

---

# La décompression - Niveau 3\*

---

## Compléments d'informations, tables, ordis

---

### 1. Pourquoi la décompression ?

---

En plongée, on est soumis à la pression et l'on respire un mélange gazeux dont une partie, l'azote ( $N_2$ ) se dissout dans notre organisme. Lorsqu'on remonte d'une plongée, cet azote doit sortir et s'il se forment des bulles qui ne sortent pas, le plongeur peut subir un ADD. D'où l'importance de contrôler l'absorption et l'évacuation de cet azote ! D'où l'importance de comprendre comment fonctionne la décompression. D'où l'importance de savoir planifier une plongée. D'où l'importance de savoir utiliser son moyen de décompression et de gérer la décompression de sa palanquée.

Une plongée mal préparée, c'est comme un train sur une voie sans issue...

Le danger augmente évidemment avec la profondeur et le temps passé en profondeur. Ce n'est donc pas pour rien qu'on insistera particulièrement sur la planification de plongées plus profondes (> 30m).

La cause n°1 de l'accident : la panne d'air, par défaut de planification → remontée rapide et décompression non respectée.

### 2. Bref historique et mise en garde

---

La réflexion sur la décompression débute tôt : vers la moitié du 19<sup>ème</sup> siècle

- 1841 : 1<sup>ère</sup> description d'un ADD (Triger) sur les ouvriers travaillant dans des environnements sous pression.
- 1854 : on s'aperçoit que les ADD sont liés à une baisse rapide de pression et que les symptômes disparaissent lors d'un retour à une pression supérieure (Pol et Watelle).
- 1907 : la Royal Navy charge le physiologiste John Scott **Haldane** (le père de la théorie moderne de la décompression) d'étudier la décompression. Il met au point des gradients (différence entre tension et Pp d'un gaz à la surface) limites ainsi que le **modèle à perfusion** selon lequel
  - les gaz diluants sont transportés par le sang sous forme dissoute,
  - les échanges gazeux sont instantanés,
  - il y a un équilibre instantané entre la Pp alvéolaire et la tension d' $N_2$  dans le sang et la tension d' $N_2$  dans le sang et les tissus,

- il y a une relation linéaire entre augmentation de la Pp et la quantité de gaz dissous (Henry).
- La charge et la décharge en azote sont symétriques,
- Il n'y a pas d'interaction entre cellules et pas de dégazage d'un compartiment à un autre.

Les avancées scientifiques démontreront par la suite que ces postulats sont évidemment non représentatifs de la réalité, ce qui n'entraînera pas nécessairement leur abandon dans les recherches sur la décompression.

- On expérimente et on fait des essais sur des animaux (chèvres et porcs) puis sur des hommes (soldats).
- L'US Navy continue et affine toujours ses recherches. Publications régulières de la NEDU (Navy Experimental Diving Unit)
- Robert Workman (US) adapte les valeurs de gradient maximum de Haldane : Les sursaturations varient avec la profondeur (donc la P hydrostatique) et chaque compartiment. C'est lui qui définit les M-values (cf. sursaturation critique).
- Albert Bühlmann (Suisse) utilise aussi des M-values mais utilise la pression ambiante. Il travaille principalement sur la décompression en altitude.

### ATTENTION !

La décompression n'est pas une science exacte ! Elle est le résultat d'une très grande quantité d'expérimentations mais rien n'est parfaitement vérifié. Les algorithmes qui permettent la décompression ne sont que des représentations de ce qu'on estime qu'il se passe dans notre corps. Ce sont des modèles mathématiques qui approchent le fonctionnement du corps humain (→ fiable ?...).

