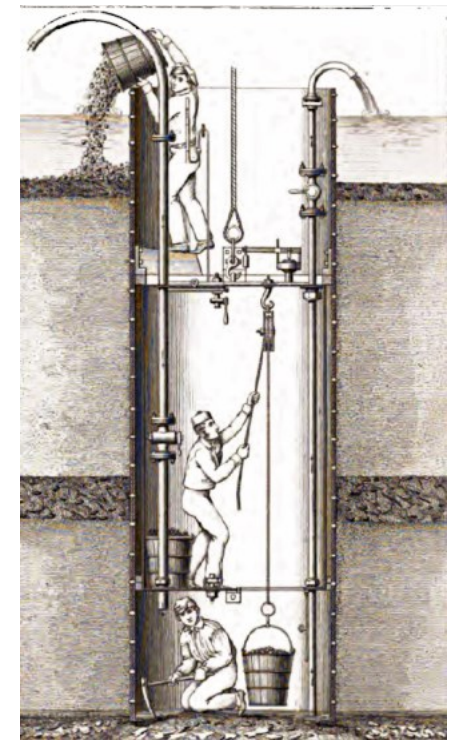




LA DÉCOMPRESSION COURS NIV

UN PEU D'HISTOIRE

- **Milieu du XIX^e siècle :**
 - Invention d'appareils permettant envoyer de l'air pour évacuer l'eau lors du forage des piles de ponts, dans les mines... : apparition du « mal des caissons » sur les ouvriers travaillant en milieu hyperbares
 - Amélioration du scaphandre, facilitation des travaux sous-marins (corail, éponges...) : 1^{eres} préconisations pour éviter les accidents (limiter la profondeur, la durée d'immersion)
 - ⇒ Symptômes aléatoires et différents selon les personnes pour le même travail : douleurs (bends), vertige, paralysies... qui sont temporaires ou définitifs
- **1854 :** la recompression permet de soulager les symptômes
- **1861 :** Jules Bucquoy identifie que l'air dissous dans le sang et qui repasse en phase gazeuse lors de la décompression est responsable des symptômes
- **1878 :** Paul BERT met en évidence le rôle de l'azote dans l'apparition des accidents de décompression et préconise une remontée lente



Machine Trigger

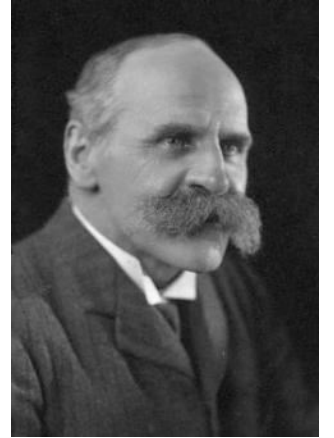


Paul Bert dans les années 1880
Wikipedia

UN PEU D'HISTOIRE

- **Fin XIX^e / début XX^e** : la marine anglaise demande à John S. HALDANE (physiologiste écossais) de mettre au point des règles de sécurité pour assurer un retour sans accident à la pression atmosphérique
 - Constatation : aucun symptôme n'apparaît sur la profondeur est $< 12\text{m}$ quelque soit la durée d'immersion
 - ⇒ Hypothèse : pas de risque si rapport pression profondeur vs pression atmosphérique en surface d'environ 2
 - Méthode : mise en place de paliers de 10 pieds en 10 pieds (3m) et remontée à une vitesse de 10m/min pour respecter une variation de pression < 2
 - Validation : via expérimentation animal (chèvres)
- **En 1908** : publication des 1^{ères} tables de décompression basées sur un modèle physique et mathématique (profondeur max 200 pieds soit environ 60m)

Ce modèle mathématique Haldanien servira de base pour la décompression « moderne » actuelle.

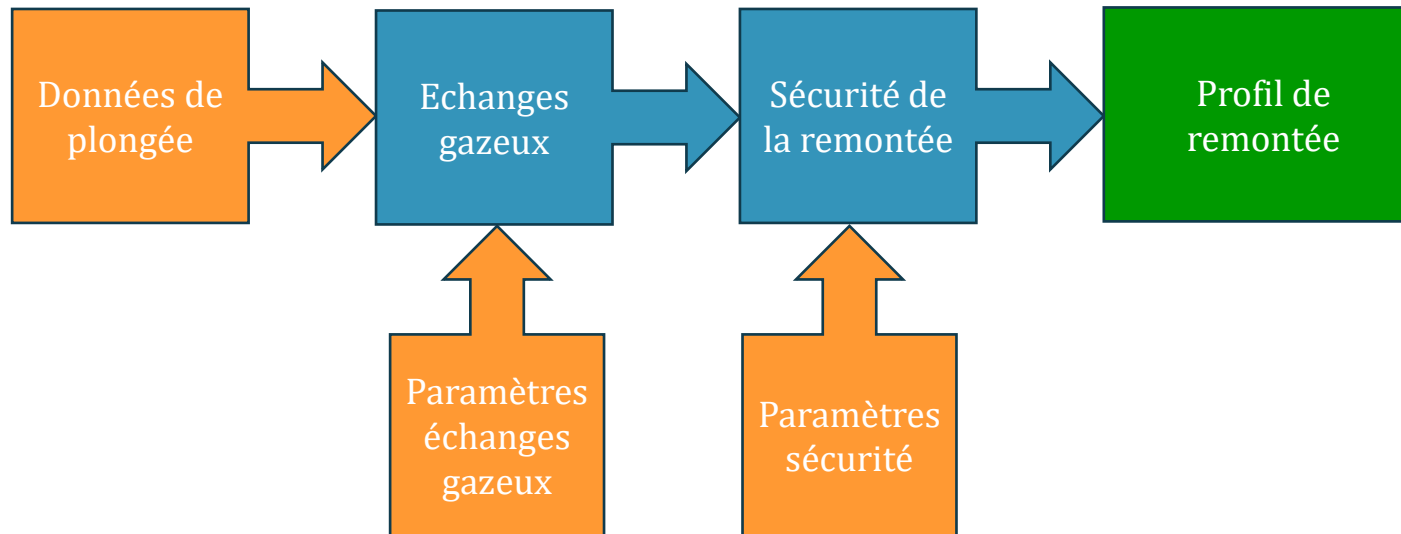


John Scott HALDANE
Wikipedia

LA NOTION DE MODÈLE

- Représentation simplifiée d'un phénomène complexe, basée sur :
 - des hypothèses permettant de simplifier le phénomène étudié
 - des paramètres clefs permettant de représenter au mieux le phénomène étudié
 - des limites d'utilisation
 - une validation expérimentale

Modèle assez simple pour être représenté sous forme d'équation = modèle mathématique

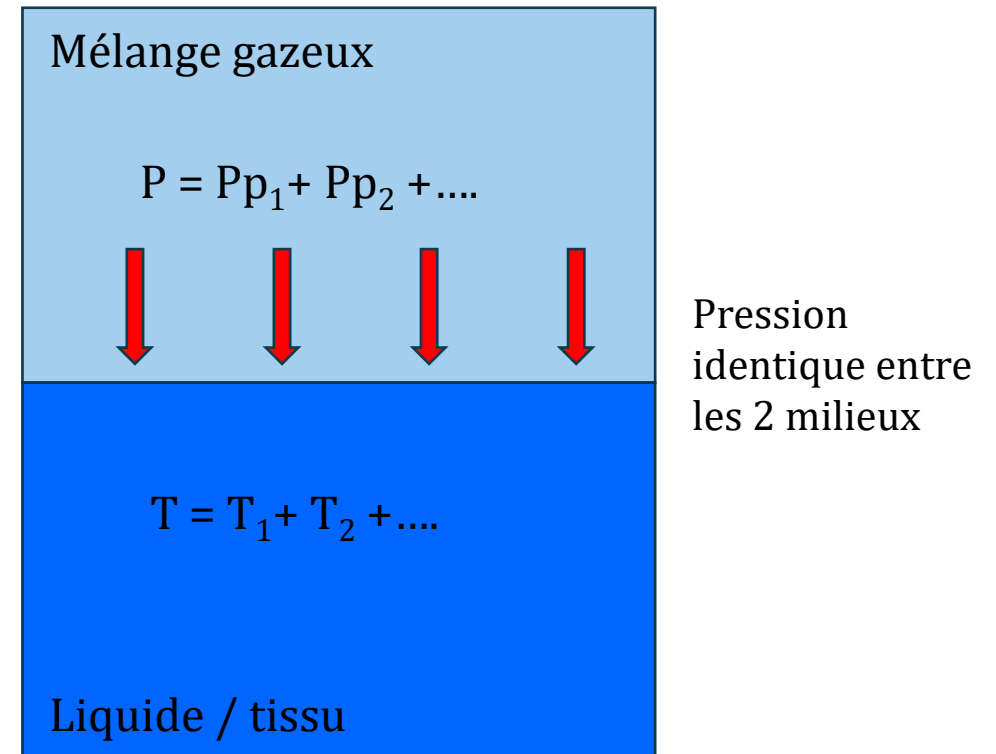


VOCABULAIRE

- **Loi de Henry**

À température constante et à saturation, la quantité de gaz dissout dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle qu'exerce ce gaz sur le liquide.

- P_p (pression partielle) : à l'état gazeux
- T (tension) : quantité de gaz dissous



VOCABULAIRE

① Avant la plongée, il y a équilibre entre la pression de l'air respiré et l'air dissous dans le corps.

⇒ **Saturation** $TN_2 = PpN_2$

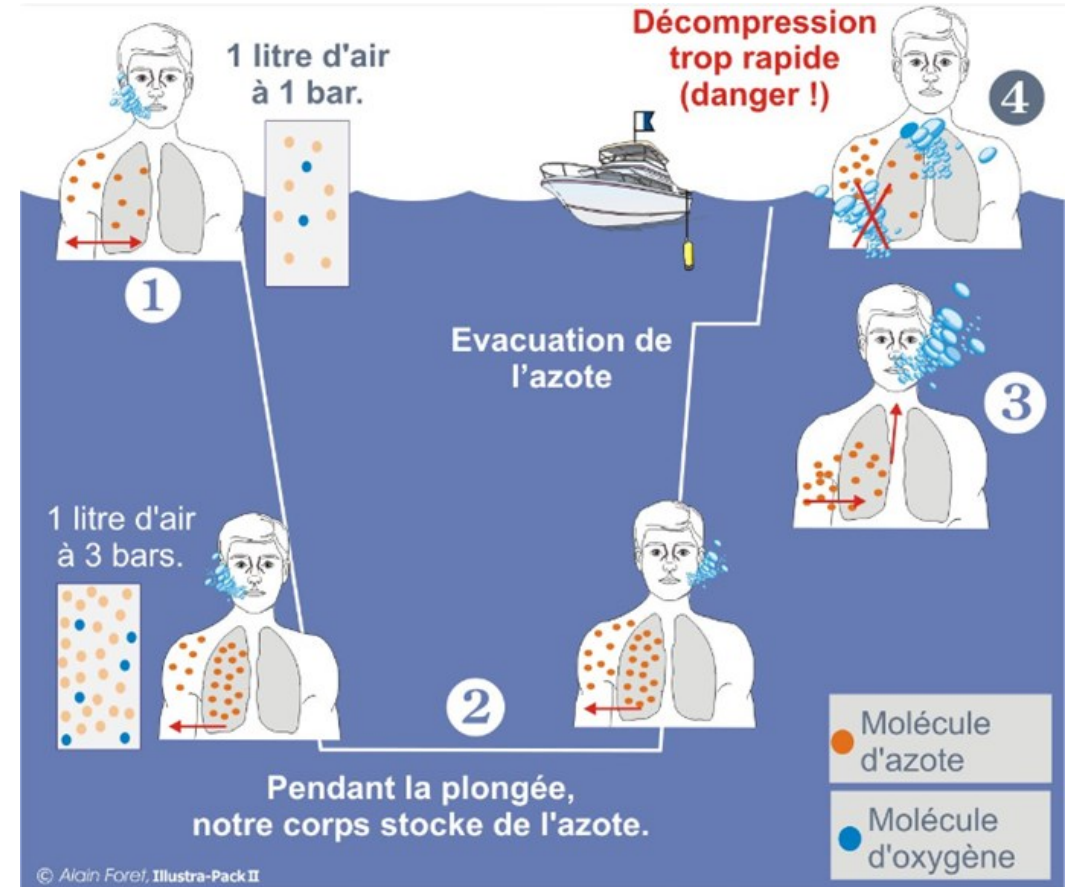
② Durant la descente la pression de l'air respiré augmente et est supérieure à la tension de l'azote dans les tissus. Le corps stocke de l'azote.

⇒ **Sous-saturation** $TN_2 < PpN_2$

③ Lors de la remontée, la pression de l'air respiré diminue et devient inférieure à la tension de l'azote dans les tissus. L'azote sort des tissus.

⇒ **Sur-saturation** $TN_2 > PpN_2$

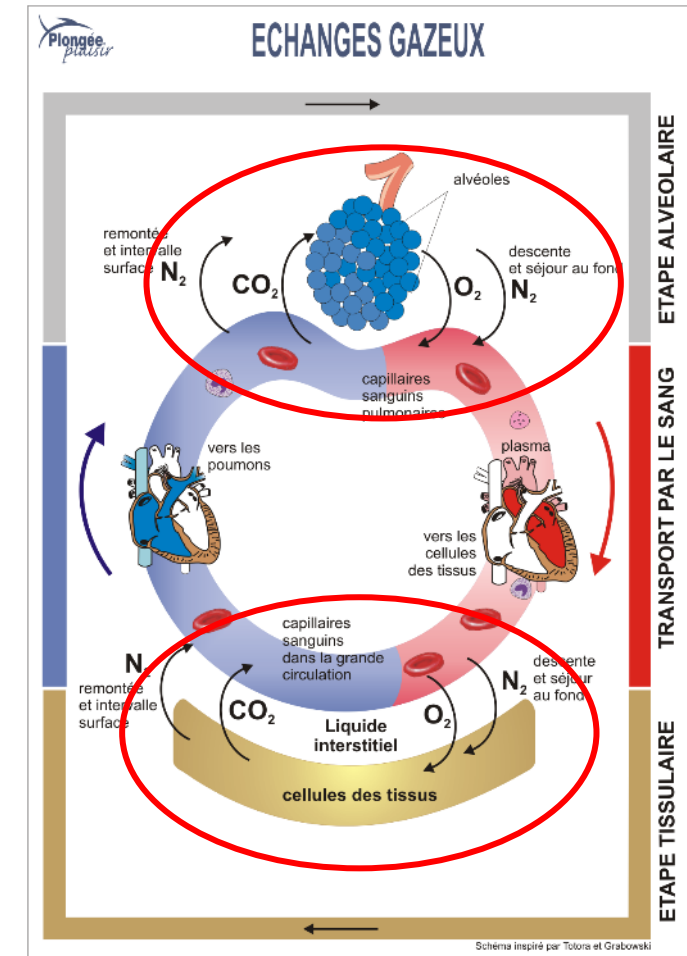
④ Si $TN_2 \gg PpN_2$: **sur-saturation critique** (Sc) = danger !



