

LES INSTRUMENTS

TABLE DES MATIÈRES PANORAMIQUE

(Édition 2023 - 2024)

LES ORDINATEURS DE PLONGÉE

INTRODUCTION

PRINCIPES GÉNÉRAUX

Initiation au fonctionnement des ordinateurs de plongée

Simulation mathématique

Schéma simplifié

Schéma général

Codage des commandes

Configuration

Exploitation par un ordinateur individuel

Fonctions principales

En immersion

En surface

Pilotage d'un recycleur ou d'une bouée et

FONCTIONNEMENT

Réduction de la consommation d'énergie_

- Arrêt manuel_
- Mise en veille
- Échantillonnage

Degré d'automatisation des instruments

- L'activation
- L'initialisation

Corrections en fonction de l'altitude

Situations particulières

Règles générales

Rôle des différentes mémoires

- Mémoire morte
- Mémoire vive

Capacité

Contenu et accès

Banque de données

Exploitation des données et simulation

Le Nitrox et autres mélanges

Algorithmes et algorithmes

FONCTIONS

Mise en œuvre du modèle mathématique

Calculs en temps réel

Suivi du niveau de saturation

Pressions et pression critique

Initialisation

Profondeur présente

Profondeur plafond

Profondeur plancher

Altitude présente

Altitude plafond

Durée de l'immersion et de l'intervalle

Schéma général

Modes de décompression

Vitesse de remontée

Décompression continue

Correction des paliers avec l'altitude

Calculs prévisionnels

- Calcul de la décompression
- Calcul de l'autonomie en air
- Calcul de l'autonomie électrique

Simulation de plongée

Gestion des alarmes

Pré alarmes

Alarmes définitives

Appareils adaptatifs

Surveillance des micro bulles

Température de l'eau

Efforts en immersion

DESCRIPTION

Bracelets

Consoles

Boîtiers à pression atmosphérique

Boîtiers à pression ambiante

Les capteurs

La crépine

Systèmes de commande

Affichages

Éclairage de l'écran

Le transducteur sonore

Alarmes lumineuses

Liaison sans fil

Appairage

Sources d'énergie

Autonomie électrique et durée de vie

Accessoires

Documentation

Le futur est-il déjà là ?

COMPARAISON AVEC LES TABLES

Généralités

Vérification en caisson

Avantages des ordinateurs de plongée

Inconvénients des ordinateurs de plongée

FORMATION

Par niveaux

Que faire si ?

- Ordinateurs différents
- Ordinateur en panne
- Probabilité d'accident
- En cas d'accident

Questions ordinateur

LA MAINTENANCE

Le rinçage

Différents types d'appareil

La Crépine

L'écran

Le bracelet

Échange de pile

- Généralités
- Aladin Pro et CX2000
- Monitor 1 et 2
- Monitor 2+
- Monitor 3 air
- Aladin pro Nitrox
- Aladin Air X Nitrox
- Suunto D6 D9

CHOISIR UN ORDINATEUR

Différentes catégories

Orientations des principaux fabricants

Qualités à rechercher

Défauts à éviter

Caractéristiques techniques

L'instrumentation et la vision

Lecture dans le masque

PHYSIOLOGIE ET RISQUES

Modèle physiologique

- Modèle de Haldane
- Modèle de l'U.S. Navy
- Modèle de Bühlmann
- Modèle du DCIEM

Remarques

Les accidents neurologiques

Les micro-bulles et les bulles

Action sur la désaturation

Shunt pulmonaire

Shunt cardiaque

Plongée ascenseur_

Vitesse de la remontée

Accident articulaires

Le froid

Les efforts

L'altitude

Les facteurs de risque_

Le temps de latence

La toxicité de l'oxygène

Effet Paul BERT

Effet Lorrain SMITH

LES INSTRUMENTS DE NAVIGATION

La boussole

Le compas

Éclaté d'un compas

- Le boîtier
- La rose des vents - Recto et Verso
- Le couvercle
- Le boîtier
- La couronne

-Le capot de protection

Utilisation d'un compas mécanique

Compas à boîtier gradué

Relevé à l'aide d'un compas à couronne graduée

Relevé à l'aide d'un compas à boîtier gradué

Utilisation du compas en plongée

- Le chaînage

Les compas électroniques

Questions compas

Les profundimètres

LES MESURES DE HAUTE PRESSION

Les manomètres HP de surface

Les manomètres HP immergeables

Les manomètres immergeables mécaniques

Manomètre de plongée teck

La maintenance des manomètres HP

Les capteurs Haute Pression - Émetteurs

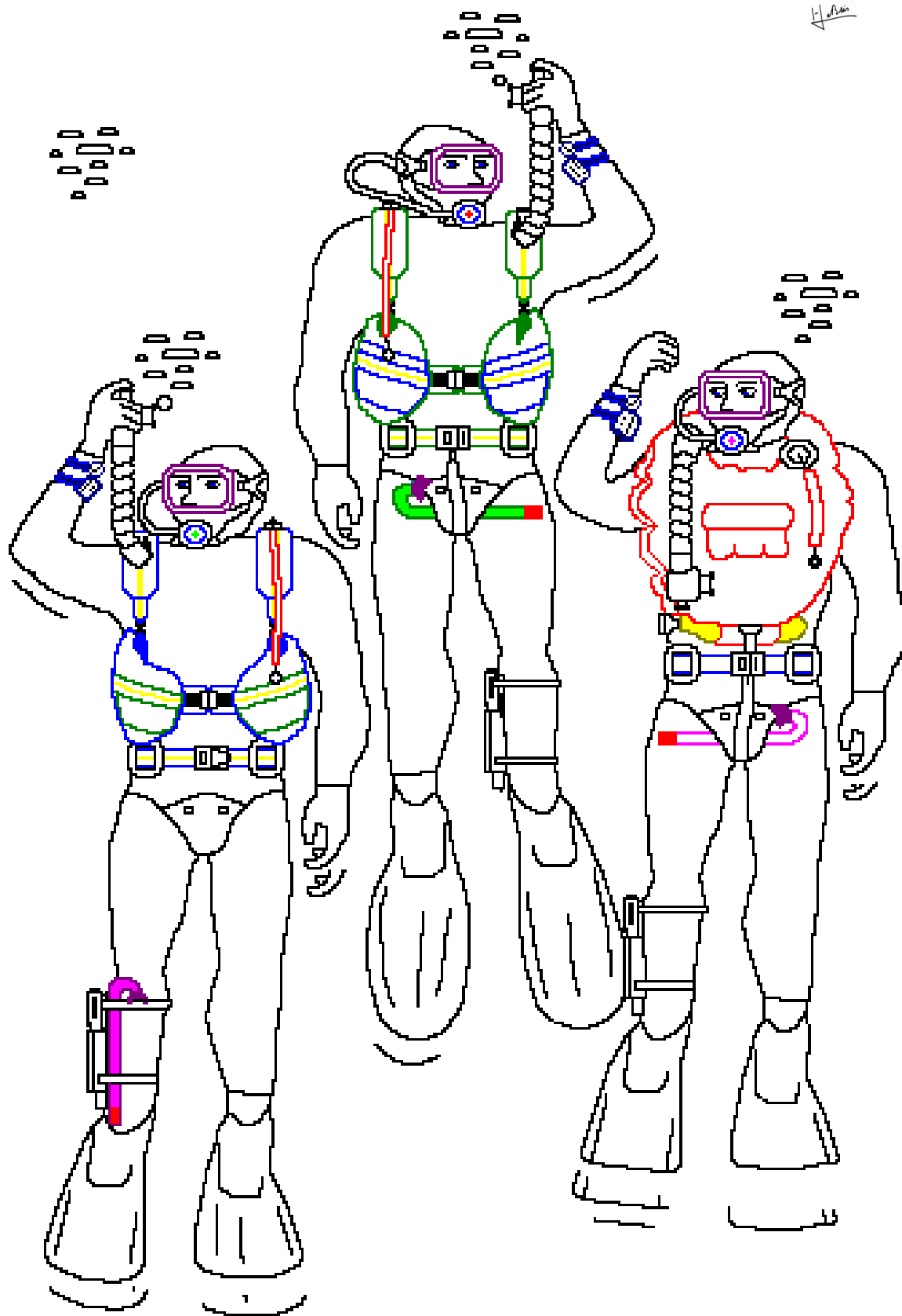
ANNEXE

Glossaire des termes employés

Livre d'or

XiTi

H. BERT



Trois plongeurs en remontée

AUTEUR AUTOÉDITÉ

© Henri LE BRIS

(Du même auteur)

[BOUEES 2020](#)

LES INSTRUMENTS DE PLONGÉE 2024

[COMPRESSEURS ET STATIONS DE GONFLAGE 2019](#)

[LES BOUTEILLES DE PLONGÉE 2019](#)

[PRINCIPES DES DÉTENDEURS 2020](#)

[L'ÉCLAIRAGE](#)

LES RECYCLEURS

[Retour à l'accueil](#)

Avertissements :

- Les informations et indications données dans cet ouvrage n'ont rien d'exhaustives. Elles ne sont données qu'à titre indicatif et ne sauraient engager la responsabilité de l'auteur. Celui-ci ne pourra être tenu pour responsable de toute erreur, omission ou lacune qui aurait pu s'y glisser ainsi que des conséquences, quelles qu'elles soient qui résulteraient de leur utilisation.

- Le code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation, traduction ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement écrit de l'auteur ou des ses ayants droit est illicite et constitue une contrefaçon, aux termes des articles L.335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

**Je remercie d'avance les visiteurs qui me communiqueront les remarques
et corrections qu'ils jugeront utiles.**

- INTRODUCTION -

C'est au retour d'une plongée que je me suis aperçu que l'aiguille du profondimètre du pilote du hors bord se promenait entre 30 et 40 mètres sous l'effet des vibrations du moteur.

Je décidais alors d'étudier la précision de ces appareils et en 1986 j'écrivais un article dans le magazine Subaqua pour mobiliser la communauté des plongeurs sur les dangers qu'ils couraient.

À partir de cette époque ces appareils ont lentement disparu pour être remplacés par des ordinateurs de plongée.

Le premier ouvrage sur ce sujet se présentait sous la forme d'un polycopié et a été diffusé par le collège des instructeurs du comité Ile de France à partir de 1993. Je remercie ici tous ceux qui m'ont aidés par leur relecture et leurs conseils notamment Jean-Pierre Montagnon président du comité de l'époque.

Dans cette version, nous avons conservé une grande partie des éléments d'origine. Les mises à jour ne touchent que des points essentiels. Nous avons gardé certaines photographies ou références à des appareils anciens.

Nous y avons ajouté les autres instruments : compas, profondimètres et manomètres HP.

Cela permettra au lecteur de voir l'évolution de tous ces matériels et des recherches auxquelles se sont consacrés les fabricants pour les améliorer au fil des années.

Dans le but d'être utile aux visiteurs qui préparent un niveau de plongée, nous avons introduit un chapitre FORMATION à la fin duquel nous proposons quelques questions dont les réponses se trouvent dans les différents autres chapitres.

En 2020, nous avons déplacé les chapitres «Choix d'un ordinateur» et « Physiologie et Risques » à la fin des chapitres sur les ordinateurs. Cela permet de mieux les lire en connaissance de cause.

Livre d'or



PRINCIPES GÉNÉRAUX

DES ORDINATEURS DE PLONGÉE

Si vous pensez que l'étude détaillée des ordinateurs est trop complexe, il vous suffit de consulter le document simplifié ci-joint :

[Initiation aux Ordinateurs](#)

Table des matières détaillée

Simulation Mathématique

Schéma simplifié

Schéma général

Codage des commandes

Configuration

Exploitation par un ordinateur individuel

Fonctions principales

En immersion

En surface

Pilotage d'un recycleur

Pilotage d'une bouée

Simulation mathématique

Il est difficile de mesurer ce qui se passe à l'intérieur de notre organisme. C'est pour cette raison qu'on est contraint de réaliser, à l'extérieur, une simulation mathématiques des phénomènes physiologiques internes.

Les opérations nécessaires sont effectuées à l'aide d'un petit calculateur électronique appelé microprocesseur mais que les plongeurs ont fini par appeler « Ordinateur ». Celui-ci est du même genre que ceux que l'on trouve dans la plupart des calculettes scientifiques de poche.

Pour cela, les chercheurs se sont inspirés des différents [modèles](#). (Nous les verrons plus loin)

Schéma simplifié (Voir figure 2)

Le dessin suivant, facile à retenir, donne une idée générale du fonctionnement d'un ordinateur de plongée. Le microcontrôleur reçoit, sur ses entrées, les informations des capteurs de pression, de température, de temps, ainsi que les constantes mathématiques et le programme de calcul.

Il effectue les opérations à grande vitesse et fournit ainsi, en temps réel, par l'intermédiaire d'un affichage et d'un transducteur sonore les renseignements nécessaires au plongeur,

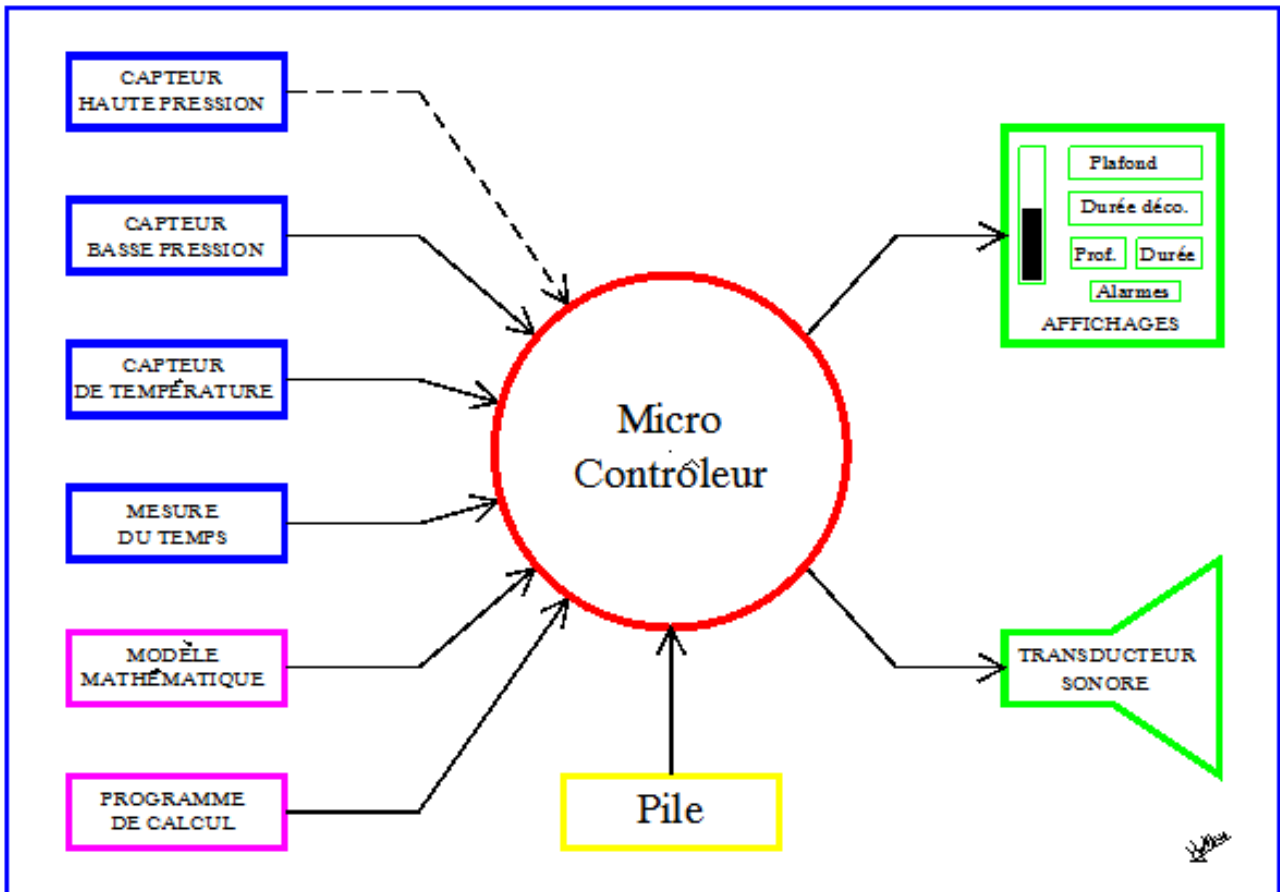


Figure 02 *Schéma simplifié d'un ordinateur de plongée*

Schéma général (Voir figure 3)

Ce second schéma donne une idée plus complète du fonctionnement. Il montre les fonctions principales dont certaines seront détaillées plus loin.

Le capteur (B.P.) fournit une tension proportionnelle à la pression ambiante tandis que, lorsque la gestion de l'air est prévue, le capteur (H.P.) fournit une tension proportionnelle à la haute pression dans le scaphandre.

Le capteur de température (Temp) permet de corriger les variations des capteurs de pression. Le capteur (Bat) mesure la tension des piles et éventuellement intègre le courant débité, ce qui permet de calculer l'autonomie électrique restante.

Le convertisseur analogique / numérique transforme les tensions continues fournies par les capteurs en signaux codés de façon à les rendre compréhensibles par le microprocesseur.

La mémoire morte contient d'une part les constantes mathématiques : vitesses critiques de remontée, périodes (T), coefficients (Sc) des compartiments, limites de toxicité de l'O₂ pour les appareils Nitrox et autres mélanges et d'autre part les instructions nécessaires pour effectuer le programme de calcul.

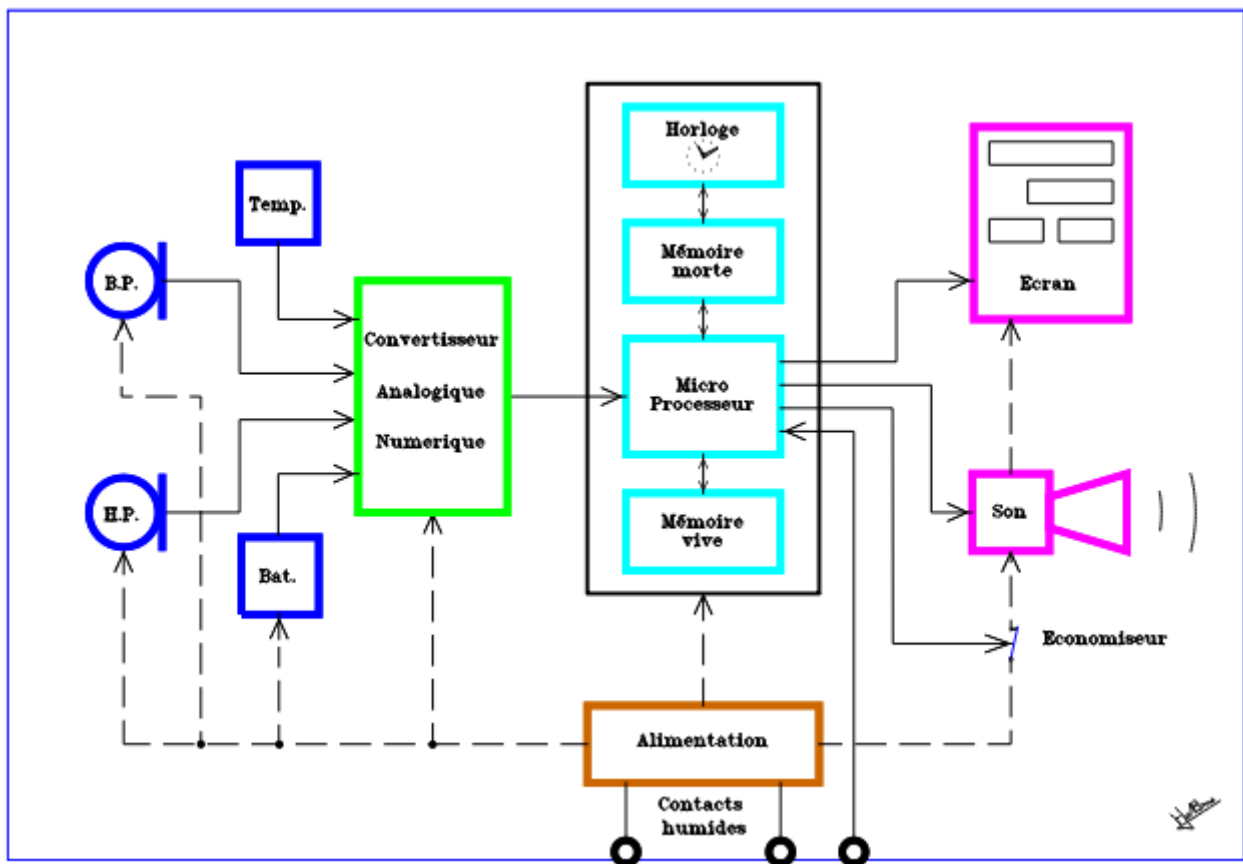


Figure 03 *Schéma général d'un ordinateur de plongée*

Ces informations, qui constituent le modèle mathématique, sont fournies directement au microprocesseur. Celui-ci effectue les calculs en fonction des instructions reçues, en lisant et en écrivant les résultats dans la mémoire vive où ils sont stockés provisoirement. Les informations utiles sont renvoyées vers l'écran et le transducteur sonore.