**PERSONNE N'EST A L'ABRI D'UN ACCIDENT DE PLONGEE !!!**

## 3. Rappels : M-Values, compartiment directeur

### Modèle haldanien

Lors de ses recherches, Workman met au point des valeurs limites pour chaque compartiment et chaque profondeur. Ces valeurs indiquent la **tension maximale d' $N_2$**  à ne pas dépasser pour un compartiment et une profondeur donnée sous peine de ne pas pouvoir remonter directement en surface. Ces valeurs, nommées **M-Values** (ou M de Workman) marquent donc la **frontière** entre plongée « **no deco** », c.-à-d. dans la courbe de plongée sans palier, et plongée à **décompression obligatoire**. (→ lien avec la définition de la plongée « no deco » à la Lifras)

Dès qu'un compartiment atteint sa M-Value, il atteint son **seuil de sursaturation critique** et impose donc un palier. Il devient alors **compartiment directeur**. Cela veut dire que c'est lui qui va **diriger la décompression** et donc imposer le ou les paliers jusqu'à ce que sa tension

en azote redescende sous le seuil de sursaturation critique et permette de passer au palier supérieur ou en surface.

Autrement dit, à la remontée, la pression baisse plus vite que la tension. On atteint les M-values et l'on doit donc faire un arrêt : c'est le palier obligatoire. Pendant le palier : pression reste constante mais la tension baisse, jusqu'à repasser sous la limite de la M-value et permettre un retour en surface (ou d'arriver à un palier moins profond) en sécurité.

Au fur et à mesure de la plongée **le compartiment directeur peut changer** en fonction de la vitesse de la remontée et des paliers.

Exemple : Un premier compartiment, rapide, cessera d'être directeur si l'on remonte plus doucement, un autre, moins rapide, imposera un palier à 6m et un troisième, plus lent, imposera un palier à 3m. Chacun des 3 compartiments cités deviendra directeur à un moment donné de la plongée. Il est d'ailleurs possible que plusieurs compartiments imposent des arrêts différents lorsque l'on amorce la remontée. Ce serait le cas d'une plongée assez longue et profonde où plusieurs compartiments atteindraient leur seuil de sursaturation critique. (→ dangers des profils « hybrides », notamment borderline)

**Votre premier acte de décompression est le respect de la vitesse de remontée**, c'est une sorte de premier palier imposé par l'azote dissout dans notre corps. Si l'on dépasse cette vitesse, des bulles peuvent se former et les microbulles déjà présentes peuvent grossir et provoquer un ADD.

#### LIMITES DU MODÈLE HALDANIEN

Le modèle par perfusion présente des limitations quant à la fidélité de la reproduction des phénomènes. **Il n'y a aucune relation entre le modèle mathématique et le corps humain.** Tout au plus, de très nombreuses expériences faites sur des plongeurs peuvent donner une certaine idée de la validité des résultats.

- On ne sait pas ce qui se passe en cas de recompression partielle d'une bulle, par exemple quand on cesse de remonter pour redescendre. (**yoyo**)
- On ignore quelle est l'influence exacte des autres gaz comme le CO<sub>2</sub> par exemple. (**essoufflement**)
- Un compartiment peut dégazer dans un autre. Les formulations émises n'en tiennent pas compte. Les divers compartiments ne sont pas « étanches » (comme le pensait Haldane) et des transits d'N<sub>2</sub> s'opèrent continuellement entre eux.
- Le modèle considère que tous les compartiments subissent la même pression d'N<sub>2</sub>, mais il est évident que tout au long du cheminement du sang dans l'organisme, il y a une « consommation » d'N<sub>2</sub>. Les compartiments les plus éloignés des poumons subissent donc une plus faible tension d'N<sub>2</sub>.
- Ce modèle considère que l'N<sub>2</sub> reste sous forme dissoute. Mais nous savons qu'il existe des **microbulles lors de la décompression**. Ces microbulles entravent la désaturation.
- Le modèle haldanien postule que les courbes de saturation et de désaturation sont les mêmes. -> **trop mathématique**, ne tient pas compte de la réalité physiologique.

- Le modèle reste muet quant à l'influence des bulles déjà établies sur la formation des suivantes (phénomène d'ensemencement).

