

PLONGÉES ET ALTITUDE

29. mars 2011
Maud Quillon
maud.quillon@gmail.com

MOTS Clefs : altitude, ADD, variation de volume, adaptation des tables, étalonnage des instruments

1 Pression atmosphérique en altitude

Quand on s'élève au dessus du niveau de la mer, la colonne d'air au dessus de notre tête diminue et la pression atmosphérique diminue également.

La pression atmosphérique d'un lieu en altitude peut être mesurée grâce à un **baromètre** ou bien être extrapolée de manière simplifiée grâce au principe suivant: jusqu'à 5.000 mètres, la pression atmosphérique décroît de **0.1 Bar par 1.000 mètres d'élévation**.

Sur un baromètre on pourra lire une mesure en hectopascals et/ou en millimètres de mercure. La pression atmosphérique varie sur un même lieu d'un jour à l'autre. Elle est utilisée pour la prévision météo. Parfois, elle monte (= anticyclone = il va faire beau) parfois elle descend (dépression = il va pleuvoir). En France métropolitaine, elle peut osciller de 950 à 1050 hPa.

0,1 bar en moins tous les 1000m

$$\text{Pression atmosphérique} = \frac{10000 - \text{Altitude}}{10000} \quad (\text{jusqu'à } 5000\text{m})$$

sur un baromètre : 1013 hectopascals (hPa) = 760 millimètres de mercure (mmHg) = 1013mbars = arrondi à 1 bar

Impact sur la pression absolue :

Attention : **pour une même profondeur, la pression hydrostatique est la même quelque soit l'altitude**. En effet la colonne d'eau, elle ne varie pas en altitude, 10m d'eau en mer ou en lac nous considérons que c'est la même chose.

Rappel : Pression absolue = pression hydrostatique + pression atmosphérique

Profondeur	Pression hydrostatique	Pression absolue		
		Mer	Lac à 2000 mètres d'altitude	Lac à 2300 mètres d'altitude
surface	0	1 bar	0.8 bar	0,77 bar
10 m	1	2 bar	1.8 bar	1,77 bar
20 m	2	3 bar	2,8 bar	2,77 bar
24 m	2,4	3,4 bar	3,2 bar	3,17bar
30 m	3	4 bar	3,8 bar	3,77 bar
40 m	4	5 bar	4,8 bar	4,77 bar
50 m	5	6 bar	5,8 bar	5,77 bar

2 Conséquences sur la procédure de décompression

D'après la [loi de Henry](#), à température constante et à saturation, la concentration de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle qu'exerce ce gaz sur le liquide. En surface ou à une même profondeur d'immersion qu'en mer, la pression absolue n'est pas la même qu'en altitude; **les tissus ne seront pas saturés de la même façon.**

En mer, lorsqu'on descend à 10 mètres, on passe de 1 bar à 2 bars de pression soit un coefficient X2. A 2000 mètres d'altitude, on passe de 0,8 à 1,8 soit un coefficient de $1,8/0,8 = X 2,25$.

	Profondeur	Pression absolue	volume	Constante de Mariotte P x V	Pression atmosphérique
Mer	0m	1 bar	10 litres	10	1
	10m	2 bar	5 litres	10	1
	12,25 m	2,25	4,44 litres	10	1
Lac à 2000 m	0m	0,8 bar	10 litres	8	0,8
	8 m	1,6 bar	5 litres	8	0,8
	10m	1,8 bar	$\frac{0,8 \times 10}{1,8} = 4,44$	8	0,8

Les différences de variation sont proportionnelles à la différence entre les pressions atmosphériques.
 $1/0,8 = 10/8$

Relation entre le calcul des équivalences et Mariotte

Si on considère Mariotte, à 10 mètres dans ce lac d'altitude, un même volume venant de la surface sera plus petit, notre consommation plus grande... **les variations de volumes seront plus grandes dans ce lac qu'en mer** pour une même profondeur.

Rappelons nous que l'**ADD** est dû à une désaturation trop rapide des tissus lors de la baisse trop brutale de la pression durant le retour à la surface.

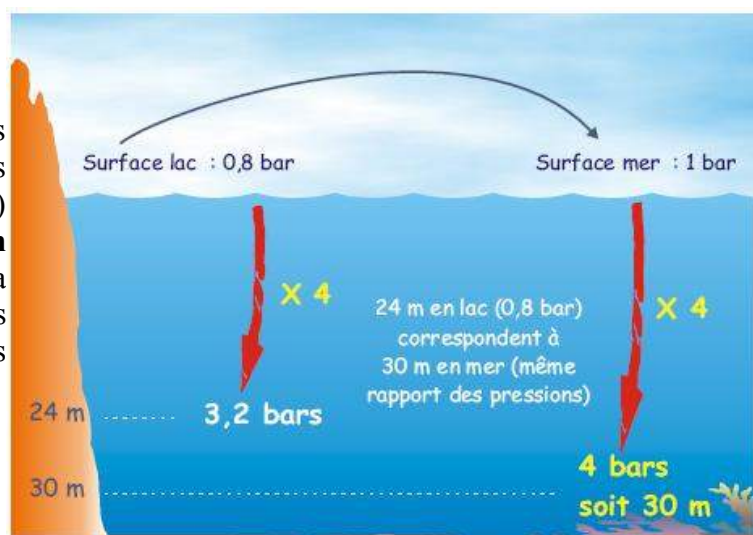
- Nos tables MN90 sont calibrées pour des variations en mer, il va falloir faire des calculs d'équivalences pour les utiliser en altitude. Pour cela, le rapport de sursaturation pour le calcul des paliers vu lors des cours précédents sera utilisé pour faire les équivalences.

