

NIVEAU 4



La désaturation



La désaturation

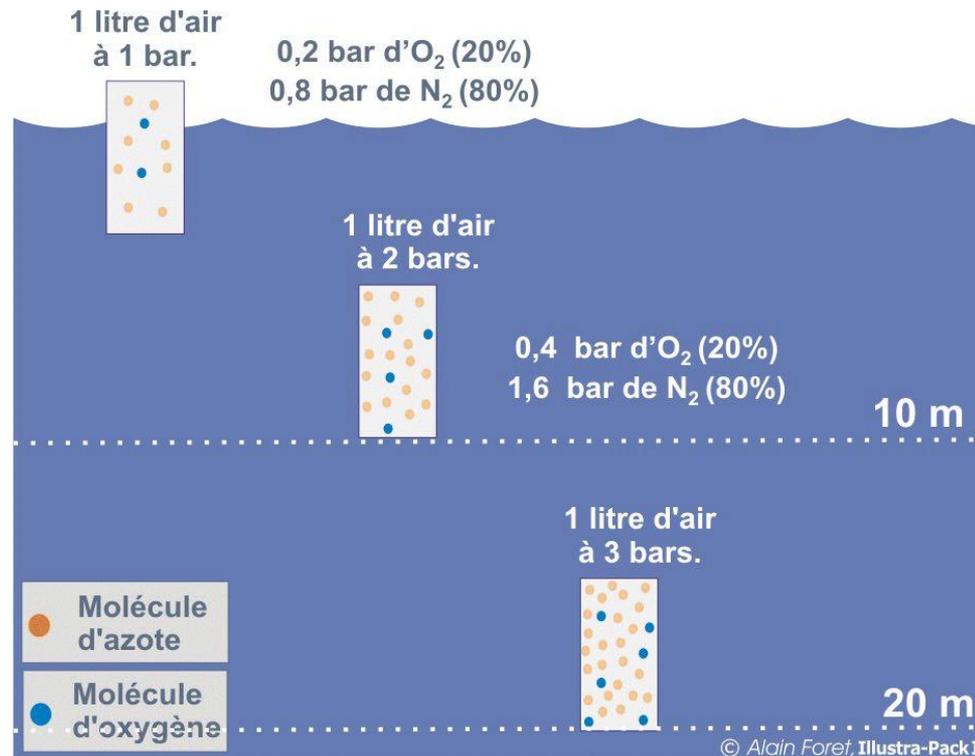
- Rappel des lois physiques
- Les modèles de désaturation
- Les risques d'accidents de désaturation
- Utilisation des tables MN90
- Plongée en altitude
- Les ordinateurs de plongée

- Loi de Dalton

$$P_p \text{ Gaz} = P \text{ Abs} \times \% \text{ du Gaz}$$

- Loi de Henry

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



Le modèle haldanien

- La Royal Navy demande a Haldane d'étudier et de mettre au point des règles de sécurité pour le retour des plongeurs à la surface.
- En 1908 il propose une table de remontée par palier qui sera utilisé jusqu'en 1958.

Modèle haldanien

- Il constate qu'il n'y a pas de risque pour une plongée inférieure à 12 m, quelque soit la durée.
- Il en déduit un rapport de 1 pour 2 ($12\text{m} = 2b$) quelque soit la profondeur et la durée
 - Exemple plongée à 50 m ($6b$) on divise la pression par 2 donc $3b$ soit 20 m.
 - Il en déduit que l'on peut remonter de 50 m à 20 m sans risque, mais en remontant à vitesse variable qui pratiquement est impossible.
 - Il choisit d'adopter une remontée par paliers de 10 pieds (3m) en 10 pieds à 10 m/min, en limitant la profondeur maxi à 60 m.
- Le modèle Haldanien suppose
 - L'équilibre des pressions au niveau alvéolaire est instantané
 - L'équilibre des pressions au niveau des tissus est instantané
 - Le corps humain est représenté par une liste de régions anatomiques fictives appelés compartiments
 - Chaque compartiment à un comportement homogène vis-à-vis des gaz.

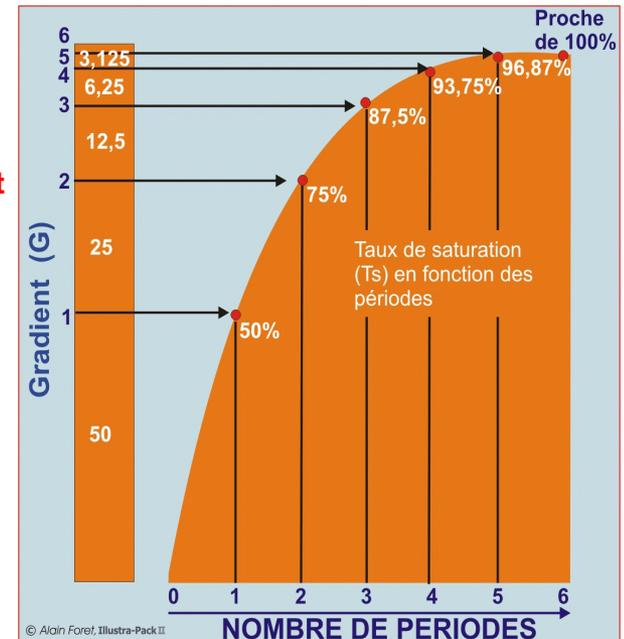
Les tables MN90 :

