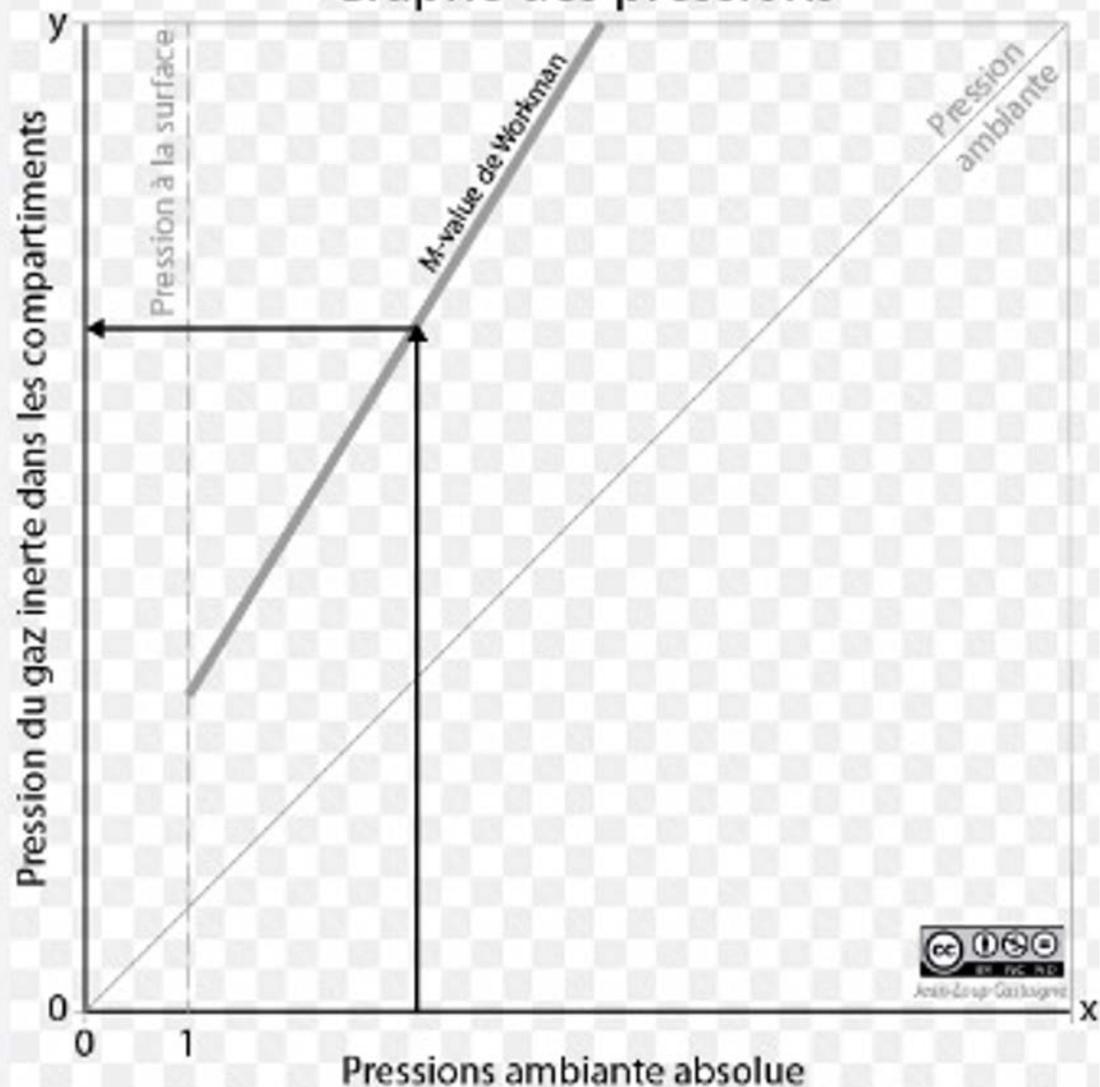
- .Compartiments / Période
- .Calcul pour chaque compartiment  $TN_2$  en fonction de la **durée** et **profondeur**.
- .Un **seuil saturation critique** à ne pas dépasser.
- .En dessous de ce seuil pas de bulles
- .Au dessus, présence de bulles avec risque d'accident.

# Workman US Navy

- Workman, en 1965 introduit la notion de **M-Values**,
- Pour chaque compartiment ce n'est plus un coefficient de sursaturation critique ( $Sc$ ) qui est retenu mais un ensemble de  $Sc$  dépendant de la pression ambiante.

