



# LA PLONGÉE EN ALTITUDE DANS LES LACS DE MONTAGNE



- **MÉTHODE DU COMMANDANT CHAUVIN**
- **ADAPTATION À DES TABLES US-NAVY**
- **LES TABLES BÜLMANN**
- **ORDINATEURS DE PLONGÉE**
- **ANALYSE DES RISQUES**
- **PRÉVENTION DES RISQUES**
- **EQUIPEMENTS, ORGANISATION**
- **PLANIFICATION**
  - **O<sub>2</sub>, DÉSATURATION EN SURFACE**
  - **PASSAGE D'UN COL**

**JEAN-CLAUDE TAYMANS**



## AVERTISSEMENTS

La plongée est une activité à risque. Elle ne peut être pratiquée que par des personnes correctement formées, bien entraînées et en bonnes conditions physique et mentale. Le non-respect des règles peut conduire à des blessures graves, des invalidités permanentes ou à la mort. Il vous incombe personnellement d'en évaluer les risques. Ne comptez pas sur les données de cet ouvrage pour garantir votre sécurité. Avant d'entrer dans l'eau, vous devez exercer votre propre jugement quant aux dangers et difficultés que vous allez rencontrer. A vous de faire une évaluation réaliste des conditions de plongée, de la difficulté du site et de votre condition physique !

**Ce livre ne remplace pas une formation et n'est pas un substitut à un encadrement professionnel.**

L'auteur n'assume dès lors aucune responsabilité quant aux données et informations publiées dans cet ouvrage. L'auteur ainsi que l'éditeur ne peuvent encourir aucune responsabilité, légale ou contractuelle, pour les dommages éventuels encourus en raison de l'utilisation de cet ouvrage.

### Photo de couverture

Photographe : Musab Ibraimi

Licence : CC0

<https://pxhere.com/fr>

- **Même le strict respect des tables ne peut garantir et ne garantit pas totalement contre l'accident de décompression (ADD).**
- **Il est conseillé d'utiliser tables, ordinateurs et logiciels de calcul de la décompression de manière sécurisante et conservative.**
- **Tables, ordinateurs et logiciels de calcul de la décompression ne peuvent être utilisés que par des plongeurs correctement formés.**
- **Il faut attendre au moins 48h, après la dernière plongée pour changer de moyen de décompression (tables, ordinateurs...).**
- **Le risque « zéro » n'existe pas !**

Toute reproduction d'un extrait quelconque de cet ouvrage, par quelque procédé que ce soit, notamment par photocopie, imprimerie, microfilm est interdite sans l'autorisation de l'auteur.

Copyright © Jean-Claude Taymans, tous droits réservés  
2 Rue Mouzin – 7390 Wasmuël – Belgique  
jctdive@gmail.com  
D\Février 2024\Jean-Claude Taymans : Editeur  
ISBN 978-2-930747-23-1



## SOMMAIRE

<b>TABLEAU DES MISES À JOUR ET MODIFICATIONS</b> .....	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>5</b>
1.1. DÉFINITION .....	5
1.2. LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE .....	5
1.2.1. <i>Conséquence sur la plongée</i> .....	5
<b>2. ATTRAITS DE LA PLONGÉE EN ALTITUDE</b> .....	<b>6</b>
<b>3. LES ACTIVITÉS</b> .....	<b>6</b>
<b>4. LES RISQUES PARTICULIERS</b> .....	<b>7</b>
4.1. HYPOXIE ET ESSOUFFLEMENT .....	7
4.1.1. <i>Mesures de préventions</i> .....	7
4.2. HYPOTHERMIE .....	7
4.2.1. <i>Mesures de préventions</i> .....	7
4.3. ACCROISSEMENT DU RISQUE D'ADD .....	8
4.3.1. <i>Mesures de préventions</i> .....	8
4.4. ACCROISSEMENT DE LA GRAVITÉ DES ADD .....	8
4.5. ACCROISSEMENT DU RISQUE DE SURPRESSION PULMONAIRE .....	8
4.6. GIVRAGE DU DÉTENDEUR .....	9
4.6.1 <i>Facteurs favorisant le givrage</i> .....	9
4.6.2 <i>Mesures de préventions</i> .....	9
4.7. ŒDÈME PULMONAIRE .....	9
4.8. ŒDÈME CÉRÉBRAL .....	9
<b>5. ADAPTATION DES TABLES DE PLONGÉE – MÉTHODE DU COMMANDANT CHAUVIN</b> .....	<b>10</b>
5.1. LA PROFONDEUR FICTIVE .....	10
5.2. LA PROFONDEUR DES PALIERS .....	10
5.3. LA VITESSE DE REMONTÉE .....	10
5.4. MÉTHODE DU C <sup>PT</sup> CHAUVIN AVEC TEMPS D'ADAPTATION DE MINIMUM 12H .....	10
5.5. MÉTHODE DU COMMANDANT CHAUVIN SANS TEMPS D'ADAPTATION .....	12
5.6. VALIDITÉ DE LA MÉTHODE DU COMMANDANT CHAUVIN .....	12
<b>6. MONTÉE EN ALTITUDE APRÈS LA PLONGÉE</b> .....	<b>13</b>
6.1. DÉCOMPRESSION FORCÉE EN SURFACE PAR INHALATION D'O <sub>2</sub> .....	15
<b>6. GESTION DE LA DÉCOMPRESSION – MESURE DE LA PROFONDEUR</b> .....	<b>16</b>
6.1. PROFONDIMÈTRE À TUBE CAPILLAIRE .....	16
6.2. PROFONDIMÈTRE ÉLECTRONIQUE .....	16
6.3. PROFONDIMÈTRE À MEMBRANE ET PROFONDIMÈTRE À TUBE DE BOURDON .....	17
6.4. ORDINATEUR DE PLONGÉE .....	18
6.4.1. <i>Quelques simulations</i> .....	20
6.4.2. <i>L'algorithme ZH - L16</i> .....	21
6.4.3. <i>Ordinateur de plongée et passage de col.</i> .....	22
6.5. COMPARAISON ENTRE LES DIVERS PROFONDIMÈTRES .....	22
<b>7. L'ÉQUIPEMENT SPÉCIFIQUE</b> .....	<b>23</b>
<b>8. ORGANISATION DE LA PLONGÉE EN ALTITUDE</b> .....	<b>23</b>
8.1. CHOIX DU SITE .....	23
8.2. COLLECTE DE RENSEIGNEMENTS .....	23
8.3. QUELQUES CONSEILS ET RÈGLES DE PRUDENCE .....	23
8.4. A PRÉVOIR POUR UN SÉJOUR EN ALTITUDE .....	24



**9. GESTION DU STRESS, DES PROBLÈMES ET DES PANNES..... 24**

9.1. CONDUITE À TENIR EN CAS D’ANXIÉTÉ ..... 24

9.2. CONDUITE À TENIR EN CAS D’HYPOTHERMIE ..... 24

9.3. CONDUITE À TENIR EN CAS D’ESSOUFFLEMENT ..... 24

9.4. CONDUITE À TENIR EN CAS DE GIVRAGE DU DÉTENDEUR..... 24

9.5. CONDUITE À TENIR EN CAS DE MAUVAISE VISIBILITÉ ..... 25

**10. ANALYSE DES RISQUES. .... 26**

10.1. DÉFINITIONS..... 27

10.2. MÉTHODE KINNEY ..... 27

    10.2.1 Tableaux des facteurs G, E et P ..... 28

    10.2.2 Tableaux de l’évaluation du « Risque » (Rk)..... 29

10.3. APPLICATION DE LA MÉTHODE KINNEY ..... 29

**11. LES ASPECTS ÉCOLOGIQUES ..... 29**

**12. TABLE US NAVY ..... 30**

12.1. RECTO..... 30

12.2. VERSO..... 31

**13. LES AUTRES TABLES..... 32**

13.1. LES TABLES BÜHLMANN ..... 32

    13.1.1. Passage d’un col..... 33

..... 33

**14. EXEMPLE DE CALCUL COMPLEXE ..... 34**

**TABLEAU DES MISES À JOUR ET MODIFICATIONS.**

Version	Date	Remarques
Vers.1.00	Février 2024	Version originale



## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Définition

La plongée en altitude est une plongée en milieu naturel à une altitude de minimum 300m au-dessus du niveau de la mer. C'est donc une plongée qui se fait dans un air « raréfié ». Il faudra tenir compte de ce paramètre lors du calcul de la décompression. La plongée en « haute altitude » est définie comme une plongée à une altitude se situant entre 2500 et 3500m. La plongée en « très haute altitude »<sup>1</sup> est définie comme une plongée à une altitude supérieure à 3500m... Ce type de plongée étant encore largement expérimentale, elle ne fait pas partie du scope de cet ouvrage.

### 1.2. La pression atmosphérique

La pression atmosphérique correspond au poids de la colonne d'air sur une surface donnée, elle s'exprime le plus couramment en millibars ou hPa (hectoPascal). La pression atmosphérique normale au niveau de la mer est de 1013 millibars (hPa) ; elle peut varier dans une fourchette de 15 à 20% en plus ou en moins. La pression atmosphérique diminue avec l'altitude, d'une manière simple on peut considérer que jusqu'à 5000m d'altitude, elle diminue de 1% tous les 100m. Pour être plus précis on peut utiliser la formule suivante :

$$P_{atm} = 1013,25 \times \left\{ 1 - \left( 0,0065 \frac{Altitude}{288,16} \right) \right\}^{5,2561} \quad (1)$$

Avec :

$P_{atm}$  : pression atmosphérique en millibars (hPa)  
Altitude en mètre.

Note : ceci est vrai en régime stationnaire. Quand il y a une dépression au niveau du sol, il y a un anticyclone en altitude et la pression diminue plus lentement avec l'altitude. Au contraire, avec un anticyclone au sol surmonté par une dépression en altitude, la pression diminue plus rapidement avec l'altitude.

#### 1.2.1. Conséquence sur la plongée

Nos tables (US Navy 1993 et 2008)<sup>2</sup> sont établies pour une altitude maximale de 300m, il faudra donc :

- Adapter les tables pour l'utilisation à une altitude supérieure à 300m. La méthode la plus couramment utilisée est celle dite du « Commandant Chauvin ».
- Utiliser des tables spéciales adaptées à l'altitude, le professeur Bühlmann a établi des tables en fonction de l'altitude. Celles-ci sont couramment utilisées en Suisse.
- Configurer son ordinateur pour la plongée en altitude

<sup>1</sup> Revue Médicale Suisse - L'homme confronté aux pressions extrêmes : la plongée en très haute altitude. Auteur : J.-Y. Berney

<sup>2</sup> Les tables le plus couramment utilisées en Belgique. En France, on utilise plutôt les tables MN90.