MODÈLE HALDANIEN

- **Hypothèses**

- L'équilibre des pressions au niveau alvéolaire (poumons/sang) est instantané (*modèle par perfusion*)
- L'équilibre des pressions au niveau des tissus (sang/tissu) est instantané (*modèle par perfusion*)
- Le corps humain est décomposé en zones indépendantes les unes des autres : les compartiments
 - Pas d'échanges gazeux entre les compartiments
 - Chaque compartiment à un comportement homogène
- Comportement symétrique à la charge et à la décharge en N_2 pour chaque compartiment



MODÈLE HALDANIEN

- Les compartiments

Gradient (G) : différence entre la quantité maximum N_2 dissoute dans un compartiment au plus profond de la plongée et celle en surface

$$G = PpN_2 \text{ fond} - PpN_2 \text{ surface}$$

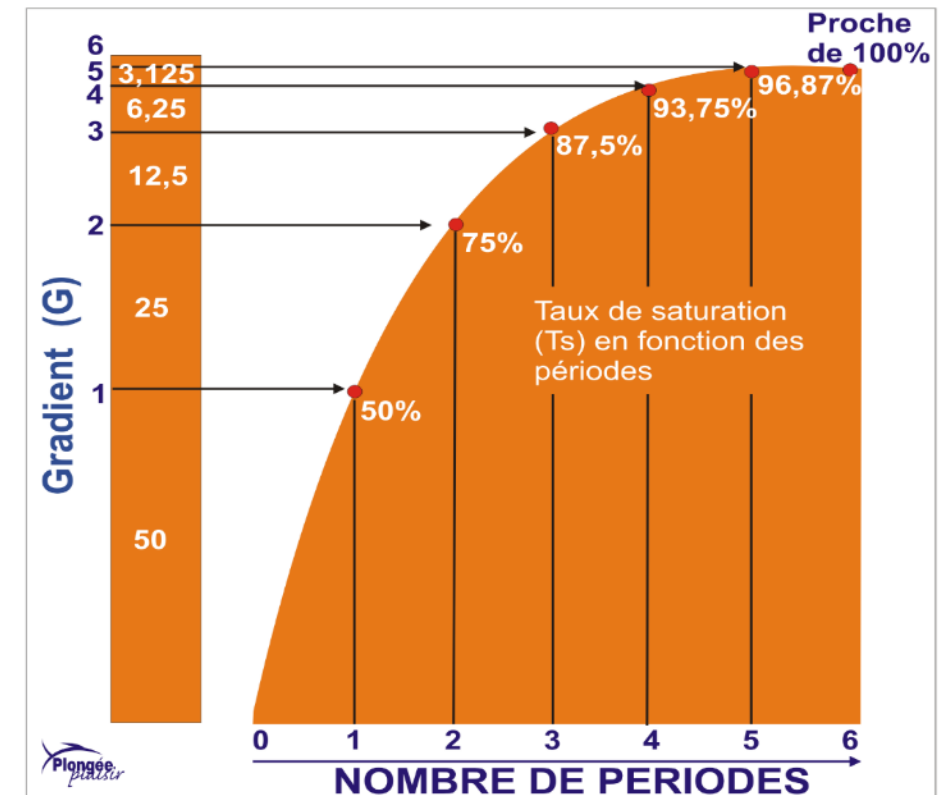
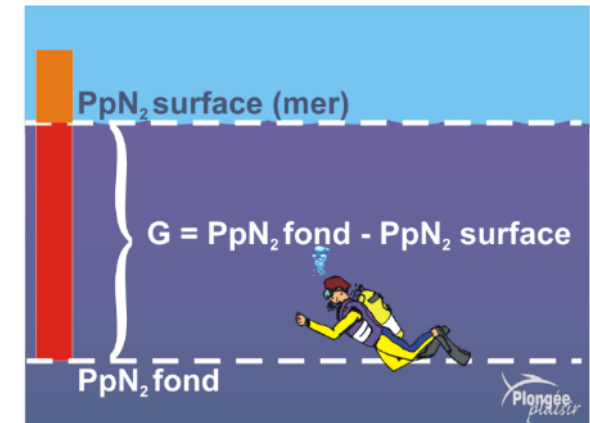
Période : temps nécessaire pour absorber 50% du gradient

- L'absorption de l'azote par un compartiment est exponentielle
- Le **taux de saturation (Ts)** est proche de 100% au bout de 6 périodes
- Les compartiments sont définis en fonction de leur période :

$$C_5, C_{10}, \dots, C_{120}$$

5 compartiments pour les tables de Haldane

12 compartiments théoriques pour les tables MN90



LES TABLES MN90 (MODÈLE HALDANIEN)

- **TN₂ d'un compartiment**

$$TN_2 = TN_2 \text{ initiale} + (G \times Ts) = 0,8 + (G \times Ts)$$

Ex : TN₂ au bout de 30' à 30m pour le compartiment C₁₅

- Nombre de périodes : 30/15 = 2 périodes donc Ts : 75%
- PpN₂ à 30m: 4 x 0,8 = 3,2b PpN₂ surface : 0,8b
- G = 3,2 - 0,8 = 2,4b

$$\Rightarrow TN_2 = 0,8 + (2,4 \times 0,75) = 2,6b \text{ pour le } C_{15} \text{ au bout de 30'}$$

LES TABLES MN90 (MODÈLE HALDANIEN)

- **Seuil critique (Sc)**

- Si $TN_2 \gg PpN_2$: sur-saturation critique (Sc) donc $\frac{TN_2}{Pabs} < Sc$ soit une remontée possible à $Pabs > \frac{TN_2}{Sc}$

1 Sc définit par compartiment :

Compartiment	C ₅	C ₇	C ₁₀	C ₁₅	C ₂₀	C ₃₀	C ₄₀	C ₅₀	C ₆₀	C ₈₀	C ₁₀₀	C 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

- A la surface $Pabs = 1$, donc il faut que $\frac{TN_2}{Sc} \leq 1$ **pour tous les compartiments** pour pouvoir regagner la surface

⇒ nécessite un palier pour laisser TN_2 diminuer

- Compartiment avec le rapport $\frac{TN_2}{Sc}$ le plus élevé est appelé le compartiment directeur

LES TABLES MN90 (MODÈLE HALDANIEN)

- **Cas concret**

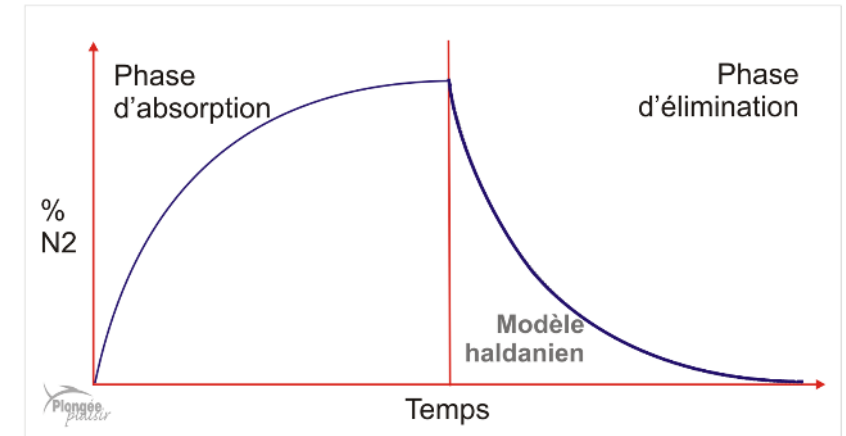
Plongée en mer de 40' à 30m. Prendre en compte les compartiments C_5 , C_{10} et C_{20} . Paliers à réaliser ?

- A la surface : $PpN_2 = TN_2 = 0,8b$
- A 30m : $PpN_2 = 0,8 \times 4 = 3,2b$
- Modèle Haldanien, phase de descente instantanée : $G = 3,2 - 0,8 = 2,4b$
- A bout de 40' de plongée :
 - $C_5 : \frac{40}{5} = 8$ périodes soit $Ts = 100\%$ donc TN_2 pour $C_5 = 0,8 + 2,4 \times 1 = 3,2b$
 - $C_{10} : \frac{40}{10} = 4$ périodes soit $Ts = 93,75\%$ donc TN_2 pour $C_{10} = 0,8 + 2,4 \times 0,9375 = 3,05b$
 - $C_{20} : \frac{40}{20} = 2$ périodes soit $Ts = 75\%$ donc TN_2 pour $C_{15} = 0,8 + 2,4 \times 0,75 = 2,6b$
- Remontée possible :
 - $C_5 : Pabs = \frac{3,2}{2,72} = 1,17b$ soit 1 arrêt à 1,7m de profondeur
 - $C_{10} : Pabs = \frac{3,05}{2,38} = 1,28b$ soit 1 arrêt à 2,8m de profondeur => compartiment directeur : **palier à 3m**
 - $C_{20} : Pabs = \frac{2,6}{2,04} = 1,27b$ soit 1 arrêt à 2,7m de profondeur

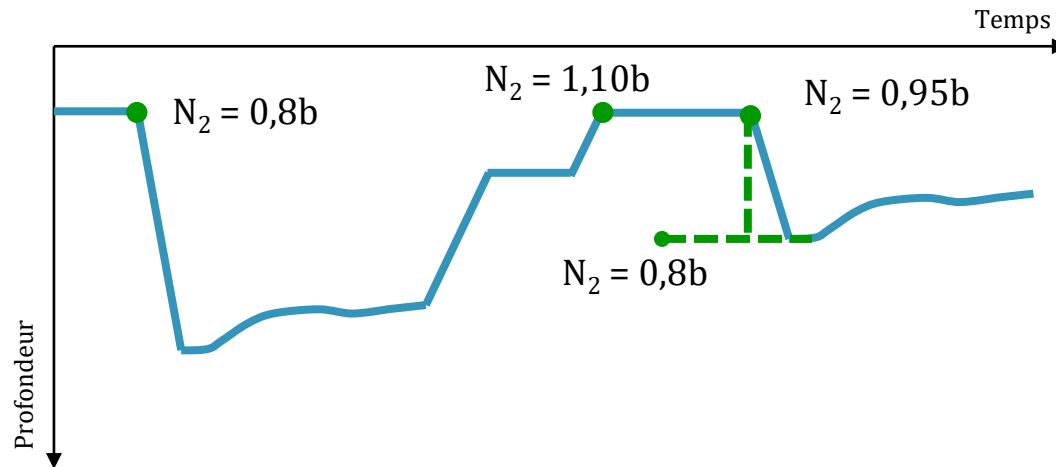
LES TABLES MN90 (MODÈLE HALDANIEN)

- **Azote résiduel**

- Modèle Haldanien : élimination symétrique à l'absorption
- Compartiment C_{120} : 6 périodes de $120' = 12h$, durée la plus longue pour atteindre 100% d'élimination pour les compartiments
- Périodes d'élimination différentes suivant les modèles (jusqu'à 72h)



- **Majoration**



TN_2 initiale $\neq 0,8b$

⇒ Impact sur le calcul de G

AUTRES MODÈLES HALDANIENS

- **1965 – Robert WORKMAN**

- Le Sc d'un compartiment dépend du compartiment mais aussi de la profondeur
- Détermination d'une série de Sc par compartiment : *M-values* (Maximum values)

Tables COMEX 1974

- **1983 – Albert A. BÜHLMANN**

- Prise en compte de l'air alvéolaire au lieu de l'air atmosphérique, 1^{ère} tables conçues pour l'altitude
- 2 séries de M-values : ZH-L₁₂ (1983) et ZH-L₁₆ (1990), le nombre indiquant le nombre de *M-Values* par compartiment

*Uwatec (Smart, Aladin,
Galileo...)
Mares Genius
Cressi Archimède*

- **Merill SPENCER**

- Adapte les tables de l'US Navy suite à la détection des bulles silencieuses (bulles de gaz inertes présentes dans la circulations veineuses)

*Oceanic
Mares M1
Tables PADI*

- **COMEX (table MT92)**

- Développement spécifique destiné aux travailleurs hyperbares



MODÈLES NON HALDANIENS

- **Modèle par diffusion – Tom HENNESSY**

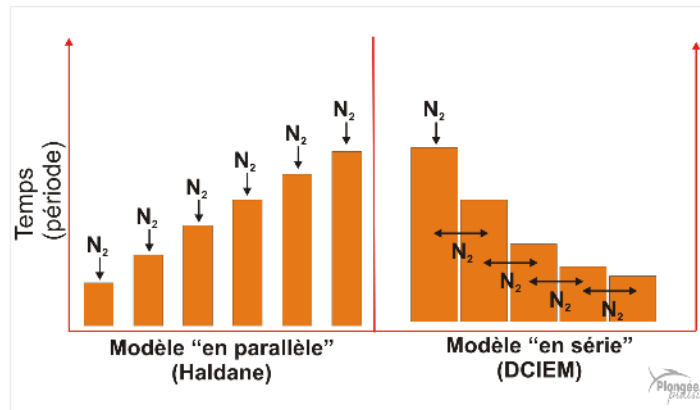
- Prise en compte de la diffusion des gaz dans le corps humain (pas de manière instantanée comme le modèle Haldanien) : résistance des tissus
- 1 seul compartiment

*Tables British Sub-Aqua Club
(BS-AC)*

- **Modèle « en série » - D.J.KIDD – R.A STUBBS puis Ron NISHI**

- Représentation des compartiments en série et non en parallèle : prise en compte d'échanges entre les compartiments

*Tables Defense and Civil Institute
of Environmental Medicine
(DCIEM) Canada*



MODÈLES NON HALDANIENS

- **Modèle « di-phasique »**

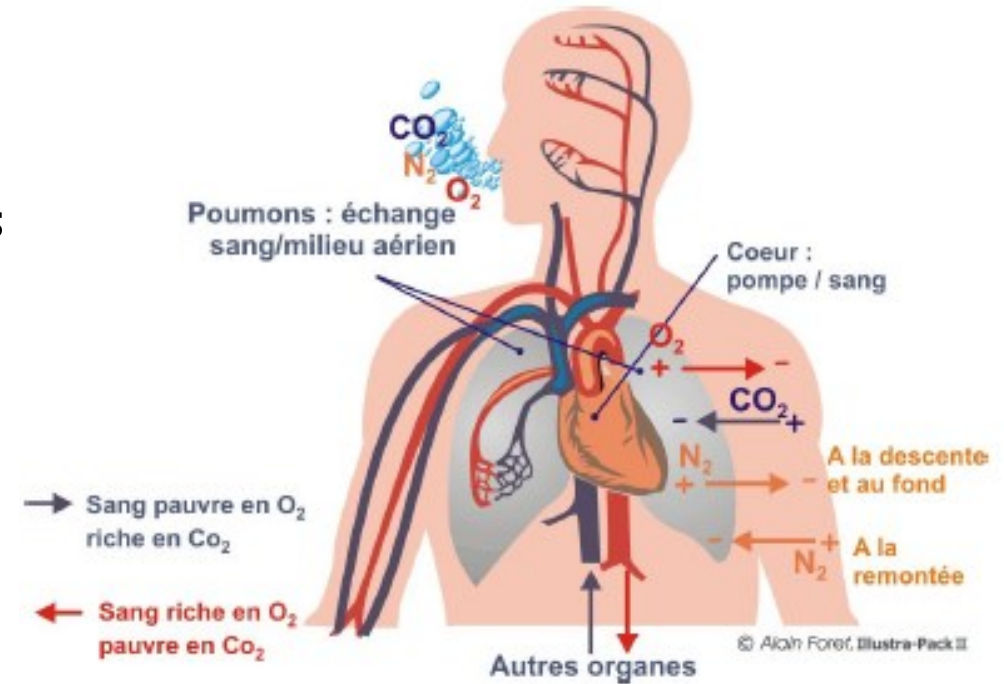
- Apparition de bulles avant que le Sc ne soit dépassé
- Apparition favorisée par la préexistence de noyaux gazeux (azote dissous) : bulles microscopiques présentes avant la plongée
- **1986 - YOUNT et HOFFMAN** : Modèle VPM (Varying Permeability Model) *SUUNTO (Vyper, Vytec, Cobra, Stinger...)*
- **1991 - Bruce WIENKE** : modèle RGBM (Reduced Gradient Bubble Model) *Mares M1 RGBM*
- Actualisation des travaux du Pr BÜHLMANN : modèle ZH-L₈ ADT MB *UWATEC (Smart, G2)*

- **Approche statistique**

- **Modèle probabiliste** : élaboration de tables selon un taux de risque ≠ des autres modèles dits déterministes (paramètres figés)
- Valeur de Sc non validé dans 100% des cas mais basé sur des Bases De Données (BDD) avec un risque d'erreur
 - Proposition de réglages sur les ordinateurs pour diminuer le risque = allongement des paliers, réduction de la durée de plongée
 - Acceptation par le plongeur que le risque 0 n'existe pas

RAPPEL SUR LA SATURATION

- Lors de la remontée, il faut laisser le temps aux poumons d'évacuer l'azote.
 - Vitesse de remontée contrôlée
 - Réaliser des arrêts
 - à une profondeur définie
 - durant une durée définie
- => Utiliser un outil permettant de gérer ces paramètres et d'appliquer un modèle de décompression



LA RÉGLEMENTATION CONCERNANT LES MOYENS DE GESTION DE LA DÉCOMPRESSION

- Le matériel obligatoire en plongée est défini dans le code du sport

Art. A. 322-80. - Chaque bouteille ou ensemble de bouteilles d'un même gaz respirables est muni d'un manomètre ou d'un système équivalent permettant d'indiquer la pression au cours de la plongée.

