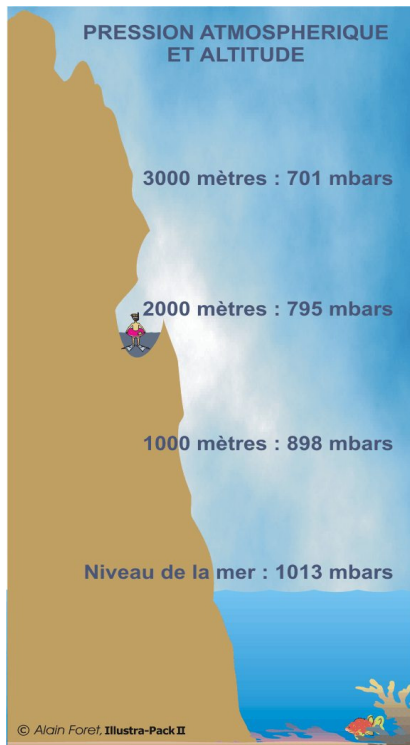


LA PLONGEE EN ALTITUDE

1. LA PRESSION ATMOSPHERIQUE ET LES RAPPORTS DE PRESSION



La pression atmosphérique est due au poids de l'air. Au niveau de la mer elle vaut 760 millimètres de mercure (mmHg) ou 1013 hectoPascals (hPa) ou 1013 millibars (mbars), arrondis généralement à **1 bar**.

La pression atmosphérique diminue avec l'altitude. Ceci aura des conséquences directes sur les protocoles de décompression.

Schématiquement, on considère une diminution de la pression atmosphérique de 0.1 bar par élévation de 1000m (en fait vrai jusqu'à 2000m)

Par contre, il n'y a pas de modification de la pression hydrostatique.

Les rapports de pression entre le fond et la surface s'en trouvent modifiés.

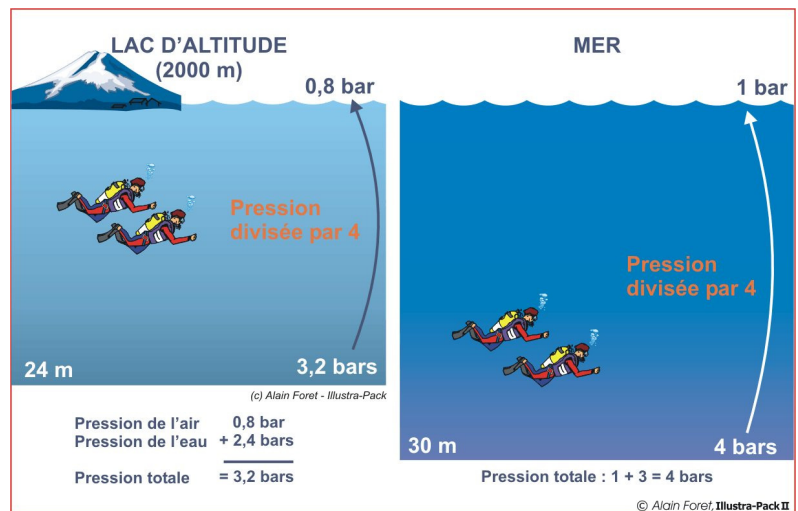
Prenons le cas d'une plongée à 24 mètres dans un lac à 2000 m ($P_{atm} = 0,8$ bar ou 800 mbars).

$P_{abs} = P_{atm} + P_{hyd} = 0,8 + 2,4 = 3,2$ bar

Le rapport entre le fond et la surface est de $3,2/0,8 = 4$

Quelle est en mer la profondeur où on retrouve un rapport fond/surface de 4 ?

$P_{abs} = 4/1 = 4$ ce qui correspond à une profondeur de 30 m.



On en conclu que plonger à 24 mètres à 2000 mètres d'altitude revient à plonger à 30 mètres en mer.

Nous pouvons en déduire que lors de plongée en altitude, il est nécessaire d'adapter les procédures de décompression, sous peine d'augmenter significativement les risques d'accident de décompression.