Le modèle d'Haldane est **biologiquement faux** et ce quelles que soient les adaptations qu'on lui fasse subir ! Haldane ne tient pas compte de la diffusion de l' $N_2$  entre les tissus, leur hétérogénéité, la mauvaise vascularisation de certains tissus... car il les considérait comme négligeables.

**Malgré tout** cela, la méthode d'Haldane reste **l'outil le plus employé** pour les calculs de décompressions.

#### LIMITES LIÉES À L'ORGANISME

Les expérimentations sur la décompression ont été effectuées sur des **organismes en pleine possession de leurs moyens et en excellente santé** (souvent des jeunes militaire cfr. US Navy). C'est-à-dire :

- Non fatigué
- Jeune (< 35 ans)
- Corpulence moyenne
- Parfaitement hydraté
- Thermiquement confortable
- Raisonnablement saturé (intervalle)
- Sans shunt cardiaque
- Non affecté par une limite quelconque
- Non atteint d'une affection quelconque (maladie, malformation)

Ce qui est rarement le cas en plongée loisir...

De plus, **le seul profil testé est de type « carré »**, ce qui, à nouveau, est rarement le cas en plongée loisir.

## **4. Autres modèles**

---

Dans les tables USN et Lifras, on retrouve un modèle neo-haldanien. Dans ces modèles, les compartiments évoluent : 5, 10, 20, 40, 80, 120 minutes et (+ 160, 200, 240 en plongée successive) pour les tables Lifras 94. Les coefficients de sursaturation critique diffèrent suivant les compartiments et la profondeur. Le **modèle néo-haldanien** est basé sur la volonté d'éviter les microbulles. On fait tout pour les éviter.

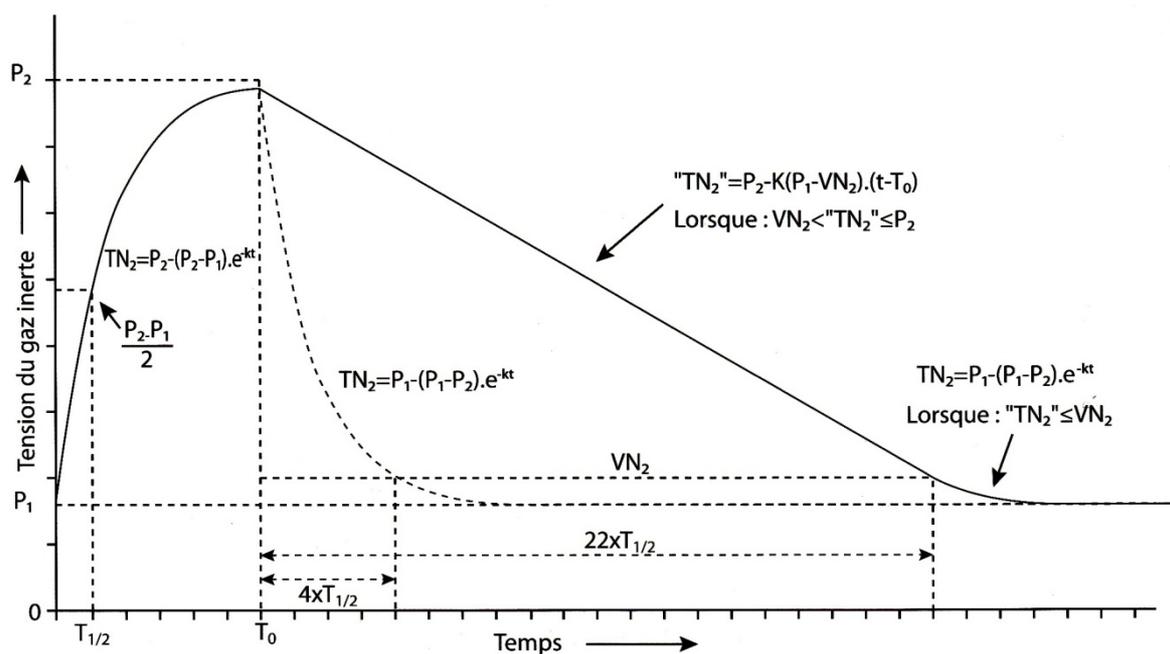
Les **modèles bullaires** postulent la présence continue de microbulles qu'il faut maintenir dans cet état et empêcher de passer à l'état de bulles « trop grosses » qui pourraient être pathogènes. Ces bulles non pathogènes sont également appelées bulles silencieuses (ne déclenchent pas d'ADD). Les noms des modèles bullaires sont : **RGBM** (Reduced Gradient Bubbel Model), développé par le Dr Bruce Wienke, et **VPM** (Varying/Variable Permeability Model), développé par D.E. Yount.