Workman M-values (1965)			
Cpt N°	Per. min	$M_0$ msw	$\Delta M$ pente
1	5	31,7	1,8
2	10	26,8	1,6
3	20	21,9	1,5
4	40	17,0	1,4
5	80	16,4	1,3
6	120	15,8	1,2
7	160	15,5	1,15
8	200	15,5	1,1
9	240	15,2	1,1

# Graphe des pressions

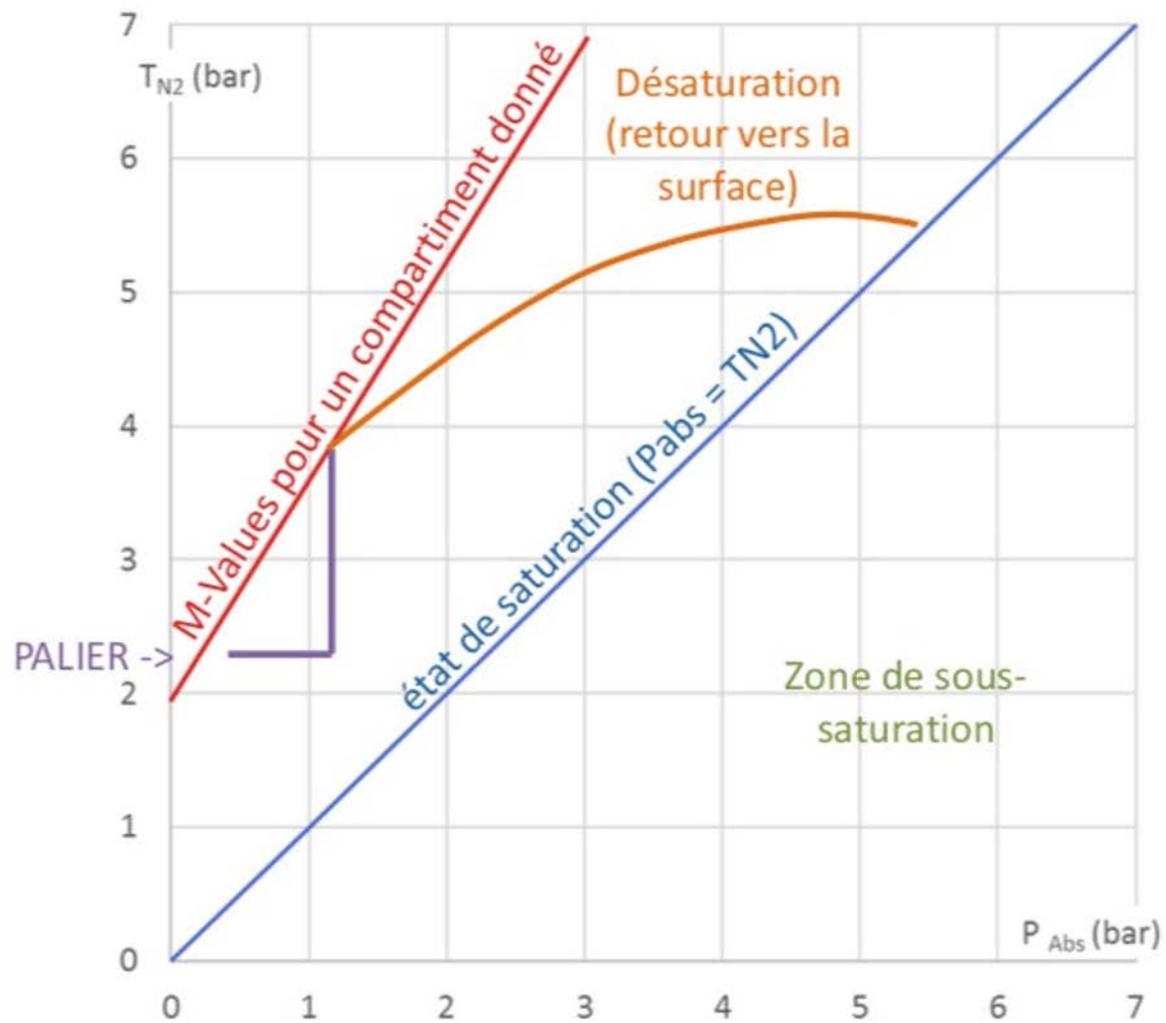


# Bühlmann

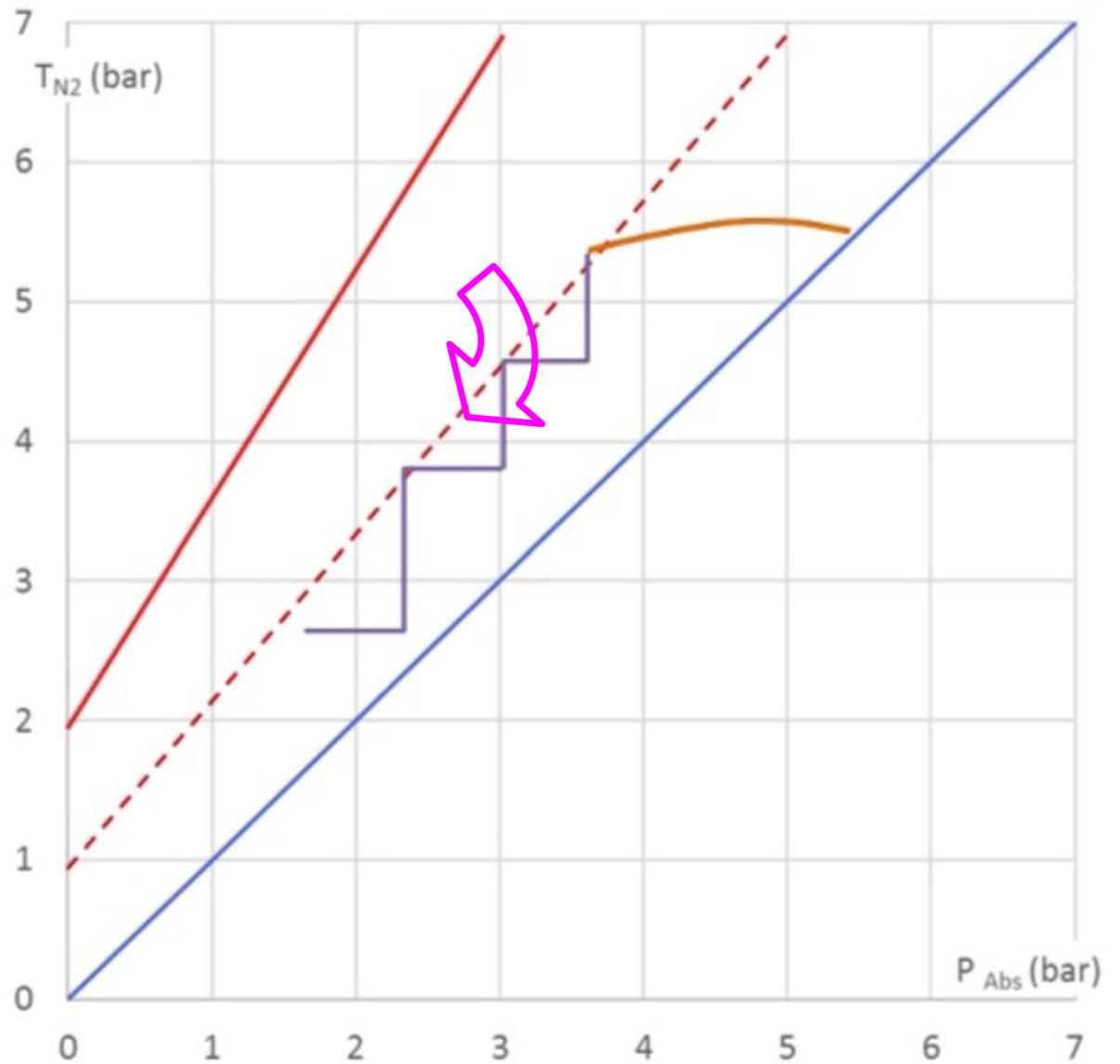
.Bühlmann développe en 1983, le modèle Haldanien, et fait évoluer les M-Value, en s'intéressant particulièrement à la composition de l'air alvéolaire plutôt que l'air inspiré.

Bühlmann ZH-L16 M-values azote (1990)					
Cpt N°	Per. min	A Coeff a bar	B Coeff a bar	C Coeff a bar	Coeff b
1	4,0	1,2599	1,2599	1,2599	0,5240
1b	5,0	1,1696	1,1696	1,1696	0,5578
2	8,0	1,0000	1,0000	1,0000	0,6514
3	12,5	0,8618	0,8618	0,8618	0,7222
4	18,5	0,7562	0,7562	0,7562	0,7825
5	27,0	0,6667	0,6667	0,6491	0,8126
6	38,3	0,5600	0,5505	0,5316	0,8434
7	54,3	0,4947	0,4858	0,4681	0,8693
8	77,0	0,4500	0,4443	0,4301	0,8910
9	109	0,4187	0,4187	0,4049	0,9092
10	146	0,3798	0,3798	0,3719	0,9222
11	187	0,3497	0,3497	0,3447	0,9319
12	239	0,3223	0,3223	0,3176	0,9403
13	305	0,2850	0,2828	0,2828	0,9477
14	390	0,2737	0,2737	0,2716	0,9544
15	498	0,2523	0,2523	0,2523	0,9602
16	635	0,2327	0,2327	0,2327	0,9653