## 2. ATTRAITS DE LA PLONGÉE EN ALTITUDE

Les motivations peuvent être aussi multiples que variés :

- Curiosité naturelle ;
- Attrait pour des techniques particulières ;
- Observation des organismes d'eau douce ;
- En complément à d'autres activités de montagne ;
- Possibilité de plonger à l'intérieur des terres ;
- Limpidité des lacs de montagne ;
- Photo et vidéo.

## 3. LES ACTIVITÉS

Les activités peuvent être multiples et variées. Elles peuvent aller de la simple balade aux observations et mesures scientifiques en passant par la photographie, la vidéographie...

Non libre de droit



## 4. LES RISQUES PARTICULIERS

Certains risques sont spécifiques ou augmentés lors d'une plongée en altitude et/ou en très haute altitude.

### 4.1. Hypoxie et essoufflement

L'hypoxie est une dette en oxygène due à la diminution de la PPO<sub>2</sub> en altitude. Les besoins cellulaires en oxygène sont supérieurs à ce que la respiration peut fournir. Elle est la conséquence d'efforts intenses et a pour symptômes :

- Fatigue ;
- Respiration rapide qui peut aller jusqu'à l'essoufflement ;
- Etourdissement ;
- Maux de tête, palpitations ;
- Nausée et vomissement ;
- Désorientation, confusion, euphorie...

#### 4.1.1. Mesures de préventions

- Réduire au maximum les efforts ;
- Bien expirer pour éliminer le CO<sub>2</sub> ;
- Se ménager des pauses.

### 4.2. Hypothermie

On parle d'hypothermie lorsque la température centrale d'une personne ne permet plus d'assurer normalement les fonctions vitales de celle-ci. Cela se produit lorsque la température du corps descend en dessous de 35°C. La chute de température peut être brutale comme lors d'une chute dans l'eau glacée ou bien progressive comme lors d'une longue exposition au froid. A notre niveau de secourisme, la lutte contre l'hypothermie se fait par un réchauffement passif. La victime est placée dans un milieu chaud et se réchauffe par elle-même.

Ne surtout pas donner d'alcool, car celui-ci ne réchauffe pas, c'est même le contraire qui se produit ! L'alcool dilate les vaisseaux sanguins, ce qui accroît les déperditions calorifiques.

Il faut déplacer la victime prudemment, sans mouvements brusques, sans réchauffement actif (friction...) car cela active la circulation au niveau de la peau avec pour conséquence un abaissement de la température centrale. Elle est le résultat d'une exposition prolongée dans une ambiance froide. Les premiers symptômes sont les frissons. Dès qu'ils surviennent il faut interrompre la plongée. Une hypothermie sévère peut conduire à la perte de conscience, puis à la mort. Les symptômes sont :

- Une baisse de la température corporelle ;
- Une peau froide ;
- Des frissons ;
- Une baisse de la tension artérielle ;
- Une diminution du rythme cardiaque ;
- Une respiration ralentie.

#### 4.2.1. Mesures de préventions

- Utiliser des combinaisons étanches ;
- Se réchauffer après la plongée.

Pour en savoir plus sur l'hypothermie : cf. [LA PLONGEE EN EAU FROIDE](#) Chapitre 4



### 4.3. Accroissement du risque d'ADD

---

Par rapport à la plongée au niveau de la mer, il y a un accroissement du risque d'ADD. Accroissement qui est proportionnel à l'altitude. Ce risque supplémentaire est dû à de multiples facteurs, tant physiques que physiologiques tel que :

- Mauvaise estimation de l'altitude ;
- Erreur de mesure de profondeur ;
- Erreur de calcul de la profondeur fictive ;
- Le froid ;
- L'essoufflement dû à l'altitude ;
- Les efforts faits avant, pendant et après la plongée ;
- Mauvaise exécution du palier, à cause de sa profondeur réduite ;
- Réduction de la fenêtre oxygène<sup>3</sup> ;
- Déshydratation<sup>4</sup>.

#### 4.3.1. Mesures de préventions

- Etre d'une extrême rigueur dans l'évaluation de l'altitude (mesure barométrique) ;
- Etre précis dans les calculs ;
- Eviter les efforts avant, pendant et après la plongée ;
- Bien s'hydrater ;
- Mettre en place un système de pendeur pour faire les paliers exactement à la profondeur calculée ;
- Etre précis dans la vitesse de remontée ;
- Eviter la plongée «Border line ».
- Durcir la table (US-Navy) en prenant un temps immédiatement supérieur au temps de plongée.
- Durcir le protocole de désaturation de l'ordinateur et/ou du logiciel de calcul de la décompression.

### 4.4. Accroissement de la gravité des ADD

---

Selon la loi de Boyle-Mariotte le volume de gaz à éliminer est inversement proportionnel à la pression ambiante. La pression ambiante en altitude étant plus faible qu'au niveau de la mer, le volume de gaz à éliminer sera plus importante. Corollairement le débit des gaz dissous sortant des tissus sera plus important. Le risque de bulles pathogènes sera donc plus important et comme le volume des bulles varie aussi suivant la loi de Boyle-Mariotte, non seulement le risque d'ADD sera plus important mais ses conséquences plus graves. Une grosse bulle à plus de chance de « coincer une artère » qu'une petite !

### 4.5. Accroissement du risque de surpression pulmonaire

---

Le risque de surpression pulmonaire est accru. D'après la loi de Boyle-Mariotte, le volume des gaz détendu en surface sera plus important qu'au niveau de la mer. A 5000m d'altitude, le volume de gaz détendu sera doublé par rapport au niveau de la mer !

---

<sup>3</sup> La fenêtre O<sub>2</sub> est différence entre la PPO<sub>2</sub> artériel et veineux. Plus elle est importante, meilleure sera la décompression.

<sup>4</sup> L'hyperventilation qui compense l'hypoxie entraîne une déshydratation importante par les voies aériennes.



### **4.6. Givrage du détendeur**

---

Le givrage du détendeur est dû aux basses températures des lacs de montagne, celles-ci ne dépassent guère les 4°C. Lors de la détente de l'air celui-ci se refroidit et fait givrer l'humidité qu'il contient. La température extérieure, trop basse, ne parvenant plus à compenser le refroidissement : des cristaux de glace se forment. Ceux-ci peuvent bloquer le détendeur qui se met alors en débit constant.

#### **4.6.1 Facteurs favorisant le givrage**

- Humidité élevée du gaz dans les bouteilles ;
- Eaux très froides ;
- Température très froide du détendeur avant la plongée ;
- Fonctionnement hors de l'eau par temps froid ;
- Une respiration trop rapide, essoufflement ;
- Détendeur encrassé.

#### **4.6.2 Mesures de préventions**

1. Au gonflage :
  - a. Utiliser des gaz le plus sec possible, de préférence du nitrox ;
  - b. Bon entretien du compresseur ;
  - c. Vidanger régulièrement les filtres du compresseur lors du gonflage.
2. Au niveau du détendeur et du matériel
  - a. Utiliser un détendeur conçu pour les eaux froides ;
  - b. Bon entretien et bon réglage (pas trop souple) du détendeur ;
  - c. Utiliser deux détendeurs séparés ;
  - d. Sur le détendeur principal uniquement, monter un FFCD (Free Flow Control Device) sur le second étage en association avec une soupape de sécurité basse pression sur le premier étage. Ce système permet de bloquer le débit constant tout en évitant des surpressions dangereuses dans la tuyauterie basse pression.

Pour en savoir plus sur le givrage : cf. [LA PLONGEE EN EAU FROIDE](#) Chapitre 6

### **4.7. Œdème pulmonaire**

---

Il survient classiquement la deuxième nuit à l'altitude. Il ne survient qu'au-delà de 3000m d'altitude.

### **4.8. Œdème cérébral**

---

Ne se rencontre généralement qu'au-delà de 3500m d'altitude. Néanmoins des cas ont été décrits à partir de 2500m.



## 5. ADAPTATION DES TABLES DE PLONGÉE – MÉTHODE DU COMMANDANT CHAUVIN

En altitude, la pression atmosphérique diminue et donc la pression partielle d'azote, qui est le fondement principal du calcul des tables diminue aussi. De ce fait, pour des profondeurs identiques en mer ou en altitude, ces pressions vont être différentes et les tables de plongées « mer » ne pourront plus être utilisées sans adaptations. Ces adaptations ont été étudiées par le commandant Chauvin, qui préconise d'utiliser une profondeur fictive pour permettre d'utiliser les tables « mer ». Les autres paramètres de la table, vitesse de remontée et profondeur de palier devront bien sûr aussi être adaptés.

La méthode simple<sup>5</sup> du commandant Chauvin n'est valable que s'il existe un temps d'adaptation à l'altitude de minimum 12h. S'il n'est pas possible de respecter cette période il faut envisager la première plongée en altitude comme une plongée successive.

[Pour en savoir plus sur les tables US-Navy 2008](#)

### 5.1. La profondeur fictive

Les tables sont calculées en fonction d'un rapport entre la tension N<sub>2</sub> des tissus et la pression N<sub>2</sub> ambiante. La méthode du commandant Chauvin est basée sur la conservation de ce rapport en altitude. La profondeur d'entrée dans les tables sera celle pour laquelle il y a conservation de ce rapport. Cette profondeur est la « profondeur fictive<sup>6</sup> ». Elle est plus importante que la profondeur réelle.

$$\text{Coefficient} = \frac{P_{\text{atm mer}}}{P_{\text{atm altitude}}} = \frac{P_{\text{absolue mer}}}{P_{\text{absolue altitude}}} = \frac{\text{Profondeur}_{\text{mer}}}{\text{Profondeur}_{\text{altitude}}} \quad (2)$$

### 5.2. La profondeur des paliers

Bien entendu, la profondeur des paliers suit la même règle de conservation du rapport entre la tension N<sub>2</sub> des tissus et la pression N<sub>2</sub> ambiante. La profondeur fictive des paliers sont ceux donnés par la table (6m, 9m... pour la table US Navy 2008). Les paliers sont toujours faits suivant la « profondeur réelle ». Cette profondeur est inférieure à celle donnée par les tables.

### 5.3. La vitesse de remontée

Le temps de remontée en altitude sera identique que celui donné par la table pour la profondeur fictive correspondante. Comme on remonte d'une profondeur réelle inférieure, un temps identique de remontée implique une vitesse de remontée plus faible.

