

Mai 1987

F . F . E . S . S . M .  
= - - - - - = - - - - - =

LA DECOMPRESSION ET  
L'INSTRUMENTATION  
ELECTRONIQUE  
=====

(en plongée sportive)

H. LE BRIS

# LA DECOMPRESSION ET L'INSTRUMENTATION ELECTRONIQUE

=====

## I – PREAMBULE

## II – LE PROFONDIMETRE ELECTRONIQUE DE BASE

1. Les capteurs
2. Le conditionnement du signal
3. L'affichage
4. L'alimentation
5. Les performances

## III - EVOLUTION DES PROFONDIMETRES

1. Mémoire de profondeur atteinte
2. Mémoire du temps passé
3. Alarme de profondeur, de temps, de vitesse
4. Association avec la montre

## IV- LES DECOMPRESSMETRES

1. Référence aux tables
2. Problème d'automatisation
3. Le calcul en temps réel

## V – PROBLEME D'UTILISATION

.../...

VI – ANNEXE : DIFFERENTS TYPES D'APPAREILS EXISTANT EN FRANCE

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1. DEEPTIME                                     | (BARRAKUDA)      |
| 2. DECO BRAIN I et II                           | (DIVE TRONIC°)   |
| 3. AQUALAND                                     | (CITIZEN)        |
| 4. M. D.S.                                      | (BEUCHAT)        |
| 5. SME  | (SUUNTO AIR DIF) |
| 6. Les différents brevets français (non joints) |                  |

P.J.B – Etude antérieure sur les profondimètres mécaniques

## I – PREAMBULE

Les études récentes concernant les profondimètres mécaniques ont mis en évidence la nécessité de réaliser des appareils plus précis et plus fiables et, pourquoi pas, avec des possibilités nouvelles.

Des tentatives, sans grand succès, ont été faites par le passé.

Mais alors qu'apparaissent sur le marché des appareils prometteurs, on peut se poser un certain nombre de questions :

- Quels principes de fonctionnement utilisent-ils ?
- Que valent-ils sur le plan de la précision, de la qualité, de la fiabilité ?
- Quelles sont leurs possibilités actuelles et futures ?
- Ont-ils des défauts ou des inconvénients cachés ?
- Seront-ils abordables pour le commun des plongeurs ?

C'est pour tenter de répondre à ces questions que nous avons réalisé ce rapport d'étude.

Il ne prétend pas être le fruit d'un travail approfondi mais plutôt une analyse générale permettant à chacun d'examiner les problèmes posés et peut-être d'orienter les acheteurs et, par-là même, les fabricants vers des solutions qui correspondent à nos techniques spécifiques de plongée.

.../...

## II – LE PROFONDIMETRE ELECTRONIQUE DE BASE (Voir figure

### 1. Les capteurs

C'est la partie la plus importante d'un profondimètre électronique car c'est d'elle que dépendent toutes les performances de l'appareil.

Bien que de nombreux types de capteurs existent, trois d'entre eux sont utilisables en raison de leur miniaturisation et/ou de leur prix.

#### a) Les capteurs à quartz

-----

Ils délivrent un signal directement compatible avec les circuits digitaux utilisés en électronique. Ils sont petits stables dans le temps et avec la température.

Par contre le signal de sortie est proportionnel à la racine carrée de la pression ce qui nécessite une linéarisation. Ils sont encore chers et peu répandus.

#### b) Les capteurs à semi-conducteur (ou piézo transistors)

-----

Ce sont en général des composants au silicium dont le gain a la propriété de varier avec la pression. Ils délivrent une tension continue proportionnelle à la pression ce qui nécessite une conversion analogique digitale "C.A.D." pour s'adapter aux circuits électroniques qui suivent.

Ils sont sensibles à la température, à la tension d'alimentation et au temps ce qui nécessite des corrections et éventuellement des contrôles périodiques.

Ils sont néanmoins très utilisés en raison de leur prix.

.../...

**b) Les capteurs à jauges de contraintes**

-----  
Ce sont des capteurs constitués essentiellement d'une membrane en céramique sur laquelle a été disposée une encre dont la résistance varie en fonction de la contrainte mécanique.

Un schéma en pont de Wheastone permet d'obtenir un capteur stable peu sensible à la température et au temps. Il est sensible à la tension d'alimentation mais grâce à des astuces on peut contourner cette difficulté.