- Les contacts humides permettent d'activer l'appareil et d'effectuer un certain nombre de commandes.

- L'affichage et le transducteur sonore (Son) reçoivent les informations utiles de la mémoire vive par l'intermédiaire du microprocesseur via un circuit de commande.
- L'horloge cadence toutes ces opérations. Celles-ci sont synchronisées et exécutées en une fraction de seconde.
- La source d'énergie électrique fournit le courant nécessaire aux différentes parties de l'appareil. Les interrupteurs Veille et Échantillonnage sont destinés respectivement à n'alimenter les transducteurs et les senseurs que lorsque cela est nécessaire. Ceci permet d'économiser l'énergie et en conséquence d'augmenter l'autonomie. (Voir au chapitre suivant)

Remarques :

Le convertisseur analogique/numérique, le microprocesseur et les mémoires sont parfois réunis et constituent ce que l'on appelle un microcontrôleur. La mémoire morte est parfois de même technologie que la mémoire vive mais elle est alors alimentée en permanence de façon à ne pas perdre les informations qui y sont enregistrées.

Au moment du changement de pile il est donc nécessaire de prendre quelques précautions.

Codage des commandes

Pour accéder aux différentes fonctions vues précédemment, il est possible de multiplier les contacts humides ou les boutons poussoirs (Voir ces composants au chapitre [Description](#)).

On peut aussi utiliser un codage qui consiste à agir sur des contacts, un certain nombre de fois ou pendant une durée déterminée. Il faut noter que dans certains cas l'exploitation en est difficile et que ceci constitue l'un des critères de choix.

Grâce à ce codage, il est possible de rappeler les informations en mémoire dans l'appareil, de le configurer, de simuler des plongées pour les planifier ou s'entraîner à son utilisation.

Configuration

Elle consiste à modifier certains paramètres soit directement à l'aide des contacts humides de l'appareil ou par l'intermédiaire d'un ordinateur personnel. Elle permet par exemple : de personnaliser l'appareil en fonction de l'âge, du poids, du sexe... , de tenir compte de facteurs de risque en prenant des marges de sécurité, de changer d'unités de mesure, la date, l'heure, le mélange gazeux utilisé, etc.

La plupart des appareils permettent aujourd'hui d'ajouter une marge de sécurité en choisissant manuellement une tranche d'altitude supérieure. D'autre par contre pré-

permettent de faire varier le coefficient de sécurité, jusqu'à 50%. Il est aussi possible de modifier le modèle mathématique en fonction de l'utilisation prévue.

D'autres enfin permettent de choisir entre 4 modèles. Attention : cela doit être utilisé avec discernement. Pour éviter toute erreur UWATEC préfère ne pas donner d'accès à de telles possibilités et s'orientent plutôt vers une automatisation plus poussée. D'autres possibilités peuvent encore être exploitées.

Exploitation par un ordinateur individuel

Grâce à un couplage optique Bluetooth ou par contacts électriques, il est possible de transférer la plupart des informations dans la mémoire d'un ordinateur de bureau, de les traiter dans une banque de données et de les imprimer.

Ces transferts se font parfois à travers une clé électronique qui protège le logiciel contre le piratage.

Fonctions principales

Les fabricants donnent la liste des informations affichées par leurs appareils. Celles indiquées ci-dessous constituent un minimum.

En immersion

Automatiquement :

- profondeur présente ; profondeur maximum atteinte ;
- profondeur plafond ou du prochain palier, avec pré alarme et alarme correspondantes
- vitesse de remontée, avec pré-alarme et alarme correspondantes ;
- durée de plongée écoulée ;
- durée restante avant décompression avec préalarme et alarme correspondantes ;
- durée totale de remontée ; durée de chaque palier, s'il y a lieu ;
- pression bouteille et ou autonomie en air, avec préalarme et alarme correspondantes
- profondeur plancher (Surtout pour le Nitrox) ;
- autonomie électrique avec pré-alarme et alarme correspondantes.

En surface

Automatiquement :

- test de la source d'énergie ;
- test des différentes fonctions, de l'affichage et du transducteur sonore ;
- intervalle ;
- pression bouteille ;
- temps avant envol et ou interdiction d'envol ;
- alarme d'altitude plafond lors d'une montée en altitude ; alarme de source d'énergie.

Sur demande :

- menu déroulant de plongées sans décompression ;
- mémoire des plongées passées : profondeur, temps, alarmes survenues ;
- profil des plongées passées ;
- simulation de plongées et entraînement à l'utilisation de l'appareil ;
- configuration.
- Rétroéclairage de l'écran

Pilotage d'un recycleur

En dehors des possibilité de gestion de la décompression et de l'autonomie en air ou en mélanges, les ordinateurs sont aussi capables de gérer l'utilisation des mélanges dans les recycleurs. Pour cela, le faux poumons de ces appareils est muni de plusieurs capteurs qui gèrent avec précision la pression partielle d'oxygène en fonction de la profondeur.

De nombreux appareils existent mais un des premiers et des plus connu dans ce domaine est le "Buddy Inspiration" fabriqué en Angleterre. Il faut cependant noter que si ces appareils constituent l'avenir de la plongée, leur utilisation présente encore de nombreuses contraintes techniques et financières qui ne les mettent pas à la portée de premier plongeur venu.

Pilotage d'une bouée

De même qu'ils peuvent piloter des recycleurs, les ordinateurs peuvent piloter des bouées de tout types. Pour cela, ils utilisent des électrovannes pilotées pour le gonflage aussi bien que pour la purge.

Ils peuvent vous empêcher de dépasser certaines caractéristiques de plongée fixées à l'avance : la durée, la profondeur maximum, la vitesse de remontée, ils peuvent vous amener aux paliers à la profondeur et pendant la durée voulue.

On peut se demander où se trouve alors le plaisir et la maîtrise de la plongée qui consistent à gérer sois-même tout ces paramètres et surtout à les modifier en fonction de ses désirs et parfois de situations inattendues.

De nombreux brevets ont été pris dans ce domaine. Je crois que l'un des plus anciens et des plus complet a été déposé le 21 avril 1976 par L. HANEUSE et J. RIT résidant en principauté de Monaco. À ma connaissance, il n'a cependant jamais été réalisé et en tout cas jamais commercialisé.

Par contre, il existe aujourd'hui plusieurs appareils dont l'AquaPilot GF qui est commercialisé en Angleterre par la société "NJP Marine Technical Services" et le "Cruise

Control de la société Suisse "SUBA. Pour la bagatelle de 1500 euros, c'est ce qu'il vous en coûtera pour plonger dans un fauteuil...

Voir aussi le paragraphe "[Les bouées pilotées](#)" dans la page "Critères de choix" du livre "Les bouées".

Livre d'or



- FONCTIONNEMENT -

Table des matières détaillée

Réduction de la consommation d'énergie

Arrêt manuel

Mise en veille

Échantillonnage

Degré d'automatisation des instruments

L'activation

L'initialisation

Corrections en fonction de l'altitude

Situations particulières

Règles générales

Rôle des différentes mémoires

Mémoire morte

Mémoire vive

Capacité

Contenu et accès

Banque de données

Formation

Les Surox ou Nitrox

Algorithmes

Ce chapitre se propose de donner quelques détails sur la partie du fonctionnement qui touche indirectement l'utilisateur. Il n'est donc pas indispensable pour se former à l'utilisation d'un ordinateur de plongée.

Par contre, il permet de mieux comprendre tous les avantages des ordinateurs par rapport aux tables de plongée.

Afin de montrer les évolutions de ces dernières années, nous évoquerons aussi quelques solutions utilisées par certains fabricants même si elles sont aujourd'hui abandonnées.

Réduction de la consommation d'énergie

Elle permet d'augmenter l'autonomie électrique et ainsi de suivre pendant longtemps les variations de pression auxquelles le plongeur est soumis. Elle permet aussi de réduire le volume des piles et donc celui de l'appareil. Les informations données ici ne le sont qu'à titre d'exemple. Il existe autant de solutions qu'il existe de modèles et il n'est pas possible de les passer toutes en revue.

Arrêt manuel

Quelques modèles, jusqu'à la fin des années 80, pouvaient être arrêtés manuellement par un simple interrupteur. Malheureusement, ils perdaient ainsi la mémoire des tensions d'azote atteintes précédemment. Ces appareils sont toujours à éviter si l'on se propose d'effectuer des plongées successives.

Mise en veille

Après quelques minutes ou après désaturation complète, vous avez pu remarquer que l'écran de votre ordinateur devenait blanc. L'appareil n'est pourtant pas arrêté, certains circuits électriques ont été simplement déconnectés tandis que d'autres restent actifs de façon à calculer en permanence le niveau de saturation en azote.

On dit alors que l'appareil est en "*Veille*" ou en "*Stand by*". Seules les fonctions indispensables sont sous tension. La [figure 3](#) montre que l'interrupteur "*Veille*" coupe les circuits d'affichage et le transducteur sonore.

Ceux-ci peuvent ensuite être remis en marche normale manuellement par les contacts humides, ou automatiquement lors de l'immersion suivante. C'est "*l'activation*" ou "*réveil*". Quand il est actif, l'Aladin Pro par exemple, consomme 1,05 milliampère alors qu'en veille, il ne consomme plus que 35 microampères, soit 30 fois moins.

Les humains qui vivent au niveau de la mer respirent de l'air à une pression de 1000mbars. Quand ils évoluent en altitude ou en profondeur, leur corps subit des variations de saturation ou désaturation. Grâce à sa très faible consommation et parce qu'il ne s'arrête jamais complètement, l'ordinateur peut suivre à tous moments l'état de charge des compartiments choisis.

Il peut alors décider s'il y a lieu de demander des paliers, de surveiller les vitesses de remontée et éventuellement de déclencher une alarme en cas d'infraction avec le protocole choisi et même de prévoir la désaturation d'une plongée à venir.

Les chercheurs qui étudient la prévention des accidents de décompression peuvent ainsi mieux répondre aux problèmes très complexes de désaturation posés par la physiologie du corps humain.

Par exemple, les notions de plongée consécutives ou successives ne posent plus les mêmes problèmes qu'avec les tables.

Échantillonnage

Pour effectuer une mesure de pression il suffit de quelques millisecondes. Afin d'économiser l'énergie, les capteurs et certains autres circuits électroniques ne sont mis sous tension que le temps nécessaire pour effectuer la mesure.

La pression est mesurée en une milliseconde par exemple. Ceci, toujours par exemple, toutes les secondes en immersion, toutes les 10 minutes pendant l'intervalle de surface et toutes les 30 minutes par la suite. C'est ce qu'on appelle effectuer un échantillonnage variable.

C'est le rôle de l'interrupteur du même nom dans la [figure 3](#) du chapitre précédent. Un filtrage spécial permet ensuite de restituer par lissage les variations réelles de pression. Plus la cadence d'échantillonnage est élevée plus le système est précis. Les anciens Aladins par exemple échantillaient à 0,5 seconde en immersion et 1 minute en surface. La figure 6 montre un exemple d'échantillonnage variable de ce genre.

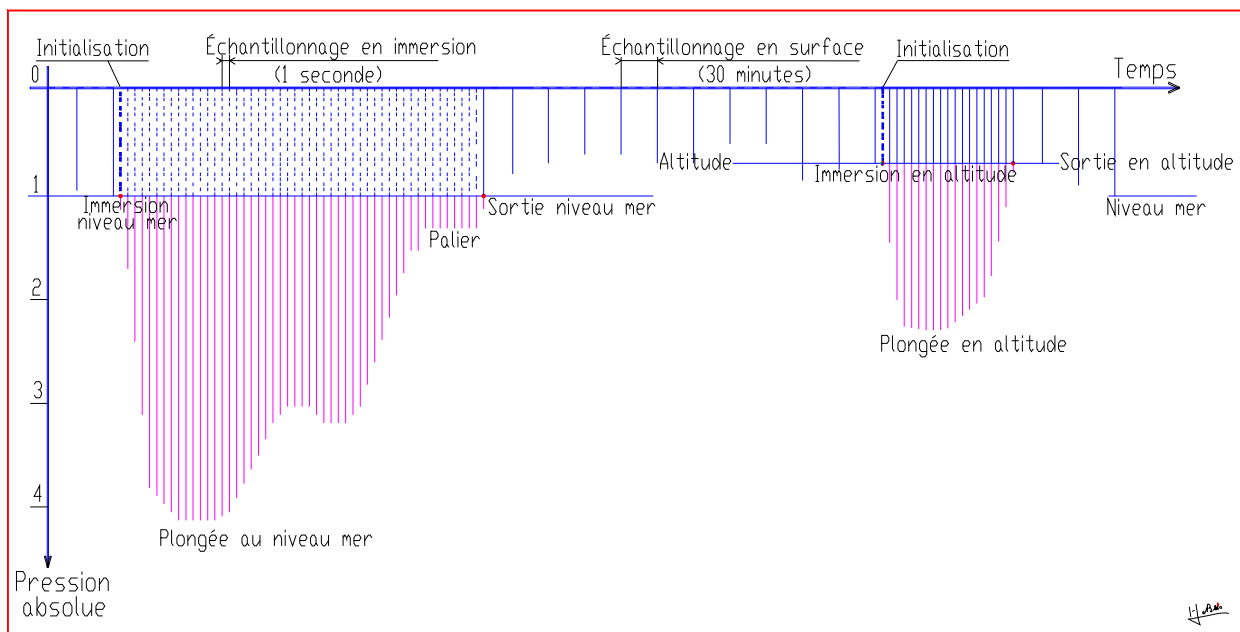


Figure 06 *Échantillonnage variable des mesures de pression*

En immersion, pour que l'appareil puisse bien tenir compte des vitesses de remontées et surtout gérer la production et l'évolution des micro-bulles, il faut qu'il effectue au moins une mesure chaque seconde.

Degré d'automatisation des instruments

L'appareil idéal devrait permettre de s'immerger sans se soucier de la mise en marche, des plongées précédentes ou de l'altitude. De tels instruments, se sont généralisés.

Bien que la plupart des appareils du marché soient aujourd'hui bien automatisés, il en reste encore qui ne le sont que partiellement.

L'automatisation peut affecter plusieurs paramètres :

L'activation

Au réveil de tout ordinateur, un certain temps est nécessaire pour qu'il soit opérationnel. Cela va d'une fraction de seconde à quelques secondes. Ce temps est nécessaire, pour qu'il se stabilise et s'auto-teste. Dans tous les cas, ceci peut se faire par contacts humides manuels ou par immersion, par manocontact sur la H.P, par interrupteur ou par bouton poussoir.

De plus, avant toute plongée une opération importante doit être réalisée, c'est l'initialisation.

L'initialisation

On peut considérer que le rôle principal d'un ordinateur de plongée est de ramener le plongeur, en toute sécurité, à la surface à la même pression que celle d'où il est parti. Pour cela, il faut : 1) Mesurer la pression à la surface du site de plongée ; 2) Mettre cette pression en mémoire pour servir de référence de profondeur et pour revenir en surface. Ces deux opérations constituent l'initialisation.

Pour cela, l'échantillonnage dont nous avons parlé ci-dessus présente un inconvénient. En effet la mesure ne se faisant qu'en continu, on n'est jamais certain de mesurer la pression exactement au passage de la surface.

Pour tourner cette difficulté il existe plusieurs méthodes :

a) Initialisation manuelle:

Elle consiste à déclencher la mesure à chaque fois que l'appareil est mis en marche ou activé, en touchant les contacts humides par exemple. L'utilisateur doit le faire impérativement avant de s'immerger. S'il saute à l'eau avec un appareil non activé il risque de provoquer une erreur dangereuse. Cette méthode n'est plus utilisée.

b) Première mesure dans l'eau

Elle consiste à enregistrer comme référence la première mesure de pression qui suit l'instant de l'activation ou du contact avec l'eau. Cette méthode peut introduire une erreur, car la mesure peut s'effectuer avec au moins un temps de retard égal à celui qui sépare deux échantillonnages.

Le DC12 demandait 5 secondes pour s'initialiser. Il faut donc l'activer un certain temps avant de s'immerger et surtout s'assurer qu'il est actif avant de sauter à l'eau. Dans le cas de la figure 7a, par exemple, l'initialisation s'effectue à 2 mètres de profondeur, l'ordinateur calcule donc la décompression pour un retour en sécurité à cette profondeur, pas à la surface. Si le plongeur franchit ce seuil, certains compartiments peuvent passer au-dessus de la sursaturation critique et provoquer un accident. L'appareil vous ramène en sécurité à 2 mètres, pas en surface !

Pour éviter les risques relatifs à cette méthode, le DC12 mesurait et enregistrait, (il n'est plus fabriqué depuis longtemps) comme référence la pression minimum en immersion. Après un saut, le plongeur pouvait donc éliminer toute erreur, en remontant en surface, avant de s'immerger définitivement.

Les Maestro Pro et Maestro EAN donnaient une alarme qui indiquait qu'il était nécessaire de remonter en surface, mais obligeaient à attendre qu'ils repassent en veille avant de les réinitialiser (Ils ne sont plus fabriqués)

c) *Dernière mesure dans l'air :*

Elle consiste à mettre en mémoire la dernière mesure qui a été effectuée dans l'air. Cette méthode peut aussi introduire une erreur lorsque le plongeur saute à l'eau sans avoir activé son appareil. Celle-ci dépend de ses évolutions en altitude avant son contact avec l'eau et de la cadence d'échantillonnage.

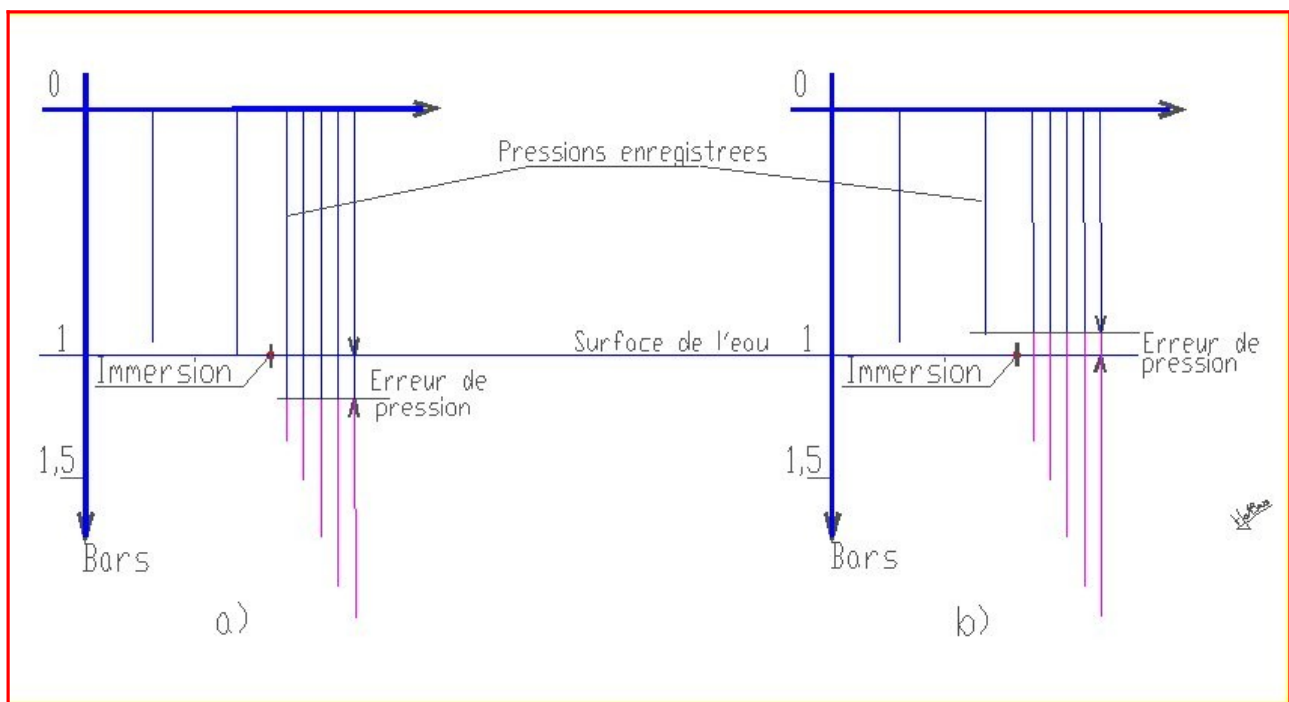


Figure 07 *Erreurs à l'initialisation*

Dans tous les cas l'espace entre deux échantillons doit donc être aussi court que possible. Les derniers ordinateurs Uwaterc échantillonnent toutes les minutes en surface ce qui élimine pratiquement toute erreur.