Différents moyens sont à la disposition des plongeurs pour assurer leur décompression lors de plongées en altitude :

- Adapter l'utilisation des tables de plongées prévues pour un usage au niveau de la mer ;
- utiliser des tables spécifiques;
- utiliser un ordinateur en mode « **altitude** »

2. LES TABLES MN90

De l'exemple précédent, on fait la constatation suivante :

$$\mathbf{P. Abs / P.atm = Constante}$$

D'où on déduit la relation:

$$\mathbf{Prof\ mer / P\ atm\ mer = Prof\ lac / P\ atm\ lac}$$

Cette relation va nous permettre d'adapter à l'altitude les procédures de décompression mer des tables MN90. Les corrections consistent à adapter les valeurs « lac » en valeurs « mer » ou inversement, selon le cas.

Ceci doit rester toutefois une procédure exceptionnelle pour une plongée isolée. Si la plongée en altitude est une activité coutumière, il faut utiliser d'autres moyens.

- Profondeur réelle ou prof lac:

La profondeur réelle de la plongée est une valeur « lac » à transformer en profondeur équivalente mer (ou profondeur fictive) pour utiliser les tables.

$$\mathbf{Prof. Equiv. Mer = Prof. Lac \times (P.Atm. mer / P. Atm lac)}$$

La profondeur fictive est toujours plus importante que la profondeur réelle lac.

- Profondeur palier:

La profondeur de palier des tables MN90 est indiquée pour une plongée mer. Il faut donc la corriger en fonction de la pression atmosphérique du lieu pour obtenir la profondeur de palier en lac d'altitude. C'est la profondeur en hauteur d'eau du palier.

$$\text{Palier lac} = \text{Palier mer} \times (\text{P.atm lac} / \text{P.atm mer})$$

La profondeur palier lac est toujours inférieure à la profondeur palier mer

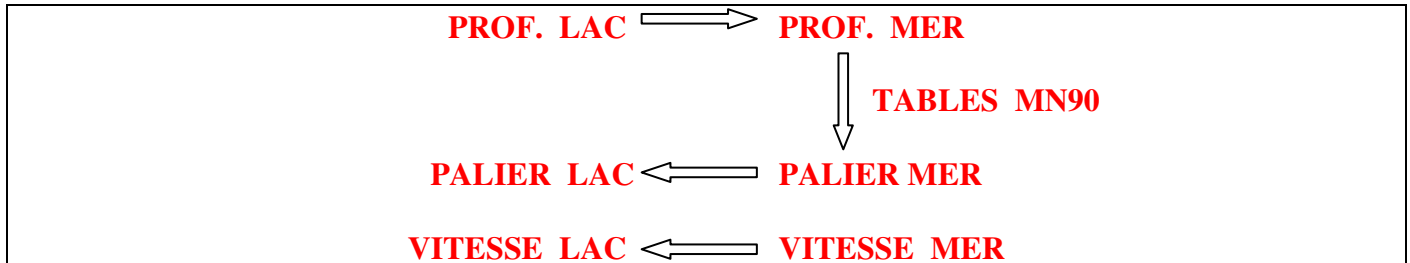
- Vitesse de remontée lac :

Les variations de pression étant plus rapide en plongée d'altitude qu'en mer, la vitesse de remontée « mer » des tables doit être corrigée en fonction de la pression atmosphérique du lieu, selon la même formule que pour les paliers :

$$\text{Vitesse lac} = \text{Vitesse mer} \times (\text{P.atm lac} / \text{P.atm mer})$$

La vitesse de remontée lac est toujours inférieure à la vitesse remontée mer.
La durée inter palier reste de 0.5 mn

En synthèse :

