

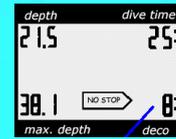


ULB Sport Section Plongée
CASE

Les Outils de décompression & les tables US Navy 1993



NOMBRE DE REMONTÉE : 10 METRES / MINUTE					
PROFONDITEUR	TEMPS	PROFONDITEUR	TEMPS	PROFONDITEUR	TEMPS
30	10	20	10	10	10
30	20	20	20	10	20
30	30	20	30	10	30
30	40	20	40	10	40
30	50	20	50	10	50
30	60	20	60	10	60
30	70	20	70	10	70
30	80	20	80	10	80
30	90	20	90	10	90
30	100	20	100	10	100
30	110	20	110	10	110
30	120	20	120	10	120
30	130	20	130	10	130
30	140	20	140	10	140
30	150	20	150	10	150
30	160	20	160	10	160
30	170	20	170	10	170
30	180	20	180	10	180
30	190	20	190	10	190
30	200	20	200	10	200
30	210	20	210	10	210
30	220	20	220	10	220
30	230	20	230	10	230
30	240	20	240	10	240
30	250	20	250	10	250
30	260	20	260	10	260
30	270	20	270	10	270
30	280	20	280	10	280
30	290	20	290	10	290
30	300	20	300	10	300
30	310	20	310	10	310
30	320	20	320	10	320
30	330	20	330	10	330
30	340	20	340	10	340
30	350	20	350	10	350
30	360	20	360	10	360
30	370	20	370	10	370
30	380	20	380	10	380
30	390	20	390	10	390
30	400	20	400	10	400
30	410	20	410	10	410
30	420	20	420	10	420
30	430	20	430	10	430
30	440	20	440	10	440
30	450	20	450	10	450
30	460	20	460	10	460
30	470	20	470	10	470
30	480	20	480	10	480
30	490	20	490	10	490
30	500	20	500	10	500
30	510	20	510	10	510
30	520	20	520	10	520
30	530	20	530	10	530
30	540	20	540	10	540
30	550	20	550	10	550
30	560	20	560	10	560
30	570	20	570	10	570
30	580	20	580	10	580
30	590	20	590	10	590
30	600	20	600	10	600
30	610	20	610	10	610
30	620	20	620	10	620
30	630	20	630	10	630
30	640	20	640	10	640
30	650	20	650	10	650
30	660	20	660	10	660
30	670	20	670	10	670
30	680	20	680	10	680
30	690	20	690	10	690
30	700	20	700	10	700
30	710	20	710	10	710
30	720	20	720	10	720
30	730	20	730	10	730
30	740	20	740	10	740
30	750	20	750	10	750
30	760	20	760	10	760
30	770	20	770	10	770
30	780	20	780	10	780
30	790	20	790	10	790
30	800	20	800	10	800
30	810	20	810	10	810
30	820	20	820	10	820
30	830	20	830	10	830
30	840	20	840	10	840
30	850	20	850	10	850
30	860	20	860	10	860
30	870	20	870	10	870
30	880	20	880	10	880
30	890	20	890	10	890
30	900	20	900	10	900
30	910	20	910	10	910
30	920	20	920	10	920
30	930	20	930	10	930
30	940	20	940	10	940
30	950	20	950	10	950
30	960	20	960	10	960
30	970	20	970	10	970
30	980	20	980	10	980
30	990	20	990	10	990
30	1000	20	1000	10	1000



Nicolas Darquenne



ULB Sport Section Plongée
CASE

Introduction à la théorie de la décompression dans le cadre des tables US Navy 1993

1. Rappels : Lois physiques
2. Quels sont les origines des tables de plongées ?
3. Théorie de Haldane
4. Comment utiliser les tables de plongée
5. Les procédures d'exception
6. Quelques exercices_
7. Quelques problèmes particuliers



1. Rappels : Lois physiques

1.1) La Pression : Une force exercée sur une surface

Unité légale : le pascal **Pa** ou encore le **N/m²**

Autres unités utilisées

Le bar

1 bar \leftrightarrow 100.000 Pa

L'atmosphère (ATM)

1 atm \leftrightarrow 101.325 Pa

Le millimètre de mercure (mmHg)

760 mmHg \leftrightarrow 101.325 Pa



1. Rappels : Lois physiques (suite)

1.2) La loi de Boyle et Mariotte

A température constante, et pour une quantité de gaz donnée, la pression du gaz est inversement proportionnelle à son volume.

$$\text{Pression} \times \text{Volume} = \text{Constante}$$



1. Rappels : Lois physiques (suite)

1. 3) Loi de Dalton

La pression totale exercée par un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qui seraient exercées si chacun des gaz occupait seul le volume du mélange initial. La pression de chacun des gaz dans ces conditions est appelée pression partielle PP.