Selon Haldane, la saturation et la désaturation suivent des courbes symétriques. Mais selon les théories plus récentes (bullaires entre autres), la désaturation prend beaucoup plus de temps.

Les **3 paramètres essentiels** du modèle haldanien sont

- La différence de pression (gradient)
- Le temps
- La nature du compartiment (long >< court)

Selon les dernières tables de l'US Navy (2008) la désaturation suit une courbe linéaire (donc une droite). Le corps désature de manière régulière et cela prend 15h50 (contrairement aux tables Lifras 94-US Navy 93 dont le temps de désaturation est de 12h).



## 5. Ordinateurs

L'ordinateur est un instrument génial pour calculer notre décompression mais qui ne dispense pas de suivre une formation et de faire aller sa tête avant, pendant et après la plongée. On retrouve notamment cela dans les modes d'emploi des machines. Exemple ci-dessous extrait du mode d'emploi d'un ordinateur Scubapro-Uwatec.

Dans les consignes d'utilisation :

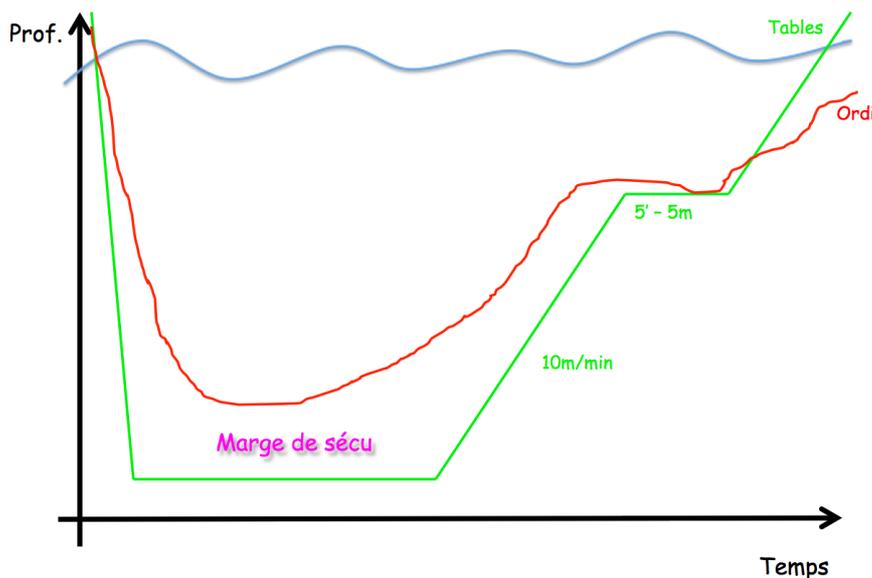
Tous les plongeurs qui utilisent des ordinateurs pour prévoir leurs plongées et indiquer ou déterminer leur statut vis-à-vis de la décompression doivent utiliser leur propre ordinateur, qu'ils emmènent avec eux lors de chaque plongée.