La figure 7b explicite cette méthode. Il faut noter que les variations de pressions dans l'air étant beaucoup plus faibles que dans l'eau, les erreurs qui en résultent ne peuvent être que faibles et de plus, elles vont dans le sens de la sécurité.

d) *Dernière initialisation*

Elle consiste à interdire l'initialisation sous l'eau. Celle-ci ne peut se faire que manuellement en surface. Pour chaque plongée, la pression référence est celle de la dernière initialisation. Cette méthode autorise le saut à l'eau sans précaution, à condition de ne pas évoluer en altitude entre la dernière initialisation et l'immersion. Attention de ne pas l'oublier avant toute plongée en altitude.

Résumé :

Les ordinateurs de plongées ne sont pas tous identiques et nécessitent parfois des précautions d'emploi au moment de l'immersion (surtout les anciens modèles cités ci-dessus).

Nous vous conseillons donc de vous inquiéter des caractéristiques de votre appareil. Et surtout, de toujours effectuer une activation et donc une initialisation, juste avant de vous immerger. Ceci vous permettra en plus de vous assurer qu'il fonctionne correctement.

Corrections en fonction de l'altitude

En raison des modifications physiologiques qui apparaissent avec l'altitude et de l'influence de la vapeur d'eau, les coefficients de sursaturation critique doivent être modifiés en fonction de l'altitude. Comme nous l'avons déjà vu, la pression atmosphérique est mesurée sur le site de plongée mais, les corrections sont appliquées en fonction de la tranche dans laquelle on se trouve, par exemple : de 1000 à 900 millibars (0 à 1000 m), de 900 à 800 millibars (1000 à 2000 m) et de 800 à 620 millibars (2000 à 4000 m).

Par sécurité, la pression retenue pour les calculs est la plus faible de chaque tranche. La correction consiste à sélectionner automatiquement ou manuellement les coefficients stockés en mémoire morte qui sont associés à la tranche de pression ou d'altitude dans laquelle on se trouve.

Suivant les instruments, on peut rencontrer différents cas :

1. *Appareils peu automatisés*
 - Ne passent pas en veille.
2. Mesure de la pression atmosphérique, sans affichage et initialisation seulement à la mise en marche.
 - Choix manuel de la tranche d'altitude avec les coefficients associés. Il est indispensable d'effectuer ces opérations manuellement en surface avant de s'im-

merger. C'était le cas des appareils NC11, DC11. Qui ne sont plus fabriqués mais peuvent toujours être en service.

3. *Appareils semi-automatique*

- Passage automatique en veille
- Mesure périodique de la pression atmosphérique, sans affichage et initialisation au moment de l'activation quelle que soit l'altitude.
- Choix manuel de la tranche d'altitude avec les coefficients associés.

Il est recommandé d'activer et de choisir la tranche d'altitude en surface avant l'immersion lorsqu'on utilise des modèles d'appareils qui conservent en mémoire la dernière initialisation

4. *Appareils entièrement automatiques*

- Passage automatique en veille.
- Mesure périodique de la pression atmosphérique et affichage de l'altitude correspondante.
- Initialisation et choix automatique des coefficients liés à l'altitude, au moment de l'immersion.

Il est donc théoriquement possible de s'immerger sans précaution particulière sauf après une montée rapide en altitude (Voir les appareils Uwatec).

Situations particulières

En fonction des modèles, nous citons ici quelques-unes des situations que l'on peut rencontrer et les conséquences qui peuvent en découler :

- Une montée en altitude est équivalente à une sortie de l'eau après une longue plongée à faible profondeur au niveau de la mer.
- Si vous sélectionnez une tranche d'altitude supérieure, alors que vous venez d'émerger d'une plongée au niveau de la mer, l'appareil risque de passer en alarme comme si vous aviez sauté un palier.
- En redescendant vers le niveau de la mer, après une plongée en altitude, la pression ambiante augmente. Vous vous trouvez ainsi moins saturé, et vous pouvez donc replonger plus tôt ou plus longtemps. Par contre si vous oubliez certains appareils dans la tranche d'altitude supérieure, il arrive qu'ils interprètent mal l'augmentation de pression, considèrent qu'ils repartent pour une nouvelle plongée et alors, ne s'arrêtent plus..., d'où l'avantage des appareils entièrement automatiques.
- Lorsque après une plongée, le décollage a lieu d'un aéroport situé à plus de 2000m d'altitude il n'y a pas de risque d'accident parce que la pression ambiante est déjà égale ou inférieure à celle de la cabine.
- Après une montée en altitude ou un vol en avion, si vous redescendez au niveau de la mer, le temps avant envol peut être très réduit en raison de la désaturation qui en résulte.

- Si la cabine d'un avion n'est pas pressurisée ou si elle se dépressurise accidentellement en vol, un accident peut se produire. Il est donc toujours raisonnable d'attendre au moins 12 heures avant l'embarquement.

Règles générales

Quel que soit le degré d'automatisation d'un appareil :

- Avant de l'immerger, il faut qu'il ait le même état de saturation que le plongeur et que la pression atmosphérique du site ait été mise en mémoire (Attention aux prêts entre plongeurs).
- Vous devez bien connaître les caractéristiques de votre appareil car ceci peut vous conduire à prendre certaines précautions avant de vous immerger.

Rôle des différentes mémoires

La mémoire est un élément essentiel d'un ordinateur de plongée. Plus elle est importante plus l'appareil a de possibilités. Comme nous l'avons déjà vu il y a deux types de mémoire : la mémoire morte et la mémoire vive.

Mémoire morte

Elle contient les informations fixes parmi lesquelles le calculateur vient chercher les informations dont il a besoin. Elle peut aussi contenir différents modèles mathématiques, unités, mélanges etc. qui seront choisis, par l'utilisateur, lors de la configuration de l'appareil.

Mémoire vive

Cette dernière se divise elle-même en deux parties : celle qui est utilisée en temps réel pour les calculs et l'affichage et celle qui est utilisée, en temps différé, par l'utilisateur.

C'est cette dernière qui nous intéresse car elle contient de façon plus ou moins détaillée les informations concernant les plongées passées. On peut considérer qu'il s'agit d'une véritable "Boîte Bleue", comme la "Boîte Noire" des avions ou le "Mouchard" des véhicules routiers.

Capacité

Pour un informaticien, la capacité mémoire d'un ordinateur s'exprime en kilo-octets. Pour un plongeur, elle s'exprimera plus pratiquement par le nombre de plongées ou d'heures de plongée qu'elle peut enregistrer. Cela va de quelques plongées à quelques centaines de plongées ou de quelques heures à quelques centaines d'heures.

Contenu et accès

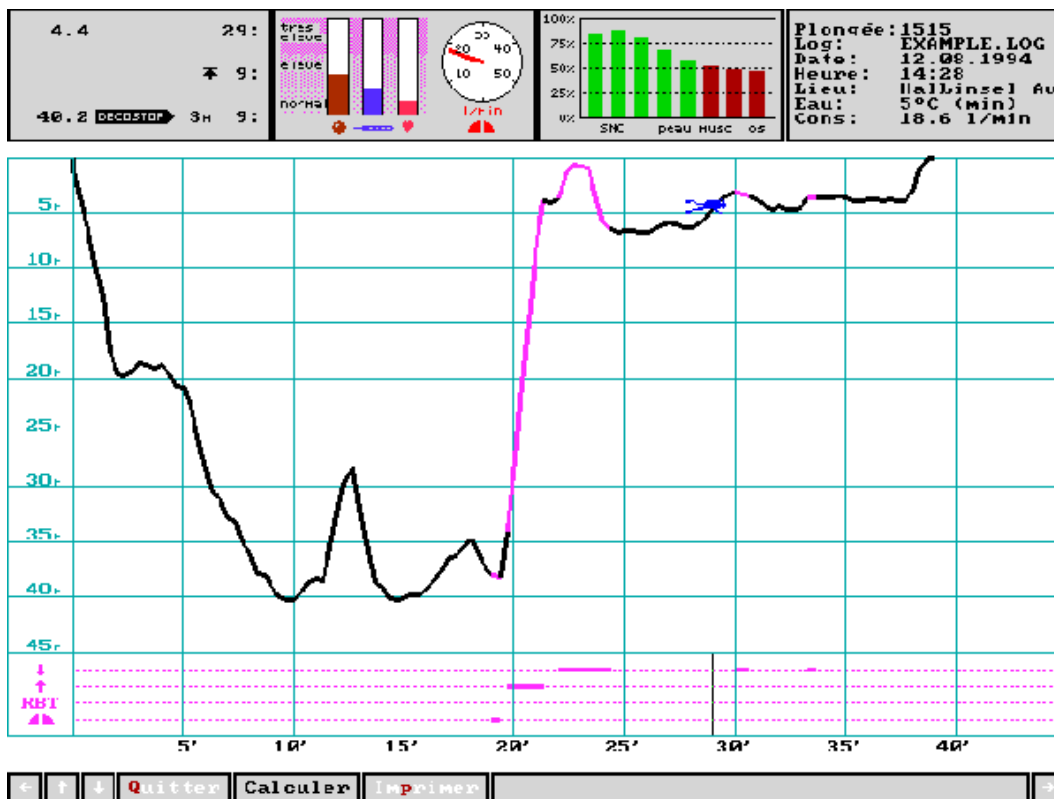
La liste ci-dessous donne les informations que l'on peut éventuellement trouver en mémoire. *"Attention de ne pas s'emmêler les palmes".*

- numéro de la plongée ;
- profondeur maximum et durée ;
- température moyenne ou minimum à la profondeur maximum ;
- type de plongée : avec ou sans décompression, successive ou simple ;
- infractions commises : sur la vitesse de remontée, sur la décompression ;
- intervalle et température en surface ;
- date, heure de départ et de sortie ;
- pression bouteille, au départ et à la fin de la plongée ;
- indice de consommation ;
- profondeur moyenne, profondeur maximum des plongées enregistrées ;
- durée totale d'immersion ;
- altitude d'immersion ;
- niveau de saturation des différents tissus ;
- capacité ou tension de la pile ;
- profils complets des plongées en fonction du temps.

La mémoire est accessible de deux façons :

- Accès direct, dès la sortie de l'eau.

Elle fournit alors un nombre restreint d'informations qui correspondent à celles d'un carnet de plongée, plus ou moins détaillé, suivant les appareils. Ceci peut être obtenu en faisant défiler plusieurs écrans successifs.



Reproduction d'un profil : Le Monitor III
(Ce profil inversé est à éviter)

Elle peut aussi fournir pas à pas le profil des plongées passées, mais il faut noter les informations au fur et à mesure de leur apparition.

- Accès, en temps différé, par un ordinateur personnel.

Si l'on veut bénéficier de toutes les possibilités de la mémoire d'un ordinateur de plongée, il est préférable de la lire sur un ordinateur portable ou de bureau.

On peut alors faire apparaître le profil complet des plongées avec à la demande toutes les informations concernant des points particuliers. Le tout peut être imprimé.

Enregistrement des profils de plongée

Les calculateurs de plongée peuvent fournir des informations beaucoup plus fiables et beaucoup plus complètes que celles obtenues par témoignage.

Pour cela, il faut enregistrer le maximum de profils de plongée mais aussi les indices de consommation, les marges prises, les températures, les efforts réalisés et les alarmes survenues pendant la plongée ainsi que les dates et heures correspondantes.

La photo montre le profil reproduit à partir d'un Monitor 3. L'échantillonnage à lieu toutes les 20 secondes. Ceci ne permet pas de voir les vitesses les plus rapides. D'autre part le profil est inversé ce qui constitue un facteur de risque non négligeable.

Par contre la photo suivante montre un relevé à partir d'un Maestro Pro EAN où l'échantillonnage à lieu toutes les secondes ce qui permet de voir des détails beaucoup plus fins.

La qualité du profil de plongée est fonction de la fréquence d'échantillonnage des mesures. Si celle-ci, par exemple, est d'une mesure par seconde il est possible de suivre toute les évolutions du plongeur même dans le cas de variations très rapides.

Par contre ceci utilise beaucoup de capacité mémoire.

Il existe des appareils qui échantillonnent le profil toutes les 0,5 seconde. Dans ce cas on peut examiner les détails les plus fins de la plongée. L'échantillonnage est parfois configurable de façon à répondre au mieux aux souhaits du plongeur.

Pour un appareil donné, le quotient du nombre d'heures d'enregistrement par la cadence d'échantillonnage est alors constant. Par exemple le Maestro-Pro a la possibilité d'ajuster la fréquence d'échantillonnage entre 1 et 30 secondes. Dans ce cas la durée de plongée enregistrée varie respectivement entre 6 et 180 heures ($1/6 = 30/180$).

Ne pas confondre l'échantillonnage des mesures de pression qui peut être très rapide et celui de la reproduction du profil qui peut être beaucoup plus lent et donc peu exploitable.

Banque de données

La mémoire (disque dur) d'un ordinateur portable ou de bureau est très grande, il est donc possible d'y enregistrer les plongées de nombreux appareils. On peut aussi y ajouter manuellement tous les commentaires souhaités relatifs au contexte des plongées : le lieu, la température, l'état de la mer, le nom, l'âge, le sexe, le poids de l'intéressé ainsi que le nom des autres participants... Il devient alors possible de disposer d'une véritable banque de données qui peut être traitée pour établir des statistiques ...

Exploitation des données et simulation

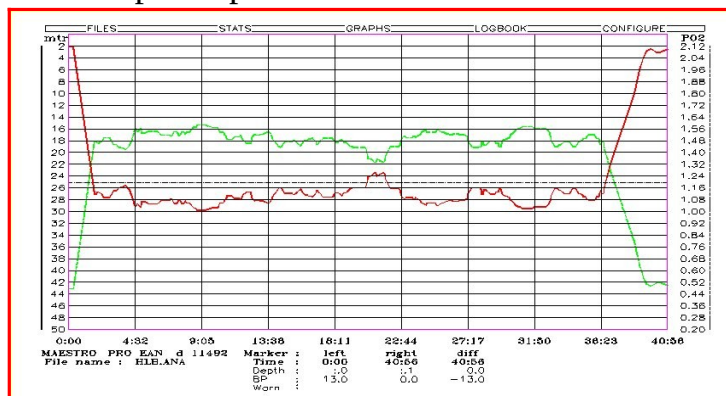
Les ordinateurs permettent, en étudiant des plongées réelles conservées en mémoire, de faire de la formation sur des cas concrets en montrant, après la plongée : la tenue des paliers, la saturation des tissus, les erreurs commises, les conséquences des plongées à risque... Il permet aussi de simuler des plongées fictives, successives ou non. Il est ainsi possible de modifier, dans le bon sens, le comportement des plongeurs. Voir aussi la [Formation](#).

Les Surox ou Nitrox et autres mélanges

Les appareils destinés à la plongée aux mélanges se répandent de plus en plus. Ils permettent de modifier le modèle mathématique en fonction du pourcentage d'O₂ employé. Ils gèrent aussi la décompression à l'oxygène pur. Ils donnent des alarmes au-delà de la durée d'exposition tolérable et pour la profondeur plancher, en fonction de la pression partielle d'oxygène. La profondeur plancher est calculée par la formule :

$$\text{Prof. plancher} = \left(\frac{P_{O_2}}{O_2 \%} - 1 \right) \times 10$$

Ou P_{O₂} est la pression partielle maximum tolérable et O₂% est le pourcentage d'oxygène dans le mélange. Par exemple, pour la P_{O₂} maximum de 1.6 et un pourcentage de 40% la profondeur à ne pas dépasser est de 30 mètres.



Reproduction d'un profil : Le Maestro EAN
(Plongée Nitrox 40/60 Marseille)

La figure ci-dessus montre un profil de plongée au Nitrox effectuée avec un mélange 40/60. La courbe épaisse rouge est celle de la profondeur. La courbe fine verte est celle de la Pression partielle d'oxygène. On voit que celle-ci ne dépasse jamais 1,6 et que cela correspond à une profondeur maximum de 30 mètres.

La pression partielle est déduite à tout moment par la formule :

$$P_{O_2} = P_{absolue} \times O_2 \%$$

À ce jour nous ne savions pas comment cette P_{O_2} était prise en compte, en profil variable, par les fabricants. On peut supposer qu'il y avait une intégration des quantités d'O.T.U. en fonction du temps d'exposition.

Cochran, fabricant d'ordinateur de plongée, aurait adopté les temps de latence ci-dessous pour tenir compte à la fois des deux types de toxicité.

P_{O_2}	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Durée en minutes	1304	719	496	379	306	257	221	194	172	149	110	44

Ces ordinateurs Nitrox doivent aussi indiquer clairement le pourcentage de mélange pour lequel ils sont configurés. Il est bien évident que lorsqu'on utilise un appareil respiratoire recycleur d'air celui-ci doit avoir une stabilité du taux d' O_2 compatible avec les marges de sécurité de l'ordinateur utilisé.

Remarque : Il est souhaitable de limiter la profondeur maximum des menus de plongées sans paliers à celle imposée par la toxicité de l'oxygène.

Algorithmes et Algorigrammes ?

Un [algorithme](#) désigne une suite d'instructions permettant d'atteindre un résultat déterminé. Il est constitué par une suite d'opérations élémentaires liées par une certaine logique décisionnelle. Par exemple, dans un tout autre domaine, ajuster le niveau d'huile d'une voiture :

Algorithme

(Pour ajuster le niveau d'huile d'une voiture).

- 1. Ouvrir le capot moteur.
- 2. Sortir la jauge d'huile.
- 3. La nettoyer.
- 4. Remettre la jauge en place et la ressortir.
- 5. Vérifier le niveau d'huile (*Mesure*).
- 6. Si le niveau est trop bas, déterminer la quantité manquante (*Calcul*).

- 7. Compléter le niveau d'huile.
- 8. Reprendre en 4.
- 9. Si le niveau est correct remettre la jauge en place (*Décision logique*).
- 10. Refermer le capot.

Un algorithme est souvent très complexe et ne peut être compris que par les spécialistes que sont les programmeurs.

Comme on le voit, les suites d'actions peuvent comprendre des mesures, des calculs et des décisions logiques. Elles sont souvent présentées par une représentation graphique qu'on appelle [algorithme](#), suivant la terminologie AFNOR. (Les symboles utilisés ainsi que les liaisons sont normalisés)

Un algorithme est donc un moyen simplifié d'expliquer un algorithme. Nous cherchons surtout ici à démystifier ce dernier et à donner au lecteur les rudiments qui lui permettront de mieux comprendre les documentations des fabricants. Exemple : Le manuel de l'Aladin Pro distribué par Uwatec.