Pression totale = PP gaz 1 + PP gaz 2 + ... + PP gaz n

Pression du Gaz = Pourcentage du Gaz dans le mélange x Pression du mélange



1. Rappels : Lois physiques (suite)

1.4) Loi de Henri

La quantité de gaz qui se dissout dans un liquide est, à température donnée, une fonction de la pression partielle du gaz qui est en contact avec ce liquide et du coefficient de solubilité (a) de ce gaz dans ce liquide.

**Volume du Gaz / Volume du liquide =
a x Pression du Gaz**



2. Quels sont les origines des tables de plongées ?

2.1) Paul Bert

Physiologiste français du 19^{ième} siècle avait postulé que la décompression devait se faire de manière lente pour éviter les accidents de décompression

2.2) John Scott Haldane

Haldane et ses collègues démontrèrent entre 1906 et 1908 qu'il était possible d'éviter certains symptômes de l'accident de décompression lorsque la pression ambiante ne variait pas de plus de la moitié à un moment quelconque.



2. Quels sont les origines des tables de plongées ? (suite)

2.3) Les modèles théoriques

Haldane
Buhlman
Micro-Bulles

2.4) La modélisation empiriques

En réalité, les modèles théoriques ont du, depuis le début du siècle, continuellement être ajusté pour expliquer l'observation d'ADD dit « immérités ».

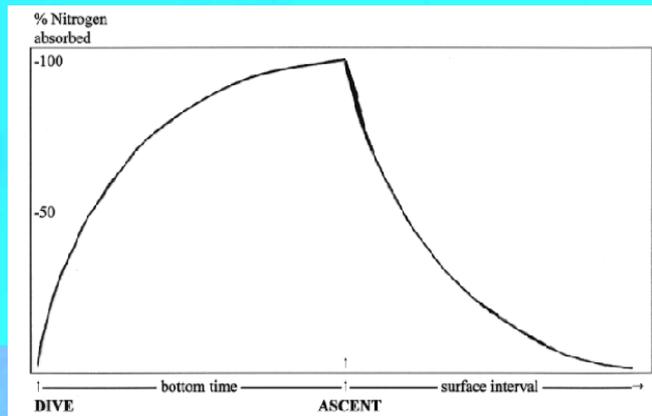
Aujourd'hui, la robustesse des modèles approche 95-99 %



3. Théorie de Haldane : Base théoriques des tables USNavy

3.1) La théorie de Haldane

La dissolution d'azote dans un fluide ainsi que le phénomène contraire à savoir le passage de la phase dissoute à celle gazeuse suit une loi de type exponentielle.



3. Théorie de Haldane : (suite)

3.2) Les compartiments

Le taux d'absorption et d'élimination d'azote n'est pas uniforme dans l'organisme.

- Multitude de coefficients de solubilité de l'azote pour chacun des tissus, (cornée, sang, muscle, tendons, os, etc.)
- Différents taux d'irrigation et de perfusion du sang pour ces tissus
- Modélisation des organes humains ou tissus en « compartiments » ayant approximativement les mêmes caractéristiques.



3. Théorie de Haldane : (suite)

3.3) Les « demi-vies » ou « périodes »

Le temps que prend un compartiment soumis à une variation de tension donnée d'azote, pour atteindre la moitié de la quantité d'azote soluble à l'équilibre, est appelé une période.

Ex: Compartiment de période 20 minutes plongé à -10m

1 période : après 20 min,	il est saturé à 50%
2 période : après 40 min,	il est saturé à 75%
3 période : après 60 min,	il est saturé à 87,5%
4 période : après 80 min,	il est saturé à 93.75 %
5 période : après 100 min,	il est saturé à 96.875 %
6 période : après 120 min,	il est saturé à 98.5 %

On considère un compartiment comme saturé
(réciproquement désaturé) après 6 périodes.



Introduction à la théorie de la décompression dans le cadre des tables US Navy 1993

Nicolas Darquenne



3. Théorie de Haldane : (suite)

3.4) La table USNavy 1993

6 compartiments principaux : 5, 10, 20, 40, 80, 120 min

3 supplémentaires prévus pour les successives et plongées très profondes : 160, 200, 240 min

Question: Après combien de temps, la table US Navy considère t'elle qu'un plongeur sorti de l'eau est totalement désaturé?

(Plongée unitaire)



3. Théorie de Haldane : (suite)

3.4) Réponse

Après 6 périodes, soit 6 x 120 min ou encore 12 heures

3.5) Sursaturation

La sursaturation apparaît lorsque la tension d'azote dans les tissus est plus grande que la pression ambiante d'azote.

En réalité, cet état de sursaturation survient toujours à la remontée.



4. Comment utiliser les tables de plongée

4.1) Tables USNavy 93

Tableau où les lignes s'expriment en unité de temps : la minute (min), et les colonnes s'expriment en unité de profondeur, le mètre (m).