En milieu naturel, chaque plongeur équipé d'un appareil à circuit ouvert est muni d'un système gonflable au moyen de gaz comprimé lui permettant de regagner la surface et de s'y maintenir.

En milieu naturel, chaque plongeur encadré au-delà de 20 mètres et chaque plongeur en autonomie est muni :

- d'un équipement de plongée permettant d'alimenter en gaz respirable un équipier sans partage d'embout ;
- d'équipements permettant de contrôler les caractéristiques personnelles de sa plongée et de sa remontée.

En milieu naturel, la personne encadrant la palanquée est muni :

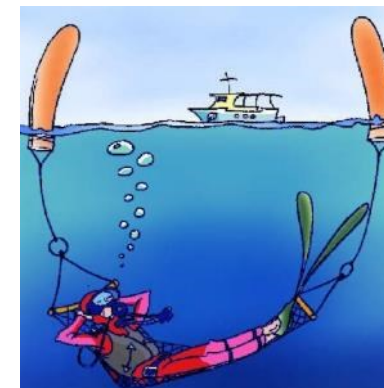
- d'un équipement de plongée avec deux sorties indépendantes et deux détendeurs complets.
- d'un système gonflable au moyen de gaz comprimé lui permettant de regagner la surface et de s'y maintenir,
- d'équipements permettant de contrôler les caractéristiques de la plongée et de la remontée de sa palanquée.

En milieu naturel, chaque palanquée dispose d'un parachute de palier.

- Paramètres à vérifier lors d'une plongée pour gérer la décompression

- vitesse
- durée
- profondeur

=> déterminer si des paliers sont nécessaires



LES MOYENS DISPONIBLES POUR GÉRER LA DÉCOMPRESSION

- Montre + profondimètre + tables
- Profondimètre électronique + tables
- Ordinateur

=> Besoin de vérifier les moyens des membres de la palanquée avant la plongée

Tout le monde (ou presque) plonge avec un ordinateur.

Pas d'obligation d'utiliser les tables de plongée lors d'une plongée ...**mais**



LES MOYENS DISPONIBLES POUR GÉRER LA DÉCOMPRESSION

- Matériel d'assistance requis par le Code du Sport

Art. A. 322-78-2 - Ils ont en outre le matériel d'assistance suivant :

- une bouteille d'air de secours équipée de son détendeur et, en cas de plongée effectuée avec un mélange respiratoire autre que l'air, une ou plusieurs bouteilles de secours équipées de détendeurs, dont le contenu prévu par le plan de secours est adapté à la plongée organisée ;
- un moyen de rappeler un plongeur en immersion depuis la surface, lorsque la plongée se déroule en milieu naturel, au départ d'une embarcation ;
- une tablette de notation immergeable ;
- en milieu naturel, au-delà de la profondeur de 6 mètres, un jeu de tables de décompression.

=> En tant que plongeurs NIV, vous devez savoir utiliser les tables de décompression.

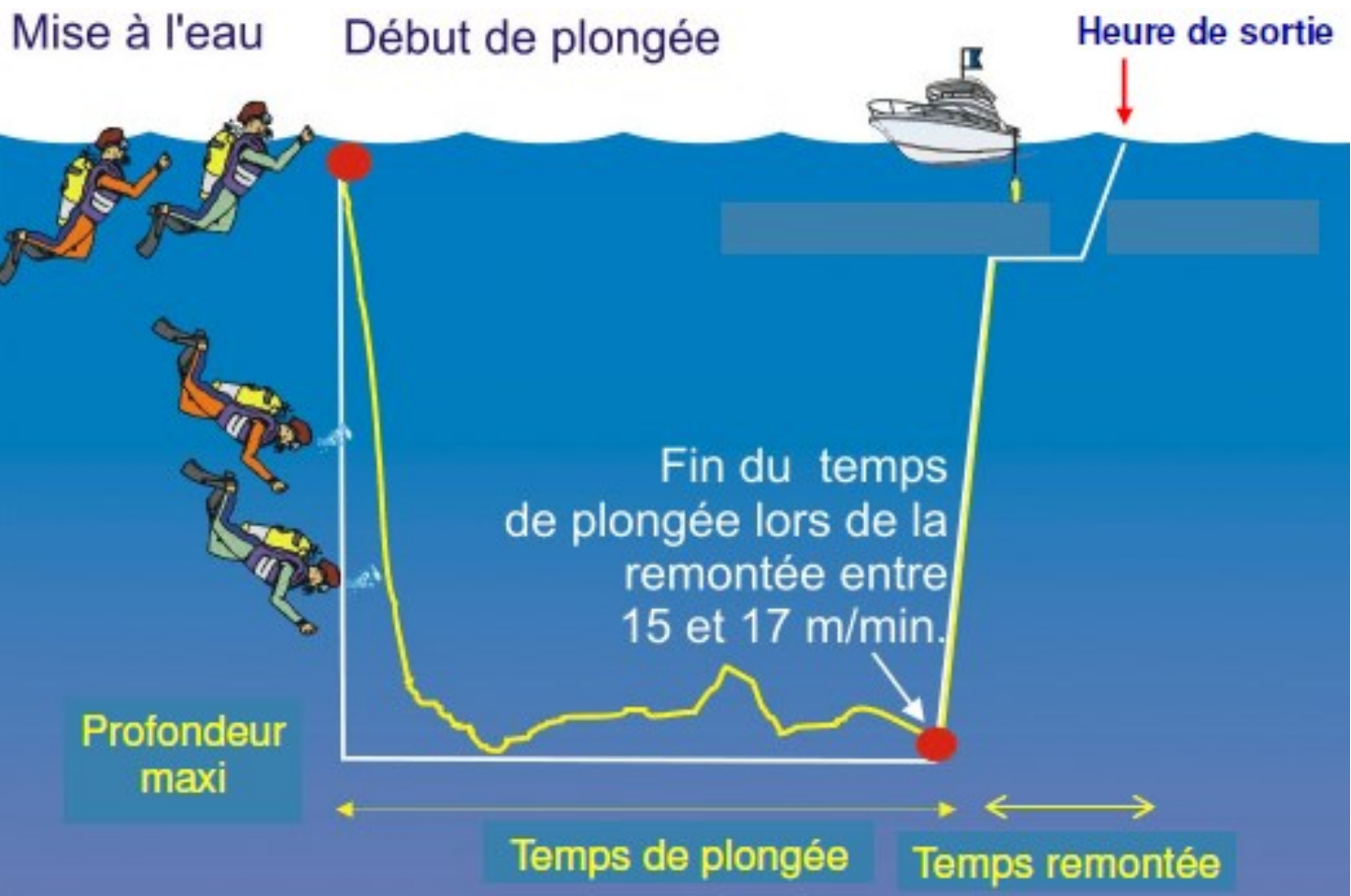
LES TABLES DE PLONGÉE M90



- Tables utilisées par la FFESSM : MN90
- Règles à respecter :
 - A utiliser au niveau de la mer
 - 2 plongées par jour
 - Plongée à l'air
 - Profondeur limitée à 60 m
 - Vitesse de remontée à respecter 15 m/min à 17 m/min (6 m/min entre les paliers)

LES TABLES DE PLONGÉE MN90 – PLONGÉE SIMPLE

- Plongée effectuée plus de 12 h après la plongée précédente



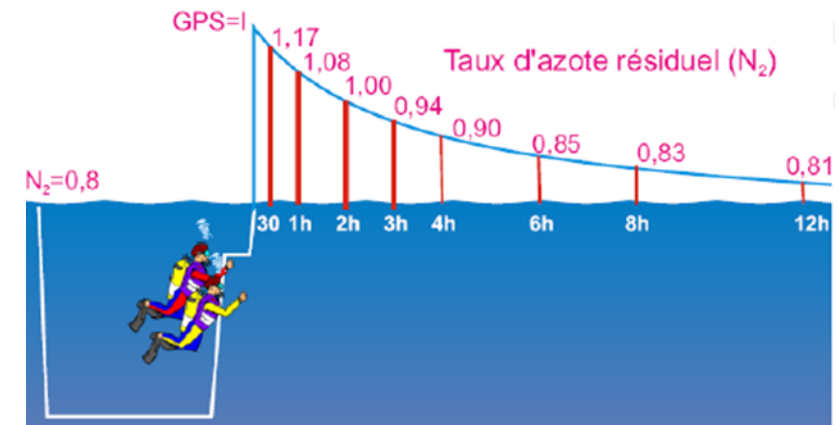
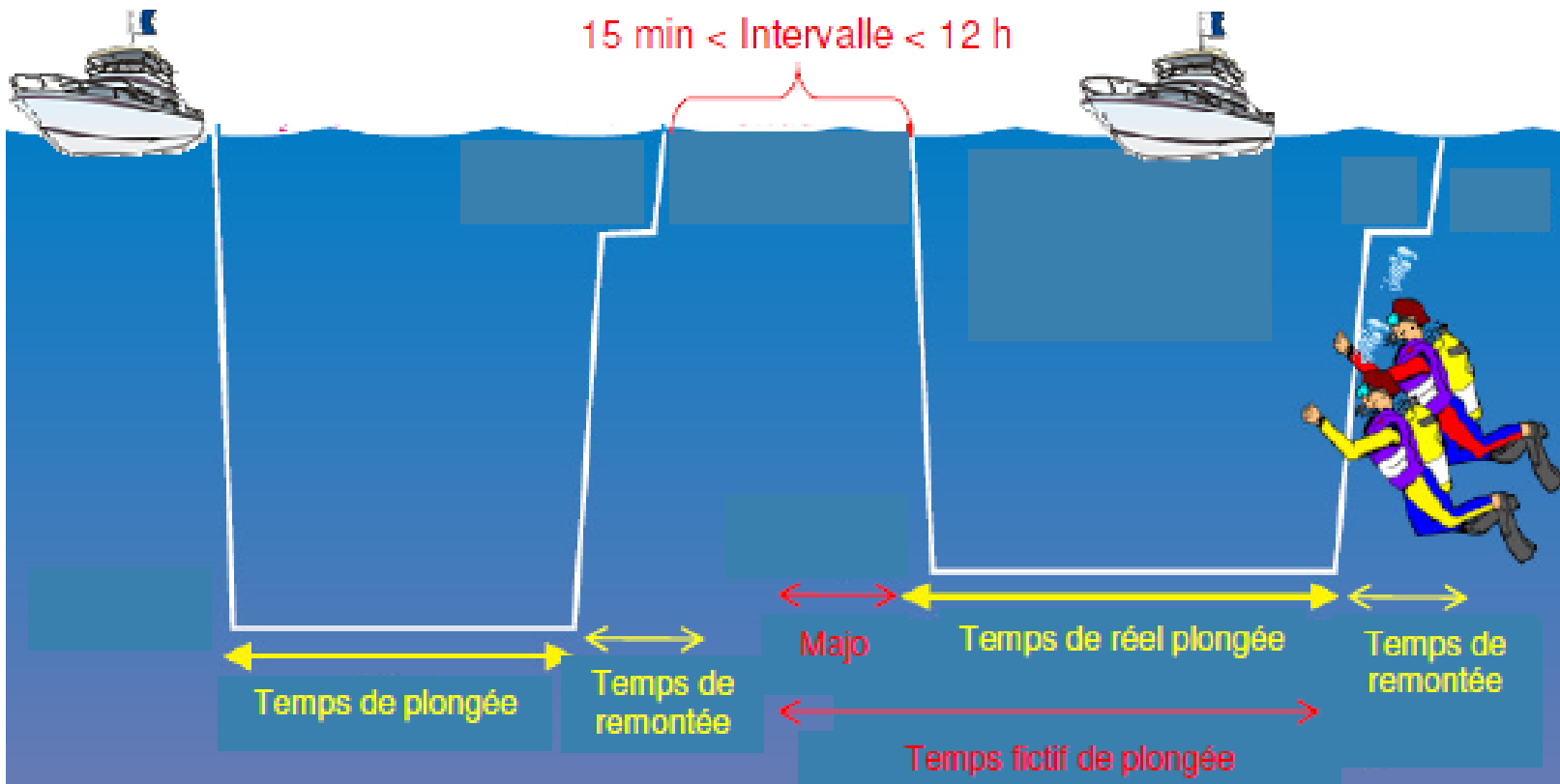
Prof	Durée	3m	DTR	GPS
20 m	35 min		2	G
	40 min		2	H
	45 min	1	3	I
	50 min	4	6	I
	55 min	9	11	J
	60 min	13	15	K
	1h05	16	18	K
	1h10	20	22	L

- Lecture directe sur la table MN90



LES TABLES DE PLONGÉE MN90 – PLONGÉE SUCCESSIVE

- Plongée effectuée entre 15 min et 12 h après la plongée précédente



- Ajout d'une majoration de temps liée à l'azote résiduelle.