L'usage fait qu'on donne souvent le nom d'algorithme à cette représentation graphique ou au modèle mathématique qu'elle représente. On comprend que chaque opération puisse elle-même se diviser en opérations plus détaillées suivant le niveau de compréhension que l'on désire ou s'enchaîner avec d'autres pour atteindre un objectif plus important.

Le fonctionnement d'un ordinateur peut être ainsi expliqué par plusieurs algorithmes. La figure 08 ci-dessous montre la décomposition en deux parties de la suite des opérations dans un ordinateur de plongée. L'un montre les opérations concernant le calcul de la profondeur plafond pour un compartiment, l'autre celles de la vitesse de remontée.

D'autres algorithmes sont utilisés, par exemple, pour détecter les conditions favorables à la formation de micro-bulles ou pour filtrer les variations de consommation d'air. Les fabricants devraient plus souvent y faire appel pour expliquer, simplement, le fonctionnement de certaines parties de leurs ordinateurs.

Les possibilités des ordinateurs de plongée étant de plus en plus grandes il devient difficile d'expliquer simplement leurs différentes commandes et leurs modes d'accès. L'utilisation d'un algorithme permet souvent de le faire simplement.

Dans l'algorithme et l'algorithme il est possible d'apporter des corrections de la décompression en fonction de certains paramètres. Ils se modifient donc automatiquement dans les [appareils adaptatifs](#).

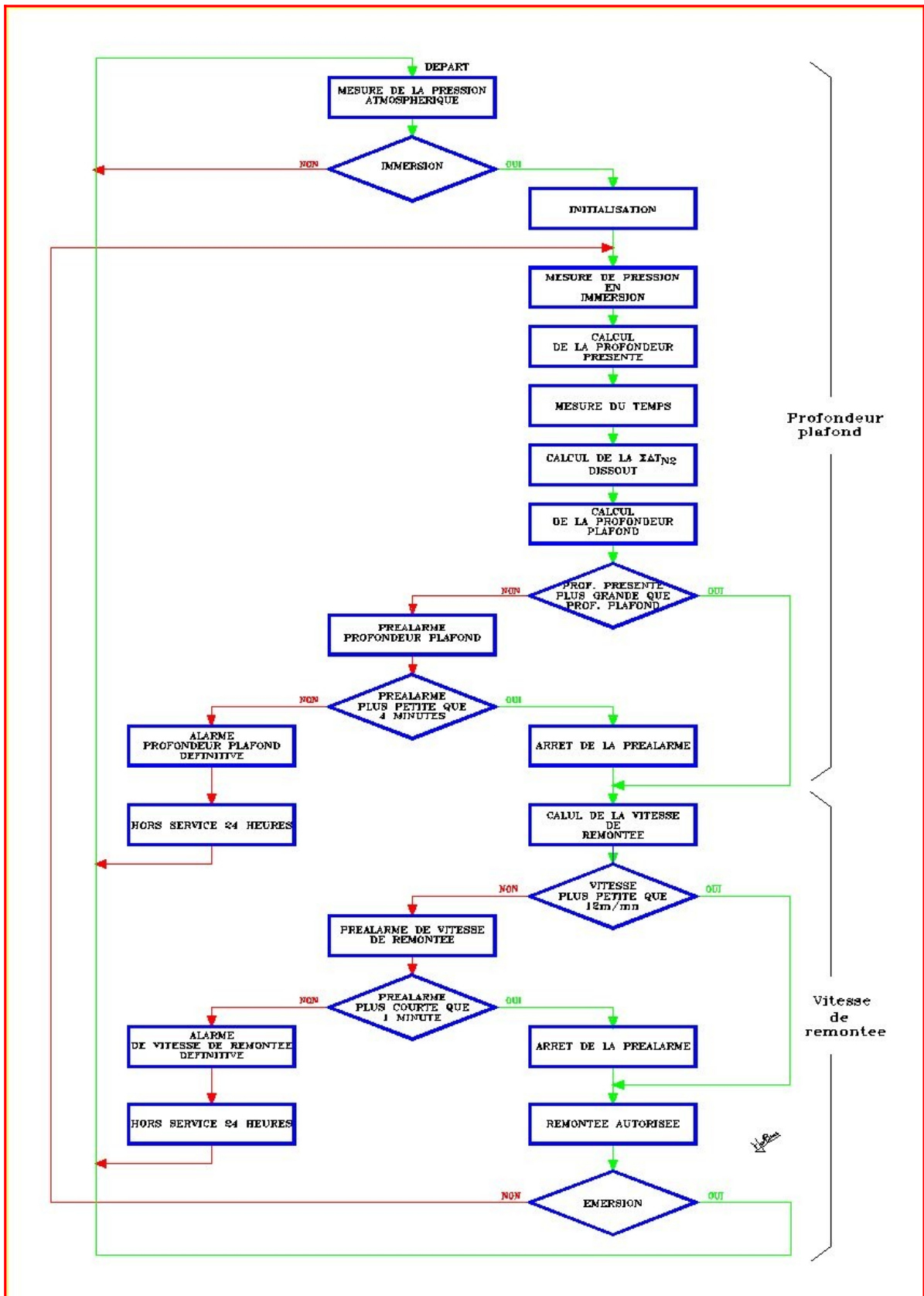


Figure 08 *Algorithme*

Livre d'or



- LES FONCTIONS -

Table des matières détaillée

Mise en œuvre du modèle mathématique
Calculs en temps réel
Suivi du niveau de saturation
Pressions minima tolérables et pression critique
Initialisation
Profondeur présente
Profondeur plafond
Profondeur plancher
Altitude présente
Altitude plafond
Durée de l'immersion et de l'intervalle
Modes de décompression
Vitesse de remontée
Décompression continue
Décompression par paliers
Calculs prévisionnels
De la décompression
De l'autonomie en air
De l'autonomie électrique
Simulation de plongée
Gestion des alarmes
Préalarmes
Alarmes définitives
Appareils adaptatifs
Surveillance des micro-bulles
Température de l'eau
Efforts en immersion

Ce chapitre se propose de donner quelques détails sur les fonctions disponibles des ordinateurs de plongée. Ceci ne constitue cependant que des indications car il existe de nombreux moyens, mis à profit par les fabricants, pour arriver au même résultat.

Mise en œuvre du modèle mathématique

Pour chaque compartiment, la saturation ou la désaturation est calculée à l'aide d'expressions telles que la période ainsi que les variables temps et pression absolue. Les résultats obtenus sont ensuite soumis à une suite de décisions logiques dépendant de la valeur du coefficient de sursaturation critique mais aussi des circonstances.

C'est l'ensemble de ces expressions, mathématiques et logiques, qui constitue le modèle simulant notre organisme. Il est souvent *inspiré* par ceux utilisés pour les tables, c'est pourquoi celles-ci sont souvent citées en référence. Néanmoins, leur modèle est toujours adapté à la spécificité des ordinateurs et est donc *très différent* de celui de la table de référence.

Les fabricants se retranchent souvent, sans autre commentaire, derrière le nom des spécialistes qui ont créé ou adapté ces modèles : Haldane, Workman, Spencer, Rogers, Bühlman, Pauwel, Hennessy, Hempleman et plus récemment Max Hahn, Bruce Wienke... Ils ne donnent que rarement des explications détaillées sur la façon dont ils adaptent ces modèles aux appareils qu'ils fabriquent. Nous aimerions parfois en savoir plus.

Contrairement à une idée répandue, les tables sont rarement mises en mémoire dans les appareils actuels. Certaines réalisations ont certes vu le jour mais elles n'ont eu qu'une durée de vie éphémère en raison des difficultés de leur automatisation et du peu d'intérêt que cela présente par rapport aux modèles qui effectuent les calculs en immersion.

Il est impropre de parler d'ordinateur de plongée basé sur une table. Très rapidement, leurs modèles mathématiques s'en sont distingués.

Dans les ordinateurs de plongée, les calculs comme les mesures sont effectuées à grande cadence de telle façon que les résultats n'aient pas de retard par rapport à l'évolution des paramètres mesurés. On dit alors que les calculs sont effectués en temps réel.

Calculs en temps réels

Suivi du niveau de saturation

Pour simplifier nous ne parlerons ici que du modèle de Haldane et nous utiliserons les formules bien connues relatives à celui-ci.

Pour suivre l'évolution de l'azote dissous dans l'organisme, le temps de plongée est divisé en tranches très courtes, de quelques secondes au maximum. Ces tranches constituent en quelque sorte une succession de plongées rectangulaires, consécutives. Mais la comparaison s'arrête là. La procédure diffère ensuite de celle des tables. (Voir figure 05)

Pendant chaque durée élémentaire, la pression absolue mesurée est considérée comme constante et, par le calcul, on en déduit pour chaque compartiment la variation ΔT_{N_2} de tension d'azote dissous qui en résulte. Pour des durées aussi courtes, ceci se réduit à quelques opérations relativement simples.

Chaque variation de la tension d'azote dissous s'ajoutant à la précédente, on a, à tout moment, par une simple addition, $T_0 + S \Delta T_{N_2}$, la valeur totale de la tension d'azote dans chaque compartiment. T_0 est la valeur initiale, ΔT_{N_2} est la tension d'azote dissous pendant chaque tranche de plongée. Cette expression se prononce "**Somme des deltas de T_{N_2}** " ou "Somme des variations de tension d'azote".

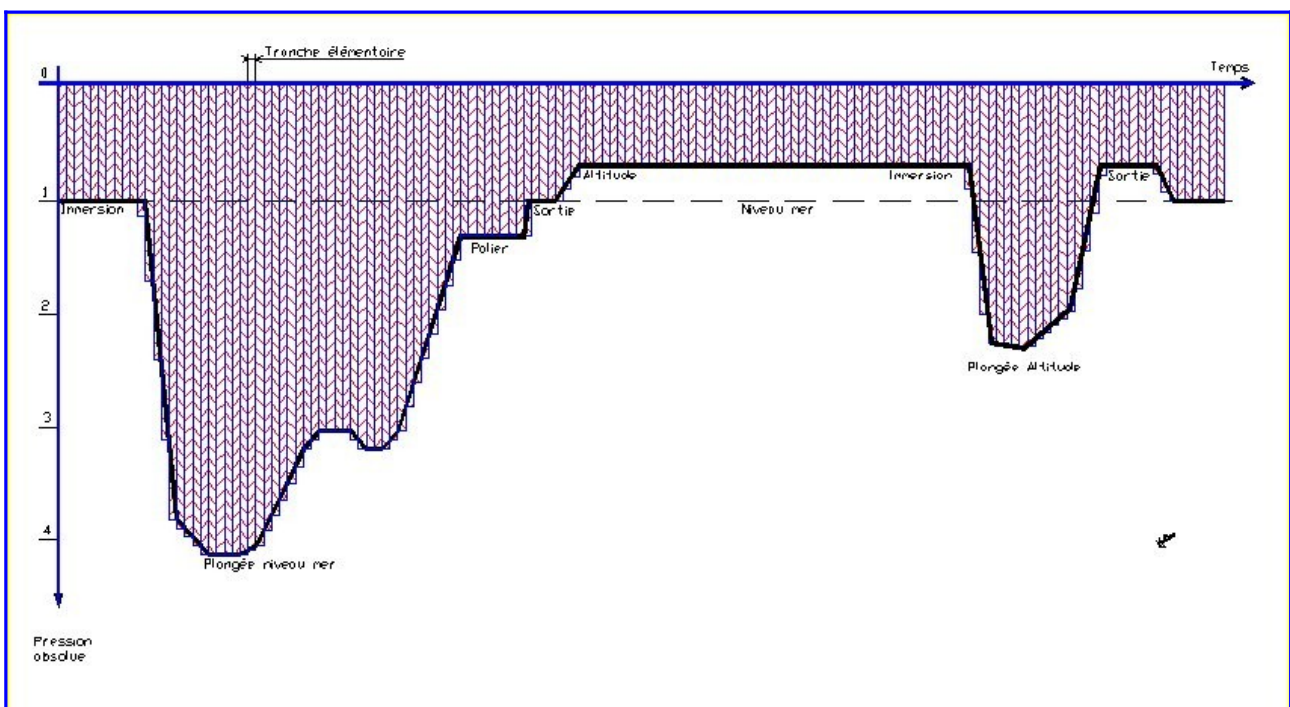


Figure 05 *Décomposition de plongées en tranches élémentaires*
 $(T_{N_2} = T_0 + S \Delta T_{N_2})$

Pressions minima tolérables et pression critique

De la valeur de S_c , de T_0 et de la $S \Delta T_{N_2}$, on déduit la pression absolue minimum tolérable pour chaque compartiment :

$$P_{\text{min. tol}} \geq \frac{T_0 + \sum \Delta T_{N_2}}{S_c}$$

La pression absolue la plus importante est ensuite retenue comme pression critique, c'est-à-dire celle en dessous de laquelle on ne doit pas descendre. Ceci détermine le compartiment directeur durant la remontée. Si l'appareil n'est pas arrêté, la pression tolérable est connue à tout instant. On notera que, pour l'instant, il n'a été question ici que de pression absolue, pas de profondeur. Ce paramètre est calculé à part.

Cette formule s'applique, à tout moment, que l'on évolue en profondeur ou en altitude. La frontière que constitue le passage de l'air à l'eau ne change rien à ce principe.

Initialisation

On peut considérer une plongée comme une incursion momentanée dans un milieu dont la pression est supérieure à la pression atmosphérique du site. Un plongeur doit par principe, à l'issue d'une plongée, revenir à la pression d'où il est parti. Or cette dernière peut varier de +20 à -30 millibars en fonction de la météo à la surface de la mer et surtout de 1 à 0,6 bar (0 à 4500 m) en fonction de l'altitude.

Il faut donc mesurer puis enregistrer cette valeur, avant de plonger, pour pouvoir l'utiliser, comme référence, dès l'immersion, sachant qu'on doit obligatoirement y revenir. C'est ce qu'on appelle "*l'Initialisation*" ou "*Réglage du zéro relatif*". Ceci a le même but que la remise à zéro manuelle des profondimètres à aiguille, mais doit se faire automatiquement avant chaque plongée.

Profondeur présente

Dans le système métrique elle est donnée approximativement par la formule bien connue :

$$\text{Profondeur présente} = (\text{Pression absolue} - \text{Pression atmosphérique}) \times 10$$

où la pression atmosphérique est la pression enregistrée lors de l'initialisation et où la pression absolue moins la pression atmosphérique est la pression relative. À la surface, après initialisation, la pression relative ainsi que la profondeur présente doivent être nulles. Ceci permet à l'appareil de calculer la décompression jusqu'à la sortie de l'eau et au plongeur de disposer de valeurs exactes de profondeur quelle que soit l'altitude.

Remarques : une erreur de lecture de +2 à +3% apparaît en eau de mer avec un instrument étalonné en eau douce. Mais celle-ci est sans influence sur la décompression. En effet durant les calculs c'est la pression absolue qui intervient, non la profondeur. Celle-ci n'est qu'un repère pour évoluer dans la troisième dimension.

Beaucoup d'instruments donnent les profondeurs en "MEM" (Mètres d'Eau de Mer). Les Aladin et Monitor les donnent en mètres d'eau douce. Le Datamax Pro passe de l'eau de mer à l'eau douce au-dessus de 1200m. Les Maestro-Pro se corrigent automatiquement en fonction de l'eau de mer ou de l'eau douce par mesure de la conductibilité. Il faut noter que la norme européenne EN13319 prévoit une calibration en eau douce.

Profondeur plafond

Sa détermination est un des buts essentiels des calculateurs de plongée. En introduisant la pression critique dans la formule ci-dessus, on obtient la profondeur critique qu'on appelle alors "*Profondeur plafond*".

$$\text{Prof. plafond} = \left(\frac{P_0 + \sum \Delta T_{M2}}{S_c} - P_{atm} \right) \times 10$$

C'est la profondeur au-dessus de laquelle le plongeur ne peut remonter sans augmenter considérablement le risque d'accident de décompression. Elle varie tout au long de la plongée en fonction de l'état de saturation des compartiments et comme on le voit, elle est bien fonction de la pression atmosphérique du site de plongée.

Profondeur plancher

Dans quelques appareils elle peut être configurée manuellement, pour donner une alarme, afin d'éviter de descendre trop profond.

Pour Suunto, qui pratique la décompression continue, c'est la profondeur à laquelle la durée totale de remontée recommence à augmenter.

Dans le cas des appareils au Nitrox elle est calculée automatiquement à partir du taux de toxicité de l'O₂ acceptable ou du mélange utilisé. Celui-ci est enregistré dans la mémoire morte. En cas de dépassement le plongeur est averti par une alarme. Un Nitrox de 40/60, par exemple, impose une limite de profondeur de 30 mètres (Voir par exemple l'Aladin Nitrox).

Altitude présente

La relation entre la pression et l'altitude n'est pas linéaire mais elle est connue. Les valeurs correspondant à certaines valeurs de pression sont mises en mémoire et lorsqu'une d'entre elles est atteinte l'altitude associée peut être affichée.

Néanmoins la plupart des fabricants ne l'affichent pas ou se contentent de la donner sous forme de symboles correspondant à des tranches d'altitudes. (Uwatec, Cochran)

Altitude plafond

En fin de plongée le plongeur émerge en général avec une sursaturation non négligeable. On conçoit donc qu'il puisse là aussi rencontrer une altitude plafond au-dessus de laquelle il ne doit pas monter.

Cette altitude n'est généralement pas indiquée par les ordinateurs et c'est dommage. Par contre, la plupart des appareils affichent un temps d'interdiction d'envol pour qu'en prenant l'avion le plongeur ne puisse s'exposer à une dépression critique.

Durée de l'immersion et de l'intervalle

Avec ces appareils, il n'est pas facile de repérer l'instant où l'on s'immerge définitivement, ni celui où l'on décide de remonter. Par contre, ils peuvent repérer automatiquement le passage à certaines profondeurs qu'on appelle, suivant le cas, seuil d'immersion ou seuil d'émersion.

Ces valeurs, comprises entre 0,5 et 2 mètres, peuvent être différentes l'une de l'autre. Elles servent à distinguer si le plongeur est en surface ou en plongée, même si ce n'est pas tout à fait exact. Elles font parties de leurs caractéristiques.

Les durées, qui séparent les seuils, sont mesurées grâce à l'horloge interne du microprocesseur. À l'issue des plongées elles sont enregistrées dans la mémoire vive.

La durée de la plongée est remplacée par la durée d'immersion qui est celle qui sépare le passage du seuil d'immersion de celui d'émersion. La durée totale de remontée est incluse dans cette durée. L'intervalle est le temps qui sépare le franchissement du seuil d'émersion du seuil d'immersion suivant.

Il faut remarquer que les temps ainsi définis n'interviennent pas dans les calculs de décompression. Ils ne servent que de repères pendant le déroulement des plongées. Par exemple deux plongées qui ne sont séparées que par quelques minutes seront considérées comme consécutives.

Elles seront enregistrées comme une seule plongée. En général au-delà de 10 minutes en surface elles sont considérées comme successives c'est-à-dire comme deux plongées distinctes. La durée de l'intervalle intervient cependant dans les calculs prévisionnels effectués en surface.

Modes de décompression

Vitesse de remontée

Elle fait partie du mode de décompression. Elle permet de maîtriser la production de micro-bulles et d'éviter de dépasser les coefficients de sursaturation critiques propres

aux tissus très courts. Ces derniers ne sont pas pris en considération pour le calcul de la profondeur plafond. La vitesse de remontée doit donc être surveillée par l'appareil.

Pour cela, la variation de pression est mesurée, par exemple, toutes les secondes. Cette variation est comparée à une valeur de consigne préalablement mise en mémoire. Quand elle lui devient supérieure, une alarme est déclenchée. (Si, par exemple, elle dépasse 20 millibars/sec cela signifie que la vitesse de remontée est supérieure à 12 m/min)

En fait l'alarme n'est pas toujours donnée immédiatement ; les mesures sont parfois filtrées pour éviter des alarmes intempestives dues par exemple aux mouvements rapides du bras qui porte l'appareil.