S'il n'existe pas de ligne ou temps approprié, nous nous référons à l'unité de profondeur ou de temps supérieure.

le **temps table**, est le temps exprimé en minutes entières, qui s'écoule entre le moment de l'immersion et celui où l'on entame la remontée vers la surface à une vitesse constante de 10m/min

t (min)	s	Pal. (min) 3 m	s	Paliers (min) 6 m 3 m	s	t (min) 9 m 6 m 3 m	s	Paliers (min) 12 m 9 m 6 m 3 m	s
3 m		18 m		27 m		42 m		60 m	
60 A	15	C		10		5		5	1
120 B	20	D		15		10		10	1
	25	E		20		15	2	15	1
6 m				25		20		20	1
50 B	30	F		30		25	2	25	1
100 D	40	G		40		30	2	30	1
	50	H		50	18		5	10	1
9 m				60	25		10	15	1
30 B	55	I				5		20	1
45 C	60	J		30 m		10		25	1
60 D	70	K		10		15	1	30	1
75 E	80	L		15		20	2	35	1
95 F				20		25	4	40	1
120 G				25		30	8	45	1
	10	C		30	3			50	1
15 B	15	D		40	15			55	1
20 C	20	E		50	2	24	L	60	1
25 C	30	F				33 m		65	1
30 D	35	G		10		10		70	1
40 E	40	H		15		15	1	75	1
50 F	45	I		20		20	3	80	1
60 G	50	J		25	3			85	1
80 H	60	K		30	7			90	1
100 I	70	L		40	2	21	L	95	1
						36 m		100	1
15 m				5		10		105	1
15 C	5	B		15		15		110	1
25 D	10	C		20	2			115	1
30 E	15	D		25	6			120	1
40 F	20	E		30	14			125	1
50 G	25	F		40	5	25	L	130	1
60 H	30	G				39 m		135	1
70 I	35	H		10		10		140	1
80 J	40	I		15	1			145	1
90 K	50	J		20	4			150	1
100 L	60	K		25	10			155	1
				30	18			160	1
						57 m		165	1
						54 m		170	1
						51 m		175	1
						48 m		180	1
						45 m		185	1
						42 m		190	1
						39 m		195	1
						36 m		200	1
						33 m		205	1
						30 m		210	1
						27 m		215	1
						24 m		220	1
						21 m		225	1
						18 m		230	1
						15 m		235	1
						12 m		240	1
						9 m		245	1
						6 m		250	1
						3 m		255	1

4. Comment utiliser les tables de plongée

4.2) Temps de plongée sans palier et plongée unitaire

Lorsque l'on lit la table, on s'aperçoit que pour certains couples temps, profondeur aucun palier n'est mentionné

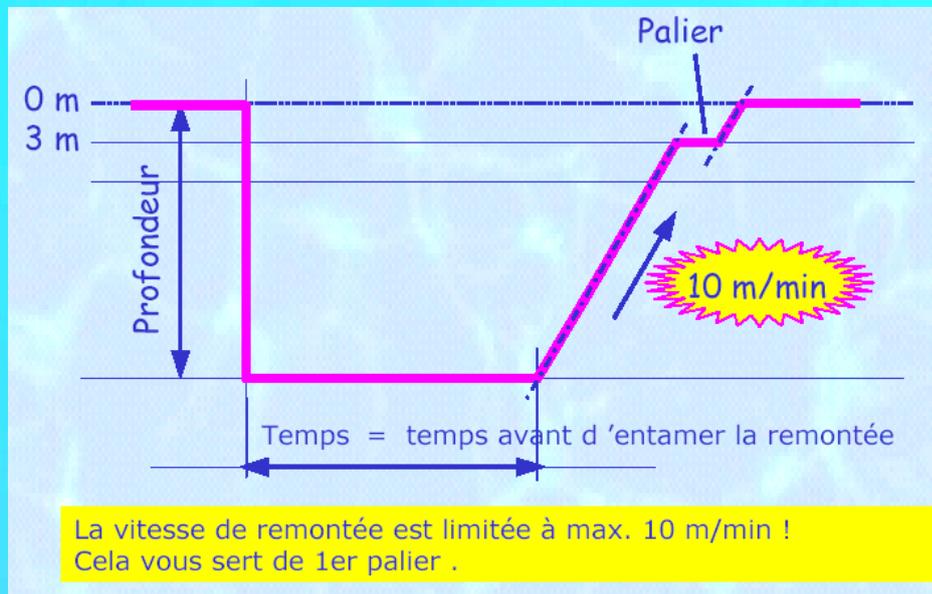
Prof	Durée limite	Indices de sursaturation														
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
3		60	120	210	300											
4,5		35	70	110	160	225	350									
6		25	50	75	100	135	180	240	325							
7,5		20	35	55	75	100	125	160	195	245	315					
9		15	30	45	60	75	95	120	145	170	205	250	310			
10,5	310	5	15	25	40	50	60	80	100	120	140	160	190	220	270	310
12	200	5	15	25	30	40	50	70	80	100	110	130	150	170	200	
15	100		10	15	25	30	40	50	60	70	80	90	100			
18	60		10	15	20	25	30	40	50	55	60					
21	50		5	10	15	20	30	35	40	45	50					
24	40		5	5	10	15	20	25	30	35	40					
27	30		5	5	10	12	15	20	25	30	30					
30	25			5	7	10	15	20	22	25						
33	20				5	10	13	15	20							
36	15				5	10	12	15								
39	10				5											
42	10				5	7										
45	5				5	10										
48	5															
51	5															
54	5															
57	5															

C'est la courbe de sécurité.