LES TABLES DE PLONGÉE MN90 – PLONGÉE SUCCESSIVE

1. Déterminer le taux d'azote résiduelle en fonction de l'intervalle de surface avec le tableau

TABLEAU 1: EVOLUTION DE L'AZOTE RÉSIDUEL ENTRE DEUX PLONGÉES																										
INTERVALLES DE SURFACE																										
Groupe de plongée successive	15min	30min	45min	1h	1h30	2h	2h30	3h	3h30	4h	4h30	5h	5h30	6h	6h30	7h	7h30	8h	8h30	9h	9h30	10h	10h30	11h	11h30	12h
A	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81												
B	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81									
C	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81						
D	0,97	0,95	0,94	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81				
E	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81			
F	1,05	1,03	1,01	0,99	0,96	0,94	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	
G	1,08	1,06	1,04	1,02	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	
H	1,13	1,10	1,08	1,05	1,01	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	
I	1,17	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	
J	1,20	1,17	1,14	1,11	1,06	1,02	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	
K	1,25	1,21	1,18	1,15	1,09	1,04	1,01	0,97	0,95	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	
L	1,29	1,25	1,21	1,17	1,12	1,07	1,02	0,99	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	
M	1,33	1,29	1,25	1,21	1,14	1,09	1,04	1,01	0,97	0,94	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	
N	1,37	1,32	1,28	1,24	1,17	1,11	1,06	1,02	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	
O	1,41	1,36	1,32	1,27	1,20	1,13	1,08	1,04	1,00	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	
P	1,45	1,40	1,35	1,30	1,22	1,15	1,10	1,05	1,01	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	



LES TABLES DE PLONGÉE MN90 – PLONGÉE SUCCESSIVE

2. Déterminer la majoration en fonction de la profondeur avec le tableau 2

TABLEAU 2: DETERMINATION DE LA MAJORATION EN MINUTES.																				
PROFONDEUR DE LA DEUXIEME PLONGEE.																				
Azote résiduel	12m	15m	18m	20m	22m	25m	28m	30m	32m	35m	38m	40m	42m	45m	48m	50m	52m	55m	58m	60m
0,82	4	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,84	7	6	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
0,86	11	9	7	7	6	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2
0,89	17	13	11	10	9	8	7	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3
0,92	23	18	15	13	12	11	10	9	8	8	7	7	6	6	5	5	5	5	5	4
0,95	29	23	19	17	15	13	12	11	10	10	9	8	8	7	7	7	6	6	6	5
0,99	38	30	24	22	20	17	15	14	13	12	11	11	10	9	9	8	8	8	7	7
1,03	47	37	30	27	24	21	19	17	16	15	14	13	12	11	11	10	10	9	9	9
1,07	57	44	36	32	29	25	22	21	19	18	16	15	15	13	13	12	12	11	10	10
1,11	68	52	42	37	34	29	26	24	22	20	19	18	17	16	15	14	13	13	12	12
1,16	81	62	50	44	40	34	30	28	26	24	22	21	20	18	17	16	16	15	14	13
1,20	93	70	56	50	45	39	34	32	29	27	24	23	22	20	19	18	18	17	16	15
1,24	106	79	63	56	50	43	38	35	33	30	27	26	24	23	21	20	19	18	17	17
1,29	124	91	72	63	56	49	43	40	37	33	30	29	27	25	24	23	22	20	19	19
1,33	139	101	79	70	62	53	47	43	40	36	33	31	30	28	26	25	24	22	21	20
1,38	160	114	89	78	69	59	52	48	44	40	37	35	33	30	28	27	26	24	23	22
1,42	180	126	97	85	75	64	56	52	48	43	39	37	35	33	30	29	28	26	25	24
1,45	196	135	104	90	80	68	59	55	51	46	42	39	37	34	32	31	29	28	26	25

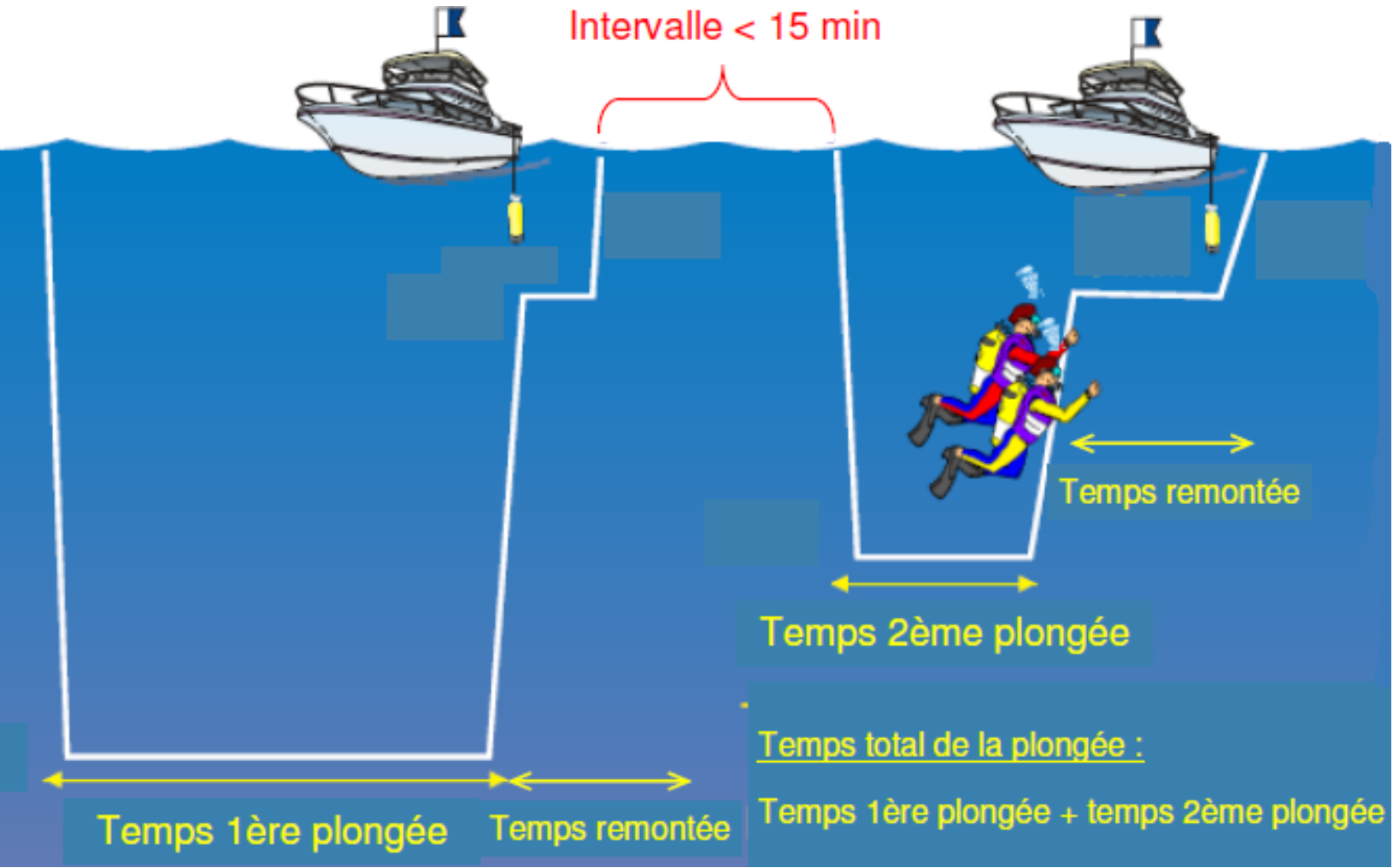
Prof	Durée	3m	DTR	GPS
20 m	35 min		2	G
	40 min		2	H
	45 min	1	3	I
	50 min	4	6	I
	55 min	9	11	J
	60 min	13	15	K
	1h05	16	18	K
	1h10	20	22	L

3. Lire la table en prenant comme temps de plongée : temps de plongée réel + majoration calculée.



LES TABLES DE PLONGÉE MN90 – SITUATIONS ANORMALES

- Plongée consécutive: plongée effectuée moins de 15 min après la plongée précédente



Prof	Durée	3m	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

- Lecture directe sur la table MN90



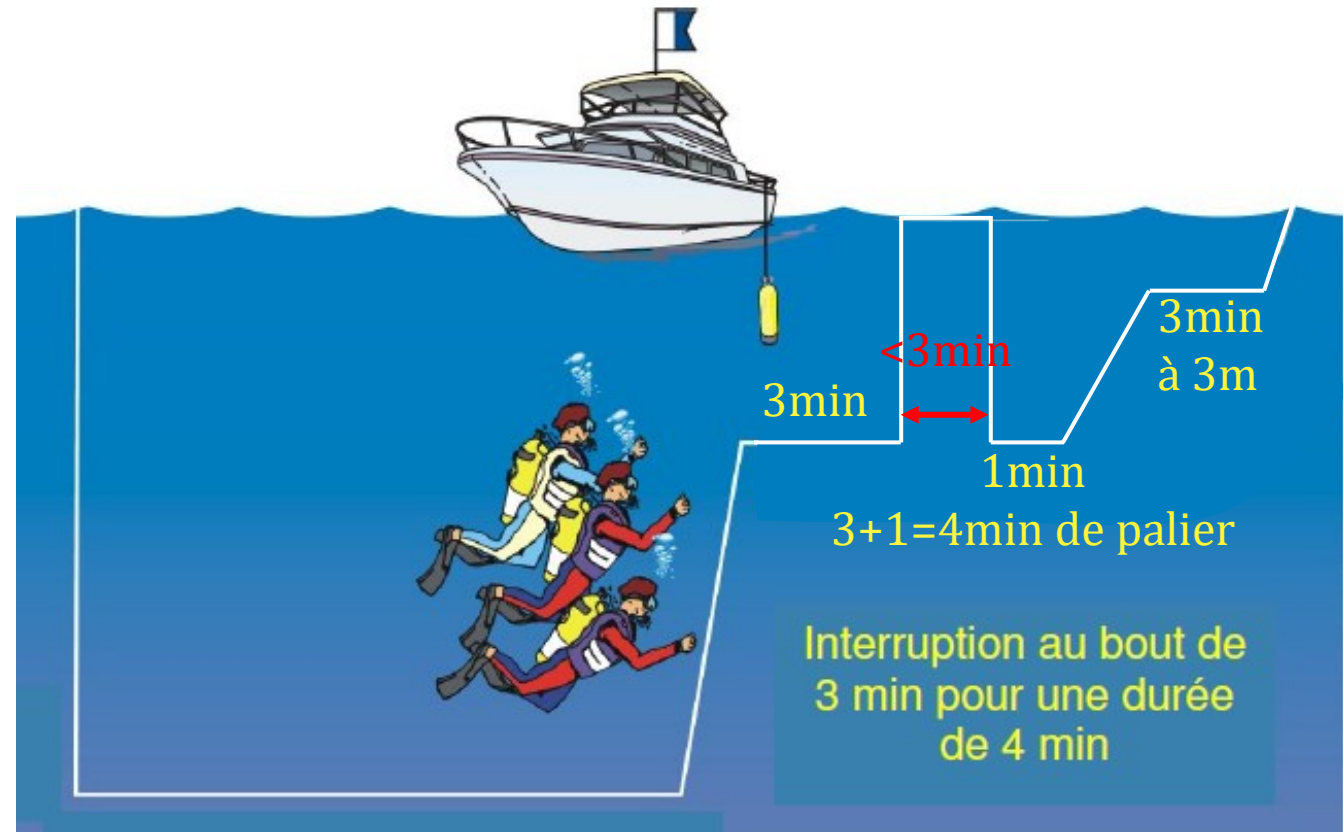
LES TABLES DE PLONGÉE MN90 – SITUATIONS ANORMALES

- Interruption de palier

Si un palier est interrompu avant sa fin, on dispose de 3 minutes maximum à la surface pour redescendre à la profondeur du palier et le poursuivre et ajouter 3min de palier à 3m.

Si ré-immersion impossible :

- Si plus de 3 min de palier non réalisé ou signe d'un possible accident
⇒ déclenchements des secours
- Si moins de 3 min de palier non réalisé et sans signe d'un possible accident
⇒ observation pendant 3h et pas de plongée pendant 24h



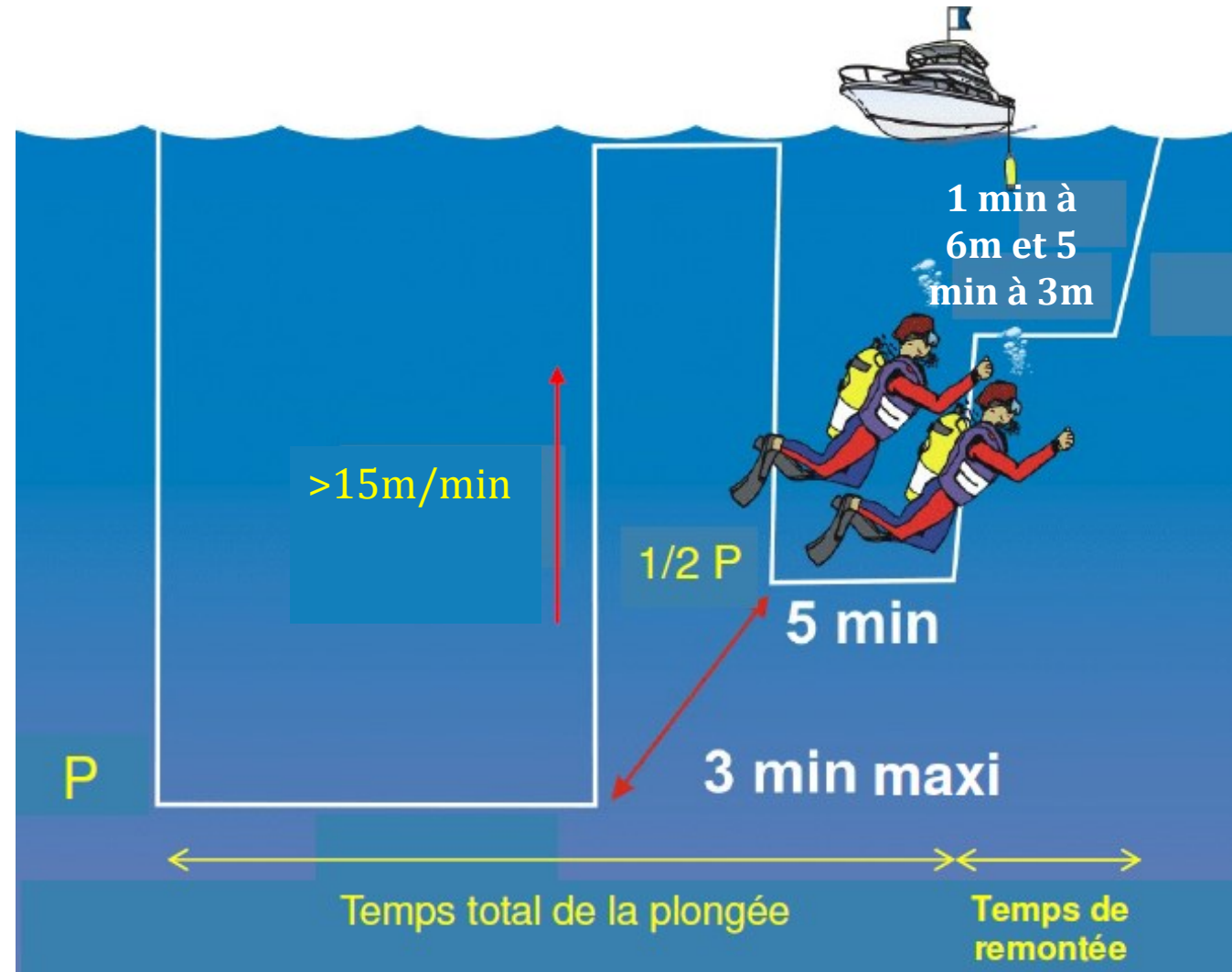
LES TABLES DE PLONGÉE MN90 – SITUATIONS ANORMALES

- Remontée trop rapide : remontée $> 15 \text{ m/min}$ et 10m minimum

On dispose de 3 minutes maximum à la surface pour :