### 5.4. Méthode du C<sup>dt</sup> Chauvin AVEC temps d'adaptation de minimum 12h.

$$\text{Coefficient} = \frac{10.000}{(10.000 - \text{Altitude})} \quad (3)$$

$$\text{Profondeur fictive} = \text{Profondeur réelle} \times \text{Coefficient} \quad (4)$$

$$\text{Vitesse de remontée} = \frac{\text{Vitesse remontée niveau mer}}{\text{Coefficient}} = \frac{10}{\text{Coefficient}} \quad (5)$$

<sup>5</sup> Il s'agit d'une « règle de trois » qui considère que la hauteur théorique de l'atmosphère est de 10.000 m

<sup>6</sup> Aussi nommée « Profondeur équivalente mer »



## La plongée en altitude

$$\text{Profondeur palier} = \frac{\text{Profondeur palier niveau mer}}{\text{Coefficient}} \quad (6)$$

### **Pour calculer les paliers, on rentre dans la table avec profondeur fictive.**

Note : l'US Navy préconise d'utiliser la pression atmosphérique réelle plutôt que l'altitude pour calculer le coefficient. 1013 mbar représente la pression atmosphérique normale au niveau de la mer. La formule devient si on mesure la pression atmosphérique en millibar:

$$\text{Coefficient} = \frac{1013}{\text{Pression atmosphérique à l'altitude de la plongée}} \quad (7)$$

#### Exemple 1 :

On désire faire une plongée à 3000 m d'altitude à -39 m durant 10 minutes.

$$\text{Coefficient} = \frac{10000}{(10000 - 3000)} = 1,43$$

$$\text{Profondeur fictive} = 39 \times 1,43 = 56\text{m}$$

$$\text{Vitesse de remontée} = \frac{10}{1,43} = 7\text{m/min}$$

$$\text{Profondeur du palier} = \frac{6}{1,43} = 4,2\text{m}$$

La table donne 4 min de palier « air » ou 2 min « O<sub>2</sub> » à -4,2m Indice de saturation « H »



### 5.5. Méthode du Commandant Chauvin SANS temps d'adaptation.

Il faut envisager la plongée comme une plongée successive, le coefficient de sursaturation à considérer est donné dans le tableau ci-contre. Au-delà de 3000m, il est impératif de tenir compte d'un temps d'adaptation à l'altitude. A partir de cette altitude, aucune méthode n'est réellement validée... La plongée y devient donc expérimentale !

Tableau 1

Altitude		
feet	m	RG
1000	315	A
2000	610	A
3000	914	B
4000	1219	C
5000	1524	D
6000	1829	E
7000	2134	F
8000	2438	G
9000	2743	H
10000	3048	I

#### Exemple 2:

Dans l'exemple précédent, au lieu d'attendre 12 heures, nous décidons de plonger après un délai de 4 heures. Quelle sera la majoration à adopter dans les calculs ?

Le tableau indique que pour une altitude de 3000 m, le groupe de sursaturation (RG) est « I ». Au bout de 4 h, l'indice de sursaturation est réduit à « E ». Ce qui donne une majoration de 9 minutes à -57m.

### 5.6. Validité de la méthode du commandant Chauvin.

Cette méthode a été largement validée jusqu'à 2500m d'altitude, au-delà il est préférable d'utiliser les tables spécifiques de Bühlmann. Il existe une table Bühlmann valable entre 2500-4000m d'altitude, mais elle nécessite un temps d'adaptation de 6 à 7 jours à l'altitude de plongée. La table Bühlmann 700 à 2500 m. permet de plonger avec un délai d'adaptation de 60 minutes.



## 6. MONTÉE EN ALTITUDE APRÈS LA PLONGÉE.

### CETTE PROCÉDURE EST À UTILISER AVEC UNE EXTÊME PRUDENCE.

Lorsqu'on monte en altitude, que ce soit à partir du niveau de la mer ou après une plongée en altitude pour passer à une altitude supérieure, il convient de respecter un certain délai si on n'est pas complètement désaturé. L'idéal consiste à attendre au moins 24 h (48h pour des expositions exceptionnelles ou une plongée avec incident(s)). Mais si ce n'est pas possible pour des raisons urgentes il est possible de raccourcir ce délai à partir du tableau ci-après.

Tableau 2

RG	Augmentation de l'altitude m (feet) (US Navy 2008)									
	315 (1000)	610 (2000)	914 (3000)	1219 (4000)	1524 (5000)	1829 (6000)	2134 (7000)	Avion 2438 (8000)	2743 (9000)	3048 (10000)
A	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:00</b>	0:00	0:00
B	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:00</b>	0:00	1:42
C	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>0:00</b>	1:48	6:23
D	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	<b>1:45</b>	5:24	9:59
E	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:37	<b>4:39</b>	8:18	12:54
F	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:32	4:04	<b>7:06</b>	10:45	15:20
G	0:00	0:00	0:00	0:00	1:19	3:38	6:10	<b>9:13</b>	12:52	17:27
H	0:00	0:00	0:00	1:06	3:10	5:29	8:02	<b>11:04</b>	14:43	19:18
I	0:00	0:00	0:56	2:45	4:50	7:09	9:41	<b>12:44</b>	16:22	20:58
J	0:00	0:41	2:25	4:15	6:19	8:39	11:11	<b>14:13</b>	17:52	22:27
K	0:30	2:03	3:47	5:37	7:41	10:00	12:33	<b>15:35</b>	19:14	23:49
L	1:45	3:18	5:02	6:52	8:56	11:15	13:48	<b>16:50</b>	20:29	25:04
M	2:54	4:28	6:12	8:01	10:06	12:25	14:57	<b>18:00</b>	21:38	26:14
N	3:59	5:32	7:16	9:06	11:10	13:29	16:02	<b>19:04</b>	22:43	27:18
O	4:59	6:33	8:17	10:06	12:11	14:30	17:02	<b>20:05</b>	23:43	28:19
Z	5:56	7:29	9:13	11:03	13:07	15:26	17:59	<b>21:01</b>	24:40	29:15
<b>Exposition exceptionnelle : 48h</b>										

### Notes :

- La colonne marquée « avion » correspond à la pression dans la cabine dans les avions commerciaux. Celle-ci, malgré quelques fluctuations mineures, est maintenue constante quelle que soit l'altitude de l'appareil.



## La plongée en altitude

- Pas besoin d'intervalle pour prendre un vol commercial, à partir d'un aérodrome en plaine, si on a fait une plongée en altitude à plus de 2438m (8000 feet).
- Il faut utiliser le plus haut indice de sursaturation (RG) de la période de 24h qui précède la montée en altitude.
- On rentre dans la table à une altitude égale ou inférieure à celle du site de plongée
- On rentre dans la table à une altitude égale ou supérieure à celle du col à franchir

### Exemple 3 :

Nous sortons d'une plongée en ayant un indice de sursaturation H, quel est le délai pour monter à une altitude de 2000m ? La table donne pour une altitude de 2134m (7000 feet) un délai de 8 h 02 min.

### Exemple 4 :

Nous sortons d'une plongée à l'altitude de 1300m avec un indice de sursaturation H, quel est le délai pour monter à une altitude de 2000m ? La table donne :

1. pour une altitude de 1219m (4000 feet) un délai de 1 h 06 min
2. pour une altitude de 2134m (7000 feet) un délai de 8 h 02 min

Il faudra attendre au minimum la différence de temps soit 6 h 56 min (8h02 min – 1h06 min).

### Exemple 5 :

Nous sortons d'une plongée avec un indice de sursaturation E, quel est le délai minimum pour prendre un vol commercial ?

La table donne un délai de 4h39min.



6.1. Décompression forcée en surface par inhalation d'O<sub>2</sub>

**PROCÉDURE D'URGENCE – NON RECOMMANDÉE <sup>7</sup>**

Il est possible de diminuer l'indice de saturation en surface en respirant de l'oxygène pur au travers d'un masque qui délivre 100% d'O<sub>2</sub>. Cette procédure n'est pas sans danger (hyperoxie) et ne doit être utilisée, en principe, que dans des cas d'extrême urgence par exemple pour un retour impératif et urgent en avion. La table ci-dessous donne la durée d'inhalation d'O<sub>2</sub> à 100% pour être « lavé » de l'azote. Les valeurs sont arrondies aux 5 minutes supérieures.

Si la durée totale d'inhalation dépasse une heure, il convient d'arrêter de respirer l'O<sub>2</sub> : 10 minutes toutes les heures. Il convient de vérifier si le CNS n'atteint pas des valeurs trop importantes. Il est conseillé de ne pas dépasser un CNS 75%

PPO <sub>2</sub>	%CNS/min	PPO <sub>2</sub>	%CNS/min
0,60	0,14	1,22	0,48
0,62	0,14	1,24	0,52
0,64	0,15	1,26	0,52
0,66	0,16	1,28	0,54
0,68	0,17	1,30	0,56
0,70	0,18	1,32	0,57
0,72	0,18	1,34	0,60
0,74	0,19	1,36	0,62
0,76	0,20	1,38	0,63
0,78	0,21	1,40	0,65
0,80	0,22	1,42	0,68
0,82	0,23	1,44	0,71
0,84	0,24	1,46	0,74
0,86	0,25	1,48	0,78
0,88	0,26	1,50	0,83
0,90	0,28	1,52	0,93
0,92	0,29	1,54	1,04
0,94	0,30	1,56	1,19
0,96	0,31	1,58	1,47
0,98	0,32	1,60	2,22
1,00	0,33	1,62	5,00
1,02	0,35	1,65	6,25
1,04	0,36	1,67	7,69
1,06	0,38	1,70	10,00
1,08	0,40	1,72	12,50
1,10	0,42	1,74	20,00
1,12	0,43	1,77	25,00
1,14	0,43		
1,16	0,44		
1,18	0,46		
1,20	0,47		

Tableau 3

S	A	B	C	D	E	F	G	H
min	15	30	40	50	60	70	75	85
S	I	J	K	L	M	N	O	Z
min	90	100	105	110	115	120	130	135

$$CNS_{Total} = CNS_{Plongée} + CNS_{Oxygène\ surface} (Nx-1)$$

Exemple 6 :

En reprenant l'exemple 1 dont les paramètres sont les suivants :

- Altitude 3000m ; Coefficient 1,43 ;
- Temps de plongée 10 minutes ; 4 minutes de paliers à 4m ;
- Vitesse de remontée 7m/min ;
- Sortie à l'indice « H ».