4. Comment utiliser les tables de plongée

4.3) Définition du temps de plongée



4. Comment utiliser les tables de plongée

4.4) La plongée avec palier

Un palier est un arrêt lors de la remontée à une profondeur et pendant un temps déterminé par les tables, qui permet à l'organisme de se débarrasser de l'azote excédentaire.

4.5) L'azote résiduel

L'indice de sursaturation mesure la quantité excédentaire d'azote que l'organisme a accumulé pendant la plongée. Il se mesure par des lettres de l'alphabet, de la lettre A à Z, pour la plongée sportive le coefficient limite acceptable pour procéder à une successive est la lettre N.



ULB Sport Section Plongée
CASE

4. Comment utiliser les tables de plongée

4.6 L'intervalle de temps en surface entre deux immersions

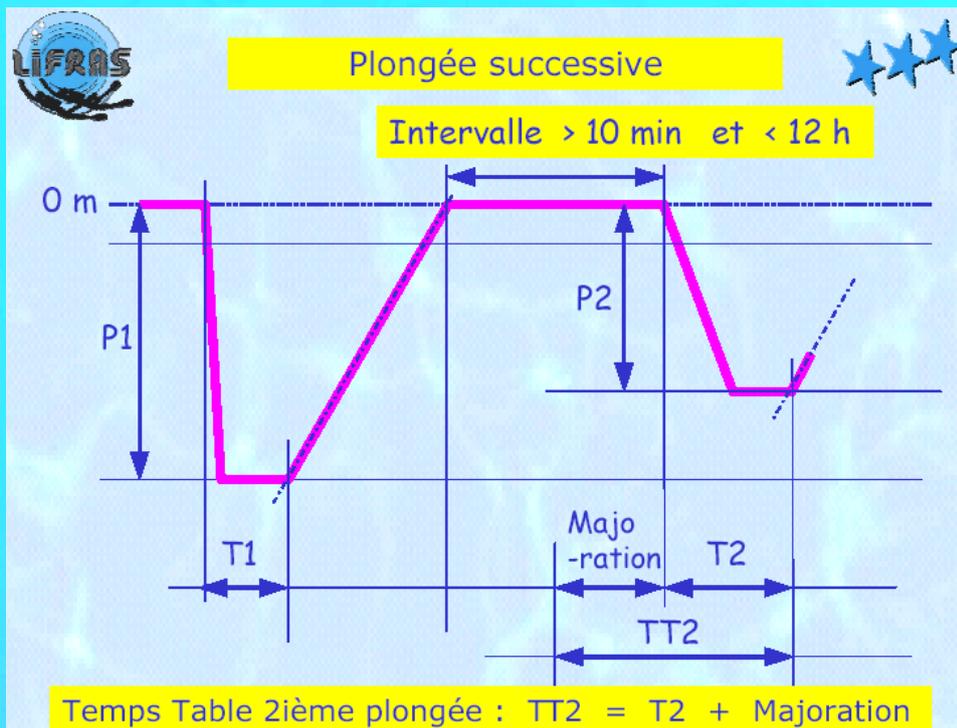
Il se calcule dès l'arrivée à la surface après la première plongée et le moment où l'on va entamer la descente pour la seconde plongée, aussi appelée **plongée successive**.

On appelle pénalité le temps en minute que l'on doit rajouter au temps table de la seconde plongée. Ce temps simule une plongée qui accumulerait autant d'azote que la quantité résiduelle d'azote présente dans l'organisme après l'intervalle entre la précédente plongée et celle en cours.

INTERVALLES ENTRE LES PLONGÉES (de h:min. à h:min.)															
A														0:10	
B														0:10	
C														0:10	
D														0:10	
E														0:10	
F														0:10	
G														0:10	
H														0:10	
I														0:10	
J														0:10	
K														0:10	
L														0:10	
M														0:10	
N														0:10	
O														0:10	
Prof.	(m)	N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
3															
6															
9	469	349	279	229	190	159	132	109	88	70	54	39	25	12	
12	213	187	161	138	116	101	87	73	61	49	37	25	17	7	
15	142	124	111	99	87	76	66	56	47	38	29	21	13	6	
18	107	97	88	79	70	61	52	44	36	30	24	17	11	5	
21	87	80	72	64	57	50	43	37	31	26	20	15	9	4	
24	73	68	61	54	48	43	38	32	28	23	18	13	8	4	
27	64	58	53	47	43	38	33	29	24	20	16	11	7	3	
30	57	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	10	7	3	
33	51	47	42	38	34	31	27	24	20	16	13	10	6	3	
36	46	43	39	35	32	28	25	21	18	15	12	9	6	3	
39	40	38	35	31	28	25	22	19	16	13	11	8	6	3	
42	38	35	32	29	26	23	20	18	15	12	10	7	5	2	
45	35	32	30	27	24	22	19	17	14	12	9	7	5	2	
48	33	31	28	26	23	20	18	16	13	11	9	6	4	2	
51	31	29	26	24	22	19	17	15	12	10	8	6	4	2	
54	29	27	25	22	20	18	16	14	11	10	8	6	4	2	
57	28	26	24	21	19	17	15	13	10	10	8	6	4	2	