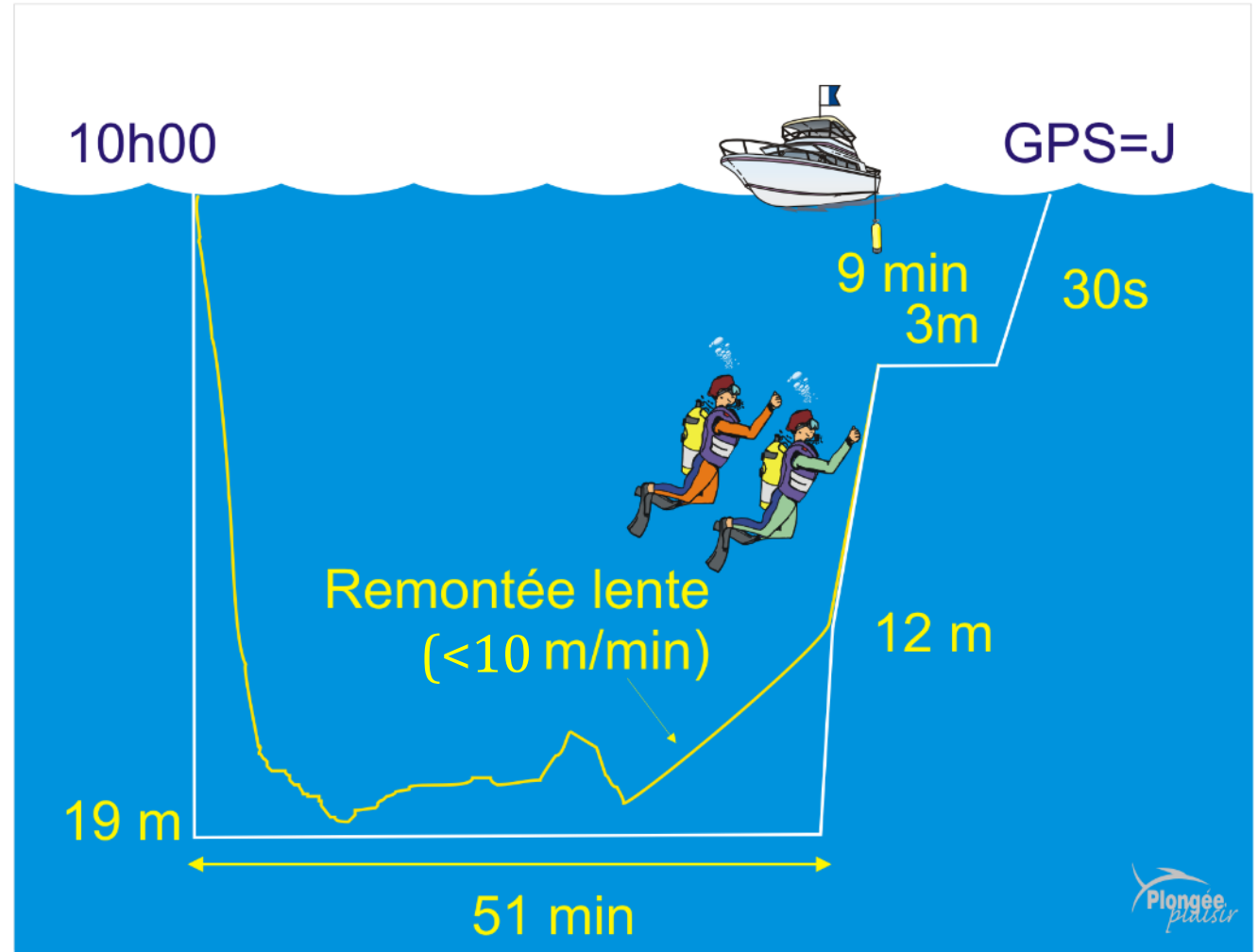
- redescendre à mi-profondeur de la plongée et effectuer un palier de 5min.
- effectuer un palier de 1 min à 6m et 5min à 3m en plus des paliers prévus lors de la plongée

Si ré-immersion impossible : mise sous O_2 et déclenchement des secours



LES TABLES DE PLONGÉE MN90 – SITUATIONS ANORMALES

- Remontée lente : remontée $< 10 \text{ m/min}$
 - Si la vitesse est trop lente alors le temps de remontée est à prendre en compte dans le temps de plongée



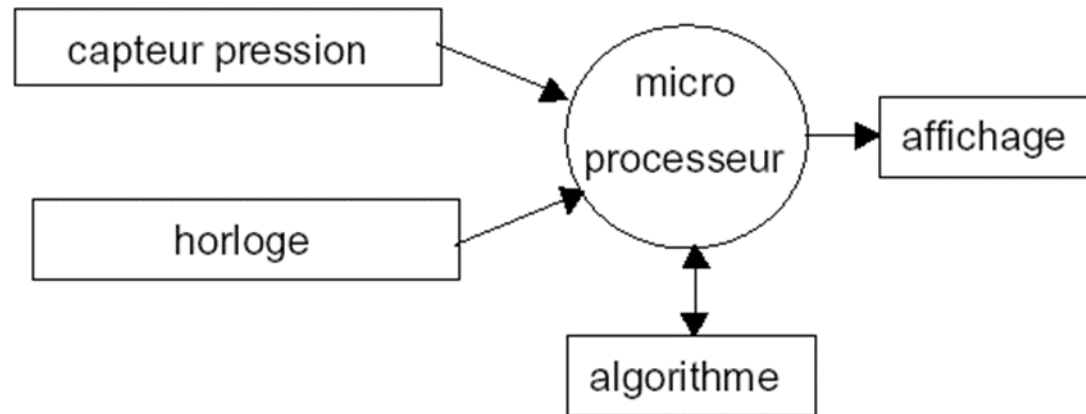
LES ORDINATEURS DE PLONGÉE – PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

- Permet de déterminer les paramètres de la plongée et de calculer les paliers
- 1 seul instrument pour gérer la décompression



LES ORDINATEURS DE PLONGÉE – PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

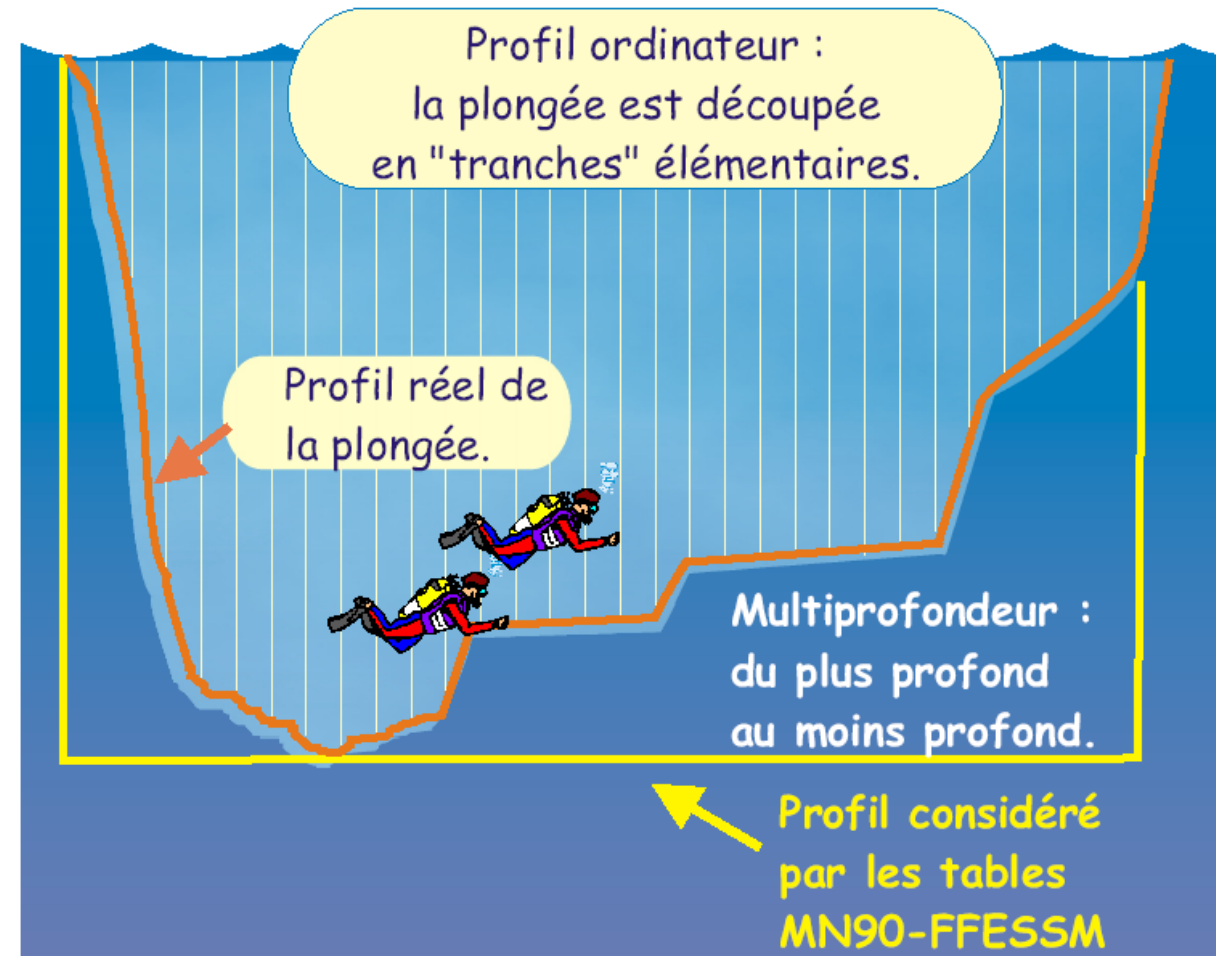
- Constituant d'un ordinateur de base
 - un capteur de pression ambiante => mise en route automatique (entre 0,5 et 1,2m de profondeur)
 - une mesure du temps (horloge)
 - un algorithme permettant de calculer la charge et la décharge en azote => fonction du fabricant
 - un micro processeur mettant en œuvre l'algorithme précédent
 - un écran affichant les résultats (paliers, paramètres de plongée, ...)



LES ORDINATEURS DE PLONGÉE – PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

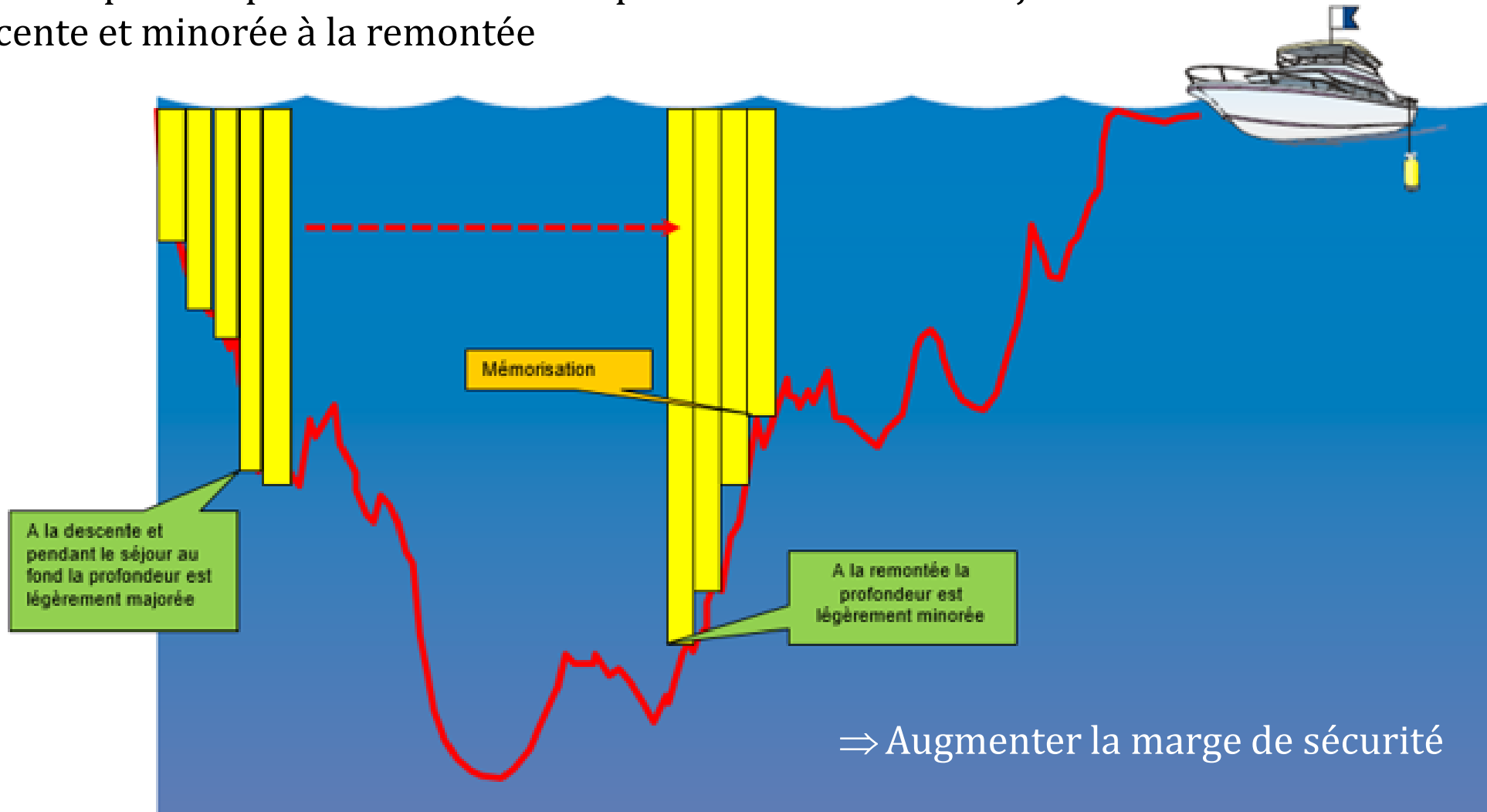
- L'ordinateur prend régulièrement les paramètres de la plongée pour déterminer le profil réel de la plongée
- L'algorithme détermine un niveau de saturation et le besoin ou non de réaliser des paliers

L'algorithme est fonction de la marque, suivant les ordinateurs les paliers et leur durée peuvent être différents



LES ORDINATEURS DE PLONGÉE – PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Par conception la profondeur mesurée par l'ordinateur est majorée à la descente et minorée à la remontée



LES ORDINATEURS DE PLONGÉE – QUE FAIRE EN CAS DE PANNE ?

- Pas de règle définie par les fabricants
- Si une panne d'ordinateur intervient lors d'une plongée simple
 - Remonter lentement (à la vitesse des petites bulles)
 - Gérer la décompression avec les tables de plongée (la plongée suivante sera réalisée avec les tables)
 - Par défaut, effectuer les mêmes paliers que son coéquipier (rappel palanquée = même profondeur, même durée, même trajet...)
- Si une panne intervient lors d'une plongée successive
 - Remonter lentement (à la vitesse des petites bulles)
 - Gérer la décompression avec les tables de plongée en incluant la majoration
 - Par défaut, effectuer un palier le plus long possible entre 6 et 3m
 - Ne plus plonger pendant les prochaines 24h

LES ORDINATEURS DE PLONGÉE – ENTRETIEN

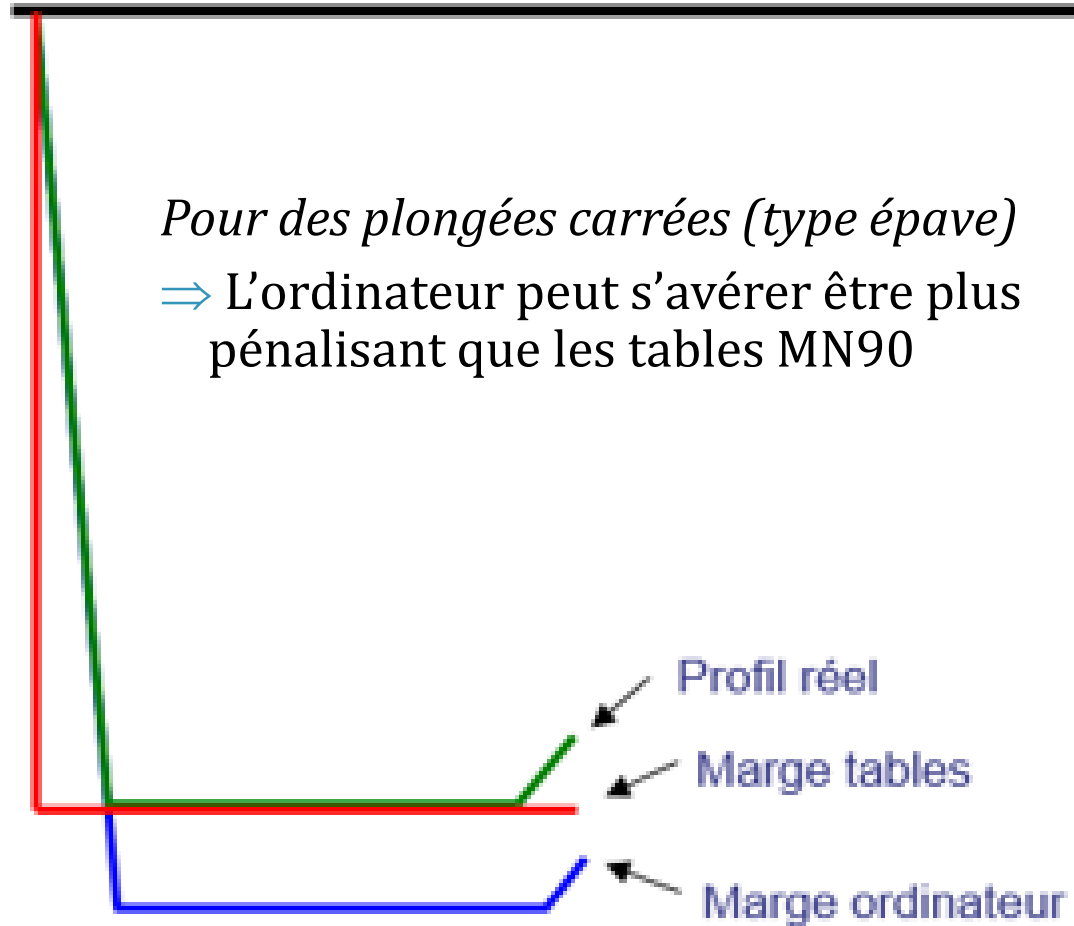
- Bien rincer à l'eau douce après une plongée (appuyer sur les contacts), préférer le bain à la douche
- Protéger l'ordinateur des chocs
- Ne pas stocker l'ordinateur dans une boîte étanche
- Faire voyager l'ordinateur en cabine
- Stocker dans un endroit sec et à l'abris du froid ou de la chaleur
- Selon les modèles faire changer la pile par un professionnel