Développement de tables



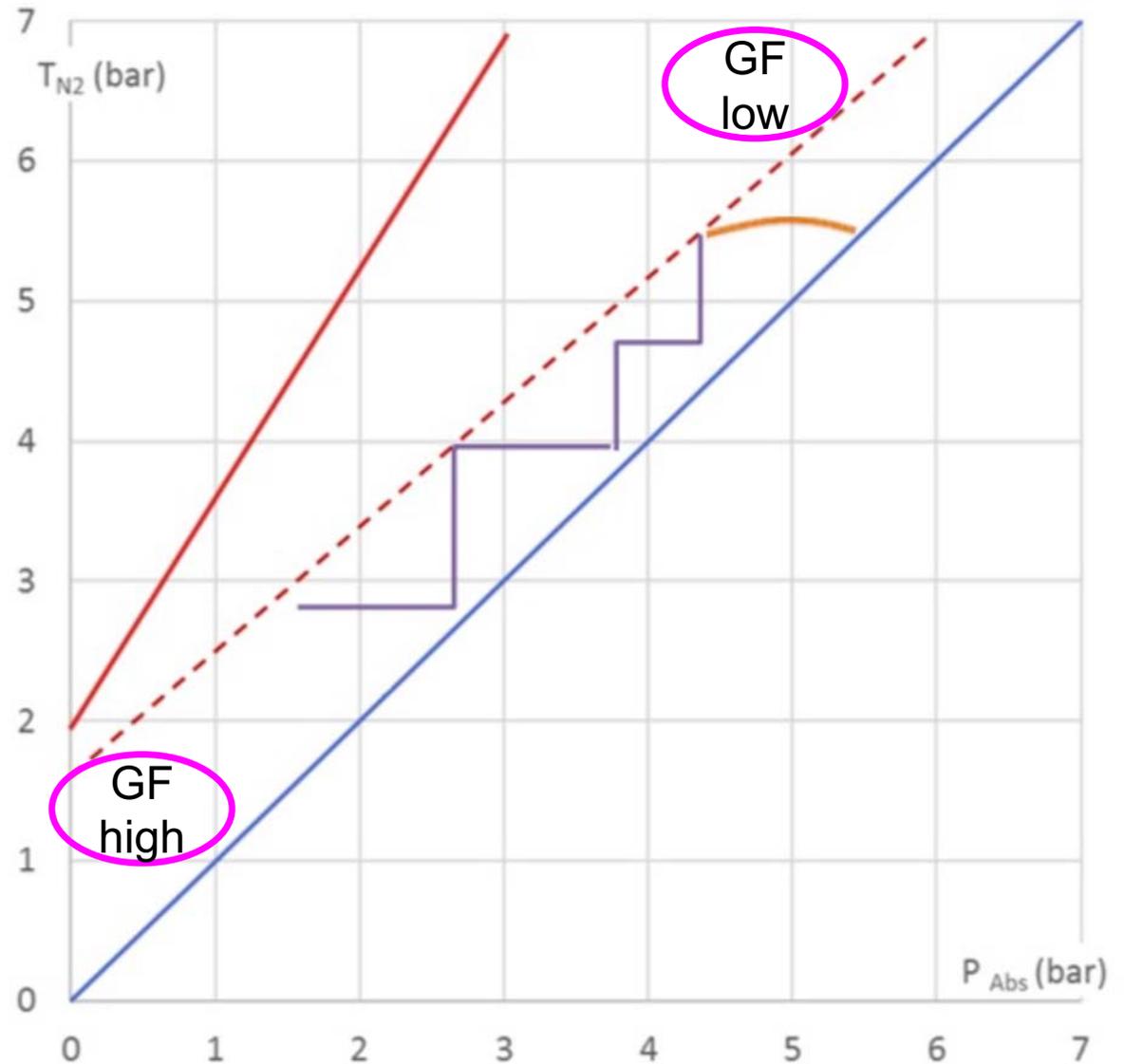
# Facteur de Gradient, Baker



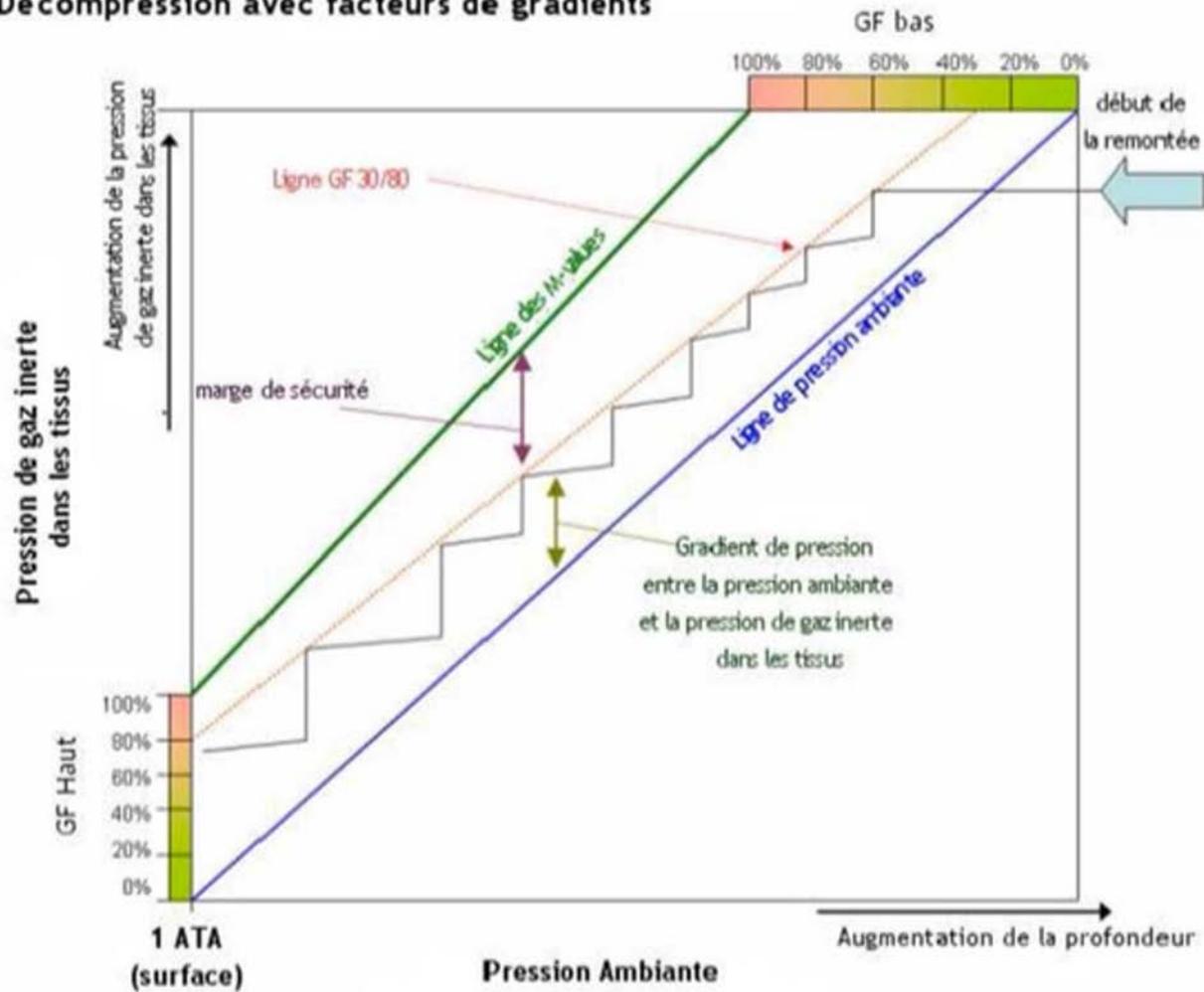
# Baker, Facteur de Gradient

GF low

GF high



## Décompression avec facteurs de gradients



Les facteurs de gradient(GF) ou comment durcir un modèle à M-values de Bühlmann.

Sophie  
LEMAOUT  
Mémoire IN

# Varying Permeability Model, Yount Hoffman

.Concept « tiny bubble model » introduit la théorie des noyaux gazeux.

.Modèle expliquant le mieux l'effet néfaste du **profil inversé**.

.Formation des noyaux gazeux par **nucléation** et **cavitation**.

.Différence Haldane, étude du volume critique des bulles.

# Reduced Gradient Bubble Model

- Développé par B. Wiencke à partir du **VPM**
- Modèle commercialisé donc **non ouvert** au public.
- Certains RGBM propriétaires (SUUNTO) semblent à l'utilisation fonctionner comme un modèle haldanien asymétrique modifié par Spencer.
- En effet, on considère que la décharge d'un

# Autres modèles non haldaniens

•Hempleman développe un modèle à diffusion, il décrit également l'existence de bulles non pathogène dès les années 1950. Cela aboutit aux tables **BSAC**.

•Les tables canadiennes **DCIEM** sont issues d'un modèle haldanien avec des compartiments en série et une interaction entre ces compartiments.