- **Un modèle haldanien qui considère que :**

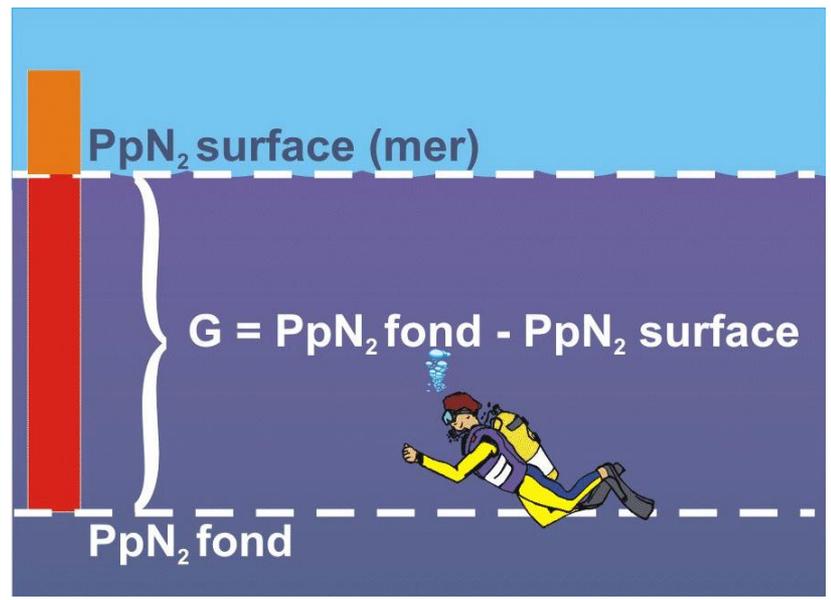
1. Le corps humain est représenté par des **compartiments (12)**
2. La quantité maxi d'azote que ces compartiments peuvent dissoudre correspond à un **gradient (G)** de pression (différence) entre la Pp N2 au plus profond et celle en surface .
3. Le temps pour qu'un compartiment absorbe la moitié du gradient de pression est caractéristique du compartiment considéré, ce temps est appelé **période**.
4. L'absorption ou l'élimination de l'azote est **exponentielle**.
5. Au cours de la remontée le rapport entre la tension de N2 de chaque compartiment et la pression absolue (Pabs) ne doit jamais dépasser le seuil de **sursaturation critique (Sc)**

Pour rejoindre la surface il faut que chaque compartiment le rapport TN_2 / Sc soit inférieur ou égal à 1

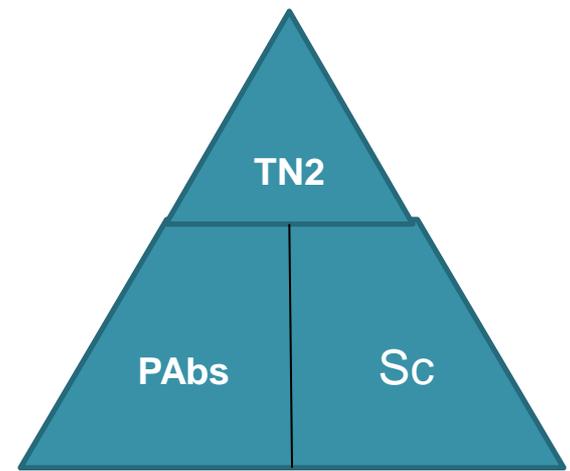
Lorsque plusieurs compartiments ont une valeur sup à 1 on choisit celui qui a la valeur la plus élevée, c'est le **compartiment directeur**.