$$\left(\frac{TN2}{Patm}\right)_{mer} = \left(\frac{TN2}{Patm}\right)_{lac}$$

3 Utilisation des tables MN90

Notion de profondeurs et vitesses équivalentes mer.

Afin d'utiliser les procédures des tables MN90 il faudra donc recalculer des profondeurs équivalentes (ou fictives) pour évaluer la **profondeur maximum** à prendre pour le calcul de la décompression mais également des profondeurs équivalentes pour les



paliers. La différence de variation étant plus rapide en lac d'altitude, il faudra également **diminuer sa vitesse de remontée.**

NB : La notice des tables décrit les éléments des calculs de décompression à adapter ou non.

Pressions atmosphériques mer et lac utilisées pour les équivalences.

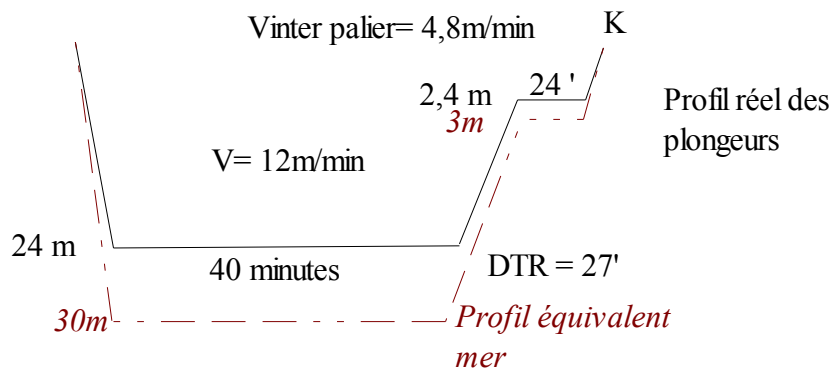
$$\frac{\text{Pression atmosphérique mer}}{\text{pression atmosphérique lac}} = \frac{\text{Profondeur mer}}{\text{Profondeur lac}} = \frac{\text{vitesse mer}}{\text{vitesse lac}} = \frac{\text{palier mer}}{\text{palier lac}}$$

**En altitude : Profondeur équivalente + profonde
la vitesse – rapide
palier – profond**

Exercice : 2 plongeurs font une plongée à 24 mètres durant 40 minutes dans un lac situé à 2000m d'altitude.

Donner tous les éléments de leur procédure de décompression.

Correction :



Pour rentrer dans la table, il faut pouvoir trouver la profondeur équivalente mer. Pour cela il faut calculer la pression atmosphérique au bord du lac.

$$\text{Profondeur mer fictive} = \frac{\text{Prof lac} \times \text{Patm mer}}{\text{Pression atmosphérique lac}} = \frac{24 \times 1}{0,8} = \mathbf{30 \text{ mètres}}$$

Dans la table, 30 mètres et 40 minutes donne 24 minutes à 3mètres, DTR 27minutes.

Les 3 mètres seraient à faire en mer, il faut calculer la profondeur du palier équivalent :

$$\text{« Profondeur réelle du Palier 3mètres » lac} = \frac{\text{Prof mer} \times \text{Patmlac}}{\text{Pression atmosphérique mer}} = \frac{3 \times 0,8}{1} = \mathbf{2,4 \text{ m}}$$

$$\text{Vitesse de remontée du fond à 2,4 m} = \frac{\text{vitesse mer} \times \text{Patmlac}}{\text{Pression atmosphérique mer}} = \frac{15 \times 0,8}{1} = \mathbf{12\text{m}/\text{minute}}$$

$$\text{Temps de remontée réel de 24 à 2,4 mètres} : \frac{24-2,4}{12} = 1,8 \text{ minutes} = \mathbf{2 \text{ minutes}}$$

$$\text{Vitesse de remontée de 2,4m à 0m} = \frac{\text{vitesse mer} \times \text{Patmlac}}{\text{Pression atmosphérique mer}} = \frac{6 \times 0,8}{1} = 4,8 \text{ m/minute}$$

$$\text{Temps de remontée réel de 2,4 à la surface} : \frac{2,4-0}{4,8} = 0,5 \text{ minutes}$$

$$\text{DTR} = 2 + 24 + 0,5 = 26,5 = 27 \text{ minutes}$$

On note que le temps de remontée reste inchangé c'est la vitesse et les profondeurs qui diminuent.
Le groupe de sortie également.