Dans l'introduction :

**Questions de sécurité**  
 Les ordinateurs de plongée offrent des données aux plongeurs, ils ne leur offrent pas la connaissance qui leur permet de savoir comment ces données doivent être comprises et appliquées. Les ordinateurs de plongée ne peuvent pas remplacer le bon sens ! Vous devez par conséquent lire soigneusement et bien comprendre l'ensemble de ce manuel avant d'utiliser votre Aladin TEC 3G.

L'ordinateur calcule la saturation en azote en direct pour chaque compartiment, pour la pression et la durée de plongée donnée. Ce calcul est répété toutes les 4 à 10 secondes (en fonctions des marques et modèles ; plus l'ordinateur est petit, plus le cycle est long) pour suivre en temps réel la charge et la décharge d' $N_2$  quel que soit le profil de plongée adopté.

Ce suivi en temps réel est un avantage et un gage de précision mais supprime la marge de sécurité qu'offrent les tables entre le profil réel et le calcul fixe basé sur un profil carré calculé.



En effet, lorsqu'on calcule sa décompression aux tables, de part leur nature figée et leur utilisation, nous savons pertinemment que nous n'avons pas assimilé autant d' $N_2$  car notre profil réel n'est que rarement parfaitement carré. Cependant, nous respectons les paliers indiqués par nos. Nous faisons des paliers qui ne sont peut-être pas nécessaires, nous prenons donc une marge de sécurité

Différence notable entre ordinateurs et tables : la vitesse de remontée des ordinateurs en variables en fonction de la profondeur, ce qui aura un impact sur la planification de la décompression si un membre de la palanquée plonge avec des tables.

Pour info, le tableau des vitesse de remontée des ordis Scubapro-Uwatec :

Profondeur (m)	Vitesse (m/min)
< 6	7
< 12	8
< 18	9
< 23	10
< 27	11
< 31	13
< 35	15
< 39	17
< 44	18
< 50	19
> 50	20

Etant donné le nombre de marques et modèles d'ordinateurs de plongée existant sur le marché, il n'est pas étonnant de trouver de nombreux algorithmes de décompression différents. L'algorithme, c'est cette formule complexe qui permet de calculer la charge et la décharge d'azote en temps réel dans notre organisme.

On trouve principalement des algorithmes Bühlmann ou RGBM mais aussi VPM mais plutôt du côté de la plongée technique. Chaque marque y va de sa petite modification, de son nombre de compartiments, de ses possibilités de durcissement avec des niveaux de microbulles, des gradient factors et autres moyens de conservatisme. Certains proposent des paliers profonds, d'autres de plonger au Nitrox, d'autres encore de faire sa décompression avec un mélange suroxygéné et même de pouvoir combiner le tout ! Bref : il y en a pour tous les goûts ! Reste à bien comprendre, bien connaître et utiliser correctement sa machine

Les paliers profonds sont plutôt à éviter en plongée loisir. C'est un protocole de décompression qui vient de la plongée technique où le gaz diluant (c'est à dire pour faire du volume mais qui ne participe pas au métabolisme) qui remplace l'azote est l'hélium. Celui-ci se dissolvant plus vite et s'échappant plus vite de notre corps, les paliers commencent plus profond. Appliquer ces paliers profonds (ou de mi profondeur, selon les appellations) n'a pas d'intérêt en plongée loisir car ils ne font qu'allonger la décompression de 2-3', le temps du palier profond, voire nettement plus (parfois 10') lors de plongées profondes plus « carrées » car le plongeur « traîne » à remonter. Le choix de se palier doit donc être clairement discuté au briefing.

Pour info, voici quelques algorithmes des marques les plus connues.