- 12 COMPARTIMENTS**
- 1 **C₅** 5 min
 - 2 **C₇** 7 min
 - 3 **C₁₀** 10 min
 - 4 **C₁₅** 15 min
 - 5 **C₂₀** 20 min
 - 6 **C₃₀** 30 min
 - 7 **C₄₀** 40 min
 - 8 **C₅₀** 50 min
 - 9 **C₆₀** 60 min
 - 10 **C₈₀** 80 min
 - 11 **C₁₀₀** 100 min
 - 12 **C₁₂₀** 120 min



C x (12 Compartiments)	Périodes	Sc
C5	5	2.72
C10	10	2.38
C120	120	1.54

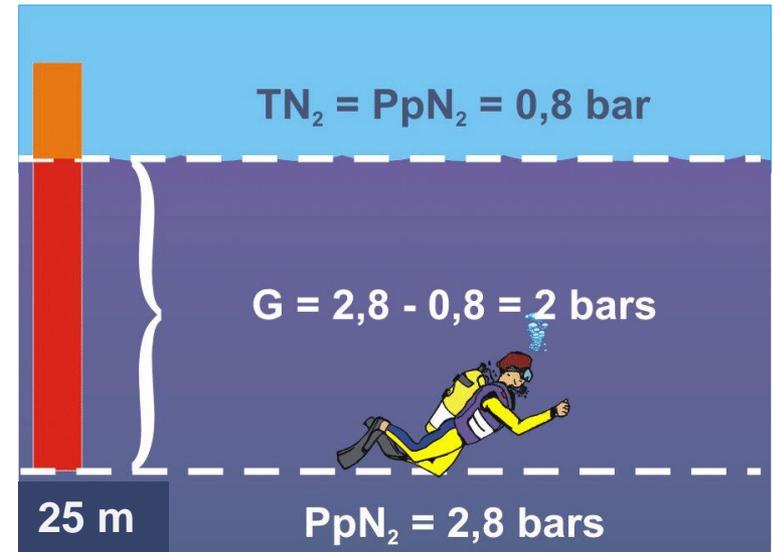
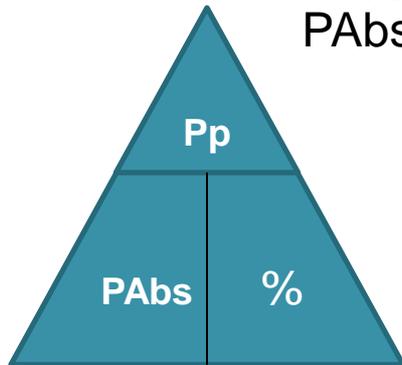


Exemple

Une plongée à 25 m durant 30 min on choisit le compartiment (C10) de période 10 min. ($Sc=2,38$)

Rappel :

$$PAbs = Patm + PRel$$



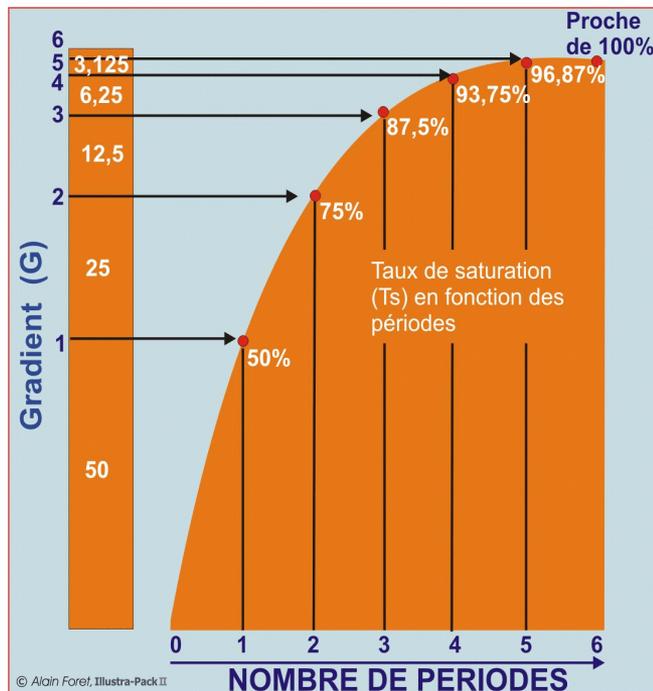
© Alain Foret, Illustra-Pack II

En surface il y a équilibre entre l'azote dissous TN_2 et l'azote respiré PpN_2
En surface la $PpN_2 = 1 \times 0,8 = 0,8$ et la tension de $N_2 = 0,8 \text{ bar}$.