LES AVANTAGES ET LIMITES DES DIFFÉRENTS MOYENS

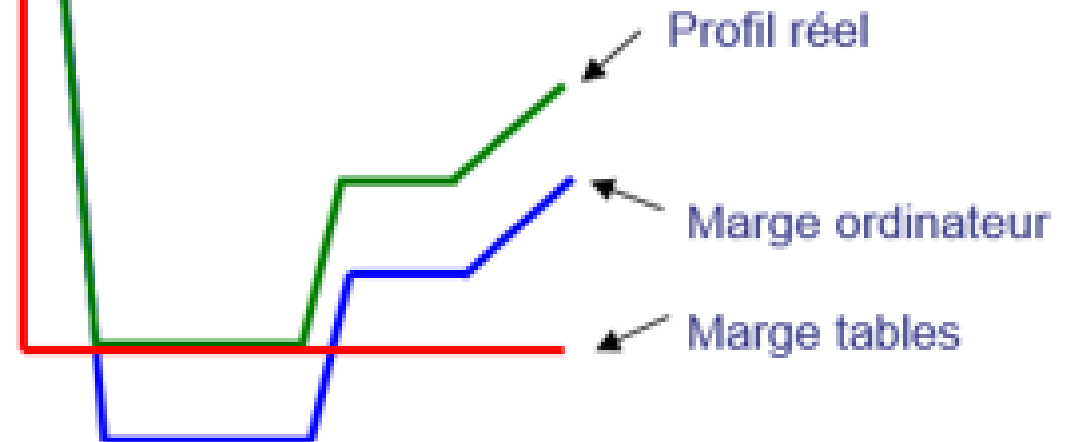
Critères	Tables MN90	Ordinateur
Nombre de plongées	2 / jour	2 / jour
Mélange utilisable	Air	Air / Nitrox / Trimix, changement de gaz en plongée possible
Altitude	Au niveau de la mer	Réglage altitude possible
Profils de plongée anormaux (inversé, 2 ^e plus profonde...)	Non	Non
Remontées rapides	Oui	Non (certains ordinateurs se bloquent lors d'une remontée trop rapide !)
Profil de plongée	Carré	Profil réel (optimisation des paliers)
Marge de sécurité	Plus importante	Plus faible
Vitesse	15 à 17 m/min	10 -12 m/min, variable suivant les modèles
Fiabilité	Pas de panne	Risque de panne , changement de pile nécessaire
Profondeur maximum	60 m	80 m , variable selon modèle
Planification	Oui	Oui
Gestion des alertes	Non	Bip sonore
Gestion des paramètres du plongeurs	Non	Réglage de paramètres personnels
Gestion du type d'eau (douce / salée)	Non	Oui selon les ordinateurs

LES AVANTAGES ET LIMITES DES DIFFÉRENTS MOYENS

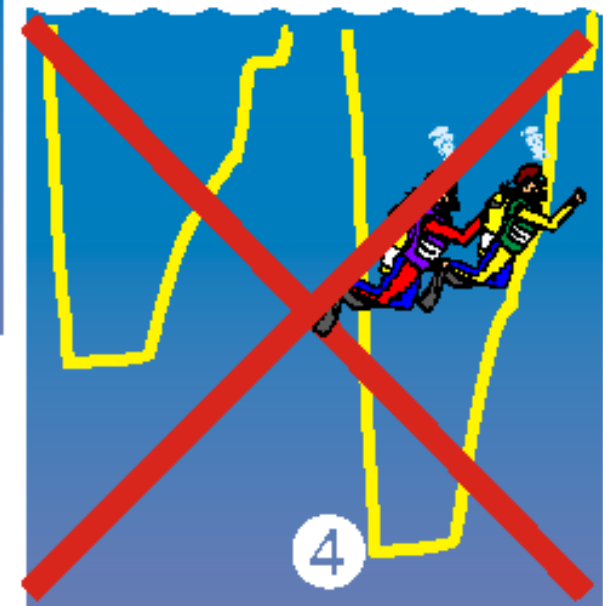
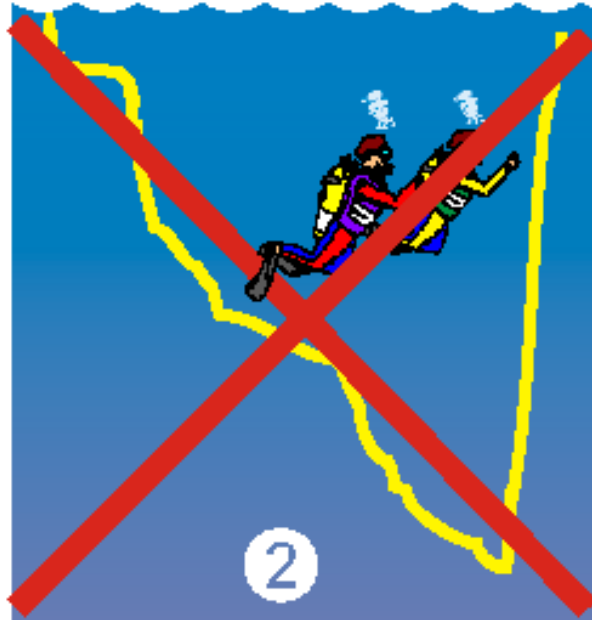
Pour des plongées carrées (type épave)
⇒ L'ordinateur peut s'avérer être plus pénalisant que les tables MN90



Pour des plongées multi-niveaux ou successives
⇒ L'ordinateur est moins pénalisant



LIMITES ET PRÉCAUTIONS À RESPECTER



LIMITES ET PRÉCAUTIONS À RESPECTER



EXEMPLES D'ORDINATEURS DE PLONGÉE SUUNTO VYPER / CRESSI LEONARDO – PENDANT LA PLONGÉE

Pas de palier à réaliser

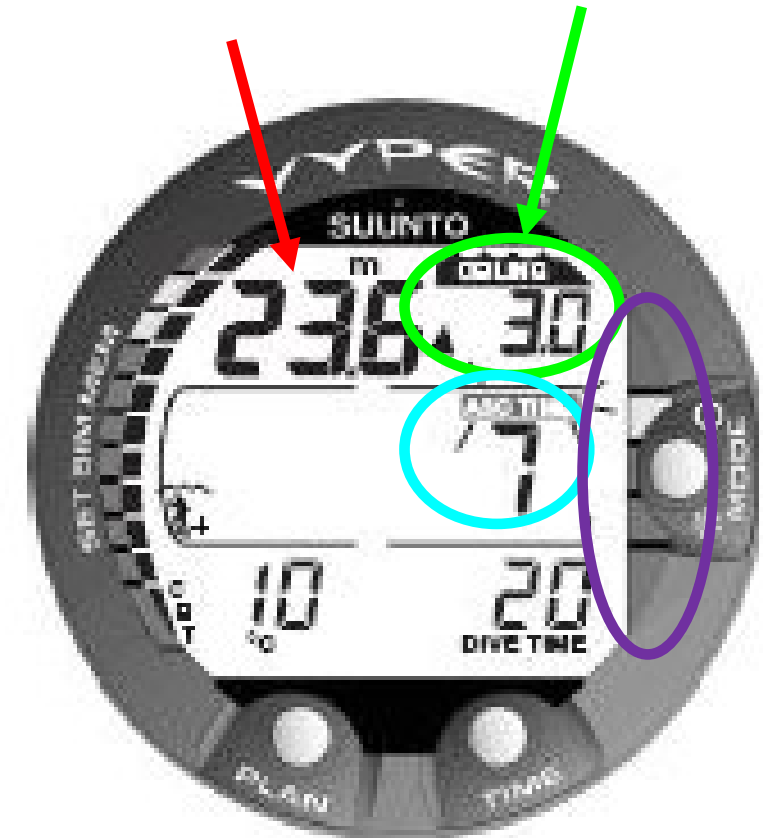
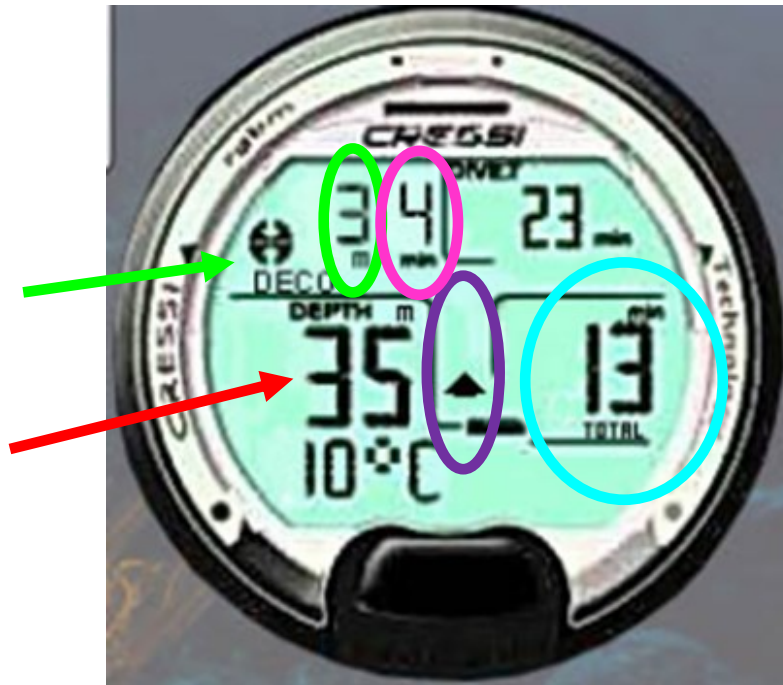
- Profondeur actuelle ———
- Profondeur maxi ———
- Durée de plongée ———
- Temps restant avant un palier ———
- Température ———
- Saturation (temps avant palier) ———
- Un paramétrage de difficulté et d'altitude ———



EXEMPLES D'ORDINATEURS DE PLONGÉE SUUNTO VYPER / CRESSI LEONARDO – PENDANT LA PLONGÉE

Si un ou plusieurs paliers sont à effectuer

- Profondeur actuelle ———
- Profondeur du 1^{er} palier ———
- Durée de la remontée (paliers inclus) ———
- Vitesse de remontée ———
- Durée du 1^{er} palier ———

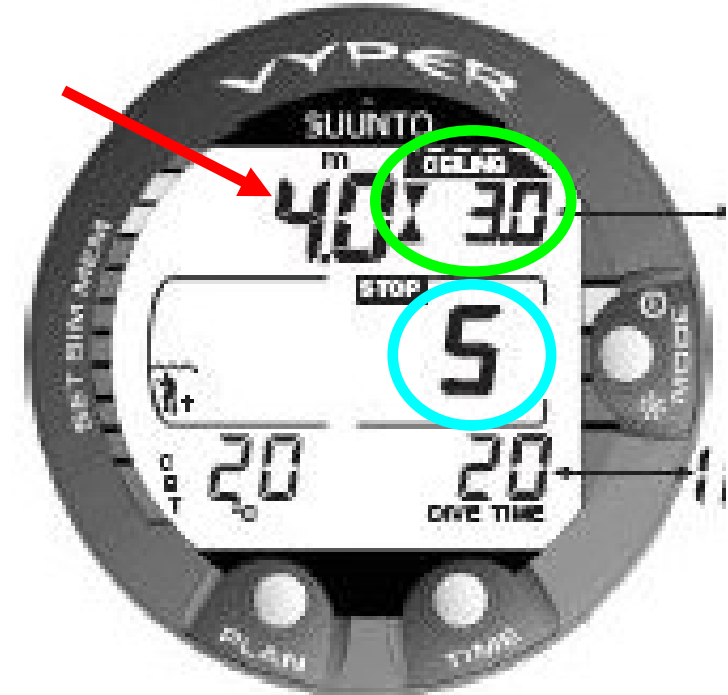


EXEMPLES D'ORDINATEURS DE PLONGÉE SUUNTO VYPER – PENDANT UN PALIER

- Profondeur actuelle ———
- Profondeur du palier obligatoire ———
- Durée du palier ———

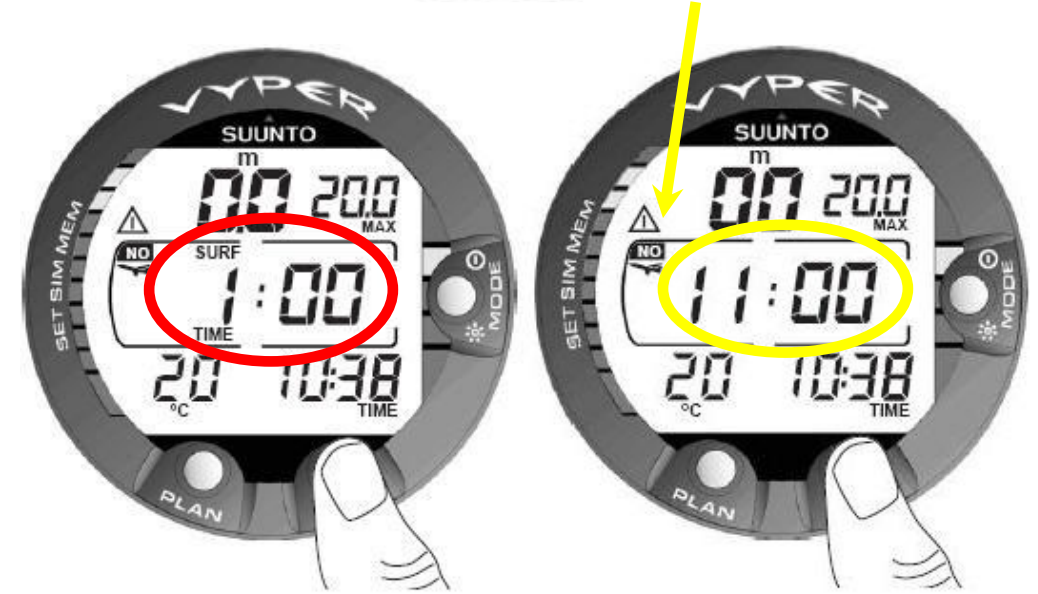
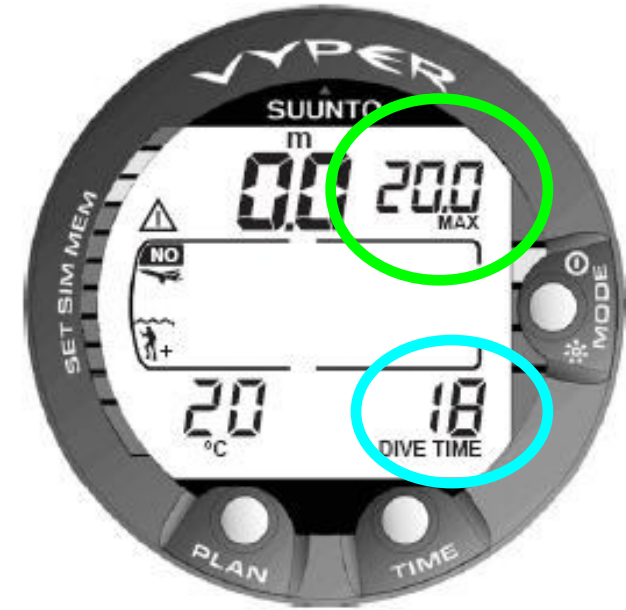
Indicateur de zone de réalisation du palier