Nous désirons prendre un avion de ligne dont la cabine est pressurisée à une altitude de 8000 pieds, combien de temps faut-il respirer de l'O<sub>2</sub> dans un masque à 100% ?

L'indice de saturation doit être ramené à C (cfr. Table 2) nous devons donc inhaler de l'oxygène pur durant : 85-40=45 min masque à 100%

Vérification du CNS : pour une facilité de calcul on considère que la totalité de la durée de la plongée s'effectue à la profondeur maximale (méthode conservatrice)

Durée totale de la plongée : 10+4+(39/7) =20 minutes

Pression atmosphérique à 3000m : 1,013/1,43=0,7 bar

Pression absolue à 39m et à l'altitude de 3000m : 3,9+0,7=4,6 bar

PPO<sub>2</sub> durant la plongée : 4,6x0,21=0,97 bar soit un accroissement de CNS de 0,32%/minute

PPO<sub>2</sub> désaturation surface 100% O<sub>2</sub>: 0,7 bar soit un accroissement de CNS de 0,18%/minute

$$CNS_{Total} = (0,32x20) + (0,18x45) = 14,5 \%$$

<sup>7</sup> Cette procédure n'a plus été reprise dans la révision 6 du manuel de l'US Navy.



## 6. GESTION DE LA DÉCOMPRESSION – MESURE DE LA PROFONDEUR

Avoir une redondance pour la gestion de la décompression et toujours utiliser le système de décompression le plus pénalisant.

Ne jamais mélanger les moyens de décompression et attendre au moins 48 heures lorsqu'on change de moyen de décompression.

La gestion de la décompression nécessite une mesure précise de la profondeur. La mesure de la profondeur était avant les ordinateurs et les profondimètres électroniques un problème. En effet les gauges mécaniques étaient toutes configurées pour être utilisées au niveau de la mer. En altitude elles indiquaient toutes une erreur positive ou négative (suivant le type de gauge) proportionnelle à l'altitude. Bien que peu utilisées de nos jours, il est à mon avis salutaire d'en dire quelques mots !

### 6.1. Profondimètre à tube capillaire

Ils sont basés sur la Loi de Boyle-Mariotte. L'eau exerce sa pression sur de l'air contenu dans un tube capillaire, au cours de la descente la pression augmente et le volume de l'air diminue. Un index sépare l'air et l'eau, il facilite la lecture. Il est très simple de construction et possède l'avantage pour la plongée en altitude d'indiquer :

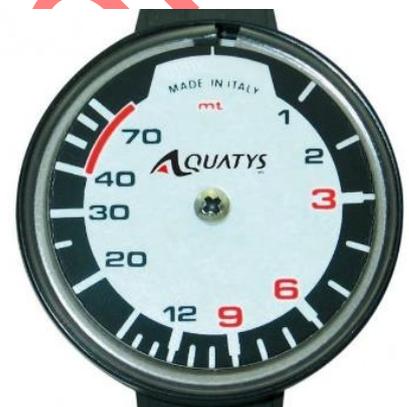
- La profondeur fictive (supérieure à la réalité), on rentre directement avec cette profondeur dans la table. Si le profondimètre indique 30m on rentre dans la table avec la valeur de 30m ;
- Directement la profondeur du palier. Si la table donne une profondeur de 6m pour le palier, le profondimètre doit indiquer 6m ;
- D'être très précis dans la zone de 0 à 10m ;
- Ne demande aucune mise à zéro ou réglage.

Ils présentent néanmoins quelques inconvénients :

- Ils sont imprécis au-delà de 20 m ;
- Ils sont très sensibles à la température, une mise à la température de l'eau peut s'avérer utile pour conserver la précision ;
- Ils sont peu résistants aux chocs ;
- Echelle non linéaire.

### 6.2. Profondimètre électronique

La mesure de profondeur se fait à l'aide de jauges de contraintes<sup>8</sup>. La mesure est totalement indépendante de la pression atmosphérique. En surface, quelque que soit l'Altitude, la profondeur affichée est de zéro mètre. Ces instruments donnent la profondeur réelle.



<sup>8</sup> Résistances dont la valeur varie en fonction des forces de pression auxquelles elles sont soumises.



### 6.3. Profondimètre à membrane et profondimètre à tube de Bourdon



La pression de l'eau déforme une membrane (profondimètre à membrane) ou tube courbe (tube de Bourdon). La déformation de ces éléments est transmise à une aiguille via un système mécanique d'amplification. Le système est configuré (indication du zéro) pour une pression atmosphérique normale. Lorsque la pression atmosphérique diminue, le système va vouloir indiquer une valeur négative : on parle de retard à la lecture. Heureusement, la plupart de ces profondimètres ont une molette de remise à zéro (A). Dans le cas contraire, il faudra calculer « le retard » pour l'ajouter à la valeur lue sur le profondimètre afin d'obtenir la « profondeur réelle ».

$$\text{Profondeur réelle} = \text{profondeur lue} + \text{Retard} \quad (8)$$

$$\text{Retard} = \frac{\text{Pression atmosphérique mer} - \text{Pression atmosphérique altitude}}{100} \quad (9)$$

Si on ne connaît pas la pression atmosphérique mais l'altitude du site, on peut utiliser une relation plus approximative.

$$\text{Retard} = \left(1 - \frac{10.000 - \text{Altitude}}{10.000}\right) 10 \quad (10)$$

Avec :

Retard exprimé en mètres

Pression atmosphérique mer : millibars (hPa)

Pression atmosphérique altitude : millibars (hPa)

Altitude : Altitude du site en mètres

#### Exemple 7

La profondeur lue sur un profondimètre à tube de Bourdon, sans molette de mise à zéro est de 25m à l'altitude de 3000m. Quel est la profondeur réelle ?

$$\text{Retard} = \left(1 - \frac{10.000 - 3000}{10.000}\right) 10 = 3m$$

$$\text{Profondeur réelle} = 25 + 3 = 28m$$



### 6.4 Ordinateur de plongée

- Il est impératif de lire le manuel d'instruction de l'ordinateur.
- Ne pas paramétrer l'ordinateur avec la bonne plage d'altitude est un bon moyen pour avoir un billet vers le caisson hyperbare... ou pire !
- Vérifiez si le fabricant de l'ordinateur ne préconise pas un temps d'adaptation à l'altitude.

Comme pour le profondimètre électronique, la mesure de profondeur se fait à l'aide de jauges de contraintes<sup>9</sup>. En surface, quelque que soit l'Altitude, la profondeur affichée est de zéro mètre. Ils donnent la profondeur réelle.

Deux cas peuvent se présenter. Soit l'ordinateur ajuste automatiquement ses algorithmes en fonction de l'altitude et dans ce cas l'utilisateur n'a aucune action à entreprendre.

Si ce n'est pas le cas, l'utilisateur doit reconfigurer son ordinateur en fonction de l'altitude. Il faut rentrer dans les réglages de l'ordinateur (SET) et modifier la plage de l'altitude (ALT) en fonction du site de plongée. Les fabricants utilisent généralement 3 à 4 plages de réglage. Il faut se reporter au manuel de l'ordinateur pour connaître l'étendue de ces plages.

Exemple pour le Mares Quad :

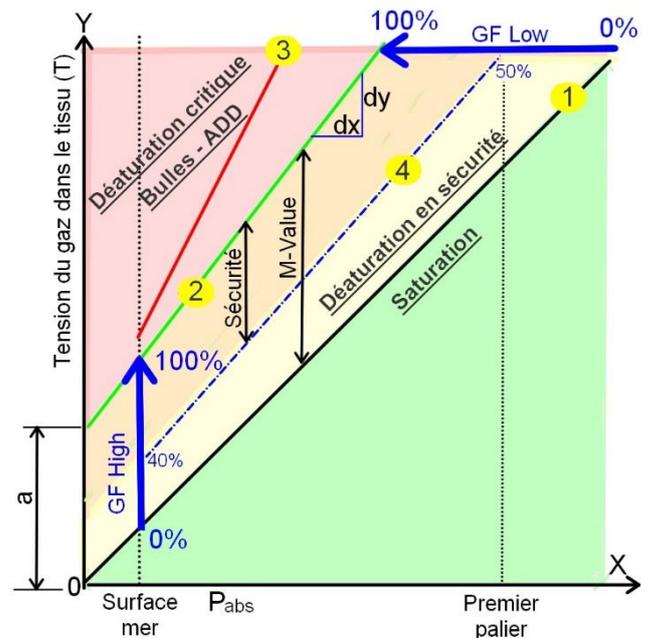
- A0 : 0 m - 700 m
- A1 : 701 m - 1500 m
- A2 : 1501 m - 2400 m
- A3 : 2401 m - 3400 m

Exemple pour Suunto Eon, D5, D9, steel

- A0 : 0 – 300 m
- A1 : 301 – 1500 m
- A2 : 1501 – 3000 m

Les fabricants utilisent soit l'algorithme Bühlmann<sup>10</sup> soit l'algorithme RGBM de Bruce Wienke<sup>11</sup> ou une combinaison des deux. RGBM est une déclinaison du modèle VPM. RGBM<sup>12</sup> et VPM<sup>13</sup> se distinguent des modèles haldaniens (US-Navy ; Bühlmann) en tenant compte d'une formation de microbulles. Ils visent à limiter la taille de ces microbulles afin de ne pas les rendre pathogènes.

L'algorithme développé par le professeur Bühlmann a été inspiré par les travaux de Workman (US-Navy). La principale nouveauté a été de ne plus considérer la profondeur pour le calcul des M-values



1. Ligne des pressions ambiantes : Elle représente le lieu géométrique où la tension (pression) (T) dans le tissu (compartiment) est égale à la pression ambiante. Sa pente ( $dy/dx = 1$ )
2. Ligne des M-values de Bühlmann (GF 100/100)
3. Ligne des M-values de Workman
4. Ligne des Gradient Facteur (50/40)

<sup>9</sup> Résistances dont la valeur varie en fonction des forces de pression auxquelles elles sont soumises.

<sup>10</sup> Albert A. Bühlmann (16/05/1923 – 16/03/1994) Suisse, médecin et professeur de médecine à Zurich

<sup>11</sup> Bruce Wienke (1940-2020) Médecin américain au Los Alamos National Laboratory.

<sup>12</sup> RGBM: reduced gradient bubble model modèle à microbulles.

<sup>13</sup> VPM : Varying Permeability Model modèle à microbulles.