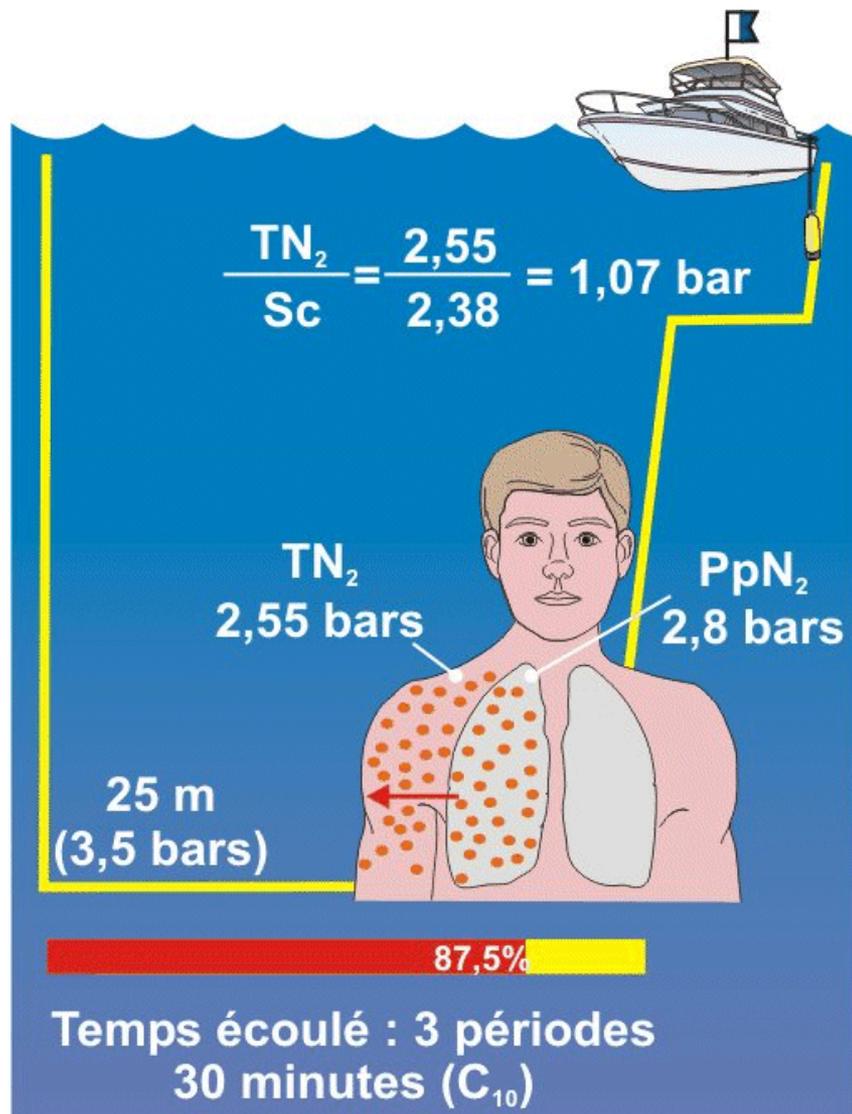
A 25 m , la $PpN_2 = 3,5 \text{ b} \times 0,8 = 2,8 \text{ b}$ la phase de descente est instantanée
La tension d'azote dans les compartiments = tension en surface soit 0,8 bar.

G (gradient) = PpN_2 à 25 m – PpN_2 en surface = 2 bars

- Au bout de 30 min le C10 a passé 3 périodes donc le taux de saturation est de 87,5 % selon la courbe ci contre.
- La tension finale d'azote = TN2 en surf + (G x Taux de saturation)
- TN2 Finale = 0,8 + (2b x 0.875) = 2,55 bars
- P Abs = TN2 / Sc = 2,55 / 2,38 = 1,07 b donc arrêt à 70 cm => **Palier à 3 m**



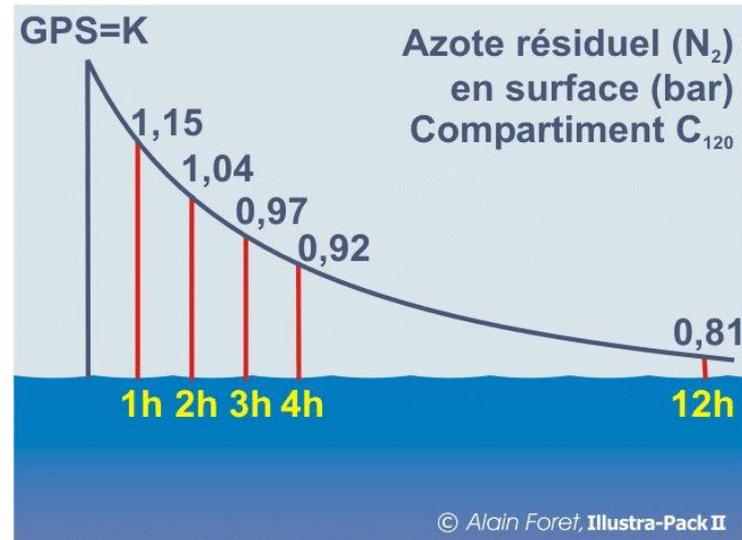
C x (12 Compartiments)	Période s	Sc
C5	5	2.72
C10	10	2.38
C120	120	1.54



Azote résiduel

- De retour en surface la désaturation n'est pas terminée, les tables MN90 considère le compartiment 120 comme directeur entre 2 plongées
- Si la valeur de sortie du GPS est K