- Vitesse fixe : Dans la majorité des cas elle est réglée pour donner une alarme entre 10 et 12 mètres/minutes. L'avantage est que le gradient de pression est constant et que le plongeur peut, par entraînement, acquérir un certain automatisme à respecter la vitesse sans surveiller son instrument.

- Vitesse variable : Quelques appareils demandent une vitesse rapide en profondeur et de plus en plus lente lorsque le plongeur se rapproche de la surface. Le Phoenix par exemple a trois vitesses : 18, 12 et 6 mètres par minute, les Aladins ont eux aussi 3 vitesses 20, 10 et 7 mètres par minutes.

Les "Maestro Pro" peuvent être configurés pour une vitesse continuellement variable, fonction de la profondeur, par exemple 17 m/min à 17m, 11 m/min à 11 m...

La vitesse de remontée variable semble s'imposer de plus en plus sur les nouveaux instruments mais nous le répétons elle est contestée par certains physiologistes.

Comme nous l'avons déjà vu, elle permet de limiter la saturation, de réduire la consommation d'air, d'échapper plus rapidement au froid et au stress de la profondeur. Il faut cependant prendre garde à quelques appareils qui autorisent des vitesses jusqu'à 30 m/min en profondeur. En effet, les micro-bulles produites peuvent alors nuire à une bonne décompression lorsque le plongeur arrive dans la zone des paliers, même à vitesse réduite.

Correction de la vitesse de remontée avec l'altitude : pour les modèles utilisant les coefficients de sursaturation critique, la vitesse de remontée V_{rA} devrait être corrigée de la façon suivante :

$$V_{rA} = \text{Vitesse au niveau de la mer} \times \frac{\text{Pression du site de plongée}}{\text{Pression au niveau de la mer}}$$

Décompression par paliers

Durant sa remontée vers la surface, pour éliminer l'excès d'azote accumulé durant la plongée, le plongeur s'arrête un certain temps à des profondeurs déterminées à l'avance, habituellement de 3 en 3 mètres, on dit alors qu'il effectue une "*décompression par paliers*".

Dans ce cas, la marge de sécurité n'est pas constante, elle est minimum au début des paliers et maximum à la fin. Cette pratique exige moins d'attention de la part des plongeurs ; c'était la méthode pratiquée avec les tables. Elle est plus facile à utiliser par un guide de palanquée pour regrouper les plongeurs à la même profondeur.

À chaque profondeur de palier et pour chaque compartiment, correspond une pression ambiante minima tolérable. Elles sont toutes calculées, mises en mémoire et lorsqu'une ou plusieurs d'entre elles sont atteintes, au cours de la plongée, le plus profond des paliers correspondant est affiché par l'appareil.

Décompression continue

Lorsque pour éliminer l'azote en excès, le plongeur remonte constamment en dessous d'une profondeur plafond correspondant à la pression minima tolérable, on dit qu'il effectue une "*décompression continue*". Cette méthode est en principe la meilleure, la marge de sécurité étant constante.

Elle donne la décompression la plus courte pour une sécurité donnée. Ce type de décompression peut être assimilée à une succession de petits paliers, en escalier montant. Le temps total de remontée est alors toujours supérieur au minimum possible parce que le plongeur se tient toujours un peu en dessous de la profondeur plafond.

La décompression continue exige une bonne attention de la part des plongeurs pour être optimale. (Exemple : La plupart des ordinateurs Suunto)

Remarques :

- Avec une décompression par paliers, un palier nécessaire pour un tissu court peut très bien disparaître avant d'y arriver du fait de la désaturation qui se produit pendant la remontée, surtout si celle-ci est plus lente que prévue.

- La décompression par palier peut être pratiquée avec les ordinateurs à décompression continue. Un guide de palanquée pourra, par exemple, arrêter la remontée de temps en temps pour regrouper ses plongeurs, du moment qu'il reste en dessous de la profondeur plafond. Il en résultera simplement une augmentation de la durée totale de la remontée.

- Par contre, avec les ordinateurs à décompression par paliers, cela n'est pas possible car ces appareils n'indiquent pas la profondeur plafond mais celle, prédéterminée, du prochain palier. (Peut-être qu'un jour les deux options seront possible sur certains appareils)

Correction des paliers avec l'altitude

Pour les modèles utilisant les coefficients de sursaturation critique, elle devrait être la suivante :

$$\text{Profondeur du palier} = \text{Palier mer} \times \frac{\text{Pression du site de plongée}}{\text{Pression au niveau de la mer}}$$

En fait certains fabricants, comme Uwatec, entre 700 et 4000 m, divisent le palier de 3 mètres en deux paliers : l'un à 4 mètres l'autre à 2 mètres.

Calculs prévisionnels

Le plongeur doit savoir à l'avance ce qu'il devra faire au cours de sa remontée. Les ordinateurs de plongée sont capables de faire des prévisions, par simulation accélérée et par extrapolation. Les résultats s'actualisent, d'eux même, sans arrêt, au cours de la plongée en fonction des évolutions du plongeur.

De la durée de décompression

Durée totale de remontée et durée des paliers :

Elles sont obtenues en supposant qu'à partir de l'instant présent le plongeur respecte la procédure indiquée. En décompression continue, seule la durée totale de remontée est calculée (exemple : le ÉON de SUUNTO).

Durée avant palier ou autonomie avant palier :

Elle est calculée en permanence pour permettre au plongeur de prendre ses dispositions pour éviter d'avoir à effectuer des paliers. Le calcul consiste, pour la profondeur où l'on se trouve, à déterminer le temps nécessaire, à chaque compartiment, pour atteindre l'état de saturation toléré pour le premier palier. Le temps le plus court est affiché par l'appareil.

Temps total de désaturation :

C'est, en restant au même niveau d'altitude, le temps au-delà duquel on peut ignorer complètement les plongées précédentes. Pratiquement, ces instruments calculent le temps nécessaire pour que la tension de chacun des compartiments entre dans les variations normales de la pression atmosphérique mise en mémoire lors de l'initialisation précédente (+/- 30 millibars au niveau de la mer).

Temps avant envol :

C'est le temps nécessaire pour que l'ensemble des compartiments soit suffisamment désaturé pour tolérer la basse pression qui règne à l'intérieur de la cabine d'un avion de ligne.

Lorsqu'un avion décolle, en cabine pressurisée la pression passe de 1 à 0,8 bar en quelques minutes. Si un plongeur s'envole avec un certain degré de saturation, il risque un accident car il ne peut plus, par lui-même, maîtriser la baisse de pression ambiante. Il doit donc attendre d'être suffisamment désaturé avant l'envol.

Certains modèles se contentent d'afficher une interdiction de vol, d'autres de décompter les heures de 24 à 0 après une plongée. D'autres encore calculent le temps nécessaire avant l'envol. La pression absolue critique dans l'avion étant connue pour chaque compartiment, le calcul consiste à déterminer combien de temps il faut pour l'atteindre avant de pouvoir décoller.

L'Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS) Américaine préconise au moins 24 heures avant de s'envoler après une plongée avec décompression et si possible 48 heures. C'est pourquoi beaucoup d'instruments américains se contentent de décompter les heures de 48 à zéro dès la sortie de l'eau. Les appareils conçus par Cochran calculent ce temps mais n'autorisent jamais l'envol avant 12 heures. Ceci constitue un compromis avec les recommandations de l'UHMS.

Temps d'adaptation : lorsqu'on monte en altitude la pression diminue ; aussi risque-t-on d'arriver sur le site de plongée avec des tensions de gaz dissous supérieures à celle correspondant à la pression d'azote alvéolaire (compte tenu de celle de la vapeur d'eau). Dans ces conditions, une plongée ne sera donc pas une plongée simple. Elle sera considérée comme consécutive ou successive tant qu'il n'y aura pas eu d'équilibre entre les tensions d'azote dans les compartiments et la pression partielle d'azote ambiante c'est-à-dire jusqu'à désaturation complète.

Ceci oblige l'utilisateur à attendre, suivant le cas, une désaturation complète ou au moins 12 heures avant de plonger. C'est ce que l'on appelle le temps d'adaptation. Il est parfois calculé et affiché par l'appareil. Il intervient comme un intervalle après une plongée.

Il est cependant possible de plonger sans attendre. Dans ce cas il faut que l'appareil prenne en compte le handicap que constitue la sursaturation au moment de l'immersion (Les appareils fabriqués par Uwatec offrent en général ces deux possibilités).

Menu de plongée sans palier : Ce sont les couples de durée et de profondeur autorisés sans avoir à effectuer de paliers. Ils sont calculés en fonction des tensions résiduelles dans les compartiments. Ils évoluent évidemment avec l'intervalle et sont

fonction de l'altitude. Ils donnent en même temps une idée de la saturation des compartiments par comparaison avec les valeurs obtenues après désaturation complète (Courbes de sécurité après un intervalle donné en supposant un profil rectangulaire).

De l'autonomie en air

Il serait dommage qu'un plongeur ayant bien géré sa décompression se trouve en difficulté pour avoir mal géré son autonomie en air. L'ordinateur peut effectuer certains calculs destinés à surveiller la consommation aussi bien que l'autonomie :

Indice de consommation : La consommation en air est difficilement mesurable. Le seul paramètre accessible est la variation de haute pression au cours de la plongée. Celle-ci est fonction de la consommation par la relation :

$$\Delta HP / mn = \frac{\text{Consommation en litres d'air dé tendu par minute}}{\text{Volume de la bouteille}}$$

En divisant par la pression ambiante on obtient $Ic = \Delta HP_1 / min$, variation de HP qu'on obtiendrait si on respirait à une pression ambiante de un bar.

$$Ic = \Delta HP_1 / mn = \frac{\text{Consommation ramenée à un bar}}{\text{Volume de la bouteille}}$$

On appelle cette nouvelle expression "*Indice de consommation*" ; *Efficacité respiratoire* ou *Indice respiratoire*. Elle à l'avantage d'être indépendante de la pression absolue donc de la profondeur et de l'altitude du site de plongée. Elle dépend du volume de la bouteille, mais peut être mesurée sans connaître celui-ci.

Le fait de changer de scaphandre, de faire fuser le détendeur, de tenir une apnée, de respirer à deux sur le même scaphandre, de gonfler une bouée ou un parachute ainsi que toute modification du rythme respiratoire peut provoquer des erreurs. Celles-ci sont filtrées puis remises périodiquement à jour.

L'indice de consommation est parfois affiché parce qu'il permet de surveiller les variations de consommation d'air quelles que soient les évolutions du plongeur (Voir le Maestro Pro EAN). Il peut aussi déclencher une alarme en cas de modification importante de la consommation. Il est ainsi possible de détecter un essoufflement.

Nous avons vu qu'il dépend de la capacité de la bouteille utilisée. Les fabricants choisissent généralement de l'afficher pour un volume standard de bouteille de 10 litres. Si le volume est différent il suffit de multiplier l'indice affiché par le volume réel de la bouteille divisé par 10. Le chiffre obtenu permet ainsi de comparer la consomma-

tion de plongées avec des bouteilles différentes. Pour obtenir la consommation en litres détendus par minute, il faut multiplier ce chiffre par la pression absolue.

Autonomie en air : Il est très utile pour un plongeur de connaître le temps qu'il peut rester à la profondeur présente sans risque de manquer d'air. L'indice de consommation que nous venons de calculer va surtout permettre d'estimer à tout moment cette autonomie par la formule :

$$\mathbf{Autonomie} = \frac{\mathbf{HP}}{\mathbf{Ic} \times \mathbf{Pa}}$$

Où, à un instant donné : **HP** est la pression bouteille ; **Ic** indice de consommation ; **Pa** est la pression ambiante.

On notera que le calcul ne nécessite pas de connaître le volume de la bouteille.

Exemple : $HP = 160 \text{ bar}$; $Ic/min = 2 \text{ bar/min}$; $Pa = 4 \text{ bar}$ (à 30 mètres).

$$\mathbf{Autonomie} = \frac{\mathbf{160}}{\mathbf{2} \times \mathbf{4}} = \mathbf{20 \text{ mn}}$$

Ce calcul, tel qu'il est présenté, ne tient pas compte de la consommation durant la remontée. Mais ces instruments peuvent, toujours par simulation accélérée et par anticipation, déterminer l'autonomie à tout moment de la plongée en tenant compte de la vitesse de remontée et du profil de la décompression à effectuer.

Pour cela ils supposent que l'indice de consommation reste constant, que le plongeur respecte parfaitement la procédure de remontée prévue. Ils calculent ensuite la consommation d'air pour le temps passé à chaque profondeur du profil à effectuer.

Ils peuvent alors suggérer de commencer la remontée avant de risquer d'être à court d'air. Les calculs se font, bien entendu, en prenant des marges de sécurité suffisantes.

En résumé :

L'indice de consommation permet de :

- Surveiller l'évolution de la consommation en air ;
- Détecter un essoufflement ;
- Calculer l'autonomie restante à une profondeur donnée.

De l'autonomie électrique

Le plongeur a besoin de savoir si la pile ou l'accumulateur qui alimente son appareil contient assez d'énergie pour assurer la plongée en cours et éventuellement quelques plongées à venir.

Certains ordinateurs se contentent de mesurer la tension de la pile et en déduisent une autonomie approximative. Cela n'est pas très précis. D'autres, par contre, utilisent un capteur qui mesure le courant consommé, durant chaque tranche de temps élémentaire.

Les valeurs trouvées sont additionnées en permanence de façon à connaître à tout moment la quantité totale de courant consommée Q en "Ampères heure". Cette valeur est soustraite de la quantité que la pile neuve est censée contenir. Le résultat est ensuite traduit en %, en heures ou éventuellement en nombre approximatif de plongées que l'on peut encore effectuer. (Voir les Aladins)

Simulation de plongée

La plupart des appareils permettent de calculer la décompression d'une prochaine plongée en fonction de l'intervalle, de la profondeur, du temps... Ils ne permettent généralement pas de faire des simulations pour l'altitude.

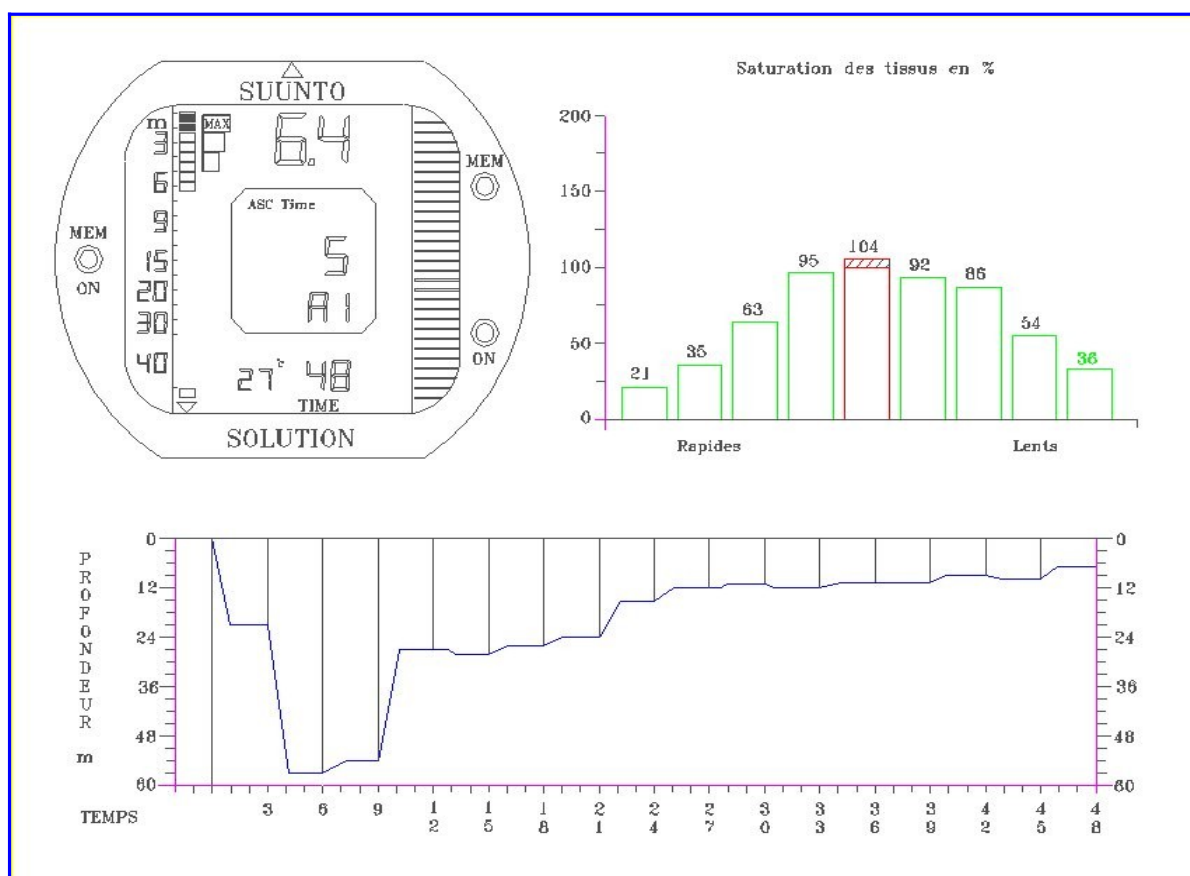


Figure 04 *Simulation d'une plongée (J.F. Mousseau)*

Les paramètres sont introduits manuellement, le programme est lancé en accéléré et, en fin du cycle de calcul, l'instrument donne les caractéristiques de la plongée que l'on se propose de réaliser. Ils sont plus ou moins évolués, les anciens Suunto étaient à l'avant garde dans ce domaine.

Les calculs sont les mêmes que ceux effectués pendant une plongée (voir le chapitre suivant). Ils se différencient par le fait que les temps et profondeurs sont introduits manuellement par le plongeur. Ils prennent aussi en compte les niveaux de saturation déjà mis en mémoire par l'appareil. Les résultats ne sont donc utilisables, jusqu'à désaturation complète, que par le plongeur qui l'a utilisé précédemment.

La simulation constitue aussi un bon moyen de tester les différents appareils du marché avant un achat éventuel. Elle permet de plus d'enseigner, par simulation, l'usage de l'appareil dans des conditions confortables avant un enseignement pratique sur le terrain.

La [figure 4](#) montre une simulation effectuée sur un ordinateur de plongée. On voit qu'après 48 minutes le compartiment N° 5 dépasse de 4% la saturation admissible et nécessite donc un palier.

Gestion des alarmes

Une autre fonction importante d'un calculateur de plongée est de donner des alarmes. L'interprétation de celles-ci nécessite quelques explications :

Pré-alarmes

Lorsque le plongeur remonte au-dessus de la profondeur plafond ou qu'il dépasse la vitesse de remontée autorisée, il en est généralement averti par une flèche et parfois une suite de "BIP" sonores qui l'invitent à ralentir ou à redescendre.

Ceci est en fait une "pré-alarme" qui disparaît s'il s'exécute immédiatement. Pratiquement les préalarmes précèdent toujours les alarmes afin de permettre au plongeur de réagir avant qu'il ne soit trop tard. (En tenant compte d'un temps de latence estimé)

Alarmes définitives

Lorsqu'une pré-alarme de décompression persiste *au-delà du temps de latence*, elle se transforme en alarme définitive. On ne peut plus l'effacer même en redescendant. Le plongeur doit alors se considérer en danger et prendre les mesures qui s'imposent pour faire face à un éventuel accident, de quelle que nature que ce soit.

Cette alarme dure en général 24 heures mais peut aller jusqu'à 72 heures pendant lesquelles l'appareil est partiellement, ou plus du tout utilisable (Voir [Algorigramme](#)).

Les alarmes d'autonomie en air et électrique ainsi que de toxicité à l'O₂ sont elles aussi précédées de pré-alarmes qui laissent au plongeur le temps de prendre les décisions adaptées.

Appareils adaptatifs

Ce sont des ordinateurs qui s'adaptent aux circonstances de la plongée et à certains facteurs de risque. Ils ont un modèle mathématique qui s'adapte automatiquement en fonction de quelques-uns d'entre-eux. Ils sont dit à "Procédures adaptatives". Ce n'est pas comme les tables dont les procédures sont figées.