4. Comment utiliser les tables de plongée

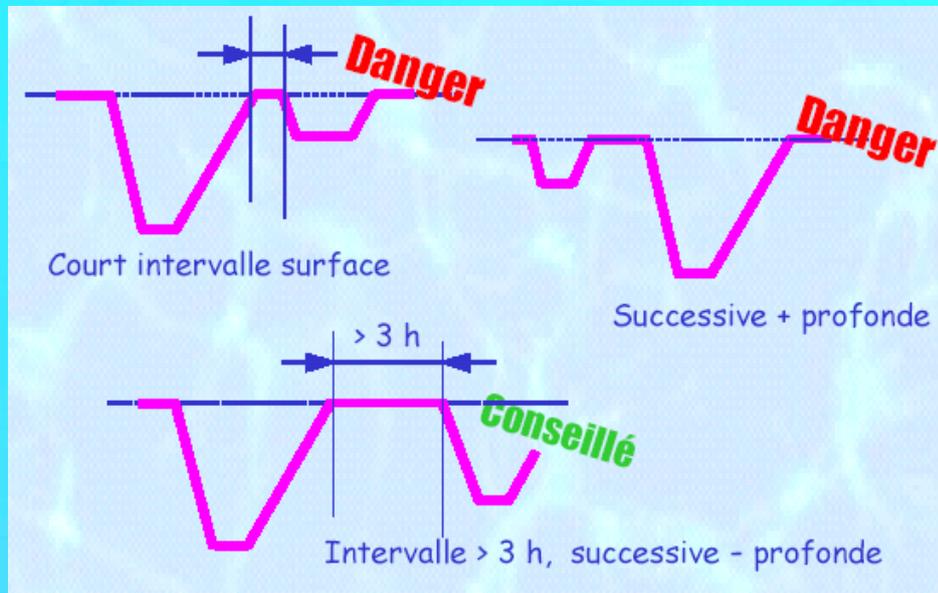
4.7 Intervalle & pénalités





4. Comment utiliser les tables de plongée

4.8 Plongées successives (profils)



4. Comment utiliser les tables de plongée

4.9 3 plongées par jour:

La Lifras autorise désormais 3 plongées par jour à certaines conditions:

- r 3/24h max
- r Max 30 m et 
- r Non-paliers
- r Palier de sécurité
- r Intervalle > 2h
- r Max 2/5jours+repos
- r Planification+respect
- r Profil
- r Plongée loisir
- r Avion=24h
- r Incident=24h/stop



5. Procédures d'exception

- 5.1) Le « Blow-up » avant la surface
- 5.2) Le « Blow-up » jusqu'à la surface
 - 5.21) Plongée sans palier
 - 5.22) Plongée avec palier
- 5.3) Effort et froid
- 5.4) Mer houleuse
- 5.5) Coliques
- 5.6) Délais avion



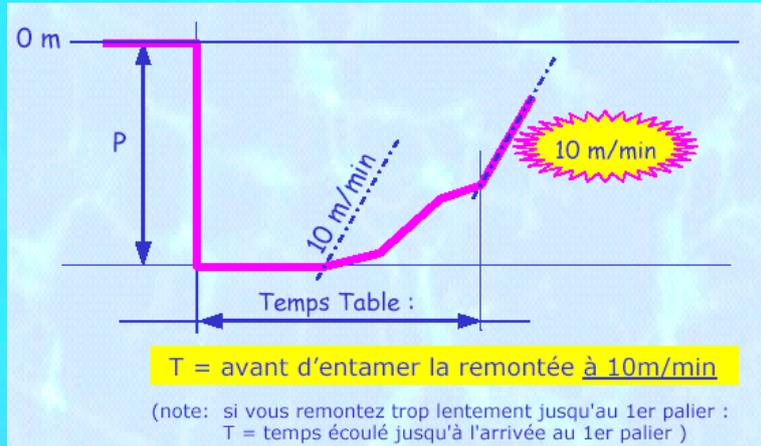
5. Procédures d'exception (suite)