Groupe de plongée successive	15min	30min	45min	1h	1h30	2h	2h30	3h	3h30	4h
A	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	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
C	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,85	0,85	0,84	0,83
D	0,97	0,95	0,94	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,85
E	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86
F	1,05	1,03	1,01	0,99	0,96	0,94	0,91	0,90	0,88	0,87
G	1,08	1,06	1,04	1,02	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88
H	1,13	1,10	1,08	1,05	1,01	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89
I	1,17	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,97	0,94	0,92	0,90
J	1,20	1,17	1,14	1,11	1,06	1,02	0,98	0,96	0,93	0,91
K	1,25	1,21	1,18	1,15	1,09	1,04	1,01	0,97	0,95	0,92



Plongée à 27 m pendant 40 min on simplifie en utilisant 2 compartiments

		C10	C30
TN2 initiale	PpN2 en surface		
Pression à 27 m	$P_{abs} = P_{rel} + P_{atm}$		
PPN2	$P_{abs} \times \% N_2$		
Gradient	$P_{pN_2} \text{ à } 27 \text{ m} - P_{pN_2} \text{ Surf}$		
Temps au fond			
Nb de Périodes	T_{fond} / C_x		
Taux de saturat°	Tableau		
N2 dissout	$G \times T_s$		
TN2 finale	$T_i + TN_2 \text{ dis}$		
Sc	Tableau		
$P_{abs} =$	T_f / Sc		
Prof mini			
Palier			

Plongée à 27 m pendant 40 min on simplifie en utilisant 2 compartiments

		C10	C40
TN2 initiale	PpN2 en surface	0,8	0,8
Pression à 27 m	Pabs = Prel+Patm	2,7+1 = 3,7b	3,7
PPN2	Pabs x % N2	3,7x0,8=2,96b	2,96
Gradient	PpN2 à 27 m–PpN2 Surf	2,96-0,8=2,16	2,16
Temps au fond		40	40
Nb de Périodes	Tfond/ Cx	40/4=4	1
Taux de saturat°	Tableau	93,75 %	50%
N2 dissout	G x Ts	2,16x0,9375=2,025b	1,08
TN2 finale	Ti + TN2 dis	0,8+2,025=2,825	1,88
Sc	Tableau	2.38	1,68
Pabs =	Tf / Sc	2,825/2,38=1,186	1,119
Prof mini		1,86m	1,19
Palier		3m	

Utilisation des tables MN90 par Patrice Les ordinateurs de plongée par Jean Cyrille

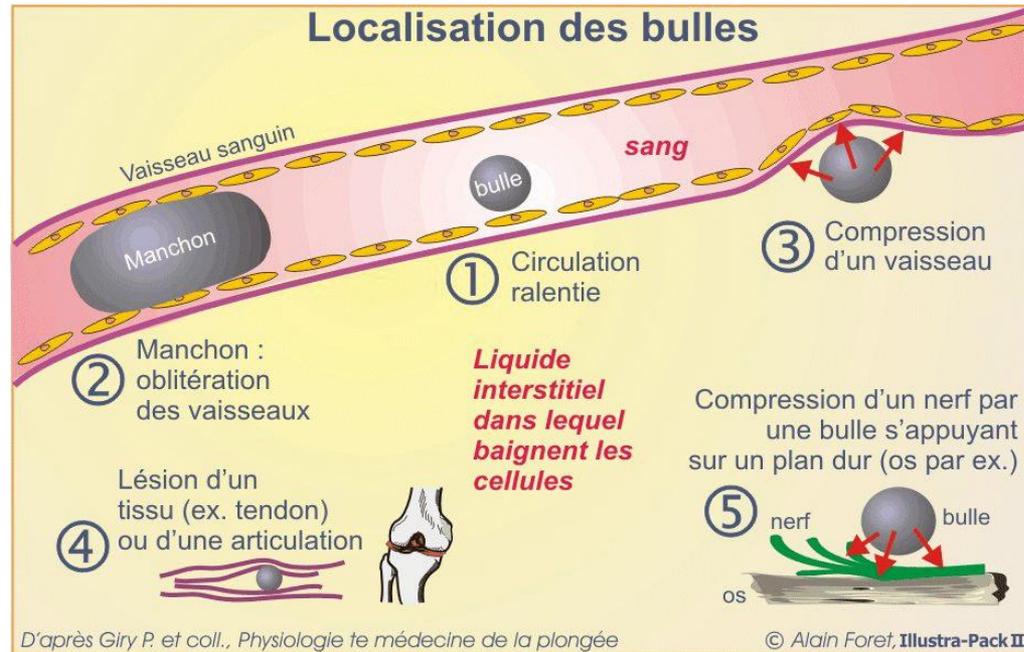
Prof	Durée	6m	3m	DTR	GPS
22 m	60 min	20	22	K	
	1h05	25	27	L	
	1h10	29	31	L	
	1h15	33	35	M	
	1h20	37	39	M	
	1h25	41	43	N	
1h30	44	46	N		
25m	5 min		2	B	
	10 min		2	C	
	15 min		2	D	
	20 min		2	E	
	25 min	1	3	F	
	30 min	2	4	H	
	35 min	5	7	I	
	40 min	10	12	J	
	45 min	16	18	J	
	50 min	21	23	K	
55 min	27	29	L		
60 min	32	34	L		
1h05	37	39	M		
1h10	41	45	M		
1h15	44	50	N		
1h20	47	55	N		
1h25	49	60	O		
1h30	51	64	O		
28m	5 min		2	B	
	10 min		2	D	
	15 min		2	E	
	20 min	1	4	F	
	25 min	2	5	G	
	30 min	6	9	H	
	35 min	12	15	I	
	40 min	19	22	J	
	45 min	25	28	K	
	50 min	32	35	L	
55 min	36	41	M		
60 min	40	47	M		
1h05	43	54	N		