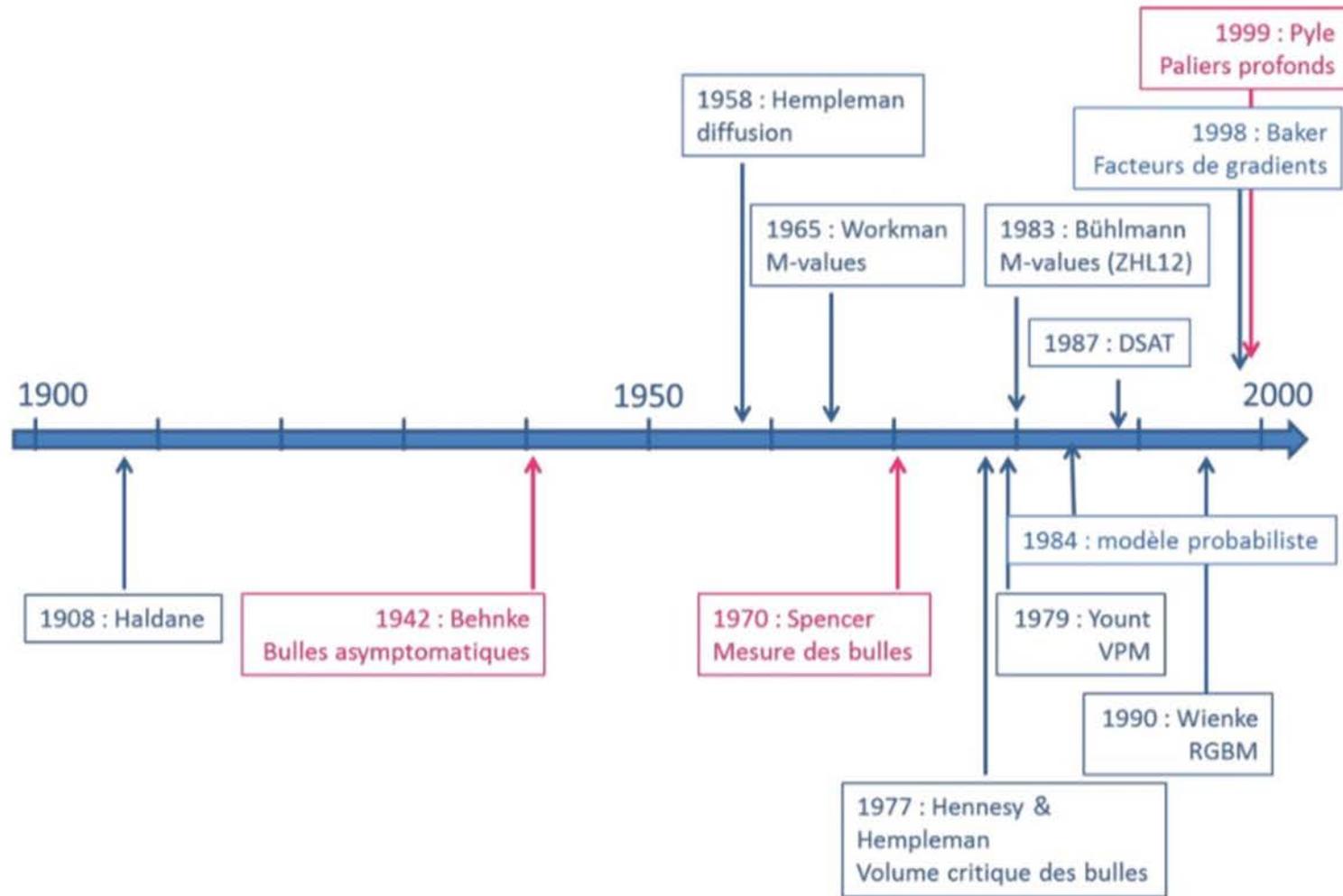


Figure 1 : principales évolutions dans les modèles de désaturation.