A la sortie apparaît une tension continue proportionnelle à la pression et qui, comme dans le cas précédent, nécessite un Convertisseur Analogique Digital d'adaptation.

2. Le conditionnement du signal

C'est l'ensemble des opérations qu'il faut effectuer sur le signal fourni par le capteur pour le rendre utilisable :

Amplification – linéarisation – correction avec la température, la tension d'alimentation – etc. ....

Certains circuits intégrés du commerce réalisent toutes ces fonctions y compris le réglage et celui du facteur d'échelle.

Il est aussi possible de mettre en mémoire tous les défauts du capteur qui est ainsi personnalisé, et au moment de la mesure, tenir compte de tous les paramètres extérieurs pour les corriger. On a alors réalisé un capteur dit "intelligent".

Nota –

1. Un convertisseur Analogique Digital est un circuit qui permet de transformer un signal dont la fréquence est proportionnelle à cette tension et se prête ainsi facilement à la réalisation d'un affichage digital.

2. Les capteurs à jauge de contrainte sont en général suffisamment performants pour que l'on puisse se contenter d'une simple conversion analogique digitale avant l'affichage.

### 3. L'affichage

Il existe deux systèmes d'affichage bien connus du public :

- Les diodes à l'arséniure de gallium (AsGa) dites électroluminescentes, fournissant une lumière rouge dont le contraste décroît vite avec la lumière environnante. (Elles sont très visibles dans le noir, peu au soleil) De plus, elles consomment beaucoup de courant. Leur durée de vie est très grande.

- Les cristaux liquides. Ce sont en fait des cristaux qui s'orientent sous l'action d'un champ électrique de façon à réfléchir la lumière. Ils sont peu visibles dans le noir, très visibles au soleil. Leur consommation électrique est négligeable, leur durée de vie est limitée. Cependant, ce sont les plus utilisés surtout en raison de leur faible consommation et de leur faible coût. Ils nécessitent toutefois un éclairage pour être visibles dans le noir.

### 4. L'alimentation

Pour des raisons d'encombrement, de poids, de durée d'autodécharge faible, ce sont les piles au lithium ou à l'oxyde d'argent qui sont les plus utilisées.

Elles ne conviennent qu'à condition que l'ensemble des circuits consomme peu c'est pourquoi on utilise des circuits intégrés du type CMOS (Complementary - Metal - Oxyde) dont la consommation est très faible.

La source d'alimentation peut être divisée pour sauvegarder les circuits nobles le plus longtemps possible. (Lecture de la profondeur et du temps)

La montre AQUALAND possède 3 piles différentes dont l'une pour l'alarme sonore qui consomme beaucoup d'énergie.

On peut aussi utiliser des accumulateurs c'est le cas du DECO BRAIN de France-OCEAN à recharge par cellule solaire. (En projet)

La mise en marche par contacts humides permet de limiter la consommation dans le temps.

L'autonomie doit s'estimer de deux façons :

1 Par le nombre de plongées possible qui dépend de la consommation de l'appareil.

2 Par le nombre d'années, de mois ou de jour d'utilisation qui dépend de l'auto décharge de la source électrique (Environ 1% par jour pour un accu cadmium nickel et 1% par mois pour du lithium.

.../...

## 5. Les performances

Un profondimètre électronique a aujourd'hui des performances supérieures à celles dont nous avons besoin, c'est à dire au minimum :

Etendue de mesure de	0 à 80 m
Précision de 0 à 12 m (zone des paliers)	+30 cm
Précision de 12 à 80 mètres	3% de la valeur mesurée
Résolution	10 cm
Température d'utilisation	-5 +35°
Température de stockage	-20 + 70°
Autonomie	1000h ou 5 ans

De plus, il est peu sensible aux chocs et aux vibrations.

Il n'y a pas d'ambiguïté sur la valeur mesurée.

Il n'y a pas de rémanence ou de traînée dans les mesures.

Le changement de piles peut paraître une contrainte, cependant, avec les piles modernes ou les accus rechargeables au soleil, on va vers des appareils dont l'autonomie est supérieure à la durée de vie.

La fiabilité d'un profondimètre sera comparable à celle d'une montre électronique. Par rapport à un appareil mécanique, elle sera améliorée dans un rapport de 10 à 100.