Prof	Durée	6m	3m	DTR	GPS	
28 m	1h10	11	46	60	N	
	1h15	14	48	65	O	
	1h20	17	50	70	O	
	1h25	20	53	76	O	
	1h30	23	56	82	P	
	5 min			2	B	
10 min			2	D		
15 min		1	4	E		
20 min		2	5	F		
25 min		4	7	H		
30 min		9	12	I		
35 min		17	20	J		
40 min		24	27	K		
45 min	1	31	35	L		
50 min	3	36	42	M		
55 min	6	39	48	M		
60 min	10	43	56	N		
1h05	14	46	63	N		
1h10	17	48	68	O		
30m	5 min		3	B		
	10 min		3	D		
	15 min		1	4	E	
	20 min	3	6	G		
	25 min	6	9	H		
	30 min	14	17	I		
	35 min	22	25	K		
	40 min	1	29	33	K	
	45 min	4	34	41	L	
	50 min	7	39	49	M	
55 min	11	43	57	N		
60 min	15	46	64	N		
1h05	19	48	70	O		
1h10	23	50	76	O		
32m	5 min		3	C		
	10 min		3	D		
	15 min		2	5	F	
	20 min	5	8	H		
35m	5 min		3	C		
	10 min		3	D		
	15 min		2	5	F	
	20 min	5	8	H		

Prof	Durée	9m	6m	3m	DTR	GPS
35m	25 min			11	14	I
	30 min	1	20	24	J	
	35 min	2	27	32	K	
	40 min	5	34	42	L	
	45 min	9	39	51	M	
	50 min	14	43	60	N	
55 min	18	47	68	N		
60 min	22	50	75	O		
1h05	26	52	84	*		
1h10	28	57	93	*		
38m	5 min			3	C	
	10 min		1	4	E	
	15 min		4	7	F	
	20 min		8	11	H	
	25 min	1	16	21	J	
	30 min	3	24	31	K	
	35 min	5	33	42	L	
	40 min	10	38	52	M	
	45 min	15	43	62	N	
	50 min	20	47	71	N	
55 min	23	50	79	O		
60 min	27	53	89	P		
1h05	29	58	99	*		
1h10	31	62	108	*		
40m	5 min			3	C	
	10 min		2	5	E	
	15 min		4	7	G	
	20 min	1	9	14	H	
	25 min	2	19	25	J	
	30 min	4	28	36	K	
	35 min	8	35	47	L	
	40 min	13	40	57	M	
	45 min	18	45	68	N	
	50 min	23	48	77	O	
55 min	26	52	87	O		
60 min	29	57	98	P		
1h05	31	61	108	*		
1h10	33	66	118	*		