4 Autres procédures que les tables MN90: utilisation de tables spécifiques ou des ordinateurs

- **Tables pour altitude**

Il existe quelques études pour élaborer des tables spécifiques altitude : Bühlmann, Hahn. Il suffit de choisir le jeu de tables en fonction de l'altitude.

- **Ordinateur**

Certains ordinateurs sont capables de corriger la procédure de décompression en fonction de l'altitude.

Soit il s'agit d'un **paramétrage manuel**. Au quel cas il faut choisir la **plage d'altitude** où va se dérouler la plongée (regardez vos notices !).

Soit l'ordinateur se paramètre **automatiquement**. Dans ce cas, si vous n'avez pas respecté un délai pour être à saturation d'azote en altitude (12-24 h comme après une plongée) il va considérer la plongée comme une plongée successive.

Soit vous êtes arrivés depuis plus de 12h ou 24 h au bord du lac auquel cas il considérera cette plongée comme une première plongée sans majoration de temps.

Attention : lorsqu'on monte en altitude, le corps est dans un premier temps en sursaturation d'azote.

**exemple : vous partez avec une tension de 1bar, arriver à 1500m la Pression partiel d'azote est de 0,85!!!
1 > 0,85**

Il faut attendre 12 à 24 h que l'organisme soit à l'équilibre avec son environnement avant de plonger en altitude.

5 Conséquences sur la mesure de la profondeur par les instruments.

Profondimètres mécaniques et électroniques

Suivant leur mode de fonctionnement, les [profondimètres](#) sont ou ne sont pas affectés par la différence de pression et peuvent indiquer de fausses valeurs.

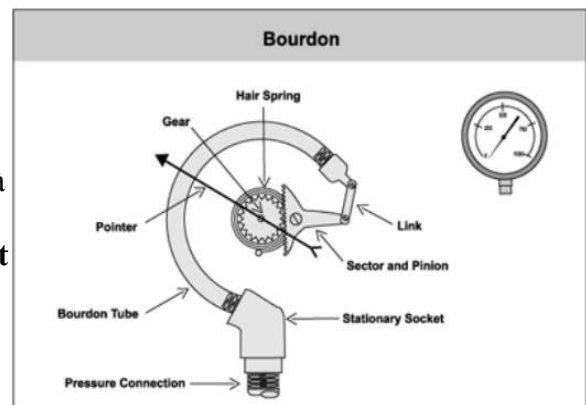
- Les **instruments électroniques** donnent la profondeur réelle. Ils s'initialisent au contact de l'eau et la pression est mesurée de manière instantanée par un capteur piézoélectrique.

Les profondimètres « mécaniques » sont de 2 types ceux à tubes de Bourdon et ceux à membrane déformable, dit à capillaires.

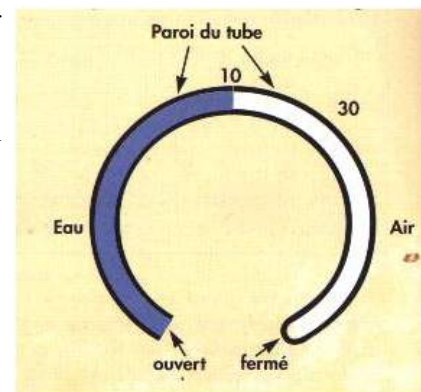
- **Profondimètre à tube de Bourdon**

Tube déformable (principe équivalent au « langue de belle-mère »). Il est étalonné à 1 bar pour une utilisation mer.

En altitude à 2000m par exemple, avant d'arriver à une pression de 1 bar, on aura déjà parcouru sous l'eau 0,2 de pression hydraulique soit 2 mètres. Il y a donc un **effet retard** de 2 mètres sur l'indication donnée par l'instrument. À 24 mètres réels, il affiche 22 mètres.



- **Profondimètre «à capillaire»** : il contient un volume d'air qui va se comprimer avec la pression qui augmente. Il est donc directement relié aux proportions des variations de volumes données par la loi de Mariotte calculées en mer: il donne donc la **pression équivalente mer**.



Conclusion :

La plongée en altitude encore moins que les autres plongées ne s'improvise pas. Si vous avez l'occasion d'en faire n'oubliez pas de relire toutes les préconisations liées aux conséquences de l'altitude sur la décompression : **vitesse, profondeur** à adapter. Mais aussi délai de changement d'altitude **avant** et **après** la plongée. **Ce délai à l'arrivée en altitude est nécessaire également pour que le corps s'habitue à la raréfaction d'oxygène, avant de prévoir tout effort physique.** Enfin vérifier les conditions de fonctionnement de votre **matériel** en altitude et celui des plongeurs que vous aurez à guider!

L'interdiction de prendre l'avion ou de monter en altitude après une plongée standard, prend également ici tout son sens. La diminution de pression absolue pouvant entraîner un dégazage anarchique en montant en altitude ou en étant dans une cabine pressurisée trop tôt après une plongée.