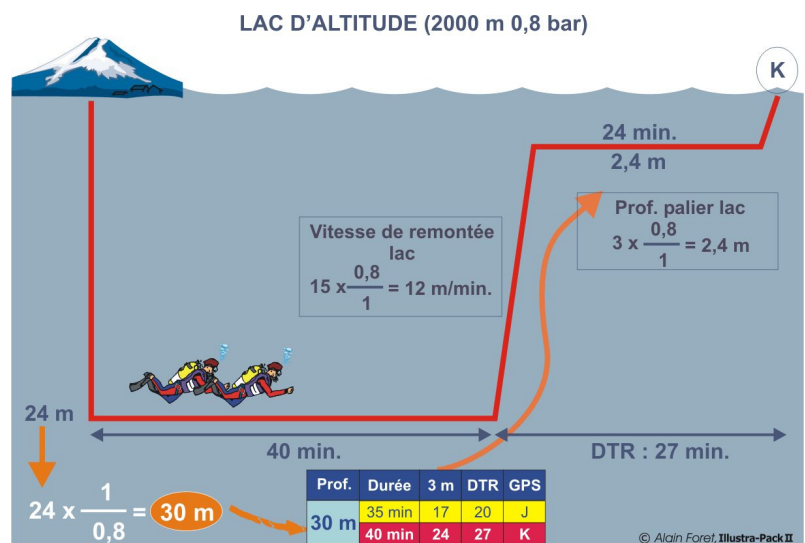


En reprenant l'exemple initial :

Profondeur lac = 24 m
Prof. Equiv. Mer = $24\text{m} \times 1/0.8 = 30\text{ m}$

Paliers mer = 24 min à 3 m
Palier lac = 24 min à $3 \times 0.8/1 = 2.4\text{ m}$

Vitesse de remontée lac =
 $15 \times 0.8/1 = 12\text{ m/min.}$



Dit autrement, cela revient à considérer que la DTR reste celle indiquée sur la table, pour la profondeur fictive mer : 27 min dans notre exemple. En effet, remonter à 12 m/min de 24 m revient au même que remonter à 15 m/min depuis la profondeur de 30 m.

Les procédures des plongées consécutives et successives, les paliers interrompus sont identiques à condition d'utiliser la profondeur équivalente mer.

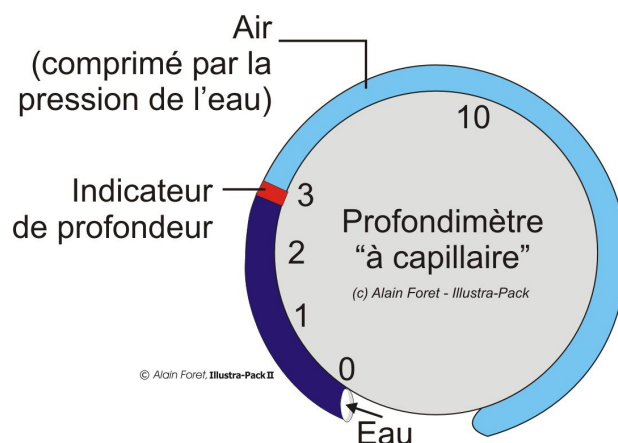
Remonté rapide si elle s'effectue à une vitesse supérieure à 15 m/mn x (P. atm lac / P. atm mer). Dans ce cas la procédure est identique à celle du niveau de la mer, en redescendant à la moitié de la profondeur réelle lac atteinte

3. LES PROFONDIMETRES

La profondeur affichée par les instruments peut varier selon la technologie utilisée.

- A capillaire

Ils utilisent la loi de Mariotte. Ils contiennent de l'air à la pression atmosphérique. Le volume diminue lorsque la pression augmente. Prévus pour une utilisation mer, ces appareils affichent 10 m lorsque la pression double et 20 m lorsque la pression triple, etc. Or en lac d'altitude, lorsque la pression double, la profondeur n'est pas 10 m. Ces instruments n'indiquent pas la profondeur réelle mais la **profondeur fictive**. Les graduations sont relativement imprécises au delà de 20 m, leur usage est devenu anecdotique.



On reprend l'exemple précédent.

Quelle est la valeur indiquée par un profondimètre à capillaire lorsqu'il se trouve à une profondeur réelle de 24 m et que la pression atmosphérique du lieu est de 0,8 bar ?

$$24 / 0,8 = 30 \text{ m}$$

A 24m, la pression absolue est $24/10 + 0,8 = 3,2$ bar

La pression en surface est 0,8 bar donc le rapport est $3,2/0,8 = 4$.

Le rapport de volume d'air est divisé par 4.