## La plongée en altitude

mais la pression absolue ( $P_{abs}$ ), et de ne plus avoir considéré, pour le calcul, la composition du gaz respiré mais de la composition du gaz au niveau alvéolaire (vapeur d'eau,  $CO_2$ ...). Ce qui a permis d'affiner le calcul et d'établir des tables spécifiques pour l'altitude.

Le M-value est la tension (pression) (T) maximum qu'un tissu (compartiment) peut supporter par rapport à la pression ambiante absolue ( $P_{abs}$ ) sans faire courir le risque d'un ADD. Elle peut être représentée par la droite d'équation :

$$T_{max} = \left( \frac{P_{abs}}{b} \right) + a \quad \text{avec } b = \frac{1}{\text{Pente}} \quad \text{et } \text{pente} = \frac{dy}{dx}$$

a et b sont des coefficients qui dépendent du tissu (compartiment). La linéarité de cette équation est un avantage prépondérant pour la programmation des ordinateurs.

Pour augmenter la sécurité on a introduit la notion de « Gradient Factor » (GF) qui permet de durcir le modèle original en diminuant la valeur des M-Values. Ce qui revient à établir une nouvelle ligne des pressions (4) entre la ligne des pressions ambiantes (1) et la ligne des M-values de Bühlmann (2) ce qui engendre une plus grande sécurité. Deux paramètres permettent de gérer la position de cette ligne et sa pente : le GF Low et le GF High

- Le GF Low (Low car c'est le point bas de la plongée) varie entre 0 et 100%. Il gère la profondeur du premier palier. Si on diminue sa valeur on augmente la profondeur du premier palier. 100% correspond à la ligne des M-Values (2) et 0% à la ligne des pressions ambiantes (1).
- Le GF High (High car c'est le point haut de la plongée) varie entre 0 et 100%. Il gère la durée des paliers. Si on diminue sa valeur on augmente la durée des paliers. 100% correspond à la ligne des M-Values (2) et 0% à la ligne des pressions ambiantes (1).

La notation standardisée est la suivante :

$$\text{GF} \ll \text{Valeur du GF Low en \%} \gg / \ll \text{Valeur du GF High en \%} \gg$$

L'utilisation des « Gradient Factor » présente de nombreux avantages :

- Possibilité d'adapter le modèle à la physiologie du plongeur et aux conditions de plongée (froid, courant...). Le système présente une grande flexibilité.
- Possibilité de calculer une gestion de la décompression incluant des paliers profonds.
- Peu de modifications par rapport au modèle Haldanien classique qui a fait ces preuves.
- Les paliers sont toujours dans la zone de « sécurité » de la décompression.

Les fabricants d'ordinateurs destinés à la plongée loisir sont avarés en informations sur les paramètres qu'ils utilisent pour durcir les M-Values. Ils indiquent simplement un « niveau » L0, L1... ou P0, P1... l'indice « 0 » représentant le niveau de base le moins sécuritaire. Mais généralement ils se gardent bien de dire à quoi correspondent ces niveaux en termes de GF ! Le niveau « 0 » correspond-il à la droite de M-Values ou est-il affecté d'un coefficient de sécurité ? et si oui de combien ? Cela reste souvent un mystère.



## La plongée en altitude

### 6.4.1. Quelques simulations

Pour mieux illustrer la notion de GF on a fait quelques simulations à l'aide du logiciel « Multideco » avec l'algorithme Bühlmann ZHL16-C. On a généré quelques « Run Time » pour une plongée à 30m de 30 minutes. En faisant varier l'altitude ( 0 et 1750m) et les valeurs des GF Low et High. Ces simulations montrent que :

- La durée des paliers et donc la DTR augmentent lorsque le GF High décroît.
- Que la profondeur du premier palier augmente lorsque le GF Low décroît
- Que les plongées en haute altitude sont extrêmement pénalisantes
- Que la table Bühlmann bleue (0-700m) est très proche des M-Values originaux avec néanmoins un conservatisme de quelques %

### Altitude: Niveau de la mer

Conservatisme = GF 100/100

Desc à	30m	(1)	Air	18m/min Descente.
Niveau	30m	28:20 (30)	Air	0,84 ppO2, 30m ead
Rem. à	3m	(32)	Air	-10m/min Remontée.
Palier à	3m	6:18 (39)	Air	0,27 ppO2, 3m ead
Surface		(39)	Air	-6m/min Remontée.

Conservatisme = GF 95/95

Desc à	30m	(1)	Air	18m/min Descente.
Niveau	30m	28:20 (30)	Air	0,84 ppO2, 30m ead
Rem. à	6m	(32)	Air	-10m/min Remontée.
Palier à	6m	0:36 (33)	Air	0,34 ppO2, 6m ead
Palier à	3m	8:00 (41)	Air	0,27 ppO2, 3m ead
Surface		(41)	Air	-6m/min Remontée.

Conservatisme = GF 90/90

Desc à	30m	(1)	Air	18m/min Descente.
Niveau	30m	28:20 (30)	Air	0,84 ppO2, 30m ead
Rem. à	6m	(32)	Air	-10m/min Remontée.
Palier à	6m	1:36 (34)	Air	0,34 ppO2, 6m ead
Palier à	3m	10:00 (44)	Air	0,27 ppO2, 3m ead
Surface		(44)	Air	-6m/min Remontée.

Conservatisme = GF 85/85

Desc à	30m	(1)	Air	18m/min Descente.
Niveau	30m	28:20 (30)	Air	0,84 ppO2, 30m ead
Rem. à	6m	(32)	Air	-10m/min Remontée.
Palier à	6m	2:36 (35)	Air	0,34 ppO2, 6m ead
Palier à	3m	11:00 (46)	Air	0,27 ppO2, 3m ead
Surface		(46)	Air	-6m/min Remontée.

Conservatisme = GF 30/85

Desc à	30m	(1)	Air	18m/min Descente.
Niveau	30m	28:20 (30)	Air	0,84 ppO2, 30m ead
Rem. à	15m	(31)	Air	-10m/min Remontée.
Palier à	15m	0:30 (32)	Air	0,52 ppO2, 15m ead
Palier à	12m	1:00 (33)	Air	0,46 ppO2, 12m ead
Palier à	9m	1:00 (34)	Air	0,40 ppO2, 9m ead
Palier à	6m	4:00 (38)	Air	0,34 ppO2, 6m ead
Palier à	3m	10:00 (48)	Air	0,27 ppO2, 3m ead
Surface		(48)	Air	-6m/min Remontée.

Altitude = 1 750m (s)  
Conservatisme = GF 85/85

Desc à	30m	(1)	Air	18m/min Descente.
Niveau	30m	28:14 (30)	Air	0,84 ppO2, 30m ead
Rem. à	6m	(32)	Air	-10m/min Remontée.
Palier à	6m	1:36 (34)	Air	0,34 ppO2, 6m ead
Palier à	3m	30:00 (64)	Air	0,27 ppO2, 3m ead
Surface		(64)	Air	-6m/min Remontée.

Altitude: 1750m



En résumé

Plongée 30m – 30 minutes au niveau de la mer						
Modèle informatique Bühlmann ZHL16-C	Paliers (minutes)					DTR
	15m	12m	9m	6m	3m	
GF 100/100	0	0	0	0	7	10
GF 95/95	0	0	0	1	8	12
GF 90/90	0	0	0	2	10	15
GF 85/85	0	0	0	3	11	17
GF 30/85	1	1	1	4	10	20
Table Bühlmann 0-700m	0	0	0	2	7	12

DTR : Durée Totale de Remontée en minutes  
Vitesse de remontée entre le fond et le premier palier : 10m/min  
Vitesse de remontée entre les paliers et la surface : 6m/min

6.4.2. L'algorithme ZH - L16

L'algorithme ZH-L16, est un algorithme Haldanien à 16 compartiments (tissus). « ZH » signifie Zurich.

Les compartiments sont numérotés de 1 à 16 avec une périodicité qui va de 4 à 635 minutes.

Trois jeux de paramètres ont été établis : « A », « B » et « C ». « A » est le jeu de paramètres expérimental. Ce jeu de paramètres a été renforcée pour éditer la variante « B » destinée à l'écriture des tables. La variante « C », qui sert dans les ordinateurs de plongée, est une variante durcie de la variante « B ». Le coefficient « a » a été durci pour les compartiments (tissus) 5 à 15, c'est-à-dire pour les périodes les longues. Une simulation à l'aide du logiciel « Multideco » pour une plongée de 20 minutes à 50m au niveau de la mer GF 100/100 permet de se faire une idée de la différence entre les variantes « B » et « C ». Le dernier palier à 3m est allongé de 4 minutes.

Modèle de décompression: ZHL16-B + GF						
PROFIL DE PLONGÉE						
Intervalle de surface = 5 jours 0 hr 0 min.						
Altitude = 0m						
Conservatisme = GF 100/100						
Desc à	50m	(2)	Air	18m/min	Descente.	
Niveau	50m	17:13	(20)	Air	1,25 ppO2, 50m ead	
Rem. à	9m	(24)	Air	-10m/min Remontée.		
Palier à	9m	1:54	(26)	Air	0,40 ppO2, 9m ead	
Palier à	6m	6:00	(32)	Air	0,34 ppO2, 6m ead	
Palier à	3m	9:00	(41)	Air	0,27 ppO2, 3m ead	
Surface			(41)	Air	-6m/min Remontée.	

Modèle de décompression: ZHL16-C + GF						
PROFIL DE PLONGÉE						
Intervalle de surface = 5 jours 0 hr 0 min.						
Altitude = 0m						
Conservatisme = GF 100/100						
Desc à	50m	(2)	Air	18m/min	Descente.	
Niveau	50m	17:13	(20)	Air	1,25 ppO2, 50m ead	
Rem. à	9m	(24)	Air	-10m/min Remontée.		
Palier à	9m	1:54	(26)	Air	0,40 ppO2, 9m ead	
Palier à	6m	6:00	(32)	Air	0,34 ppO2, 6m ead	
Palier à	3m	13:00	(45)	Air	0,27 ppO2, 3m ead	
Surface			(45)	Air	-6m/min Remontée.	