- ✕ Zone optimale (3 m mini)
- ▼ Au dessus la profondeur mini, il faut redescendre
- ▲ Au dessous de la profondeur max, il faut remonter



EXEMPLES D'ORDINATEURS DE PLONGÉE SUUNTO VYPER / CRESSI LEONARDO – APRÈS LA PLONGÉE

- Profondeur max de la dernière plongée ———
- Durée de la dernière plongée ———
- Intervalle de surface depuis la dernière plongée ———
- Durée d'interdiction de vol ———



ORDINATEUR DE PLONGÉE – MODE PLAN / MODE PLANIFICATION

- **Mode plan**

- permet de calculer la durée de plongée sans décompression en tenant compte des plongées précédentes

Nemo Wide

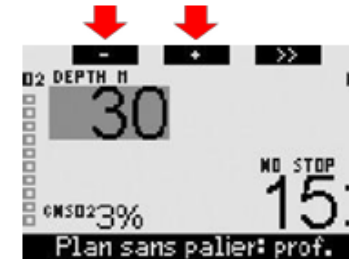


Suunto Vyper



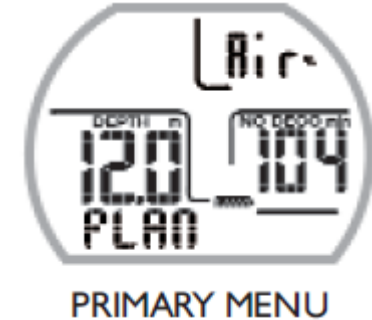
Mode PLANnodeco

Uwatec Galileo



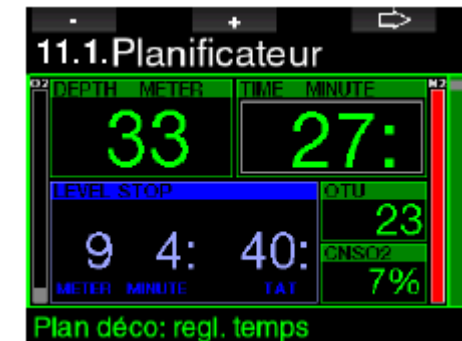
Mode PLAN sanspalier

Cressi Archimede



⇒ Utile lors de plongées successives

- Certains modèles permettent la planification avec paliers (mode planification / simulation)

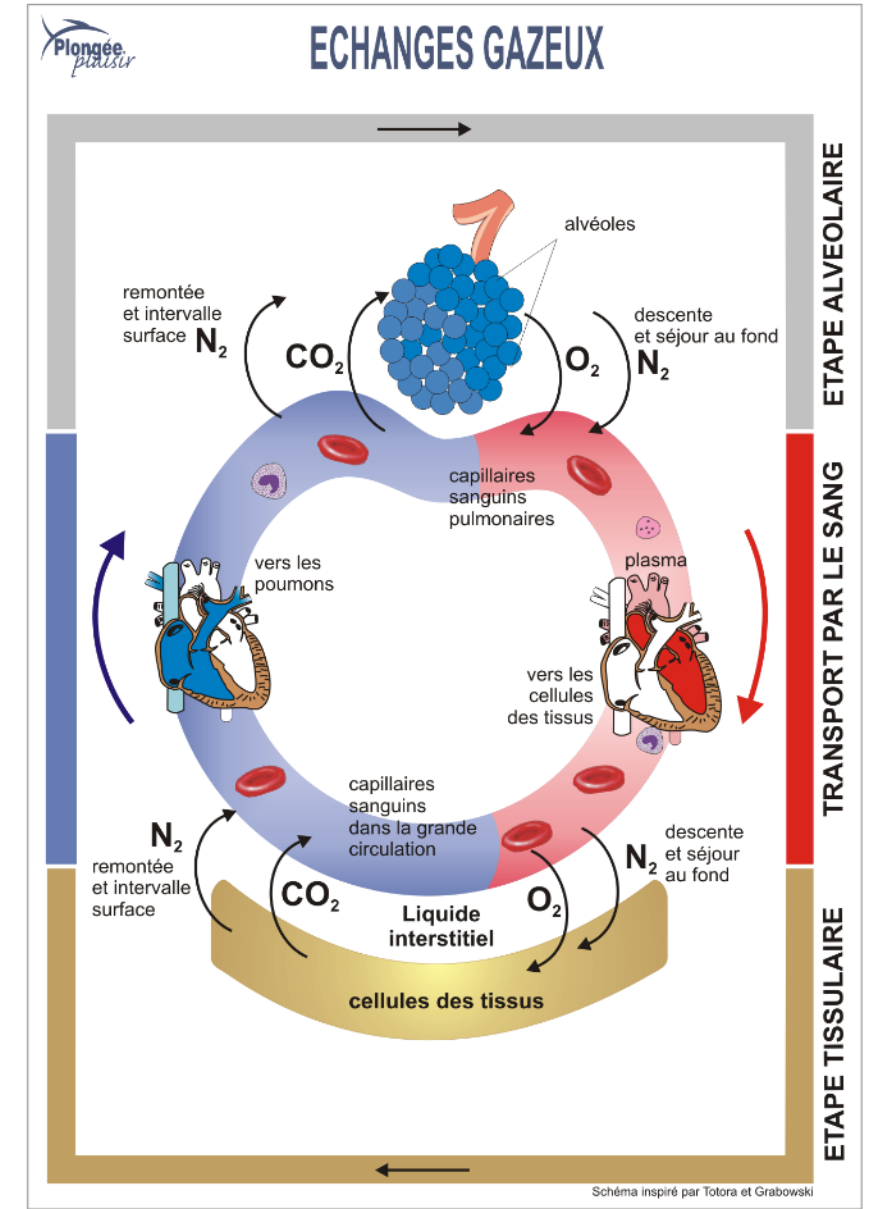


Scubapro G2

ACCIDENTS DE DESATURATION

- **Les échanges gazeux en plongée**

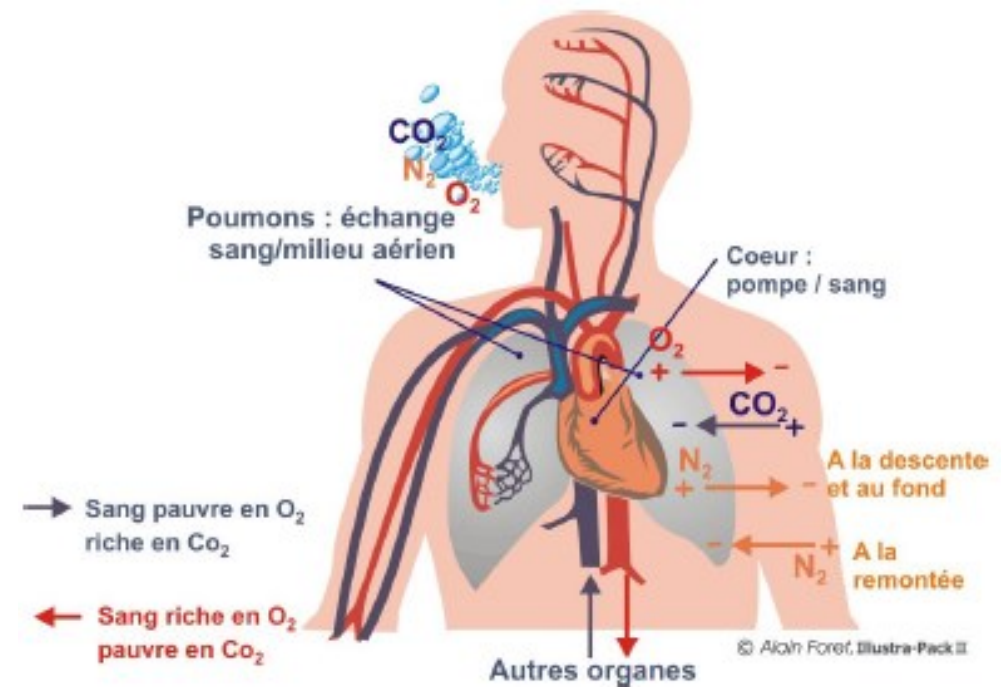
- A la descente
 - Alvéoles pulmonaires : N_2 alvéoles $\rightarrow$ sang
 - Capillaire : N_2 sang $\rightarrow$ cellules
- A la remontée
 - Capillaire : N_2 cellules $\rightarrow$ sang
 - Alvéoles pulmonaires : N_2 sang $\rightarrow$ alvéoles



ACCIDENTS DE DESATURATION

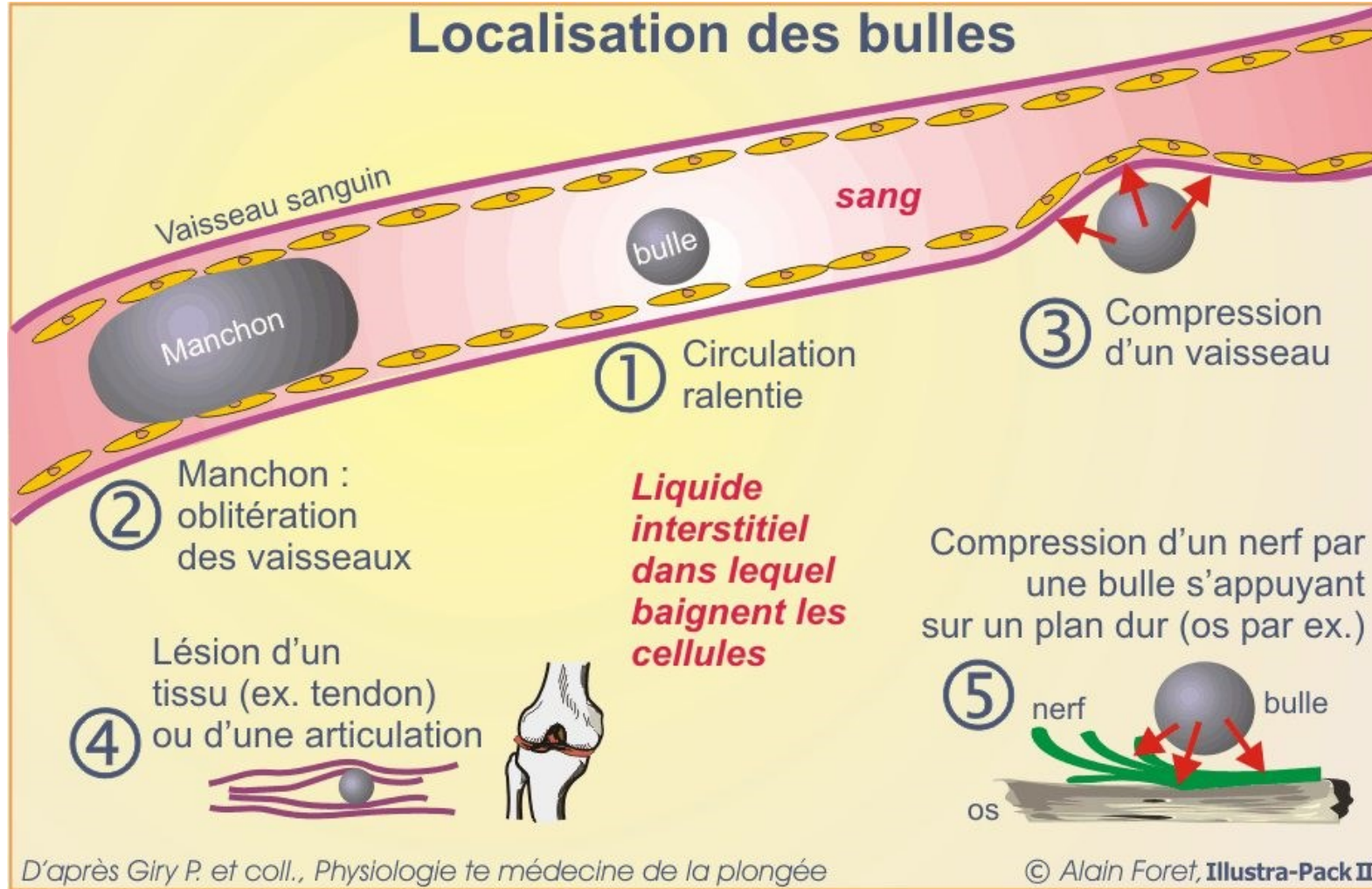
- Lors de la remontée, il faut laisser le temps aux poumons d'évacuer l'azote.
- Si la $TN_2 \gg PpN_2$ alors le N_2 dissout dans le corps peut former des bulles

⇒ Accident de désaturation provoqué par la présence de bulles de N_2 dans le corps



ACCIDENTS DE DESATURATION

Les symptômes sont fonction de la localisation des bulles de N_2 .