Scubapro-Uwatec : ZH-L8 ADT MB PMG. → Bühlmann

- ZH = Zürich ; L = limits ; nombre de compartiments ; autres identifiants
- autre identifiant peut être une des lettres A, B ou C (indiquant la « version » de l'algo) ou autre chose.
- ADT = adaptative → utilisé par Uwatec. Adaptation de l'algo en fonction du travail fourni (lié à la conso d'air intégrée et/ou sonde cardiaque) et de la température de l'eau
- MB = micro bubbles → limitation/suppression des microbulles circulantes
- PMG = predictive multi gas → possibilité de nitrox et gaz de déco

Cressi, Mares et Suunto ont chacun leur propre algorithme RGBM (développé avec le Dr Wienke dans le cas de Mares) et Suunto a aussi le Fused RGBM.

Les nouveaux ordinateurs de chez Aqualung fonctionnent avec un Bühlmann ZH-L 16 C et le Shearwater Petrel 2 également. A la différence d'Aqualung, l'algorithme Shearwater est personnalisable/adaptable grâce aux gradient factors.

## **6. Tables Lifras 94 / USN 93**

---

UNITAIRE :

Plongée où l'on démarre sans saturation résiduelle. C'est-à-dire 12h après une autre plongée unitaire, 24 après une successive.

On rentre dans la table à la profondeur max atteinte. Si on ne « tombe pas juste », on prend la profondeur supérieure, par sécurité. Au moment où on décide de mettre fin à la plongée (c'est le temps table), on prend le temps, si on ne tombe pas juste, on prend le temps supérieur.

### CONSECUTIVE

Plongée ayant lieu moins de 10' après la sortie de l'eau de la plongée précédente.

Pour en calculer la décompression au moment où on décide de mettre fin à la plongée, on prend la profondeur maximale atteinte sur les 2 profils et le temps total depuis la première mise à l'eau.

### SUCCESSIVE

Plongée ayant lieu entre 10' et 12h après la sortie de l'eau de la plongée précédente.

Afin de la calculer, on doit calculer notre pénalité (= quantité d' $N_2$  résiduel) avant de se remettre à l'eau. On utilise l'indice de sortie de la 1<sup>e</sup> plongée, on cherche le bon intervalle, on descend pour trouver l'indice de pénalité et on le converti en minutes de pénalité en fonction de la profondeur de la plongée envisagée. Ces minutes seront ajoutées au temps réel sur le fond pour connaître la décompression. C'est comme si, en se mettant à l'eau, on était déjà à la profondeur max depuis X minutes.

### REPETITIVES

Quand on fait plus de 2 plongées par 24h.

Règles de sécu : no déco, profondeurs dégressives, palier de sécu, intervalle de minimum 2h, bonne hydratation et confort thermique.

### REGLES DE SECURITE

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

## REMARQUES

La vitesse de remontée est constante : 10m/min ce qui peut avoir un impact sur la planification de la décompression de la palanquée quand l'un des membres utilise des tables vs ordi pour les autres ou que les plongeurs utilisent des tables différentes avec des vitesses différentes.

## **7. Lectures complémentaires**

---

La Farde Lifras et en particulier la partie sur la décompression.

*Tables Lifras 1994. Inspirées des Tables US Navy 1993. Monde d'emploi.* Edition de 2015.

Dossier de test d'ordinateurs dans le n° 133 de *Plongeur International*, Mai-juin 2015.

Mark Powell, *Deco For Divers*, Aquapress, 2008, réimpression de 2010.

Documentation sur internet :

[http://ns.suunto.com/pdf/Suunto\\_RGBM.pdf](http://ns.suunto.com/pdf/Suunto_RGBM.pdf)

<http://www.suunto.com/fr-FR/Assistance/Algorithmes-Suunto/>

[http://ns.suunto.com/pdf/Suunto\\_Dive\\_Fused\\_RGBM\\_brochure\\_EN.pdf?\\_ga=1.258087756.711708135.1419786802](http://ns.suunto.com/pdf/Suunto_Dive_Fused_RGBM_brochure_EN.pdf?_ga=1.258087756.711708135.1419786802)