DANGER		REMONTÉE TROP RAPIDE	DANGER
AVANT SURFACE		JUSQU'À LA SURFACE	
STOPPER LA REMONTÉE Attendre le temps qui aurait été nécessaire pour atteindre normalement cette profondeur.	PLONGÉE SANS PALIER : Pas de réimmersion. Maintenir en observation permanente pendant 1h auprès d'une autorité qualifiée.	PLONGÉE AVEC PALIER : Dans les 5 min maximum. redescendre au 1 ^{er} palier obligatoire (le + profond). Paliers à 12 m ou + : refaire la durée initiale Paliers à 9, 6 & 3 m : la durée x 1,5	
		MÊME PROCÉDURE POUR INTERRUPTION DE PALIER	
EFFORT ET FROID Entrer dans la table en prenant le temps supérieur.		COLIQUES Redescendre jusqu'à 6m maximum.	
MER HOULEUSE Exécuter le palier de 3m à 6m en doublant le temps de 3m. Successive permise en prenant l'indice supérieur.		DELAIS AVION Plongée unitaire sans palier = 12 h Plongée unitaire avec palier ou successive = 24 h	
MAXIMUM 2 PLONGÉES PAR JOUR		1 JOUR DE REPOS APRÈS 5 JOURS DE PLONGÉES INTENSIVES	



Paramètres d'une plongée

- s La profondeur
- r Précision des profondimètres
- s Le temps d'entrée dans les tables
 - r Remontée 10m/min
 - r Remontée <10m/min



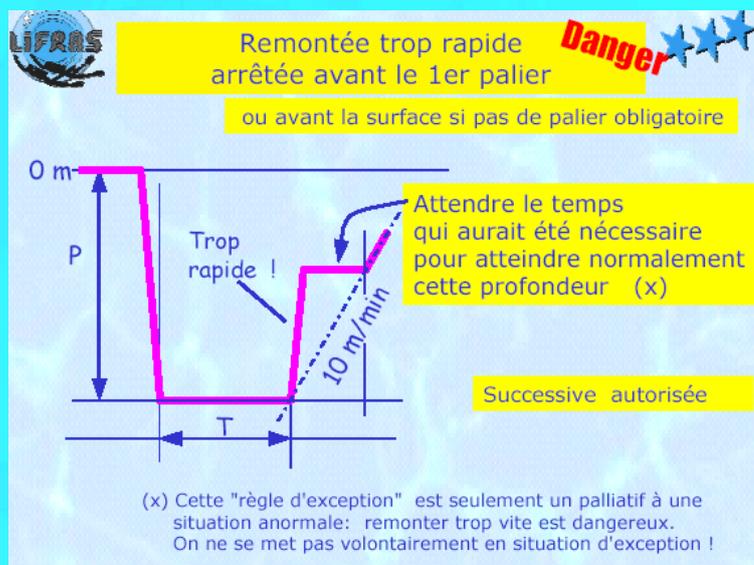
r Courbe de « non-paliers »



Paramètres d'une plongée

s La vitesse de remontée

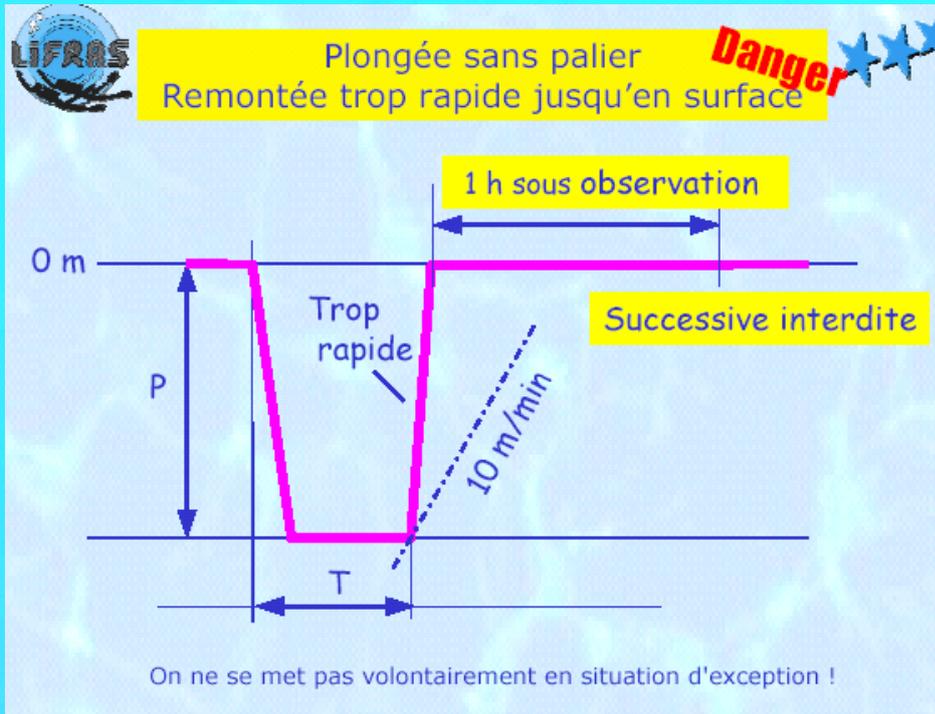
- r >10m/min
- p Sans paliers



r Vitesse de remontée = premier palier !