Les corrections apportées sont certes approximatives et comportent encore une part d'empirisme mais elles vont dans le bon sens et semblent une réponse aux principales critiques formulées à l'encontre des ordinateurs de plongée des premières générations.

Surveillance des micro-bulles

Elle consiste à estimer la quantité relative de micro-bulles présentes dans l'organisme et leurs évolutions en fonction des plongées passées et du profil en cours et parfois même des plongées passées. La vitesse de remontée, le nombre de remontées et leur place dans le profil en sont des éléments importants.

Surveillance de la température de l'eau

La mesure de la température de l'eau permet d'estimer celle de la surface du corps et des tissus sous-cutanés. On peut ainsi apporter des corrections à la période des compartiments les plus sensibles.

Néanmoins il est évident que ceci est très approximatif en raison de la physiologie de chaque plongeur et des différents vêtements qu'il peut utiliser (Le Maestro Pro permettait de tenir compte du type de vêtement).

Surveillance des efforts en immersion

En surveillant la consommation d'air et le rythme respiratoire ou cardiaque, il est possible d'estimer les efforts physiques du plongeur et, par exemple, de modifier en conséquence la période de certains compartiments. Ceci n'est pas non plus très précis mais constitue une approche de la prise en compte des efforts en immersion.

Remarque : L'avantage d'un appareil adaptatif est qu'il n'augmente la durée de décompression qu'en cas de nécessité. Le plongeur qui ne se met pas en situation critique n'effectue pas plus de décompression qu'avec un appareil conventionnel.

Cette technique, qui est un héritage des travaux du Dr. Bühlmann, n'en est qu'à ses débuts. C'est en tout cas une des voies les plus prometteuses de la recherche actuelle.

Perspectives futures

Il est difficile de prévoir l'avenir ! Les dernières évolutions prennent en compte les efforts des plongeurs durant leur immersion par la surveillance des variations de leur consommation d'air ainsi que celle de leur fréquence cardiaque. Le protocole de dé-compression est ainsi ajusté de façon à augmenter la marge de sécurité.

Existe t-il d'autres voies de recherche ? Comment prévoir les accidents avant qu'il ne soit trop tard ?

Un paramètre intéressant concerne la distribution d'oxygène depuis l'hémoglobine vers les tissus. À l'approche d'un accident de décompression, cette distribution est fortement perturbée mais elle peut l'être aussi pour d'autres raisons qui la rendent difficile à exploiter. Pourtant, sa connaissance permettrait de détecter toute anomalie.

Jusqu'à présent, les oxymètres qui mesurent le taux d'oxygène dans le sang étaient instables en raison des mouvements de l'utilisateur. Le problème était considéré comme insoluble par tous les spécialistes.

Cependant, deux ingénieurs de la société Américaine Masimo SET[®] ont réussi le tour de force de rendre les mesures indépendantes des mouvements et, cerise sur le gâteau, réalisables sous l'eau.

Il y a certes encore beaucoup de réserves sur l'utilisation de l'oxymétrie en plongée mais c'est une nouvelle piste à ne pas négliger. (*Sans toutefois exclure de conserver les modèles mathématiques*)

[Livre d'or](#)



- DESCRIPTION -

Table des matières détaillée

- [Bracelets](#)
- [Consoles](#)
- [Boîtiers à pression atmosphérique](#)
- [Boîtiers à pression ambiante](#)
- [Les capteurs](#)
- [Crépine](#)
- [Systèmes de commande](#)
- [Affichages](#)
- [Éclairage de l'écran](#)
- [Le transducteur sonore](#)
- [Alarmes lumineuses](#)
- [Liaison sans fil](#)
- [Appairage](#)
- [Sources d'énergie](#)
- [Autonomie électrique et durée de vie](#)
- [Accessoires](#)
- [Documentation](#)
- [Le futur est-il déjà là ?](#)

Nous allons décrire ici les principaux éléments qui composent ces appareils.

Bracelets (Voir figure 09 ci-dessous)

Ils permettent de porter les boîtiers au poignet. Ils doivent être conçus pour résister à toute épreuve (traction de 10 Deca Newtons). Ils doivent être élastiques ou facilement réglables pour absorber les variations d'épaisseur du vêtement en fonction de la pression. Certains ont une forme en accordéon.

Les points faibles sont souvent les barettes à ressort qui assurent le lien avec l'ordinateur ou la montre. Si l'une se rompt on risque de perdre le tout. J'ai ainsi perdu ma première montre sur un chantier avec Jules Manganeli près de la grotte à Cosquer.

Il existe cependant des solutions. Voir la [maintenance des bracelets](#).

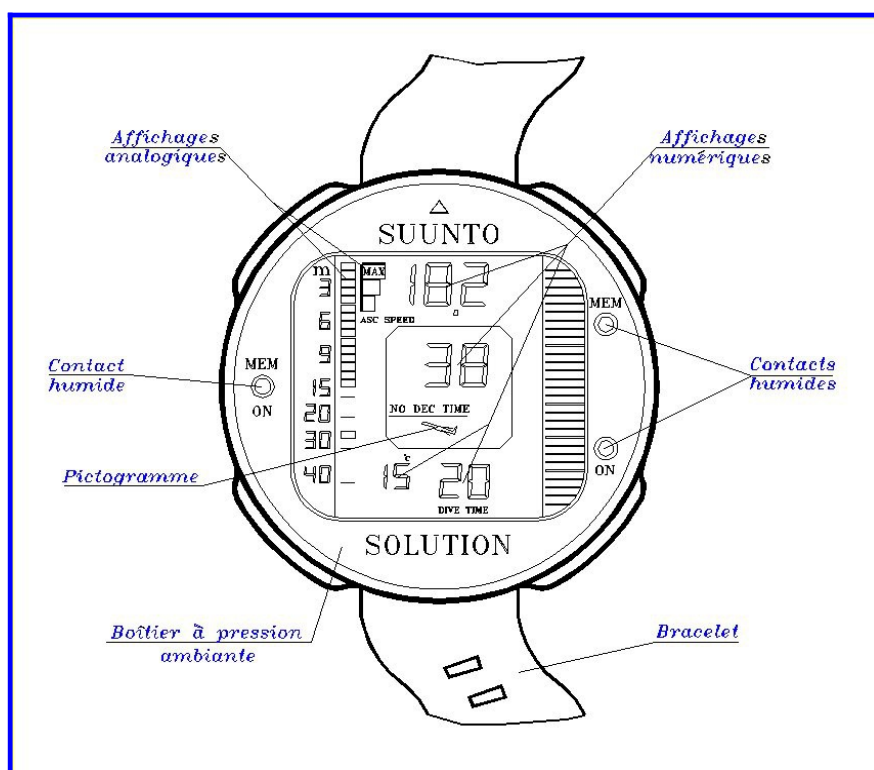


Figure 09 *Présentation générale d'un ordinateur de plongée*

Certains boîtiers peuvent s'orienter de 90 en 90 degrés ce qui permet de les lire quel que soit leur emplacement sur le bras. Attention, les bracelets ont une durée de vie limitée. Il faut les vérifier régulièrement sous peine un jour de perdre l'ordinateur.

Consoles

Elles sont réalisées dans des blocs protecteurs généralement en caoutchouc qui, en plus du calculateur de plongée, peuvent intégrer un manomètre haute pression et/ou un compas. Elles se fixent à l'extrémité d'un tuyau haute pression. Elles permettent de montrer aisément l'appareil à un autre plongeur. Par contre, en exercice, elles mobilisent un bras pour être lues.

Pendant la plongée, la console doit impérativement être fixée à un endroit précis de l'équipement. Sinon elle risque de traîner, de s'accrocher sur le fond et éventuellement d'entraîner une erreur de quelques décimètres supplémentaires sur la mesure de profondeur.

Ceci peut éventuellement déclencher la mesure d'un temps de plongée alors qu'on effectue une nage de surface plus particulièrement sur le dos. Le tuyau ne doit donc pas être trop long et surtout bien inférieur aux seuils d'immersion et d'émersion.

Si l'on change de scaphandre au palier, il faut garder l'appareil près de soi pour terminer la décompression.

Boîtiers à pression atmosphérique

Dans ces boîtiers, la pression interne est égale à la pression en surface. L'étanchéité est obtenue par des joints. Ces modèles peuvent être sujets à des entrées d'eau. Ils nécessitent donc une maintenance préventive pour le changement des joints.

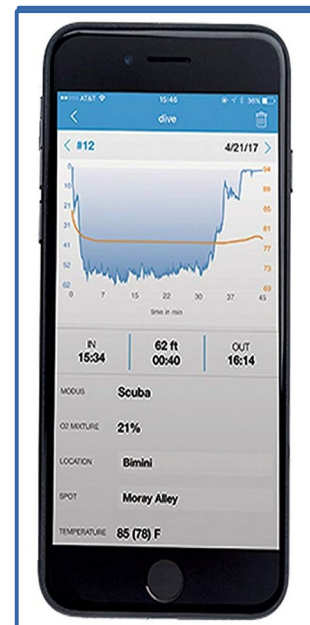
Ils sont réalisés généralement en alliage d'aluminium. Quand la pile est interchangeable elle se trouve dans une partie étanche séparée, exemple : les Vyper et Vytec de Suunto.

Boîtiers à pression ambiante

Ici l'étanchéité est obtenue par une résine souple isolante. Les composants noyés dans ce produit sont alors en équipression avec le milieu. Ce type de boîtier ne craint pas les entrées d'eau et ne nécessite donc pas de maintenance particulière, exemple les Aladins de première génération.

Les résines souples utilisées craignent cependant les accidents de décompression ; il ne faut donc les soumettre à la pression qu'immergées dans de l'eau. Les boîtiers sont en résines dures : ABS, Macrolon, Polyamide, ...

Il est aussi possible de mettre les composants dans un bain d'huile ce qui évite les contraintes qui se produisent lorsque la résine vieillit. Cette solution doit être réalisée avec soin pour bien transmettre la pression tout en évitant les fuites.



Le GALILEO de Scubapro et un profil sur smartphone

Certains boîtiers ont cependant une partie à pression atmosphérique pour y loger la pile, lorsqu'elle est remplaçable par l'utilisateur ou le revendeur.

Les capteurs de pression

Ils transforment les pressions en signaux électriques. Ce sont des capteurs de pression absolue, c'est-à-dire qu'ils mesurent les pressions par rapport au vide (pression zéro).

Au niveau de la mer ils mesurent donc environ 1 bar.

Pour donner des valeurs utilisables, ils nécessitent des corrections que l'on appelle "*calibration*".

Pour cela on compare les pressions subies par le capteur aux indications qu'il fournit. Les corrections sont mises en mémoire ce qui permet ensuite de corriger les valeurs mesurées. Des corrections se font aussi en fonction de la température. Ce type de capteur est dit "intelligent" ([Voir figure 10](#)). On peut ainsi obtenir des précisions tout à fait remarquables.

Linéarisation : Elle consiste à rendre la tension de sortie proportionnelle à la pression appliquée dans la plage normale d'utilisation.

Ajustement des facteurs d'échelle : C'est, par exemple, le facteur par lequel il faut multiplier les valeurs en millivolts fournies par le capteur, pour obtenir des valeurs en millibars utilisables pour les calculs de la décompression.

Un autre facteur permet de calculer les profondeurs pour l'eau douce ou pour l'eau de mer. Un troisième permet de sélectionner la tranche d'altitude (Les variations de pression en fonction de l'altitude ne sont pas linéaires).

Ajustement du zéro : Il consiste à obtenir zéro pour une pression absolue nulle. Ne pas confondre avec " l'Initialisation " qui est une remise à zéro de la profondeur (Pression relative nulle), à la surface du lieu de plongée.

Les capteurs sont sujets à des dérives dans le temps et nécessitent donc des calibrations périodiques. Les calibrations se font généralement en usine. La figure 10, ci-après, montre les conséquences d'une mauvaise calibration sur les mesures de pression. Ces défauts peuvent malheureusement se cumuler.

Capteur basse pression

C'est l'élément le plus important de l'appareil. Les meilleurs appareils du marché ont actuellement des précisions d'environ 2 pour mille, ce qui en fait la qualité mais aussi le prix. Ils utilisent des capteurs "intelligents", voir plus haut. La calibration doit être exécutée avec soin. Elle doit être vérifiée périodiquement (Voir plus loin le chapitre sur la maintenance).

La durée de la décompression n'est pas seulement fonction du modèle mathématique choisi. La précision du capteur peut obliger le fabricant à prendre des marges de sécurité importantes qui allongent notablement la durée des paliers.

Pour comparer des appareils entre-eux il faut donc aussi comparer leur précision en profondeur qui reflète celle du capteur basse pression.

Capteur haute pression

Aujourd'hui, les ordinateurs gèrent non seulement la décompression, mais en plus l'autonomie en air. Ils nécessitent alors la présence d'un capteur H.P. relié au scaphandre par l'intermédiaire d'une sortie H.P. du 1er étage du détendeur.

La plupart des fabricants proposent des appareils équipés de capteurs reliés à l'ordinateur par une "[Liaison Inductive](#)" sans fils.

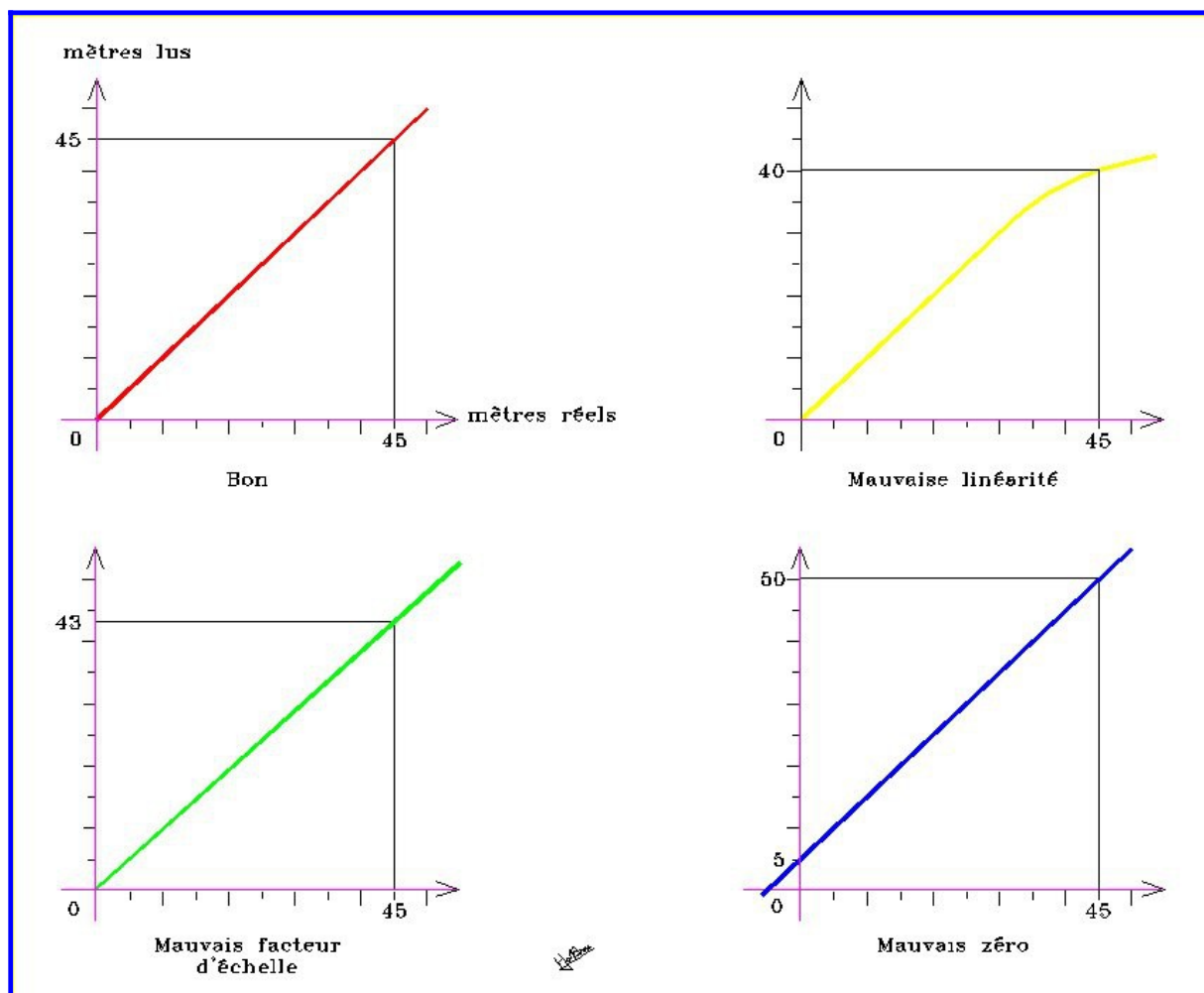


Figure 10 **Défauts des capteurs de pression**

(On voit que les capteurs constituent le cœur des ordinateurs de plongée)

Capteur de température

Les capteurs de pression sont sensibles à la température. Il est donc nécessaire de disposer d'un capteur qui permette de corriger leur dérive. De plus, cela permet d'affi-

cher cette température et, éventuellement, de prendre une marge de sécurité sur la dé-compression lorsque l'eau est froide (voir les appareils adaptatifs).

Capteur photo électrique

Dans l'obscurité, les écrans à cristaux liquides sont difficiles à lire. Certains appareils comme le Computek sont équipés d'un capteur photoélectrique de façon à allumer une source lumineuse située derrière l'écran pour permettre sa lecture dès que l'éclairage ambiant devient insuffisant. Cette solution est toutefois gourmande en énergie.

La crépine

Elle est destinée à protéger le capteur de pression. Celui-ci doit être en contact avec la pression ambiante tout en restant protégé contre les entrées d'objets ou de particules dangereuses ou contre les surpressions causées lors d'immersions brutales.

Elle se présente souvent sous la forme d'une grille percée de petits trous ou de trous en chicanes percés dans le boîtier de l'appareil. Dans les boîtiers à pression ambiante, la question ne se pose pas car le capteur, noyé dans la résine souple ou l'huile, reçoit la pression hydrostatique à travers celle-ci.

Systèmes de commande

Ils sont destinés à la mise en marche et à l'exécution des commandes. Celles-ci sont souvent codées par le nombre ou la durée des impulsions.

Contacts humides

Ce sont des contacts électriques qui par la simple conductibilité de l'eau ou des doigts humides permettent d'exécuter les commandes (Ils sont dits à haute impédance parce que le courant qui les traverse est très faible, inférieur au micro-ampère). Ils sont indispensables pour garantir l'initialisation au contact de l'eau et passer en mode plongée.

On en trouve jusqu'à 5 suivant les modèles. Ils ont l'avantage d'être inusables et d'offrir un grand nombre de combinaisons possibles. Ils présentent les inconvénients de s'établir involontairement en surface ou dans un sac de plongée sous l'effet de l'humidité et de ne pouvoir être actionnés sous l'eau.

Interrupteurs et boutons poussoirs

Ce sont des composants électromécaniques étanches. Les contacts sont ainsi insensibles à l'humidité mais ils sont malgré tout moins fiables dans le temps que les contacts humides.

Ils permettent, par déplacement d'un aimant, d'actionner des Interrupteurs à Lames Souples dits "ILS", placés dans des ampoules de verre, à travers des parois étanches amagnétiques.

On les utilise à la place ou parfois en complément des contacts humides, pour la mise en marche de l'appareil et plus récemment pour commander les écrans alternés, voir plus loin.

Leur principal avantage est surtout d'être utilisable en immersion. Le Data-Trans, le Guardian par exemple, utilisent des boutons poussoirs pour changer d'affichage, à la demande, aussi bien en surface qu'en immersion. Ceci permet d'augmenter le nombre d'informations accessibles ou la taille des caractères sans utiliser un affichage alterné périodiquement. Le Éon Lux et le Favor de Suunto, par ailleurs, possèdent un contact qui s'établit par pression sur le boîtier pour éclairer l'écran.

Manocontacts

Ce sont des contacts électriques reliés à une membrane soumise à la haute pression appliquée au détenteur. Ils servent essentiellement à déclencher la mise en route et à initialiser l'appareil dès l'ouverture de la bouteille (ce qui évite tout oubli). Ils ne permettent pas l'exécution de commandes.