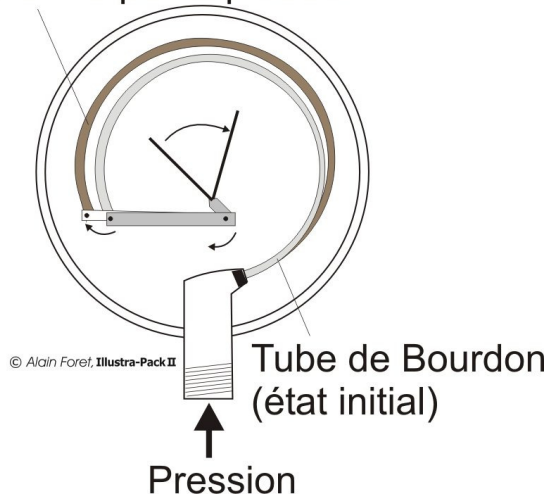
En mer, ce rapport de 4 correspond à une pression absolue de 4 bars ce qui fait 30 m.

Profondeur Réelle = Profondeur lue x Pression lac

- Mécaniques

Les profondimètres à membrane ou à tube de Bourdon sont étalonnés pour se déclencher au delà d'un bar. Ils accusent donc un retard correspondant à la différence de pression entre 1 bar et la pression atmosphérique du lieu de plongée.

Tube de Bourdon
déformé par la pression



Pour une plongée dans un lac où la pression est 0,8 bar, le retard est de $1 - 0,8 = 0,2$ bar soit 2 mètres.

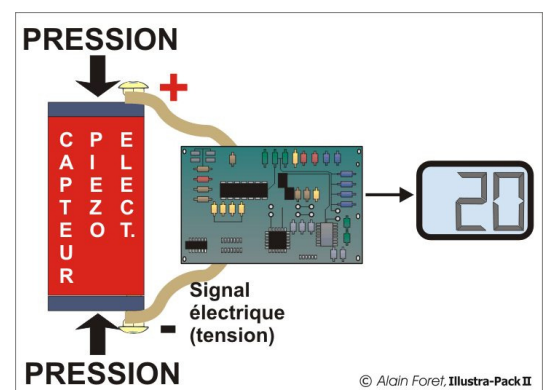
$$\text{Retard} = (P.\text{atm mer} - P.\text{atm lac}) \times 10$$

$$\text{Profondeur réelle} = \text{profondeur affichée} + \text{retard}$$

Certains de ces profondimètres disposent d'un système d'ajustement du zéro. Après ajustement, ils indiquent directement la profondeur réelle.

- Electroniques

Les instruments électroniques (timer et ordinateurs) s'initialisent au contact de l'eau. Ils affichent la **profondeur réelle**. Ils utilisent des capteurs piézo-électriques dont la caractéristique essentielle est de générer un signal électrique, proportionnel à la pression subie. Un circuit électronique permet de décoder ce signal d'afficher la profondeur.



4. LES TABLES SPECIFIQUES A L'ALTITUDE

L'utilisation des tables mer moyennant une correction en fonction de la pression atmosphérique offre une solution pour les plongées en altitude qui doit cependant rester exceptionnelle. En effet, les tables mer n'ont jamais été validées en altitude. Les calculs nécessaires à la correction sont fastidieux et ne peuvent s'envisager dans le cadre d'une pratique quotidienne.

Les tables conçues spécifiquement pour l'altitude apportent une sécurité accrue et évitent tout calcul. Il suffit de sélectionner le jeu de tables correspondant à l'altitude du lac. Les instruments utilisés doivent fournir une profondeur réelle (profondimètres électroniques)

L'utilisation de ces tables, bien que proche des tables MN90, nécessite une formation spécifique.

5. LES ORDINATEURS DE PLONGEE

Leurs possibilités rendent aujourd'hui ces appareils incontournables.

Selon les modèles, les ordinateurs prévoient :

- **Un paramétrage manuel** de l'altitude, par plages d'utilisation, variables selon les modèles.

Avantage : on peut « durcir » volontairement les procédures de décompression en indiquant une plage d'altitude supérieure à l'altitude réelle (par exemple en cas de fatigue)

- **Un ajustement automatique** en fonction de la pression ambiante

Avantage : Toute montée en altitude demande un temps d'adaptation de 12 à 24 heures afin d'éliminer l'azote en excès résultant de la baisse de pression atmosphérique. Les ordinateurs à ajustement automatique calculent ce temps d'adaptation et considèrent que toute plongée dans l'intervalle est une plongée successive. Les ordinateurs à réglage manuel n'ont pas cette possibilité. Dans ce cas, il faut prévoir soi même cette période d'adaptation avant toute plongée.