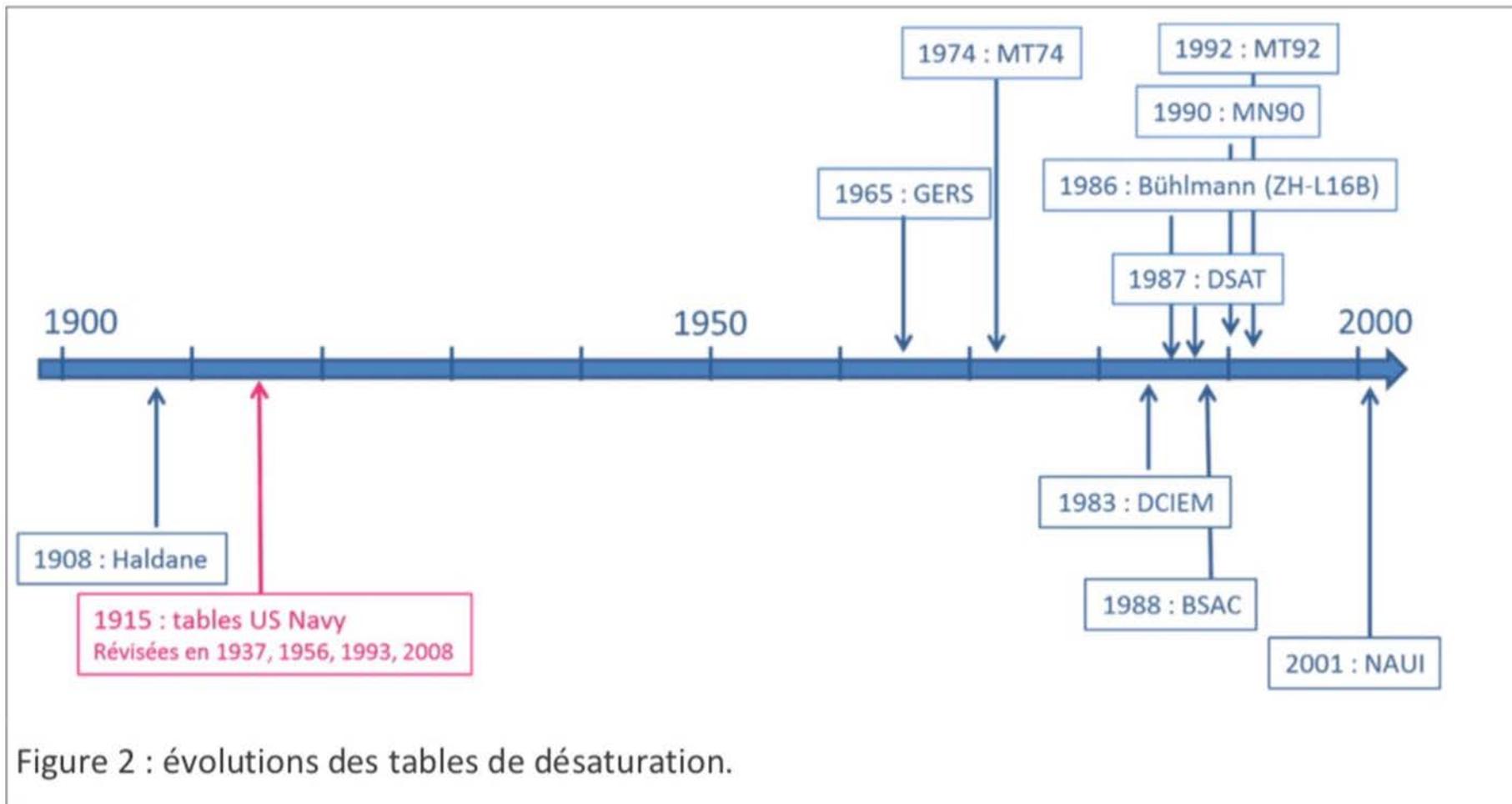


Figure 2 : évolutions des tables de désaturation.

	RGBM	Bühlman	Pelagic	conserva- tisme	palier profond	palier de sécurité	Vit remontée m/min	viol déco Blocage
<b>CRESSI</b>								
Léonardo	9C/2,5-480	x	x	SF0-SF2	1'-2' SI DECO	3'-6 et 3m	10	48h
Giotto	9C/2,5-480	x	x	SF0-SF2	1'-2' SI DECO	3'-6 et 3m	10	48h
Newton (montre)	9C/2,5-480	x	x	SF0-SF2	1'-2' SI DECO	3'-6 et 3m	10	48h
<b>MARES</b>								
Puck Pro	10C/2,5-480	x	x	1 à 3	oui	3'-6 et 2,5m	10	24h
Wide	10C/2,5-480	x	x	1 à 3	oui	3'-6 et 2,5m	10	24h
Icon	10C/2,5-480	x	x	1 à 3	oui	3'-6 et 2,5m	10	24h
Smart (montre)	10C/2,5-480	x	x	1 à 3	oui	3'-6 et 2,5m	10	24h
Matrix (montre)	10C/2,5-480	x	x	1 à 3	oui	3'-6 et 2,5m	10	24h
<b>SUUNTO</b>								
Zoop	9C/2,5-480	x	x	P0 à P2	non	3' à 3m	10	48h
Vyper	9C/2,5-480	x	x	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	48h
Vyper Air	9C/2,5-480	x	x	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	48h
Eon Steel	15C/1-720	x	x	P-2 à P2	oui	3' à 3m	10	48h
Cobra	9C/2,5-480	x	x	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	48h
D4i	9C/2,5-480	x	x	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	48h
D6i	9C/2,5-480	x	x	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	48h
D9tx	9C/2,5-480	x	x	P0 à P2	oui	3' à 3m	10	48h
DX	15C/1-720	x	x	P-2 à P2	oui	3' à 3m	10	48h
<b>SCUBAPRO</b>								
XP10	x	ZH-L8 ADT	x	non	non	volontaire	entre 20 et 7	24h
XP3G	x	ZH-L8 ADT MB PMG	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Square	x	ZH-L8 ADT MB PMG	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Luna	x	ZH-L8 ADT MB PMG	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Sol	x	ZH-L8 ADT MB PMG	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Chromis (montre)	x	ZH-L8 ADT MB	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Nantis (montre)	x	ZH-L8 ADT MB	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Meridian (montre)	x	ZH-L8 ADT MB	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h