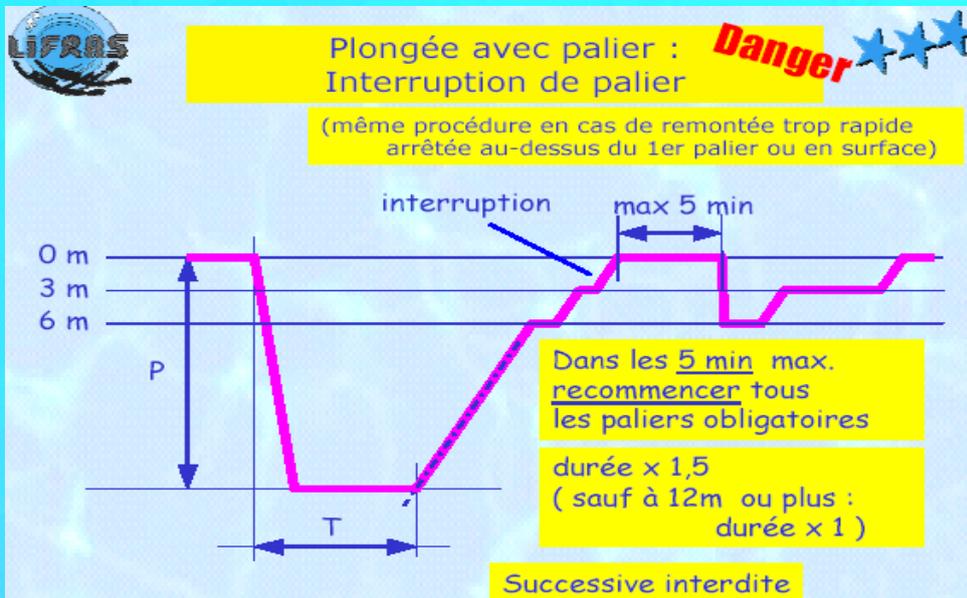
Paramètres d'une plongée (suite)



Paramètres d'une plongée (suite)

La vitesse de remontée

Non respect des paliers





6. Quelques exercices

Canard à 10h00, prof max 31m, à 10h 32 je suis à 18m et décide d'entamer ma remontée. Trouver heure de sortie de l'eau et coeff.



7. Quelques problèmes particuliers

7.1) La plongée en altitude

Les tables USNavy ne sont prévues que pour les plongées n'excédant pas une altitude de 700 m ou une pression atmosphérique de 930 mbar.

Ce coefficient (**C**) est égal au rapport entre la pression atmosphérique au niveau de la mer (**Pmer**) et la pression atmosphérique du lieu de plongée (**Palt**) : **C = Pmer / Palt**

Pour obtenir la profondeur fictive (**Pfict**) d'entrée dans les tables, on multiplie la profondeur réelle (**Préel**) par le coefficient (**C**) : **Pfict = Préel x C**

Pour obtenir la profondeur des paliers en altitude (**PPalt**), on divise la profondeur table des paliers (**PPtab**) par le coefficient (**C**) : **PPalt = PPtab / C**

- 3) De même, l'altitude modifie la vitesse de remontée, pour obtenir la vitesse de remontée en altitude (**Valt**), on divise la vitesse de remontée table (**Vtab**) par le coefficient (**C**) : **Valt = Vtab / C**



7. Quelques problèmes particuliers(suite)

7.2) La plongée Nitrox

Un mélange contenant X % d'azote, respiré à une profondeur où la pression ambiante est P atm, peut s'assimiler à une plongée à l'air (79 % N₂) à une profondeur de pression P' atm.

$$\text{Prof. Equivalente} = \left[\left\{ X \times (P + 1) \right\} \times 10 \right] / 0.79 - 10$$

Attention, la pression partielle d'oxygène ne peut dépasser 1,6 bar:

$$\text{Prof. Maximale} = 10 \times \left\{ 1,6 / (1-X) - 1 \right\}$$



Les différents types de plongées (1)

- S *La plongée unitaire (-12h et +12 h)*
- S *La plongée consécutive (Int<10 min)*
- S *La plongée successive(Int>10min et <12h)*
 - r Prévisions:
 - p Temps sans paliers
 - p Temps de paliers/ temps total
- S *Plongées exceptionnelles (>57 m)*
- S *Palier de sécurité (5min à 5m)*
- S *Plongées à rallonge*
- S *Plongées multi-niveau*
- S *Plongée Yo-yo*



Les différents types de plongées (2)

s Plongée à l'ordinateur

- r Connaissance
- r Emporter tables
- r Planification
- r Froid/effort
- r Limites cf. tables
- r Gestion:
 - p Remontées rapides
 - p Interruption palier
 - p Planification



Palanqué et ordinateur

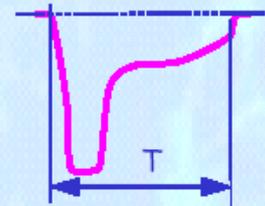


Quelques avantages de plonger avec un ordinateur



L'ordinateur montre en permanence les informations nécessaires pour la décompression

L'ordinateur rend possible de longues plongées multi-niveaux plusieurs jours de suite (ce qui donnerait des paliers énormes en suivant les tables)



En cas d'ADD, l'enregistrement des paramètres et même du profil de la plongée permet au médecin de connaître les paramètres de plongée avec certitude.