6.4.3. Ordinateur de plongée et passage de col.

Un problème récurrent est la montée à une altitude supérieure à l'altitude du site de plongée. Par exemple pour rejoindre son chalet ou simplement passer un col. Les ordinateurs les moins sophistiqués ont au minimum une indication « No Fly ». Si on ne monte pas à plus de 2400m<sup>14</sup>, il suffit de respecter ce délai d'attente sur le lieu de la plongée. Ce délai est sécurisant car il tient compte d'une dépressurisation possible et considère que la montée en altitude est instantanée. Dans la réalité la remontée n'est pas instantanée et il n'y a pas de dépressurisation possible. Des ordinateurs plus sophistiqués (par exemple le Scubapro G2) tiennent compte d'une remontée en altitude après la plongée. Dans la pratique comme la remontée est progressive et qu'il n'y a pas de risque de dépressurisation. Les délais indiqués sont généralement inférieurs au « No Fly ». Même avec l'affichage éteint ils continuent à mesurer la pression ambiante et calculer.



Ordinateur SCUBAPRO G2  
A: Zone jaune, altitude interdite  
B: La barre grise indique l'altitude

**Lors d'une remontée en altitude, laisser l'ordinateur à votre poignet, pas dans le coffre de la voiture ! Cela va vous permettre de vérifier régulièrement votre état de saturation et d'entendre les alarmes éventuelles.**

6.5. Comparaison entre les divers profondimètres

Tableau 4

Electronique	Profondeur lue = Profondeur réelle Il faut calculer la profondeur fictive pour utiliser les tables
Tube capillaire	Profondeur lue = Profondeur fictive On utilise directement cette profondeur pour rentrer dans les tables
Membrane, tube de Bourdon	Profondeur réelle = Profondeur lue + Retard Retard=0 si une mise à zéro se fait avant la plongée Il faut calculer la profondeur fictive pour utiliser les tables
Ordinateur de plongée	Profondeur lue = Profondeur réelle. <b><u>Ne pas oublier de vérifier si le paramétrage de l'altitude est correct par rapport au site de plongée.</u></b>

<sup>14</sup> Equivalent à une cabine pressurisée d'un avion de ligne.



## 7. L'ÉQUIPEMENT SPÉCIFIQUE

La plongée en altitude ne nécessite pas d'équipement particulier, en dehors des combinaisons isothermiques avec gants et cagoule qui doivent être adaptées aux conditions de froid. Néanmoins, il est conseillé de plonger :

- Avec deux détendeurs séparés dont le principal muni d'un Free Flow Control Device et d'une soupape de sécurité ;
- Avec une combinaison étanche ;
- Avec des gants étanches ;
- Avec une lampe.

## 8. ORGANISATION DE LA PLONGÉE EN ALTITUDE

### 8.1. Choix du site

- Choisir le site en fonction de la qualification des plongeurs ;
- Eviter les lacs à plus de 1500m d'altitude pour les débutants ;
- Eviter les lacs à plus 2500m d'altitude.

### 8.2. Collecte de renseignements

Collecter le plus de renseignements possibles sur :

- La géographie et les spécificités du site ;
- L'altitude exacte ;
- Les possibilités pour rejoindre le site ;
- Les dangers éventuels :
  - disposition des prises d'eau éventuelle ;
  - forme des barrages ;
  - heures d'ouverture des vannes, du déversoir...
- Les aspects légaux :
  - Les interdictions éventuelles ;
  - Les lacs et chemins privés ;
  - Les réglementations et arrêtés locaux.
- Les prévisions météo, en montagne le temps est très changeant et peut gêner une évacuation :
  - Orage violent et soudain ;
  - Crue des rivières ;
  - Brouillard ou nuages bas.

### 8.3. Quelques conseils et règles de prudence

- Eviter de plonger le long des falaises instables ;
- Eviter de plonger sous les surplombs ;
- Se méfier de visibilité changeante en bordure des glaciers ;
- S'assurer qu'il n'y a pas de soutirage d'eau ;
- Se méfier des passages de col après la plongée (risque d'ADD) ;
- Avoir un téléphone mobile, cartes et GPS.



#### **8.4. A prévoir pour un séjour en altitude**

---

- Un réchaud à gaz ou à alcool pour faire des boissons chaudes
- De l'eau et des boissons
- Des soupes en sachet
- Des barres de céréales, barres chocolatées, fruits secs...
- Lampes
- Lunettes de soleil, crème solaire ;
- Vêtements chauds et imperméables, bonnet, gants, bonnes chaussures de montagne ;
- Couvertures de survie ou Tente.

### **9. GESTION DU STRESS, DES PROBLÈMES ET DES PANNES**

---

Les dangers principaux sont l'anxiété, hypothermie, l'essoufflement, le givrage du détendeur et une brusque modification de la visibilité.

#### **9.1. Conduite à tenir en cas d'anxiété**

---

1. Prévenir ses compagnons de plongée ;
2. S'arrêter, réfléchir et se raisonner ;
3. S'efforcer d'avoir une respiration, calme, profonde (bien expirer) et régulière ;
4. Si le problème persiste : interrompre la plongée.

#### **9.2. Conduite à tenir en cas d'hypothermie**

---

Les premiers signes sont des frissons et des tremblements. Dès l'apparition de ces signes il faut :

1. Interrompre la plongée ;
2. Sortir de l'eau rapidement ;
3. Sécher et réchauffer le plongeur à l'aide de vêtements chauds, couverture de survie...
4. Donner des boissons chaudes, Ne JAMAIS faire boire de l'alcool ;
5. Dans les cas grave prévoir une évacuation vers un hôpital.

#### **9.3. Conduite à tenir en cas d'essoufflement**

---

L'essoufflement est un incident grave qui peut se terminer en accident gravissime. En cas d'essoufflement :

1. Se calmer, s'arrêter et éventuellement prendre un appui ;
2. Calmer sa respiration et expirer à fond pour éliminer le CO<sub>2</sub> ;
3. Remonter tranquillement en expirant ;
4. Ne pas replonger.

#### **9.4. Conduite à tenir en cas de givrage du détendeur**

---

Si on a pris la précaution de monter un Free Flow Control Device, la conduite à tenir est des plus simples :

1. Bloquer le détendeur en mettant le FFCD sur off ;
2. Prendre son détendeur de secours ;
3. Remonter et terminer la plongée.



Dans le cas contraire si on n'a pas pris cette précaution, c'est un peu plus difficile et plus stressant :

1. Passer sur son détendeur de secours ;
2. Se tortiller, décapeler ou demander de l'aide pour fermer le robinet du détendeur incriminé ;
3. Remonter et terminer la plongée, éventuellement sur le détendeur de secours du binôme.

### 9.5. Conduite à tenir en cas de mauvaise visibilité

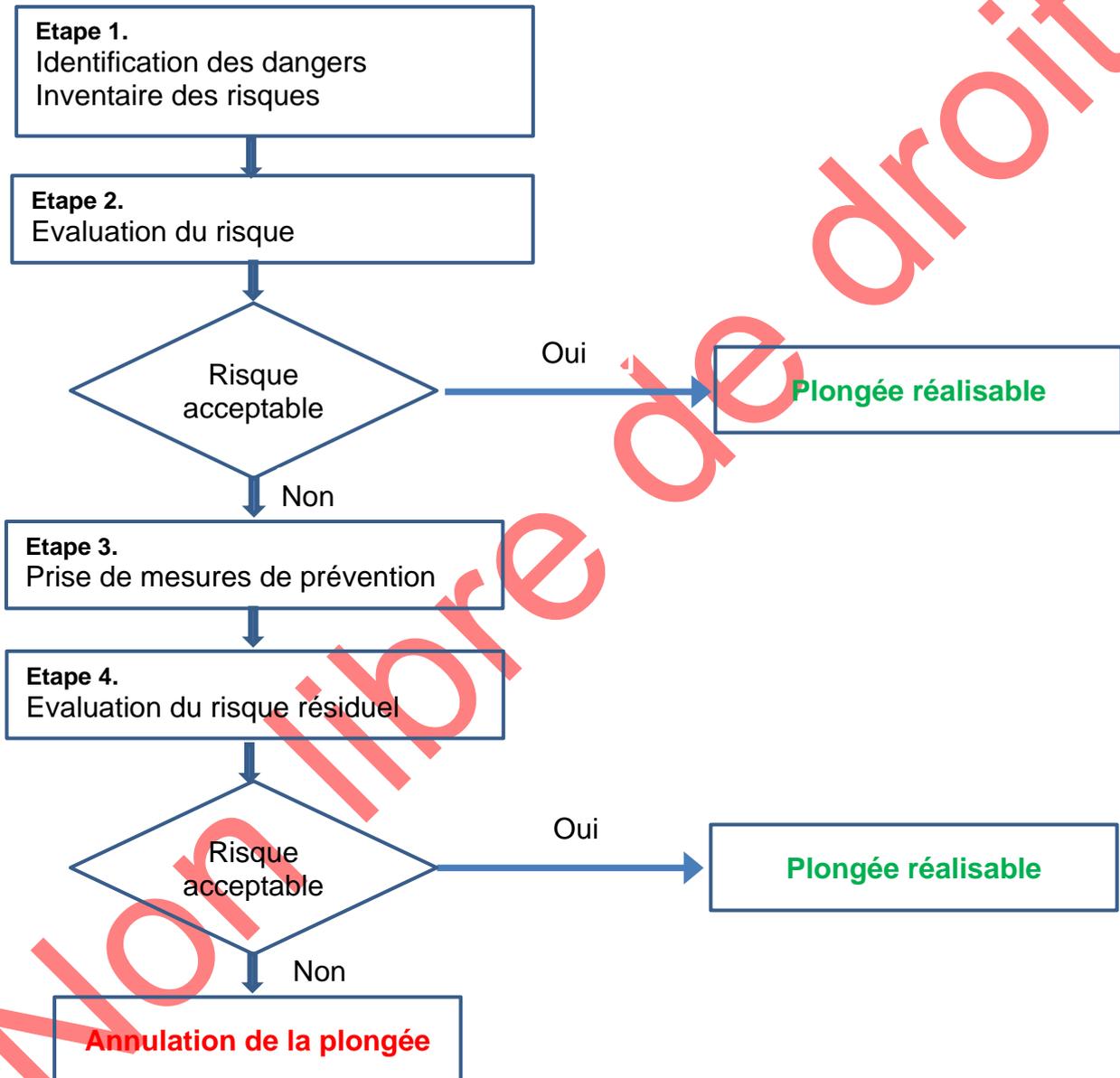
Dans les lacs de montagne, en bordure des glaciers, la visibilité peut être réduite et il en va de même dans les lacs de barrage. Quelques petites astuces pour éviter de gâcher la plongée et de perdre le binôme :

1. L'important est de voir et surtout d'être vu. Chaque plongeur aura donc une lampe et éventuellement une lampe à éclats pour le chef de palanquée.
2. Réduire le nombre de plongeurs dans une palanquée à deux ou trois maximum.
3. Ne pas plonger les uns derrière les autres, mais les uns à côté des autres en contact direct.
4. Si la visibilité devient nulle, le plongeur pourra tenir la bouteille du chef de palanquée pour éviter de le perdre.
5. Si la visibilité devient trop mauvaise, avancer avec la main qui tient la lampe tendue devant soi, pour éviter de se cogner dans un obstacle.
6. Si malgré ces précautions vous vous perdez :
  - a. Chercher le compagnon de plongée en autour de soi, au-dessus et en dessous.
  - b. Si vous ne l'avez pas retrouvé au bout de 3 minutes, commencer la remontée à la vitesse prescrite.