### Nota

La fiabilité d'un appareil est la probabilité qu'il effectue la mission pour laquelle il a été conçu dans des conditions données et pour un temps donné.

.../...



### III - EVOLUTION DES PROFONDIMETRES

Parmi les évolutions les plus intéressantes, il faut noter :

1. Mémoire de profondeur atteinte

Elle doit être accessible à tout moment pendant et après la plongée.

La mise en mémoire doit se faire dès l'immersion à 1 m par exemple et s'effacer pour l'immersion de la plongée suivante.

Toutefois, pour tenir compte des plongées consécutives ou des retours de courtes durées en surface, la remise à zéro de la mémoire ne devra se faire que manuellement ou alors automatiquement lorsque l'intervalle dépasse 15 minutes.

2. Mémoire du temps passé

Elle consiste en général à associer un chrono minuteur au profondimètre. Celui-ci devrait se mettre en marche à une profondeur de 1 par exemple et s'arrêter dès le début de la remontée ce qui ne peut se faire que manuellement.

La seule solution automatique consiste à l'arrêter au voisinage de la surface.

Le plongeur se trouve alors dans la situation de l'utilisation d'une montre avec une couronne où il est obligé de contrôler en permanence le temps passé (il pourra tout de même, à la sortie contrôler son temps total de remontée)

.../...

### 3. Alarme de profondeur, de temps, de vitesse

A partir où le profondimètre est équipé d'un système digital, il est relativement facile de réaliser des alarmes à prédétermination, c'est à dire que le plongeur peut programmer avant de plonger. Il pourra, par exemple, se fixer une profondeur maximum ou et un temps à ne pas dépasser pour tenir compte de la limite des paliers qu'il ne veut pas effectuer ou de sa consommation d'air.

L'alarme de vitesse de remontée est plus facile à réaliser alors qu'elle est très importante puisqu'on ait qu'elle est la cause d'une grande partie des accidents de plongée. Elle devra correspondre à la table utilisée.

### 4. Association avec une montre

Certains fabricants proposent un profondimètre associé à une montre. Cette solution présente l'avantage de présenter le minimum d'encombrement mais aboutit à un prix élevé.

## IV - LES DECOMPRESSIMETRES

La simulation de dissolution des gaz dans l'organisme est un vieux problème.

Les tables de plongée en sont la première manifestation. On peut dire que la simulation est dans ce cas réalisée en temps différé.

L'idée de réaliser cette simulation en temps réel date de plus de 15 ans mais les appareils ainsi réalisés qui faisaient appel à des phénomènes physiques sont encombrants, peu fiables et surtout imparfaits. (Simulation de 1 à 4 tissus)

Aujourd'hui, avec les techniques des microcontrôleurs électroniques à faible consommation, il est possible de faire des appareils petits, fiables, précis et surtout ayant des possibilités de simulations étonnantes et qui n'ont pas fini d'évoluer. (Simulation de 16 tissus)

Pour réaliser un décompressimètre électronique, il existe deux méthodes.

#### 1. La référence aux tables

La première consiste à mettre en "mémoire" tous les paramètres d'une table de plongée et, grâce à un profondimètre et une horloge associée de déterminer le couple (profondeur maximum – temps passé) pour lire dans la mémoire les paliers à effectuer.

Une mémoire, selon une image simplifiée, est une sorte de damier comportant des cases dans lesquelles sont stockées les informations et auxquelles on accède, dans notre cas par deux entrées :

- L'une commandée par la profondeur maximum
- L'autre par le temps passé.

Cette méthode est une automatisation pure et simple de la lecture des tables.

Son avantage est qu'elle bénéficie de la grande expérience acquise donc d'une bonne sécurité.

Son inconvénient est, que pour certains, qu'elle n'optimise pas les paliers puisqu'elle suppose que tout le temps passé l'a été à la profondeur maximum.

Problème d'automatisation

Ce type de décompressimètre doit bénéficier d'une certaine intelligence pour tenir compte de certains de plongée, de l'altitude, des voyages aériens et surtout de certaines erreurs ou incidents dans la procédure de décompression. Ceci est à ce point important que certains équipements ont pu présenter des difficultés d'utilisation telles qu'elles les rendaient d'une efficacité douteuse, le DECO BRAINI, par exemple. D'autres fabricants, pour simplifier, se sont limités à son utilisation au niveau de la mer.