La (les) bulle(s) peut (vent) bouger lors de la remontée provoquant une évolution des symptômes

ACCIDENTS DE DESATURATION

- **Accidents cutanés**

- Puces : bulles localisées dans l'épaisseur de la peau, au niveau du tronc et des membres sup. (démangeaisons, marbrures)
- Moutons : bulles localisées dans la peau aux points d'appui (boursouflures douloureuses)



- **Accidents osteo-arthro-musculaires (Bends)**

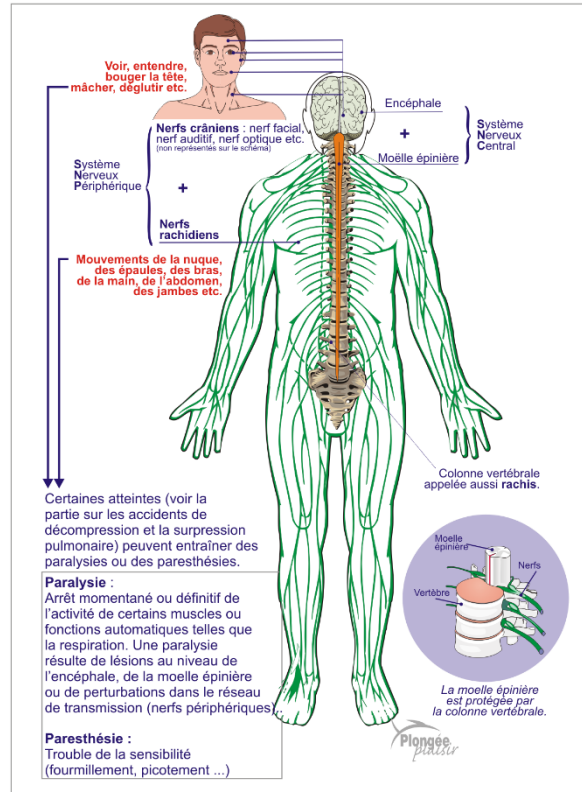
- Bulles localisées au niveau des tendons des articulations : épaule, genou, hanche, poignet, cheville (douleur d'intensité progressive, déformation articulaire avec handicap)

ACCIDENTS DE DESATURATION

• Accidents Neurologiques

Accidents cérébraux

- Paralyse
- Crise convulsive
- Trouble parole
- Coma



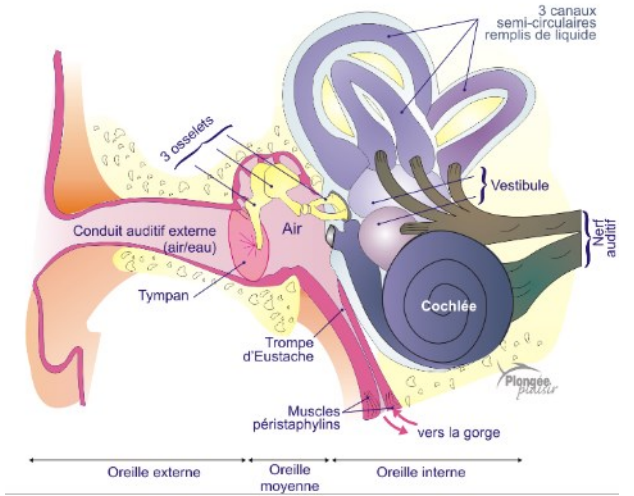
RISQUES LIES A LA DECOMPRESSION

oreille interne

cerveau

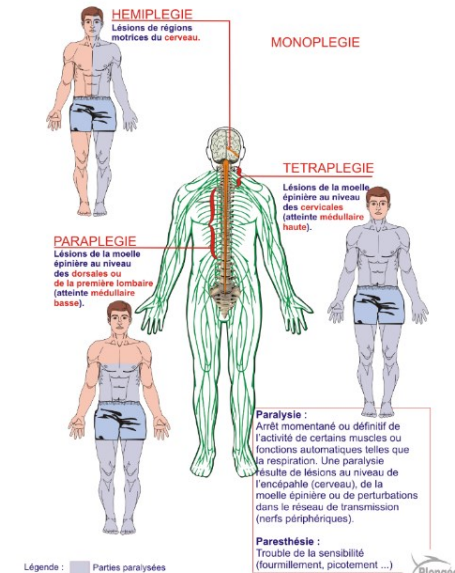
Accidents cochléo-vestibulaires

- Vertiges, trouble de la marche
- Nausées, vomissements
- Troubles de l'audition, acouphènes



Accidents médullaires

- Apparition assez rapide
- Douleur dorsale ou lombaire
- Parésie progressive des membres
- Paralysie
- Difficulté à se tenir debout
- Dysesthésie (anomalie des sensations)
- Asthénie (fatigue, faiblesse)



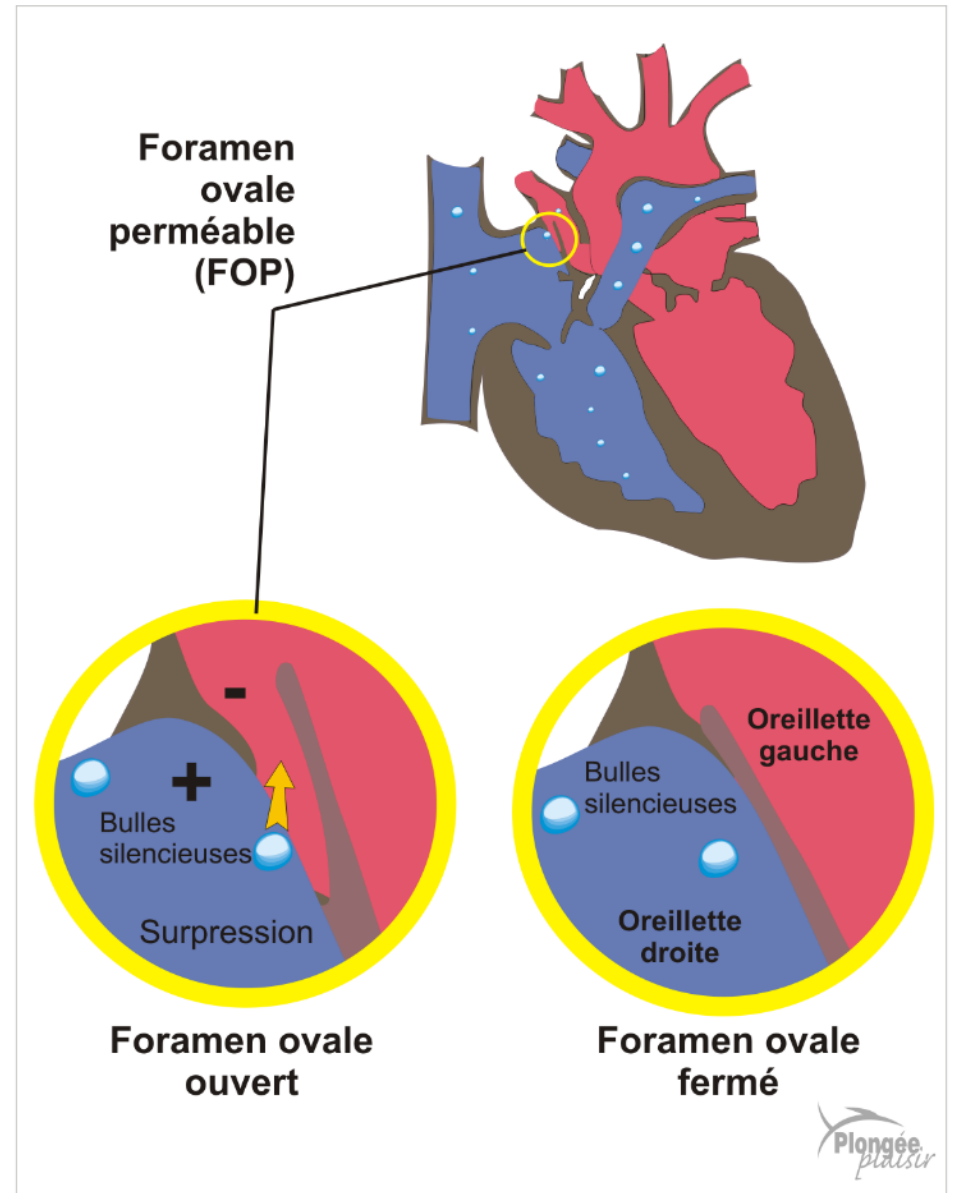
ACCIDENTS DE DESATURATION

- **Foramen Ovale Perméable (FOP)**

- Les parties gauche et droite du cœur sont en communication chez l'embryon par un orifice intra auriculaire
- Cet orifice se ferme à la naissance
- Pour 25% à 30% de la population, il reste perméable et peut s'ouvrir lors d'une suppression :
 - Valsalva
 - Effort violent
 - Blocage de la respiration

⇒ Pas de problème dans la vie courante mais en plongée risque de passage d'une bulle du côté veineux au côté artérielle

⇒ Pas de dépistage systématique

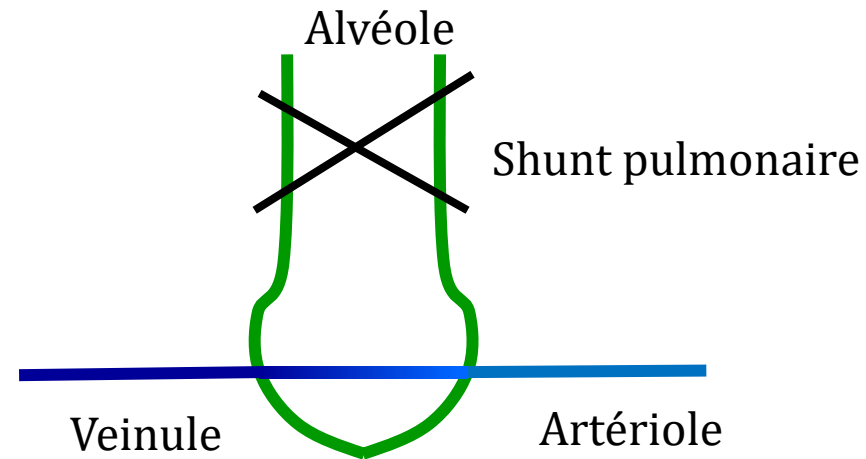
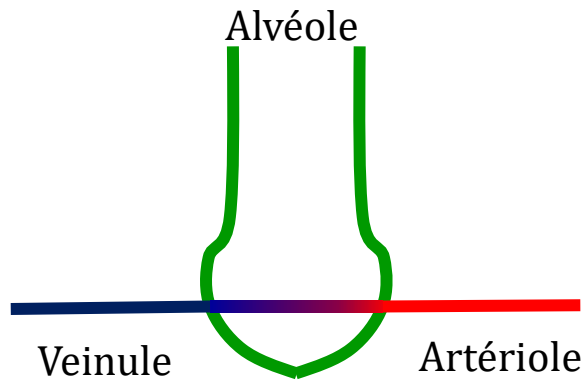
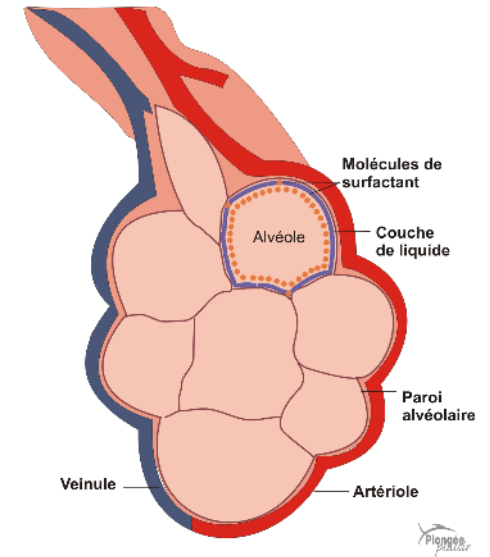


ACCIDENTS DE DESATURATION

- **Le shunt pulmonaire**

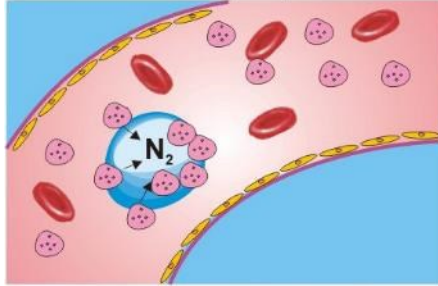
- Passage du sang à travers les alvéoles pulmonaires sans être ventilé
- Présent chez 10% de la population (plus présent chez les fumeurs)

⇒ Risque supplémentaire d'accident

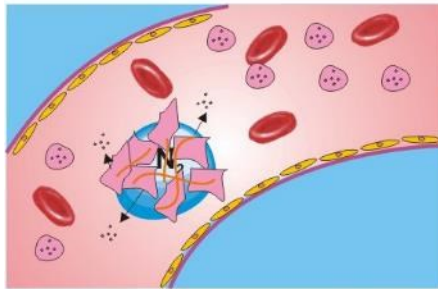


ACCIDENTS DE DESATURATION

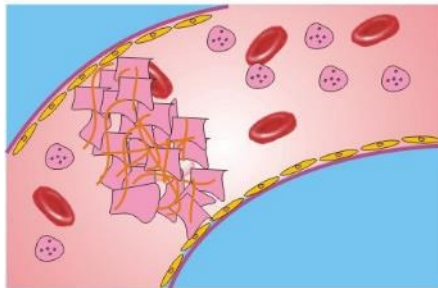
Bulle d'azote : action des plaquettes



Etape 1 : adhésion plaquettaire.



Etape 2 : libération plaquettaire.



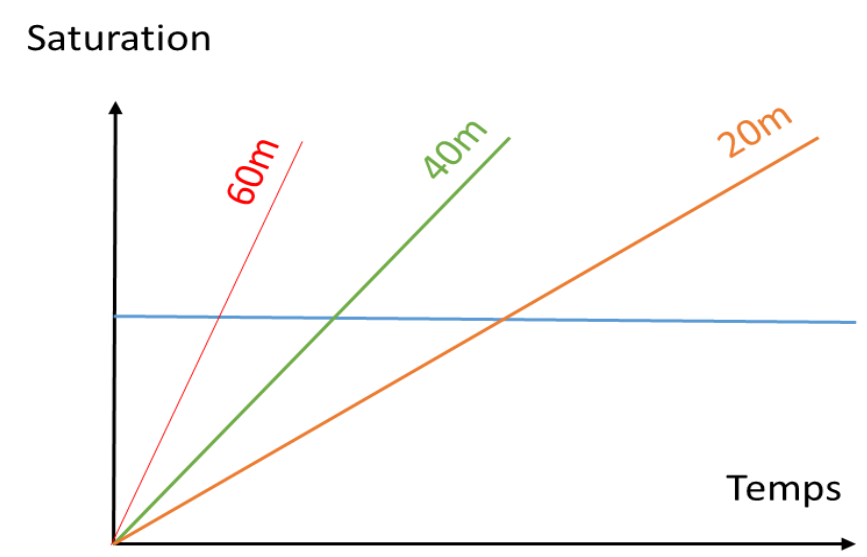
Etape 3 : agrégation plaquettaire.

D'après Tortora et Grabowski

- Au contact d'une bulle, le sang se trompe et commence à fabriquer un caillot.
- Les plaquettes s'agglutinent autour de la bulle entraînant un ralentissement de la circulation sanguine pouvant aller jusqu'à une obstruction du vaisseau.
 - ⇒ Douleur
 - ⇒ Risque cardiaque

Pour limiter ce phénomène, il faut s'hydrater après la plongée.

ACCIDENTS DE DESATURATION

Mécanisme / cause	Traitement	Prévention
Présence de bulles de N₂ dissouts dans les tissus du corps qui se bloquent dans un vaisseau sanguin, au niveau d'un nerf ou d'un tissu. Saturation  Temps <i>Facteurs aggravants : fatigue, froid, stress</i>	- Porter assistance - Gonfler la stab - Ramener la personne au bateau - Prévenir les secours - Placer la victime sous O₂ (ne jamais interrompre la procédure) - Faire boire de l'eau ou du jus de fruit par petite quantité - Surveiller les autres membres de la palanquée	- Respecter les procédures de décompression - Ne pas plonger en cas de fatigue - Limiter les efforts pendant la plongée - Pas d'effort après la plongée - Pas d'apnée après une plongée - Adapter la plongée en fonction de l'environnement (froid) - Pas d'avion 24h après une plongée (attention à l'altitude) <i>La condition physique influence sur les risques d'accident de décompression.</i>



ACCIDENTS DE DESATURATION - STATISTIQUES

- **Apparition des symptômes**

- 50% des ADD apparaissent dans les 30' après la plongée
- 85% des ADD apparaissent dans l'heure après la plongée
- 95% des ADD apparaissent dans les 3 heures après la plongée
- 99 % des ADD apparaissent dans les 6 heures après la plongée

- **Type de plongée**

- Plongée technique : 20%
- Plongée d'exploration avec erreur de procédure : 20%
- Plongée d'exploration sans erreur de procédure : 60%



- **Type d'accident**

- Accident médullaire : 40%
- Accident cochléo-vestibulaire : 30%
- Accident encéphalique : 15%
- Accident ostéo-articulaire : 15%

ACCIDENTS DE DESATURATION – COMPORTEMENT GUIDE DE PALANQUEE

- Respect des consignes du DP
- Si plongée successive, la 1^{ère} est la plus profonde
- Minimum 2h entre 2 plongées
- Pour une plongée profonde : signe mi-bouteille et / ou réserve anticipés (ex: mi-bouteille 120b et réserve 70b)
- Vérifier régulièrement les manomètres (discrètement?) surtout en cas de plongée profonde
- Attention à l'influence des conditions de la plongée : froid, courant, visibilité...
- Respecter les procédures de décompression (palier, vitesse de remontée)
- Prendre le protocole le plus sécurisant
- Attention si pas d'ordinateur pour tous les plongeurs
- Raisonner pour les autres
- Ne pas se surestimer
- Surveiller les plongeurs après la plongée (surtout si profonde)

En autonomie, appliquer les mêmes principes