Sophie  
LEMAOUT  
Mémoire IN

	RGBM	Bühlman	Pelagic	conserva- tisme	palier profond	palier de sécurité	Vit remontée m/min	viol déco Blocage
<b>SCUBAPRO</b>								
XP10	x	ZH-L8 ADT	x	non	non	volontaire	entre 20 et 7	24h
XP3 G	x	ZH-L8 ADT MB PMG	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Square	x	ZH-L8 ADT MB PMG	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Luna	x	ZH-L8 ADT MB PMG	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Sol	x	ZH-L8 ADT MB PMG	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Chromis (montre)	x	ZH-L8 ADT MB	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Nantis (montre)	x	ZH-L8 ADT MB	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
Meridian (montre)	x	ZH-L8 ADT MB	x	5 -L0 à L5	oui	1' à 5'	entre 20 et 7	24h
<b>OCEANIC</b>								
Veo 1.0	x	x	dual pelagic	non	oui	3' à 3m	18 à 9	24h
Veo 2.0	x	x	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	24h
Veo 3.0	x	x	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	24h
Géo 2 (montre)	x	x	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	24h
OC1 (montre)	x	x	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	24h
Atom 3 (montre)	x	x	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	24h
Data Mask Hud	x	x	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	24h
VTX	x	x	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	24h
VT 4.1	x	x	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	24h
PRO+3	x	x	dual pelagic	2 niveaux	oui	3'ou5' de 3 à 6	18 à 9	24h
<b>BEUCHAT</b>								
Voyager 2G	x	x	pelagic	oui	oui	3' à 4,5 m	18 à 9	24h
<b>HW - OSTC</b>								
OSTC 3	x	ZH-L16 - 5/640	x	oui	x	oui	libre	signalée
OSTC Sport	x	ZH-L16 - 5/640	x	oui	x	oui	libre	signalée
<b>LIQIVISION</b>								
KAON	x	ZH-L16 - 5/640	x	3 niveaux	x	oui	au choix	signalée
LYNX	x	ZH-L16 - 5/640	x	3 niveaux	x	oui	au choix	signalée
XEO	x	ZH-L16 - 5/640	x	réglable	x	oui	au choix	signalée
<b>SHERWATER</b>								
PETREL 2	x	ZH-L16 - 2,5/720	x	oui	oui	oui	10	x

# Elements non pris en compte dans les modèles

- .Le froid
  - .Effort physique
  - .Consommation d'air (essoufflement)
  - .Profil de plongée (yoyo, remontée rapide, profil inversé, dent de scie...)
  - .Stress / Fatigue
- .Certains ordinateurs tiennent compte de quelques paramètres :
    - Froid
    - Consommation d'air
    - Fréquence cardiaque

# Quel est le meilleur modèle

- Aucun modèle n'a prouvé sa supériorité sur un autre en terme de statistique d'accident.
- Le meilleur modèle reste le plongeur bien formé à l'utilisation de son moyen de désaturation et la **prévention** des ADD.

# Prévention

- .Reprise progressive de l'activité. **(DP)**
- .Entretien de la forme physique régulier **(Moniteur)**
- .Eviter les plongées longues et saturante et savoir ne faire qu'une seule par jour. **(Orga)**
- .Savoir faire une pause de plongée au cours d'un séjour plongée.
- .Intervalle de surface  $\geq 3$  heures **(Orga)**

# Prévention

- Adapter le protocole de desaturation à la situation : personnalisation de la désaturation :
  - Froid (**limiter le temps de plongée**) (**DP**)
  - Fatigue (savoir renoncer, reporter la plongée)
  - **Planifier** la plongée en fonction du protocole choisi.

# Prévention

- .Proscrire les **profils dangereux**
- .**Limiter** le nombre de remontée lors des exercices d'assistance
- .Réaliser les exercices de remontée assistée en **début** de plongée

# Que faire en cas de

	Modèle MN90	Mode emploi MN90-FFESSM	Mode emploi MN90-Marine Nationale	Modèle Comex (MT92)	Mode d'emploi MT-92 Min. Travail
DENTS DE SCIE	X	X	« Procédure de sécurité ». Durée supérieure. 5 min à ½ prof et au minimum 1 min à 6 m 5 min à 3 m	X	X
YO-YO	X	X		X	X
REMONTÉE RAPIDE	X	5 min ½ prof. 2 min à 3 m minimum		X	5 min ½ prof.
INTERVALLE COURT	Consécutives Successives	Examen N4 FFESSM Selon modèle	Selon modèle	Successives	Selon modèle
PROFILS INVERSÉS	X	X	X	X	X

# Que faire en cas de

	Modèle Bühlmann	Mode emploi FSSS (Suisse) Bühlmann	Modèle US-Navy	Modèle RGBM	Ordinateurs
DENTS DE SCIE	X	X	X	X	Selon procédure choisie par le plongeur (pas de directive dans le mode d'emploi de la machine).
YO-YO	X	X	X	X	
REMONTÉE RAPIDE	X	5 min ½ prof.	X	X	
INTERVALLE COURT	Successives	Selon modèle	Successives	Successives	
PROFILS INVERSÉS	X	X	X	X	

# Remontée rapide sans accident déclaré

- La FFESSM ne donne pas de directive vis à vis d'un protocole.
- Le protocole associé aux tables MN90 n'est pas une procédure table, mais une procédure associée au mode d'emploi des tables.
- Il n'existe AUCUNE modélisation de cette situation car il s'agit d'un profil dangereux.

# Comportement à Risque

- Valsalva à la remontée
- Limiter sa ventilation au palier
- Effort pendant et après la plongée :
  - Remontée à l'échelle
  - Remontée des blocs sur le semi rigide
  - Remontée du mouillage.
  - Remontée du quai vers la station de

# Conclusion

- Les modèles de désaturation sont en constante évolution.
- Les modèles actuels sont associés à une faible morbidité à condition que les autres mesures de prévention soient respectées.