## 2. Le calcul en temps réel

La seconde méthode consiste à calculer en permanence, en temps réel, la saturation d'un groupe de tissus (jusqu'à 16), suivant les mêmes principes et en utilisant les mêmes paramètres que ceux utilisés dans les tables.

Cette méthode est beaucoup plus simple et, en apparence, beaucoup plus rigoureuse que la précédente, puisqu'elle prend en compte instantanément toutes les variations auxquelles sont soumises les tissus et détermine à tous moments, leur saturation et par conséquent peut donner une alarme lorsque l'un d'entre-deux approche de la saturation critique et impose un palier au plongeur.

La vitesse de remontée peut se faire à vitesse variable.

L'avantage de cette méthode est qu'elle permet théoriquement d'optimiser les paliers mais ceci est limité par le fait que pour tenir compte du manque d'expérience dans ce domaine, les fabricants sont obligés de prendre des marges considérables dans le choix des paliers.

En principe, toutes les évolutions du plongeur sont intégrées par le système et même s'il commet des erreurs, celles-ci sont intégrées et donc prises en compte pour la détermination des paliers. Toutefois, les grosses erreurs, avec point de non-retour, peuvent donner lieu à une alarme particulière de présomption d'accident obligeant le plongeur ou ses coéquipiers à prendre les mesures qui s'imposent.

Cette méthode permet facilement de tenir compte de l'altitude surtout, dans le futur, permettra de faire varier les paramètres de calcul en fonction de la

température, du débit respiratoire, etc. Elle permet aussi, sous certaines réserves, d'envisager une décompression continue. Tout ceci est en cours d'étude et on peut s'attendre à une évolution permanente des matériels dans le futur.

Les composants utilisés sont des micro processeurs à très faible consommation. Ils sont fabriqués ou spécialisés à la demande ce qui ne peut se faire que par certaines quantités.

## V – PROBLEMES D'UTILISATION

Au vu des notices des fabricants ou à l'utilisation, on s'aperçoit que le plongeur dispose d'un grand nombre d'informations sur ses plongées, souvent disponibles simultanément, sur un même afficheur.

Le fait de présenter simultanément le maximum d'informations évite d'avoir à les appeler à l'aide d'une commande extérieure qui est chère à réaliser et surtout constitue une source d'entrée d'eau.

Par contre, ceci risque de compliquer l'utilisation et d'être une cause d'erreur, d'autant que, plus les informations sont nombreuses plus elles sont de dimensions réduites ce qui n'en facilite pas la lecture.

Nous pensons, pour notre part, que seules, la vitesse de remontée, la profondeur instantanée et le premier palier à exécuter (temps et profondeur) sont indispensables et que les autres informations peuvent être appelées manuellement avec retour aux mesures indispensables après quelques secondes.

Avec de tels appareils, on peut craindre que les plongeurs perdent l'habitude de programmer leurs plongées à l'avance, ce qui peut être dangereux pour le calcul d'autonomie. C'est pourquoi, certains fabricants déterminent cette dernière en testant la variation relative de cette dernière.

On peut aussi craindre que ces appareils faisant appel à des principes ou au moins à des tables différentes n'entraînent au sein d'un même groupe de plongeur des décompressions différentes. Ceci serait regrettable voire même dangereux, au sein d'une palanquée qui doit par définition, constituer une équipe soudée tant dans l'espace marin que par les règles de plongée.

Il faudra donc que la fédération soit vigilante et continue à enseigner la pratique de l'utilisation des tables qui, de toute façon, resteront l'ultime recours en cas de panne et la seule solution pendant un certain encore en raison du coût des appareils nouveaux.

#### Présentation –

Ces appareils ont atteint aujourd'hui une taille raisonnable compatible avec le port au poignet. Toutefois, les appareils du futur qui testent en même temps la réserve d'air se présenteront vraisemblablement sous la forme d'une console.

.../...

## CONCLUSION

==--==--==--==--==

Les nouveaux appareils pour la plongée sportive sont pleins de promesses. Nous risquons grâce ou à cause d'eux de voir certaines de nos techniques de plongée évoluer sensiblement. Nous devons être vigilants pour que ces appareils nous apportent toutes les garanties que nous avons avec l'utilisation des tables.

.../...