## 10. ANALYSE DES RISQUES.

L'analyse des risques est une science largement répandue dans le milieu industriel et notamment au niveau de la plongée professionnelle<sup>15</sup>. On peut s'en inspirer pour analyser et quantifier le risque en plongée loisir et plus particulièrement en plongée solo. Cette analyse vise à identifier les risques (danger), les facteurs de risques, les quantifier et les prévenir d'une manière systématique. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer le risque, la plus courante est la méthode Kinney.



<sup>15</sup> Opérateur en Travaux Subaquatiques



## 10.1. Définitions

---

- **Danger** : Tout élément qui peut mettre en péril l'intégrité physique et la sécurité du plongeur.
- **Exposition** : durée d'exposition au danger.
- **Domage** : Atteinte à l'intégrité physique ou psychologique du plongeur.
- **Risque** : Probabilité pour qu'un « Domage » se produise.
- **Risque résiduel** : Risque qui subsiste lorsque les mesures de prévention ont été prises.
- **Facteur de risque** : Élément ou évènement qui peut engendrer un « Domage ».
- **Prévention** : Toutes mesures pour limiter le « Risque », éviter les « Dommages » ou les atténuer.
- **Probabilité** : Paramètre variable en fonction de la nature du « Risque ».

## 10.2. Méthode Kinney

---

La Méthode Kinney est une méthode d'hiérarchisation des risques et pas une méthode de dépistage des risques. Elle présente l'avantage d'être facile, rapide et de quantifier le risque. Le postulat de départ indique que le Risque est proportionnel à la probabilité (P), à l'exposition (E) et la gravité des conséquences possibles (G). Ce qui conduit à écrire la formule suivante :

$$Rk = G \times E \times P$$

Cette formulation ne tient pas compte de la formation et de l'expérience. Malchaire J. & Koob J-P<sup>16</sup> proposent d'en tenir compte en affectant la formule précédente d'un facteur (F), sans toutefois donner un tableau de valeur. La relation devient donc :

$$Rk = G \times E \times P \times F$$

Avec :

- Rk : Risque estimé suivant la méthode Kinney.
- G : Gravité des conséquences possibles (Domage).
- E : Durée d'exposition au facteur de risque.
- P : Probabilité d'émergence du dommage pendant la durée d'exposition.
- F : Facteur qui tient compte de la formation et de l'expérience.

Des tableaux donnent pour ces trois facteurs des valeurs numériques<sup>17</sup>. L'estimation du « score » du risque est le produit de ces facteurs. Le score ainsi obtenu peut être nuancé en fonction de la formation, l'expérience et la pratique régulière ou non du plongeur. Ce score permet à tout un chacun d'estimer si le risque est acceptable ou non.

---

<sup>16</sup> Fiabilité de la méthode Kinney d'analyse des risques - Malchaire J. & Koob J-P – Université catholique de Louvain

<sup>17</sup> Les tableaux originaux donnaient une échelle de coût. Dans le cadre de la plongée, je n'ai pas trouvé utile de les reprendre. D'autant plus que les originaux datent de 30 ans, sans mise à jour des valeurs !



## La plongée en altitude

La première difficulté consiste à faire l'inventaire des facteurs de risque. Il n'est pas facile de ne rien oublier ! La seconde difficulté, qui est de loin la plus gênante consiste à calculer le « score ». Celui-ci peut fortement varier en fonction de l'observateur, de son expérience, de sa sensibilité, de sa formation, de son niveau d'études, de son expérience de terrain... D'après l'étude de Malchaire J. & Koob J-P<sup>18</sup>, le « score » varie en fonction en fonction de l'observateur dans une fourchette de 1 à 15.

### 10.2.1 Tableaux des facteurs G, E et P

#### 10.2.1.1. La « Gravité » (G)

Gravité	Conséquences	Valeur
Catastrophique	Nombreux morts	100
Désastre	Quelques morts	40
Très grave	Un mort	15
Sérieux, grave	Blessure sérieuse, invalidité permanente	7
Important	Blessure incapacitante	3
Incident	Petite blessure non incapacitante	1

#### 10.2.1.2. L'« Exposition » (E)

Exposition	Valeur
En continu	10
Régulièrement, de l'ordre d'une fois par jour	6
De temps à autre, de l'ordre d'une fois par semaine	3
Parfois de l'ordre, d'une fois par mois	2
Quelques fois par an	1
Maximum une fois par an	0,2

#### 10.2.1.3. La « Probabilité » (P)

Probabilité	Valeur
Probable	10
Possible	6
Inhabituel mais possible	3
Petite possibilité dans des cas limites	1
Concevable mais peu probable	0,5
Pratiquement impossible	0,2
A peine concevable	0,1

<sup>18</sup> Fiabilité de la méthode Kinney d'analyse des risques - Malchaire J. & Koob J-P – UCL



10.2.2 Tableaux de l'évaluation du « Risque » (Rk)

En fonction du « score » ce tableau indique le degré d'acceptabilité du risque.

Valeur	Evaluation	Action
Rk > 400	Risque très élevé	Risque tout à fait inacceptable
200 < Rk ≤ 400	Risque élevé	Mesures de correction impératives
70 < Rk ≤ 200	Risque important	Adopter des mesures de correction
20 < Rk ≤ 70	Risque moyen	Attention particulière requise
Rk < 20	Risque faible	Acceptable

10.3. Application de la méthode Kinney

Risque	Degré engagement de la plongée et Conditions particulières	Facteurs / score				Préventions	Risque résiduel			
		G	E	P	Rk		G	E	P	Rk
Hypothermie		15	1	3	45	limiter le temps de plongée, combinaison étanche, vêtements chauds, boissons chaudes	15	1	0,5	7,5
Hypoxie	Altitude < 2500m	15	3	0,1	4,5		15	3	0,1	4,5
	Altitude > 2500m	15	1	6	90	O <sub>2</sub> en suffisance, surveillance, retraite rapide vers la vallée.	15	1	1	15
ADD	Altitude 300-700m	7	3	1	21	O <sub>2</sub> en suffisance	7	3	0,5	10,5
	Altitude 700-2500m	7	2	3	42	O <sub>2</sub> en suffisance, Evacuation rapide	7	2	0,5	7
	Altitude >2500m	7	2	6	84	O <sub>2</sub> en suffisance, Evacuation rapide Caisson monoplace	7	2	1	14
Givrage du détendeur		15	3	6	270	Deux détendeurs séparés. Free flow stop, soupape de suppression	15	3	0,2	9
Falaise instable		15	2	3	90	Repérer les falaises instables et s'en écarter avant de plonger, attirer l'attention des plongeurs sur ce danger. . Laisser une distance de sécurité suffisante	15	2	0,5	15
Soutirage eau		15	2	1	30	Repérer les soutirages et s'en écarter avant de plonger, attirer l'attention des plongeurs sur ce danger. Laisser une distance de sécurité suffisante	15	2	0,5	15
Orage, crue		15	2	1	30	Suivre l'évolution de la météo.	15	2	0,5	15

Note : le tableau est basé sur l'expérience de l'auteur est n'est donné qu'a titre didactique. La probabilité (P) a été estimée avec le plus de rigueur possible. Néanmoins, comme expliqué au chapitre précédent, celle-ci dépend grandement du ressenti. De ce fait il y a toujours une part de subjectivité. L'exposition (E) a été estimée en fonction d'un plongeur régulier qui plonge au minimum 5 fois par mois. Chacun devra adapter les facteurs en fonction de son style de plongée et des circonstances locales. Le partage du matériel avec le compagnon de plongée n'est pas considéré comme une option valable. La liste n'est pas exhaustive

11. LES ASPECTS ÉCOLOGIQUES

Les lacs en altitude sont des milieux très fragiles, qui peinent à se reconstituer. Il faut donc être particulièrement attentif à ne rien dégrader, non seulement dans le lac mais aussi aux alentours et lors de la mise à l'eau.





12.2. Verso

Tableau 6

Montée en altitude délais inférieur à 12h															A	0:10	2:20				
Altitude															B	0:10	1:17				
feet	m	RG													C	0:10	0:56				
1000	315	A													D	0:10	0:53				
2000	610	A													E	0:10	0:53				
3000	914	B													F	0:10	0:53				
4000	1219	C													G	0:10	0:53				
5000	1524	D													H	0:10	0:53				
6000	1829	E													I	0:10	0:53				
7000	2134	F													J	0:10	0:53				
8000	2438	G													K	0:10	0:53				
9000	2743	H													L	0:10	0:53				
10000	3048	I													M	0:10	0:53				
															N	0:10	0:53				
															Intervalle entre les plongées de h:min à h:min						
Prof.																					
(m)			N	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A					
3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	427	246	159	101	58					
6	*	*	*	462	331	257	206	166	134	106	83	62	44	27							
9	261	224	194	168	146	126	108	92	77	63	51	39	28	18							
12	152	136	122	109	97	85	74	64	55	45	37	29	21	13							
15	109	99	90	81	73	65	57	49	42	35	29	23	17	11							
18	86	79	72	65	58	52	46	40	35	29	24	19	14	9							
21	71	65	59	54	49	44	39	34	29	25	20	16	12	8							
24	60	55	51	46	42	38	33	29	25	22	18	14	10	7							
27	52	48	44	41	37	33	29	26	22	19	16	12	9	6							
30	47	43	40	36	33	30	26	23	20	17	14	11	8	5							
33	42	39	36	33	30	27	24	21	18	16	13	10	8	5							
36	38	35	32	30	27	24	22	19	17	14	12	9	7	5							
39	35	32	30	27	25	22	20	18	15	13	11	9	6	4							
42	32	30	27	25	23	21	19	16	14	12	10	8	6	4							
45	30	28	26	23	21	19	17	15	13	11	9	8	6	4							
48	28	26	24	22	20	18	16	14	13	11	9	7	5	4							
51	26	24	22	21	19	17	15	14	12	10	8	7	5	3							
54	25	23	21	19	18	16	14	13	11	10	8	6	5	3							
57	23	22	20	18	17	15	14	12	11	9	8	6	5	3							
			Pénalisations en minutes																		



### 13. LES AUTRES TABLES

Si la table US-Navy est la plus courante, Il existe de nombreuses tables qui sont utilisées par les organisations de plongée. On peut citer les tables PADI, MN90 (France). Leur utilisation est similaire à la table US-Navy. Depuis 1986, une série de tables, développées en Suisse, sortent de l'ordinaire : Ce sont les tables Bühlmann directement adaptées à l'altitude et à la montée à une altitude supérieure progressive (passage de col).