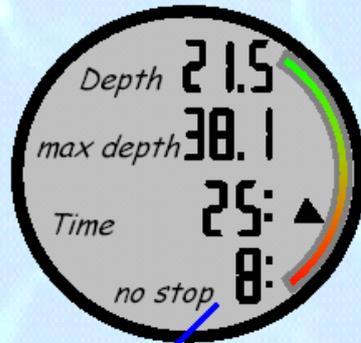


ULB Sport Section Plongée
CASE

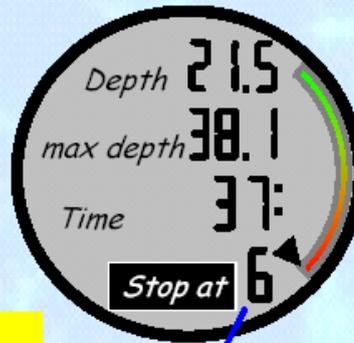
Palanqué et ordinateur (suite)



Ordinateur (trop) simple
type "no-stop computer"



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



Profondeur du 1er palier

Manque l'affichage de certains temps,
dont la durée minimum requise de remontée (paliers inclus)
... qui permet de vérifier s'il reste assez d'air ...

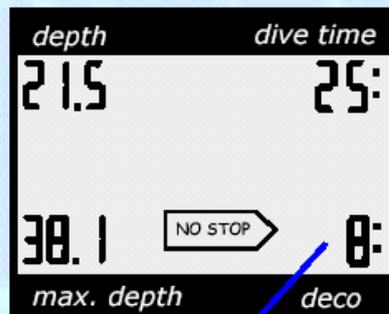


ULB Sport Section Plongée
CASE

Palanqué et ordinateur (suite)

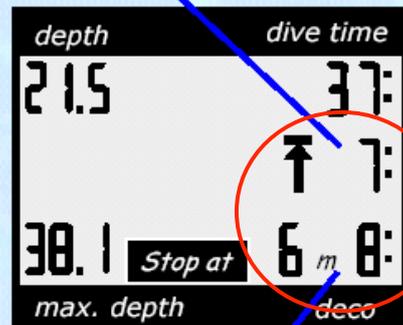


Ordinateur
type "Full deco computer"



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

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



profondeur et durée
du 1er palier

(x) permet de vérifier avec certitude
si la quantité restante d'air suffit ...



Palanqué et ordinateur (suite)



Palanquée mixte : Tables et / ou ordis différents

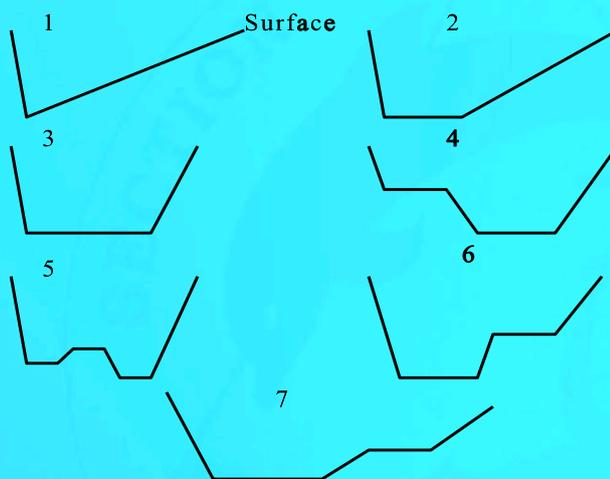


Au BRIEFING, le CP rappelle obligatoirement la règle :
A tout moment,
la palanquée respectera les indications du
moyen de décompression le plus pénalisant,
que ce soit les tables ou un des ordinateurs
(= ralentir la remontée et rallonger les paliers)

Pour information : comparaison pratique entre ordinateurs :
Pour des plongées sportives habituelles,
les 3 ordinateurs les plus vendus en Europe
donnent des durées totales (remontée + paliers)
en général identiques à moins de 5 minutes près,
soit ... la durée d'un palier de sécurité .



Profils de plongées



1. **Idéal**
2. **Sûr** si $T_{\text{fond}} < 1/2 T_{\text{sans paliers}}$
3. **Carrée (90% ADD)**
4. **Dangereux**
5. **Presque Yo-yo**
6. **Attention à la remontée**
7. **A conseiller pour les épaves**



Avant et après la plongée

- s *Effort*
- r Pas d'effort / Pas d'apnée

- s *Avion - col - altitude*
- r 12h (unitaire sans paliers)
- r 24h (successive et/ou paliers)

- s *Repos*



Conclusions

- s Statistique
- s Cobbayes
- s Prudence
- s Bon-sens
- s Planification
- s Vérification constante
- s Aimer les paliers
- s Faire des choix et s'y maintenir