Ils ne permettent pas l'échange de scaphandre, en cas de manque d'air par exemple (Voir Delphi et Computek).

Ils sont parfois complétés par d'autres types de commande. Le Maestro Pro EAN utilise directement la détection de la H.P. par le capteur de mesure qui teste la pression bouteille en permanence.

Aimants

Ce sont de petits barreaux aimantés fournis avec les appareils. Ils sont utilisés, avec des contacts ILS, pour effectuer la remise à zéro de la mémoire vive afin d'éliminer les informations des plongées précédentes.

Attention, ceci peut présenter des dangers pour les plongées successives ou en altitude car on peut par inadvertance ou à cause d'un champ magnétique imprévu effacer des informations essentielles.

Acoustiques

Une commande originale consiste à mettre un appareil en marche par des vibrations acoustiques provoquées, en un certain point de l'appareil, en le grattant avec l'ongle, une pièce de monnaie ou tout objet dur (Voir le Maestro Pro EAN de Cochran).

Inertiels

Toujours chez Cochran on trouve une mise en marche et changement d'affichage de quelques secondes par un contact inerteil activé par un mouvement du poignet de l'utilisateur.

Les affichages

À cristaux liquides

Ils équipaient la quasi totalité des ordinateurs ou profondimètres électroniques parce qu'ils ne consommaient pratiquement pas d'énergie électrique. Par contre les circuits qui les commandent ont une consommation non négligeable. Ils nécessitent un rétro éclairage mais l'affichage est désormais en couleur, surtout pour les hauts de gamme.

Ils sont constitués de deux lames de verres entre lesquelles se trouve un liquide dans lequel baignent des cristaux "Nématiques" en suspension. Ceux-ci ont la particularité de s'orienter sous l'effet d'un champ électrique et réfléchir ou bloquer la lumière.

Les lames de verre sont recouvertes de filtres polarisants et de dépôts métalliques transparents dont l'un comporte les différents symboles que l'on veut afficher. Ceux-ci apparaissent au rythme des signaux électriques fournis par le microprocesseur.

Ce type d'affichage nécessite toujours de la lumière : soit externe, elle est alors réfléchie par les cristaux, soit interne, elle est alors arrêtée par ces mêmes cristaux. L'affichage ne peut se lire qu'à l'intérieur d'un certain angle fonction des filtres utilisés. Plus l'angle est petit plus le contraste est grand. Les fabricants essayent de trouver le meilleur compromis.

Le froid ralentit la vitesse de l'affichage tandis que la chaleur le noircit, mais ceci disparaît avec une température normale. La lame de verre extérieure est protégée par une couche de lexan. Ce matériau résiste bien aux chocs mais se raye facilement.



SUUNTO Eon Steel profil

À diodes électroluminescentes organiques (OLEDs)

Aqualung et Beuchat fournissent une feuille de lexan qui tient par effet de ventouse et se change facilement. On trouve de plus en plus de véritable protection en plastique rigide transparent "Macrolon" qui résistent à la plupart des agressions.

C'est une technologie de plus en plus utilisée pour les ordinateurs, téléviseurs ainsi que les téléphone et autres portables.

Avantages :

Angle de vision plus étendu

Meilleur contraste

Meilleur rendu des couleurs

Temps de réponse plus faible

Pas d'éclairage d'appoint

Écran moins épais et moins cher

Inconvénients :

Leur durées de vie n'est que de 15000 heures ce qui pour un téléviseur est un handicap mais pour un ordinateur de plongée a peu d'importance. (D'importants progrès sont en cours)

Numériques

C'est un affichage renouvelé périodiquement dans lequel la valeur à lire est représentée par des chiffres pré-dessinés, grâce à l'association de barres contrastées. Il est couramment utilisé. Il donne une indication précise, mais les mesures sont parfois difficiles à interpréter lorsqu'elles varient rapidement.

Analogiques

C'est un affichage dans lequel la valeur est représentée par une barre de longueur variable, appelée parfois "bargraph", constituée par une succession de points ou de barres. Ces affichages donnent une approche progressive de l'alarme. Ils sont moins utilisés que les numériques et donnent des valeurs moins précises, mais par contre les variations sont plus faciles à interpréter.

Ceci est utile par exemple pour la vitesse de remontée où la tendance d'évolution est importante en raison de l'inertie due à la masse du plongeur.

En fait dans un affichage analogique, il ne devrait pas y avoir de discontinuité. C'est pourquoi le nom d'affichage graphique est préférable pour les systèmes à longueur variable par points ou barres.

Remarque : Les affichages à aiguille, comme en ont les montres ou les profondimètres mécaniques, sont à classer dans les affichages analogiques.

À matrice

Dans cet affichage, l'écran est constitué par une mosaïque de points. Les images ne sont pas pré-dessinées mais obtenues par l'association d'un certain nombre de ces points, ce qui donne beaucoup de souplesse. La qualité des dessins est cependant moins bonne qu'avec un affichage classique. Toutefois de grands progrès ont été réalisés ces dernières années. Des écrans du type utilisés sur les caméscopes ou les appareils de photo numériques pourraient être utilisés. Malheureusement, ils sont très gourmands en énergie.

Pictogrammes

On les appelle aussi "icône". Ce type d'affichage ne donne pas la valeur d'un paramètre mais un symbole qui la représente. Son avantage est d'être un langage universel ne nécessitant pas de traduction. Exemple : l'interdiction d'envol représenté par le dessin d'un avion, les altitudes par des montagnes de différentes hauteurs.

Informations alternées

Faute de place sur l'écran elles consistent à afficher alternativement, deux informations comme la profondeur maximum et la profondeur présente. Cela entraîne toutefois un risque de confusion qui devrait restreindre leur utilisation surtout en immersion. Exemple : Le Dive Team et les Datamax qui alternent le temps de plongée et celui restant avant d'avoir à effectuer une décompression.

Successifs

Dans certains cas deux informations peuvent être données successivement sans qu'il y ait risque de confusion. Par exemple la durée avant d'avoir à effectuer des paliers et la durée des paliers eux même.

Écrans alternés

Le risque de confusion peut cependant être supprimé, même en immersion, en alternant l'affichage de l'écran par l'utilisation de système manuels, boutons poussoirs (Nemesis) ou contacts inertiels (Cochran).



Figure 11 *Le QUAD AIR de Mares*

Les informations les plus importantes sont affichées couramment tandis que celles qui le sont moins sont appelées manuellement pour un temps de quelques secondes. Ces dernières peuvent souvent être choisies par l'utilisateur.

Défilant

Il permet de fournir une série d'informations successives de même nature sans avoir à répéter une commande, par exemple : la courbe de sécurité qui évolue avec l'intervalle et dont les couples temps/profondeur s'affichent les uns après les autres pendant quelques secondes.

Permanent

Ce sont des indications gravées ou imprimées, généralement sur le pourtour de l'écran. Elles sont destinées à faciliter l'interprétation des indications données par l'appareil et parfois pour adapter la langue au pays concerné. Elles se distinguent par des couleurs différentes, très visibles, souvent fluorescentes.

Éclairage de l'écran

Comme nous l'avons vu précédemment, certains affichages nécessitent une source de lumière.

Phosphorescent

Parfois appelé photo luminescent. Il est constitué par une couche de matériau phosphorescent disposé à l'arrière de l'afficheur à cristaux liquides. C'est en fait un accumulateur qui restitue pendant un certain temps la lumière qu'il a reçue au préalable.

Intérieur

Pour faciliter la lecture de l'affichage dans l'obscurité, certains appareils possèdent un éclairage électrique interne qui se met en marche par bouton poussoir ou automatiquement grâce à une cellule photoélectrique.

Cet éclairage est disposé derrière l'affichage à cristaux liquides qui fonctionne alors par transparence (Voir le Computek) C'est le rétro éclairage. La commande manuelle permet de limiter la consommation au stricte nécessaire.

Le Éon Lux et le Favor de Suunto s'éclairent par une simple pression sur le boîtier. Il s'agit d'un éclairage "électroluminescent" qui nécessite une haute tension générée par un circuit spécial.

Extérieur

Il peut être apporté par une lampe de plongée ou par un éclairage chimique du type "Cyalume" à amorcer avant la plongée et qui se fixe à proximité de l'écran (Voir le "Jolly" commercialisé par Sporasub).

Le transducteur sonore

Il donne en général des informations d'alarme. Il est le résultat d'un compromis entre une puissance suffisante et une consommation d'énergie raisonnable. Malheureusement la puissance sonore reste souvent trop faible.

Les signaux émis peuvent être codés, sous forme de "BIP" plus ou moins longs ou rapides, pour faciliter leur interprétation. Comme nous l'avons vu il est généralement coupé en mode "Veille".

Remarque :

L'alarme sonore est très importante car elle libère le plongeur de l'obligation de surveiller visuellement l'appareil, surtout dans les situations critiques. De plus, si sa puissance est suffisante, elle peut être entendue par les autres membres de la palanquée.

Alarmes lumineuses

Elles sont en général constituées par des diodes électroluminescentes de couleur rouge très visibles dans l'eau (Voir le "Jolly" de chez Sporasub et le "Delphi").

Liaison sans fil

Nous avons vu les avantages et les inconvénients des appareils reliés physiquement au premier étage du détendeur. Différentes techniques permettent une liaison sans tuyau ou sans fil.

Par exemple, un capteur haute pression raccordé au premier étage du détendeur est associé à un émetteur d'ultrasons ou à couplage inductif entre des bobinages (c'est-à-dire utilisant un couplage magnétique). Ce système transmet les informations au récepteur fixé au poignet de l'utilisateur. La portée est de 1 à 2 mètres.

La plupart des appareils haut de gamme actuels fonctionnent suivant ce principe.

Chez Uwaterc, les informations sont envoyées toutes les 5 secondes sous forme d'impulsions modulées par un signal à 8000Hz lui même modulé par saut de phase.

Il ne s'agit pas à proprement parler d'une liaison Radio comme l'ont écrit certains auteurs car seule la composante magnétique du rayonnement est utilisée. Ce type de liaison a l'avantage de ne pas être influencé par les obstacles comme le seraient les ultra-sons.

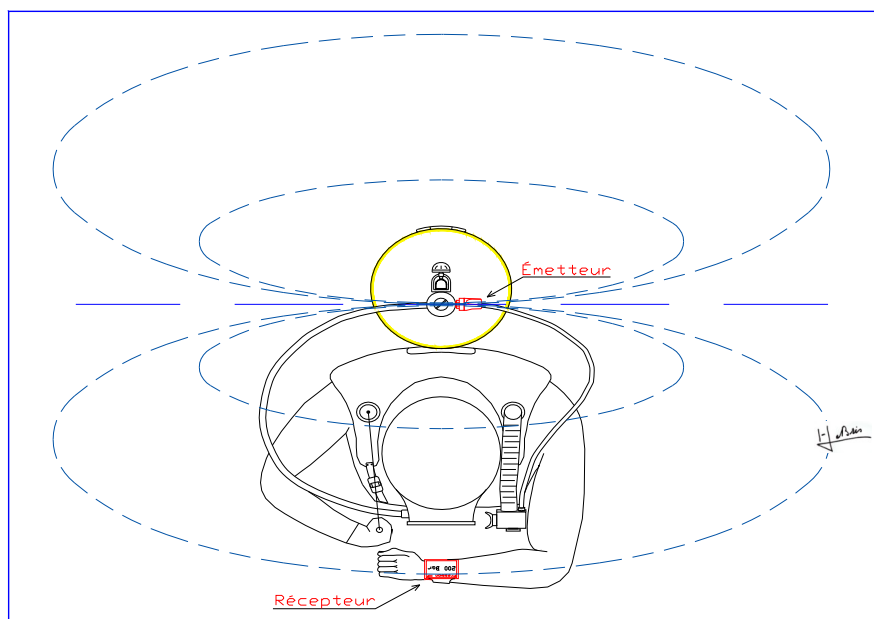


Figure 12 **Position relative de l'émetteur et du récepteur**
(La meilleure position est celle où leurs axes sont parallèles)

La figure 13 montre les variations de niveau reçu en fonction de la position angulaire de l'émetteur et du récepteur. On voit que lorsque leurs axes sont parallèles le niveau est maximum et que lorsqu'ils sont perpendiculaires il est minimum. La variation autour du minimum est très pointue ce qui fait que le risque de perte de liaison est faible.

La proximité de masses magnétiques importantes, dans les épaves par exemple, ne nous a jamais permis de mettre en évidence des perturbations quelconques.

Un locotracteur, par les parasites qu'il crée, peut perturber la liaison en permanence. Par contre un flash électronique ne la perturbera que momentanément.

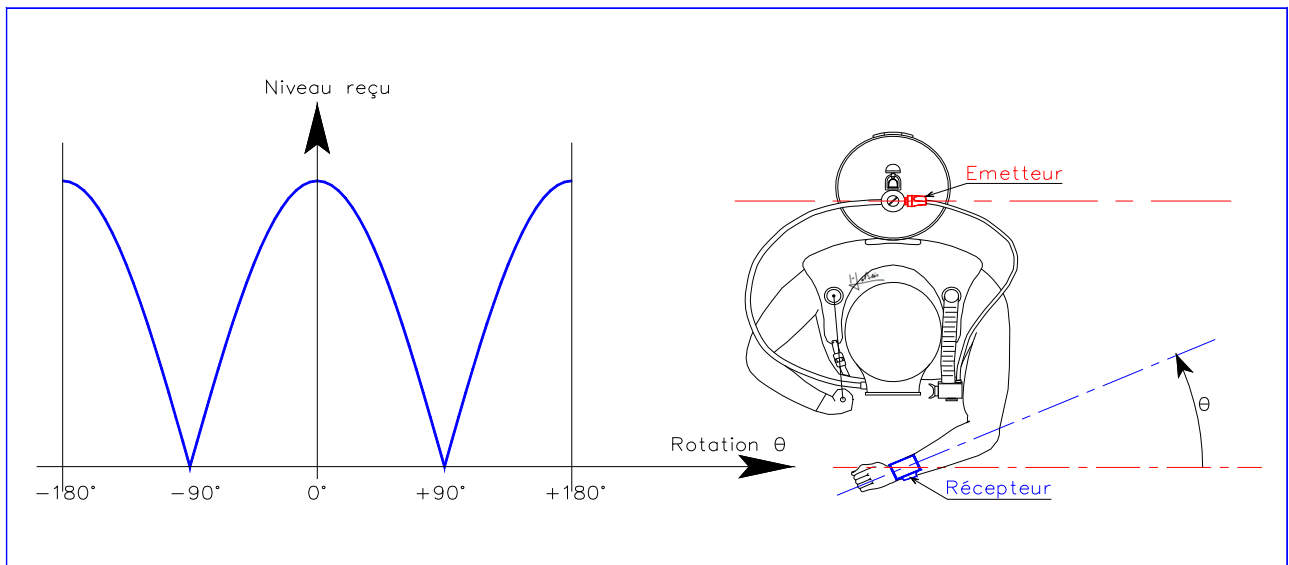
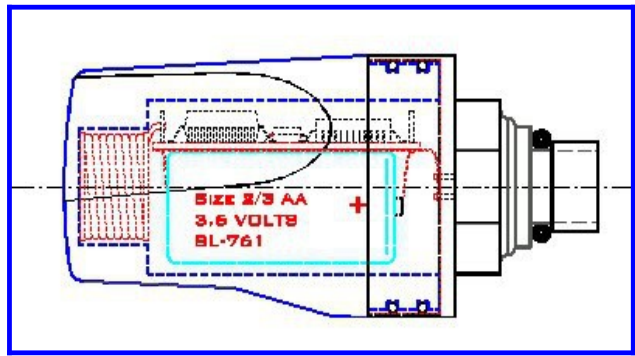
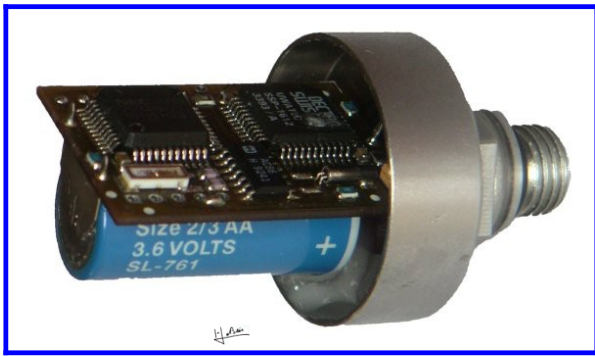


Figure 13 **Position angulaire du récepteur et niveau reçu**
(Au delà de $\pm 30^\circ$ dans tous les plans le niveau décroît rapidement)

Il peut théoriquement y avoir des interruptions de transmission en fonction de l'orientation respective des bobinages d'émission et réception mais pratiquement elles ne sont pas gênantes car elles n'affectent qu'un angle très faible et ne peuvent être que de courte durée.

La figure de gauche ci-dessous montre la photo de l'émetteur hors de son boîtier tandis que sur le dessin de droite on peut voir à gauche la position du bobinage de l'émetteur dans l'axe du boîtier.



Le bloc émetteur fixé sur la sortie H.P. du détendeur comporte un capteur Haute Pression et un capteur de température.

Les signaux qui en sont issus passent dans un circuit de mise en forme puis sont traités par un microprocesseur spécialisé avant d'être envoyés vers l'émetteur d'ondes magnétiques basses fréquences.



Récepteur du Monitor III

Sur la photo ci-dessus, on distingue parfaitement le bobinage du récepteur sur son barreau de ferrite. Celui-ci concentre les lignes de forces du champ magnétique pour augmenter le signal reçu.

L'axe de ce barreau doit être parallèle à l'émetteur pour obtenir le maximum de niveau. Les figures 12 et 13 sont suffisamment explicites pour répondre aux questions des plongeurs sur la meilleure position relative à utiliser entre l'émetteur et l'ordinateur.

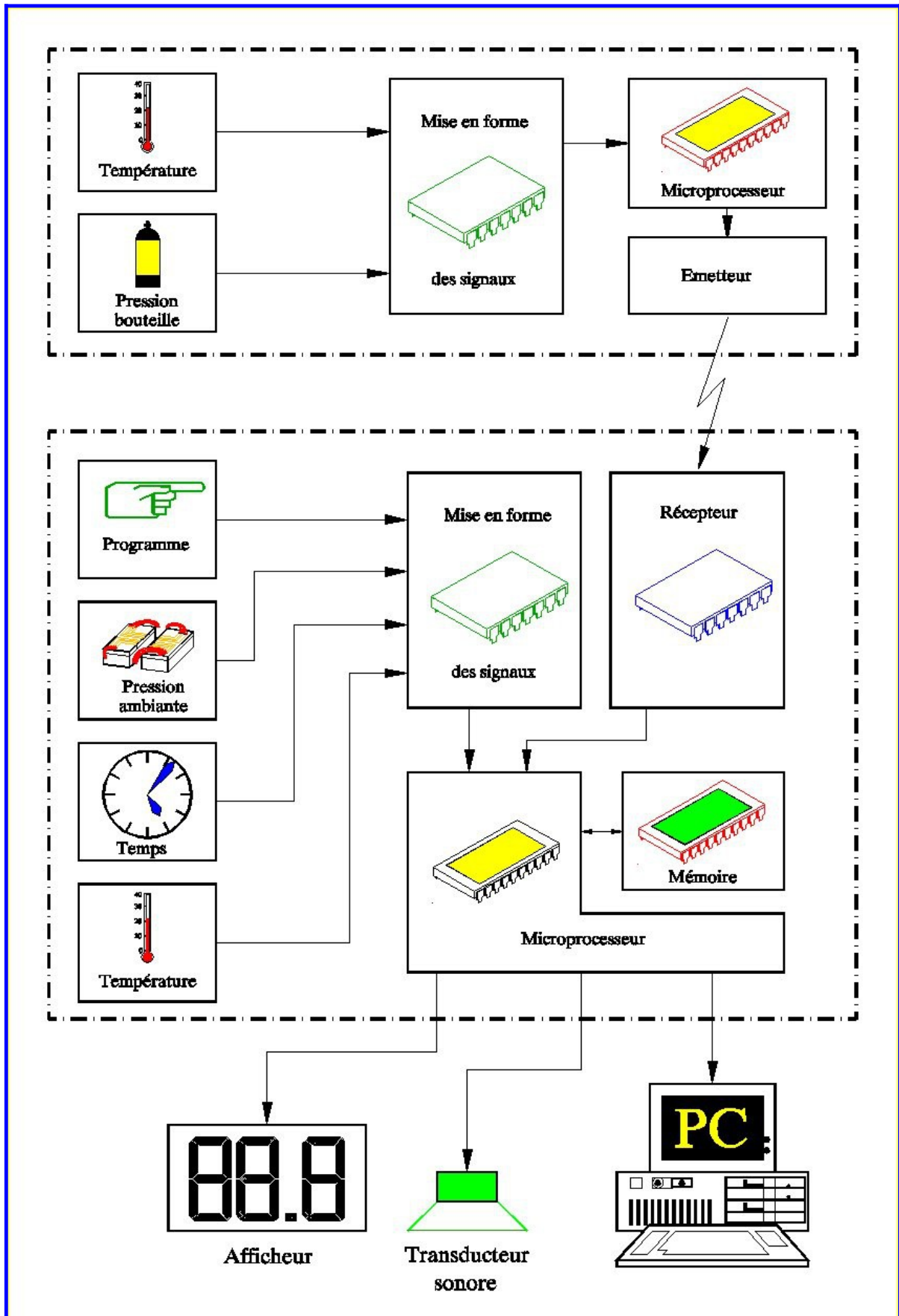
Dans le boîtier, qui se porte au poignet, le récepteur capte ces signaux et les envoie vers le microprocesseur principal. Les informations pression et température ambiantes sont envoyées vers un circuit de mise en forme, similaire à celui de l'émetteur, puis vers un véritable microcontrôleur qui reçoit aussi le temps et le programme de calcul.