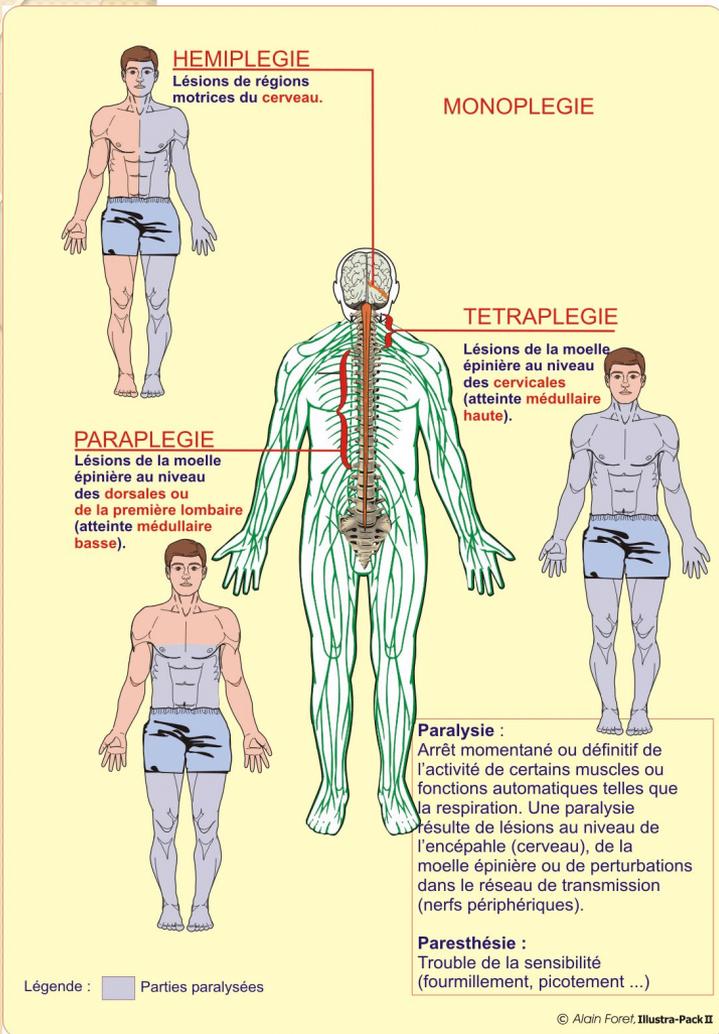
Les risques d'accidents de désaturation



A la descente, saturation en Azote des 12 compartiments

A la remontée, désaturation

- Si la remontée est trop rapide, l'azote reprend sa forme gazeuse, formation de bulles
 - Bulles artérielles
 - Bulles tissulaires
 - Bulles du liquide interstitiel
- Réaction plaquettaire augmente la viscosité du sang.



- Selon la localisation des bulles les atteintes peuvent être neurologiques, vestibulaires, respiratoires, ostéo-articulaires, musculaires ou cutanées.
- Sur le système nerveux central (douleur vive et soudaine, fourmillements, difficulté à uriner, fatigue générale, troubles de la sensibilité ou des sens),
- L'oreille (vertige, nausée, surdité),
- Troubles respiratoires (douleurs thoraxiques),
- Os, articulations, muscles (douleurs aiguës et localisées),
- Cutanées (démangeaisons et boursoufflures).

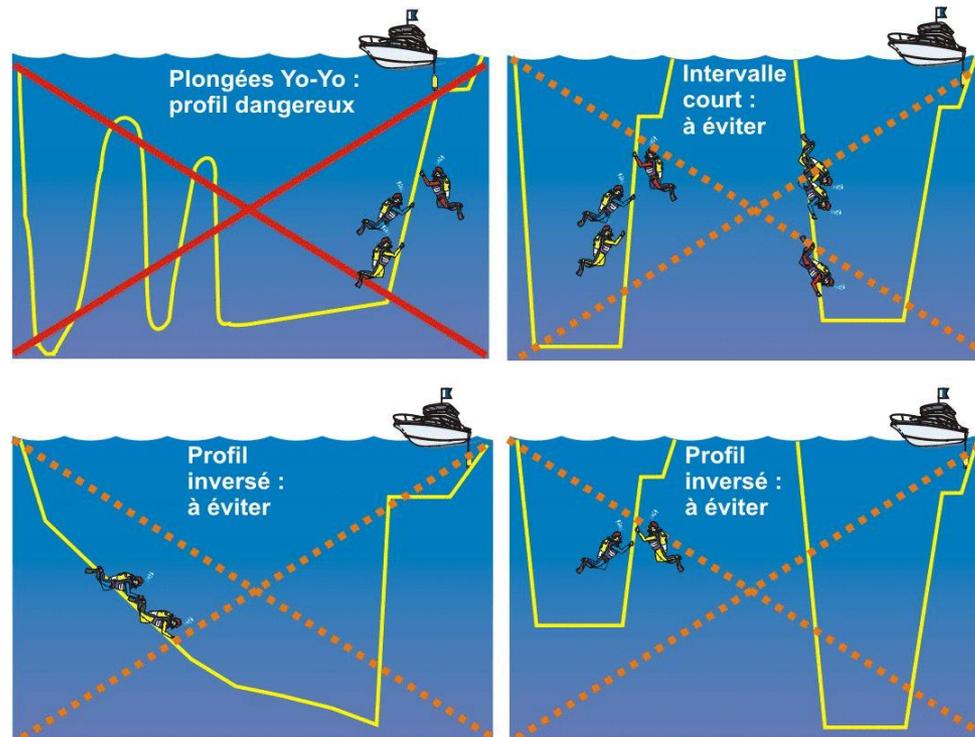
Phase	Délai d'apparition	Pourcentage
Rapide	0 à 10 min	50 à 55 %
Moyenne	10 à 60 min	20 à 30 %
Lente	1 h à 24 h	20 à 25 %

Conduite à tenir

- Alerter les secours (pas de ré-immersion),
 - VHF (bateau, lieu, nb de plongeurs)
- Administrer de l'oxygène (15 l/min),
- Hydrater par petite quantité (1l),
- Proposer de l'aspirine (maxi 500mg).
- Toute la palanquée est traitée si possible.
- Rappeler les autres plongeurs.
- Noter les caractéristiques de la plongée ou/et joindre l'ordinateur.