#### 13.1. Les tables Bühlmann

Ces tables sont directement adaptées à l'altitude. Elles sont au nombre de 3 pour les zones altimétriques comprise entre 0-700m ; 701-2500m ; 2501-4500m. L'utilisation est identique à la table Us-Navy.

Tableau 7

- **Table 0-700m.** C'est la table, la plus courante. Elle permet de plonger directement sans période d'adaptation à l'altitude
- **Table 701-2500m.** Elle permet de plonger après une période d'adaptation à l'altitude de la plongée d'une heure. La désaturation durant la montée en altitude a été dans l'algorithme de calcul de la table, ce qui a permis de réduire drastiquement le temps d'adaptation.
- **Table 2501-4500m.** Elle permet seulement de plonger après une période d'adaptation à l'altitude de la plongée de 6 à 7 jours.

Tableau 8

**ATTENTION :** Les groupes de pression (RG) ne sont PAS identiques à ceux de la table US-Navy



13.1.1. Passage d'un col

Altitude du col	Groupe de pression (RG)				
	A-D	E	F	G	H
2500 m	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
3000 m	1.00	1.00	1.00	1.30	3.30
3500 m	1.00	1.00	1.30	3.30	5.30
4000 m	1.00	1.30	3.00	5.00	7.00

Tableau 9

Une table permet de déterminer le délai et les conditions de franchissement d'un col après la plongée ou de prendre un avion non pressurisé. Cette table n'est valable que si et seulement si la plongée a été planifiée avec une des tables Bühlmann.

**Règles :**

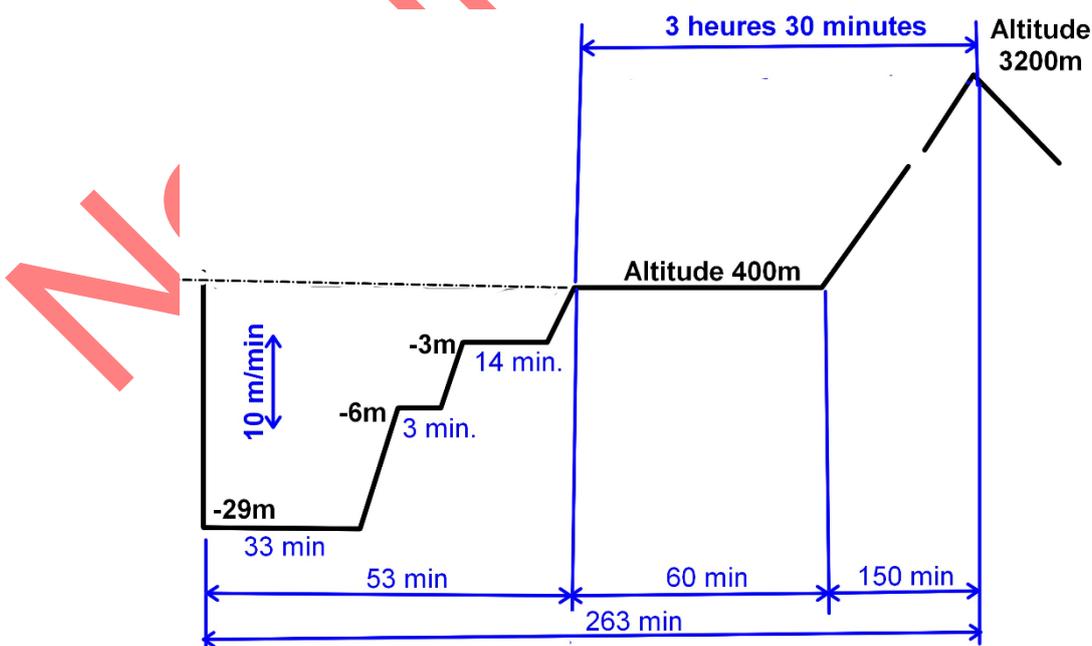
- Il faut attendre au minimum une heure après la plongée pour entamer la remontée.
- Après cette heure d'attente, la remontée doit être lente et progressive.
- Le sommet du col ne doit PAS être atteint avant le temps indiqué dans la table. (Format : heures.minutes)

**Exemple 8**

On fait une plongée de 33 minutes à la profondeur réelle de 29 mètres dans un lac de montagne à 400m. Puis on remonte en passant par un col à l'altitude de 3200. Planifier la plongée avec Les tables Bühlmann.

On rentre dans la table avec la profondeur 30m et le temps de 35 minutes. Ce qui donne un palier à 6m de 3 minutes et un palier à 3m de 14 minutes. La vitesse de remontée est de 10m/min et l'indice de saturation « G ».

En rentre dans la table du passage de col à l'indice « G » et à l'altitude de 3500m. Ce qui donne un délai de 3 heures 30 minutes avec au minimum une heure d'attente sur le site de plongée. Puis une montée progressive de 2 heures 30 minutes pour atteindre le sommet du col.





## 14. EXEMPLE DE CALCUL COMPLEXE

En partant de la vallée, on plonge deux heures après être arrivé au lac de Lioson à une altitude de 1850m. La profondeur lue sur le profondimètre à tube de Bourdon sans molette de mise à zéro est de 22m. Par la suite on part en Italie en passant par le col du Grand Saint Bernard (Altitude 2500m). Le temps de plongée est de 25 minutes. Planifiez la plongée à l'aide des tables US-Navy 2008. On dispose d'O<sub>2</sub> en suffisance permettant de faire les paliers et respirable, en surface, via un masque.

### Résolution.

1) Le profondimètre ne donne pas la profondeur réelle, il faudra la calculer à l'aide des formules (8) et (10).

$$Retard = \left(1 - \frac{10000 - 1850}{10000}\right) 10 = 1.85m \text{ soit } 2m$$

$$Profondeur \text{ réelle} = 22 + 2 = 24m$$

2) Déterminons la profondeur fictive, vitesse de remontée, profondeur de palier à l'aide des formules (3) (6)

$$Coefficient = \frac{10000}{(10000-1850)} = 1,23$$

$$Profondeur \text{ fictive} = 24 \times 1,23 = 29,5 \text{ soit } 30m \text{ (profondeur à utiliser dans les tables)}$$

$$Vitesse \text{ de remontée} = \frac{10}{1,23} = 8,13 \text{ soit } 8m/min$$

$$Profondeur \text{ palier} = \frac{6}{1,23} = 4,9m \text{ soit } 5m$$

3) Etant donné que le temps d'adaptation à l'altitude est trop court, il faut considérer cette plongée comme une plongée successive. On considère, sécuritairement, que la montée en altitude depuis la vallée a été instantanée. Utilisons le tableau 1

Tableau 10

Altitude		
feet	m	RG
1000	315	A
2000	610	A
3000	914	B
4000	1219	C
5000	1524	D
6000	1829	E
7000	2134	F
8000	2438	G
9000	2743	H
10000	3048	I

L'altitude du lac (1850m) se situe entre deux valeurs (1829 et 2134) adoptons le groupe RG le plus conservateur soit l'indice « F »

Après 2 heures, l'indice se réduit à « D » ce qui correspond à une pénalité de 14 minutes

Profondeur entrée table : 30m

Temps de plongée 25+14= 39 minutes soit 40 minutes

Soit 26 minutes de palier à l'air à la profondeur de 4,9m ou 14minutes de palier à 4,9m à l'O<sub>2</sub>. L'indice de sortie est « H »

Pour aller en Italie, il faut passer de l'altitude de 1850m à l'altitude de 2500m



## La plongée en altitude

RG	Augmentation de l'altitude m (feet) (US Navy 2008)									
	315 (1000)	610 (2000)	914 (3000)	1219 (4000)	1524 (5000)	1829 (6000)	2134 (7000)	Avion 2438 (8000)	2743 (9000)	3048 (10000)
B	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:42
C	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	1:48	6:23
G	0:00	0:00	0:00	0:00	1:19	3:38	6:10	9:13	12:52	17:27
H	0:00	0:00	0:00	1:06	3:10	5:29	8:02	11:04	14:43	19:18
I	0:00	0:00	0:56	2:45	4:50	7:09	9:41	12:44	16:22	20:58

Paramètres d'entrée dans la table

- Groupe « H »
- Altitude de la plongée 1850m entrée dans la table à la profondeur juste inférieure soit 1829m
- Altitude du col 2500m entrée dans la table à la profondeur juste supérieure soit 2743m

Il faudra 14hr 43min – 5hr29min soit 9hr 14min au strict minimum.

On voit dans la table que pour pouvoir monter directement vers le col, il faudrait que l'indice soit égal à « B ». Une possibilité est de terminer la désaturation en surface en respirant de l'O<sub>2</sub> pour atteindre cet indice. Utilisons la table 3

S	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Z
min	15	30	40	50	60	70	75	85	90	100	105	110	115	120	130	135

Pour passer de l'indice « H » à « B » : il faudra :

$85-30 = 55$  minutes avec de l'O<sub>2</sub> délivré par un masque 100%

$55/0,8 = 70$  minutes avec de l'O<sub>2</sub> délivré par un masque 80%

Vérification du CNS (cf. Chapitre 6.1)

Calcul du CNS total						
Niveau	Pressions en bar			Durée minutes	%CNS/min	CNS minutes
	Prelative	Pabsolue	PPO <sub>2</sub>			
Surface (atm)	1/1,23=0,81	0,81	0,81	55	0,23	0,23x55=12,7
Fond	24/10=2,4	2,4+0,81=3,21	3,21x0,21=0,67	25	0,17	0,17x25=4,2
Remontée (moy)	2,4/2=1,2	1,2+0,81=2,01	2,01x0,21=0,42	24/8=3	0,14	0,14x3=0,4
Palier O <sub>2</sub>	5/10=0,5	0,5+0,81=1,31	1,31	14	0,57	0,57x14=8,0
% CNS Total						25,3