Préventions

- Respectez les procédures de remontée,
- Attention aux pannes d'air source de remontée trop rapide ou sans palier



Diminuer les risques

- Les facteurs favorisants (cond phys, tens nerv, effort, essouff, médoc, froid, alcool, tabac...)
- Pas d'hyperpression thoracique (Valsalva remont, mouillage)
- Pas d'avion ou d'altitude
- Pas d'apnée
- 2 plonges par 24 h (ordinateur)
- Pause tous les 5 à 6 jours

Palier ?

- Si la profondeur est élevée et le temps passé au fond est important, l'accumulation d'azote sera très élevée.
- La bonne vitesse de remontée ne suffit plus.
- Un compartiment est caractérisé par **sa période et le coefficient de sursaturation critique** qui est le rapport entre tension en azote/pression absolue
- Si cette valeur est dépassée, alors il y a un rejet exagéré de l'azote par ce compartiment
 - Risque de blocage dans les tissus
 - Mauvaise circulation
 - Mauvaise élimination par la respiration
 - On va vers l'accident de décompression (ADD)
- d'où **paliers de décompression**
 - on s'arrête, le compartiment concerné dégaze lentement
 - il lui faut un certain temps=minutes de palier
 - l'azote s'élimine tranquillement par la respiration
 - quand la valeur limite ne peut plus être dépassée(temps de palier)
 - on recommence à remonter à la **bonne vitesse : 6m/mn**
 - peut être pour un nouveau palier(autre compartiment concerné)

ACCIDENTS DE DECOMPRESSION

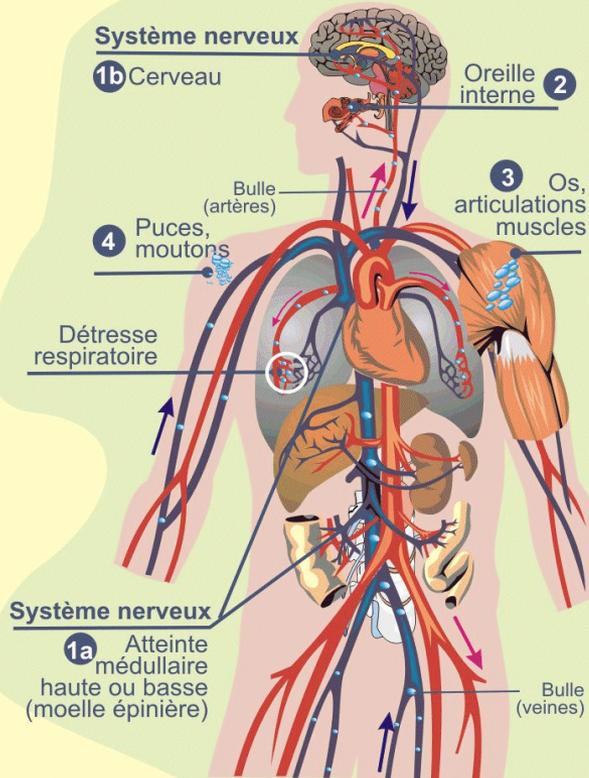
PROCEDURES PROFIL COMPORTEMENT

PREVENTION

Bon état général
Vitesse de remontée lente
Respect des paliers
Eviter les profils à risque
Comportement adapté
Accroître les paliers en cas de facteurs favorisants

SYMPTOMES

Fourmillements
"Coup de poignard" dans le bas du dos
Paralysies (hémiplégie, tétraplégie, paraplégie)
Incapacité à uriner
Troubles : parole, vision...
Nausées
Vertiges
Fatigue générale
Troubles ventilatoires
Démangeaisons (puces, moutons)
Douleur vive et localisée (bends)



ALERTER

En mer : VHF, Canal 16 (CROSS)*
A terre : Téléphone 15 (SAMU)

* Conformément au décret 88-531 du 2 mai 1988

SECOURIR

*l'oxygène
c'est la vie*

OXYGENE 100%

REHYDRATER (eau, jus de fruit : 1 litre)

ASPIRINE* (proposer : 500 mg maximum pour un adulte)

ALLONGER ET RECHAUFFER

* Conformément aux dispositions de l'arrêté du 22 juin 1998 modifié.
Sujets conscients ni allergiques ni intolérants. L'aspirine est un médicament, il doit donc être prescrit par un médecin ou donné à la demande expresse de la victime.