La mémoire vive stocke les informations variables tandis que celles qui doivent être fournies au plongeur sont envoyées à l'affichage et au transducteur sonore.

Dans la vue ci-dessus on peut voir l'intérieur du "Monitor III" qui fut le premier ordinateur, sans fil, commercialisé en France.

La figure du « Bloc diagramme de l'Aladin AIR-X » ci-dessous nous a été aimablement communiquée par la société Dynatron. Elle montre le bloc diagramme d'un tel appareil à couplage inductif.

Malgré son encombrement un peu gênant, son écran de grande dimension présentait un grand intérêt car il était facile à lire et aussi à faire lire en immersion par d'autres plongeurs.



Bloc diagramme de l'Aladin AIR-X

Les données recueillies peuvent être exploitées par un ordinateur personnel (À condition de disposer de celui-ci et du système d'interface associé dont le coût n'est pas négligeable).

Cette disposition est commercialisée sous des présentations différentes par :

Marès : sous le nom de "Génius".

Uwatec : sous le nom de "Aladin AIR X".

Suunto : sous le nom de "Vytec".

Appairage

Il est indispensable pour éviter les interférences entre les appareils

En usine

Le récepteur est calé sur l'émetteur une fois pour toutes en usine. On ne peut changer l'un des éléments sans changer l'autre. (Cette solution à pratiquement disparue)

Automatique

Après un arrêt ou une interruption de la liaison, le récepteur vient se caler automatiquement sur l'émetteur le plus proche. Il faut pour cela qu'il soit à proximité immédiate de l'émetteur. Quand celui-ci s'arrête ou s'éloigne de trop, le récepteur garde le code en mémoire pendant un certain temps.

Cette disposition permet de changer de scaphandre sous l'eau, à condition que l'autre aussi soit équipé d'un émetteur. Ceci peut présenter un intérêt pour les plongées où l'on est amené à changer de bouteille.

Manuel

Il consiste à mettre le récepteur dans une fonction qui permet d'enregistrer le code de l'émetteur placé à proximité. Ce code est conservé en mémoire jusqu'à un nouvel appairage sur un autre émetteur.

Ces codes ont quelques dizaines de milliers de combinaisons et sont suffisamment complexes pour que les chances d'interférences soient faibles (Voir Uwatec). On peut donc changer l'un ou l'autre des éléments.

Sources d'énergie

Unique

Il n'y a qu'une seule pile ; c'est le cas le plus fréquent. Utilisée conjointement avec une alarme sonore puissante et un éclairage d'écran, l'autonomie risque d'être réduite, surtout en cas d'alarmes fréquentes. Par exemple, si les contacts s'établissent accidentellement dans un sac de plongée humide.

Multiples

Peu utilisées, elles sont cependant avantageuses car elles permettent de séparer les alimentations de l'éclairage ou du transducteur sonore de celle du microprocesseur et de l'affichage. Ceci préserve les informations essentielles. On peut ainsi avoir à la fois une autonomie et une puissance sonore suffisante sans risque de se retrouver en panne complète au moment où l'alarme fonctionne ou que l'éclairage interne s'allume (Voir le "Jolly" de chez Sporasub).

Rechargeables

Pour éviter de changer les piles on préfère parfois utiliser des batteries. C'est une bonne solution mais elles doivent être de bonne qualité, par exemple au Lithium-Ion. La recharge est toujours une opération délicate.

Interchangeables

Il est parfois possible de changer soi-même les piles. Ceci peut sembler avantageux mais il faut aussi prendre en considération le fait que ce n'est pas toujours facile pour un non-spécialiste ; il y a risque d'erreur et de perte d'étanchéité.

Envoyer l'appareil en usine pour cette opération prend du temps. Par contre cela donne l'occasion de lui faire subir une calibration et une vérification complète.

Lorsqu'on les remplace, il faut respecter un temps maximum sans piles. Au-delà on risque de perdre les informations enregistrées. Les piles soudées sont préférables aux piles à contacts par pression, mais sont plus difficiles à remplacer. Il faut évidemment toujours en avoir en réserve.

De secours

Les Maestro Pro possèdent une pile de secours de faible capacité qui permet de préserver les informations essentielles pendant l'échange des piles principales.

Autonomie électrique et durée de vie

Une pile est caractérisée par sa tension mais surtout par sa "Capacité", qui lorsqu'elle est neuve s'exprime en "Ampères/heure". L'autonomie est la durée restante de fonctionnement possible. Elle est égale à la capacité restante divisée par le courant consommé.

Elle dépend beaucoup des astuces et des moyens technologiques utilisés car la consommation est variable ([Voir réduction de la consommation d'énergie](#)). Le fabricant indique l'autonomie maximum, en %, en années, en heures d'utilisation ou en nombre de plongées. Certains appareils la calculent avec une bonne précision mais ce n'est pas toujours le cas.

La durée de vie est le temps que met la source à perdre toute son énergie utilisable sans utilisation, c'est-à-dire en auto-décharge. Elle dépend du type de source utilisée :

- pile au lithium : 7 ans.
- pile au mercure : 5 ans.
- accumulateurs au lithium : 12 mois (mais ils sont rechargeables et ont une durée effective de vie de 10 à 12 ans).

Attention :

La durée de vie d'une pile est fonction d'un certain nombre de facteurs :

- Qualité de la pile et son fabricant.
- Âge avant mise en service.
- Date de l'installation.
- Nombre d'alarmes et durée.
- Température.

L'autonomie peut ainsi être réduite d'une façon significative en raison du stockage avant la mise en service ou aux basses températures.

- lorsqu'un appareil utilise plusieurs piles et que l'une d'entre elles est défectueuse il est nécessaire de les changer toutes ensemble, sauf évidemment la pile de secours intégrée.

- On notera que les écrans couleurs sont énergivores. Leur autonomie électrique est limitée et nécessite de changer facilement la pile ou de pouvoir recharger l'accumulateur. (Souvent par une prise USB) En général l'appareil se manifeste par une alarme qui permet encore de réaliser quelques plongées avant la panne.

Il est important d'avoir toujours sur soi une pile d'avance ou un moyen et le temps de recharger l'accumulateur avant une série de plongées.

Accessoires

Protection de l'écran

On trouve en accessoire des protections d'écrans, pour pratiquement tous les appareils du marché. Depuis quelque temps beaucoup d'appareils sont d'origine équipés de protection renforcée.

Loupe

Sur certains écrans, il est possible d'adapter une loupe de façon à augmenter la lisibilité.

Interface PC

Il s'agit d'un logiciel qui permet de transférer le contenu de la mémoire de votre appareil dans celle d'un Ordinateur de bureau. Il nécessite en plus un câble spécial qui est souvent équipé d'une protection pour empêcher le piratage.

Mémoire tampon

Lorsqu'on effectue un grand nombre de plongée, il n'est pas toujours possible de vider la mémoire de l'appareil dans celle d'un PC. Une mémoire tampon, de dimension très réduite, le "Mémo mouse" de chez Uwatec permet de stocker jusqu'à 66 plongées sans avoir besoin d'un PC. Bien sûr cela a un coût supplémentaire.

Documentation

La documentation et la réglementation :

La documentation est un élément important. C'est d'elle dont dépend la bonne utilisation de l'appareil. Elle doit comprendre :

Une description de l'instrument.

- Modèle sur lequel il est basé.
- Façon de le porter, de l'installer, de changer les piles.
- Description de l'écran, de ses différentes indications et de la manière d'y accéder.

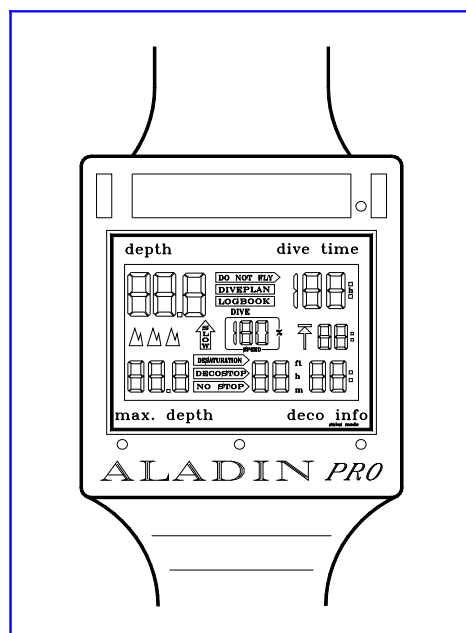


Figure 15 *L'Aladin Pro*

Une description précise de ses contraintes et limites d'utilisation.

Règles générales: Rappel et recommandations pour l'utilisation de l'appareil. Mélange respirable pour lequel il a été conçu.

- *Règles particulières :*

Contraintes liées à l'initialisation, au passage en pré-alarme et en alarme définitive, description claire des conditions de passage en alarme et des conduites à tenir.

- *Présentation des limites d'utilisation :* Profondeur et durée maximum de plongée, profondeur et durée maximum de la décompression, vitesse de remontée, courbe de sécurité, température maximum et minimum de stockage et d'utilisation, altitude maximum etc.

- *Règles de maintenance préventive et de révision périodique.*

- *Une énumération de toutes les caractéristiques chiffrées.*

Précision et résolution en profondeur, en temps, en pression bouteille. Temps de latence, cadence d'échantillonnage, seuils d'immersion et d'émersion, vitesses de remontée, autonomie électrique, contenu et capacité de la mémoire en heure ou en nombre de plongées, etc.

- *Une énumération de toutes les fonctions et de la façon de les utiliser.*

Mode d'accès à la mémoire, à la simulation, à la configuration, à un PC.

Une fiche d'utilisation résumée.

Il est souhaitable que la documentation détaillée soit complétée par un document plus succinct. Celui-ci doit rappeler les règles essentielles d'utilisation de l'appareil utilisables par une tierce personne. (En cas d'accident par exemple)

Il doit se présenter sous forme d'une fiche plastifiée, très lisible, facile à emporter dans le sac de plongée, solide et résistant à l'eau. Il doit éventuellement pouvoir être emporté sous l'eau, comme une table de plongée immergeable, pour les plongées très techniques.

Ces appareils devraient être accompagnés d'une fiche d'étalonnage. Ceci ne semble cependant pas prêt de passer dans les mœurs...

Le futur est-il déjà là ?

Les fabricants face à la concurrence essaient d'innover en particulier en offrant une pléthore de nouvelles fonctions dont les utilisateurs n'ont pas l'usage à 80 %. Pour faciliter l'utilisation de leurs ordinateurs, ils essaient parfois mais pas toujours avec succès de rendre leur usage le plus simple et le plus intuitif possible.

Certains modèles dits « Multi fonctions », en plus des fonctions en plongée peuvent en surface être connectés, indiquer votre position GPS, votre parcours, l'altitude etc.

Parmi les modèles haut de gamme pour la plongée, nous avons noté :

L'i750TC d'Aqualung : Écran couleur - Décompression à l'air, au nitrox - Plongée libre en profondimètre simple, eau douce ou eau de mer, en altitude, ... Plongée multi gaz, paliers profonds, gestion d'air sans fil, une boussole 3 axes avec verrouillage du cap et cap inverse.

Autonomie électrique de 12 à 16 plongées.

Le Galiléo 2 de Scubapro

Écran couleur - Décompression à l'air, au nitrox – Affichage sur un smartphone...

Descent MK1 de Garmin

L'ordinateur multisport le plus complet qui soit.

GPS – Altimètre – Boussole 3 axes – Topographie Europe – Fréquence cardiaque – Durcissement – 40h en mode plongée – Profondeur 100m (Norme EN 13319) Mais, il lui manque une des fonctions les plus importantes la gestion de l'air et pourquoi pas la parole !



Le Garmin Mk1

Enfin une création récente remarquable

Le **Scuba Capsule**, un iPhone dans un caisson étanche avec toutes les fonctions d'un ordinateur de plongée haut de gamme plus la photo et la vidéo et bien d'autres choses encore...

Étanche à 150m - Coût 1000 €...(2019)

Pour le moment compatible uniquement avec un iPhone.



**L'année 2023 à vu la sortie d'un nouvel ordinateur de plongée original.
Il s'agit de la montre connectée "Apple Watch ULTRA2 OCEAN"
*Est-ce un réel progrès ou un gadget ?***

Il est difficile de décrire cet instrument aux multiples fonctions. Voir ci-dessous les caractéristiques dont certaines ne correspondent pas aux pratiques de la plongée française de loisir.

On remarquera la présence d'un capteur oxymétrique dont
*On notera dans le support ci-dessous les nombreuses réserves
quant à son utilisation (Notamment en plongée)*



Caractéristiques techniques

https://support.apple.com/kb/SP906?viewlocale=fr_MA&locale=fr_MA

On note que la précision des mesures n'est pas associée aux valeurs limites indiquées
Bien que son écran soit très lumineux, ses cimentions ne se prêtent pas à la plongée

À la fin, on notera l'importance des réserves quant à son utilisation

Un tel instrument nous laisse présager de l'évolution future des ordinateurs de plongée. Verra t-on de nouveaux algorithmes utilisant plus ou moins le taux d'oxygène pour améliorer les procédures de décompression ?

Est-il encore trop tôt pour le dire !

Revoir "[Perspectives futures](#) - page 41"

Oceanic+ imagine un boîtier pour filmer les fonds marins avec son iPhone

OCEANIC^{+app}

<https://www.igen.fr/accessoires/2023/09/oceanic-imagine-un-boitier-pour-filmer-les-fonds-marins-avec-son-iphone-en-toute-securite-139029>



• [Livre d'or](#)



- COMPARAISON TABLES / ORDINATEURS -

Table des matières détaillée

Généralités

Vérification en caisson

Avantages des ordinateurs de plongée

Inconvénients des ordinateurs de plongée

Généralités

On a souvent tendance à comparer les tables et les ordinateurs de plongée. Ceci n'est pas chose aisée car il s'agit de deux modes de décompression très différents en pratique. Il est important en premier lieu de savoir que certaines définitions ne sont plus applicables. En effet la "durée de la plongée" avec les tables est la durée qui sépare le moment d'immersion du moment où l'on décide de remonter ; elle résulte d'une décision du plongeur (Voir figure 16 ci-dessous).

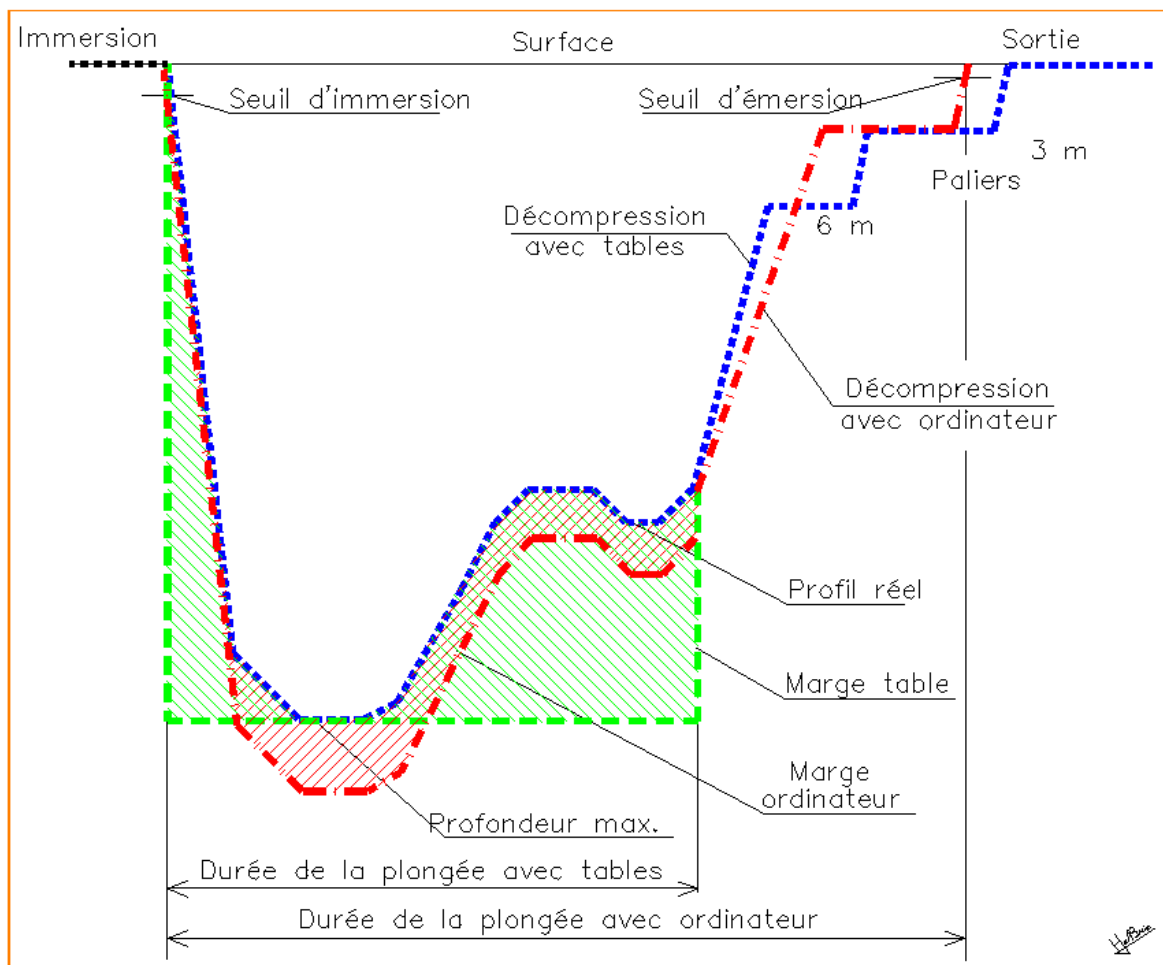


Figure 16 Marges en profil variable

Nous avons vu, au chapitre V, que dans les ordinateurs de plongée le passage au seuil d'immersion et d'émersion était enregistré comme début et fin de la plongée. En conséquence, pour ces appareils, la durée de la plongée est remplacée par la durée d'immersion qui est celle qui sépare le franchissement de ces seuils.

La durée de la remontée ainsi que celle des paliers constitue la décompression. Elle est incluse dans la durée de la plongée. C'est cette dernière que vous lisez, à la sortie de l'eau, sur l'écran de l'appareil. Elle est mise automatiquement en mémoire avec la profondeur atteinte. Une incursion à une profondeur plus faible que le seuil d'immersion n'est pas considérée comme une plongée.

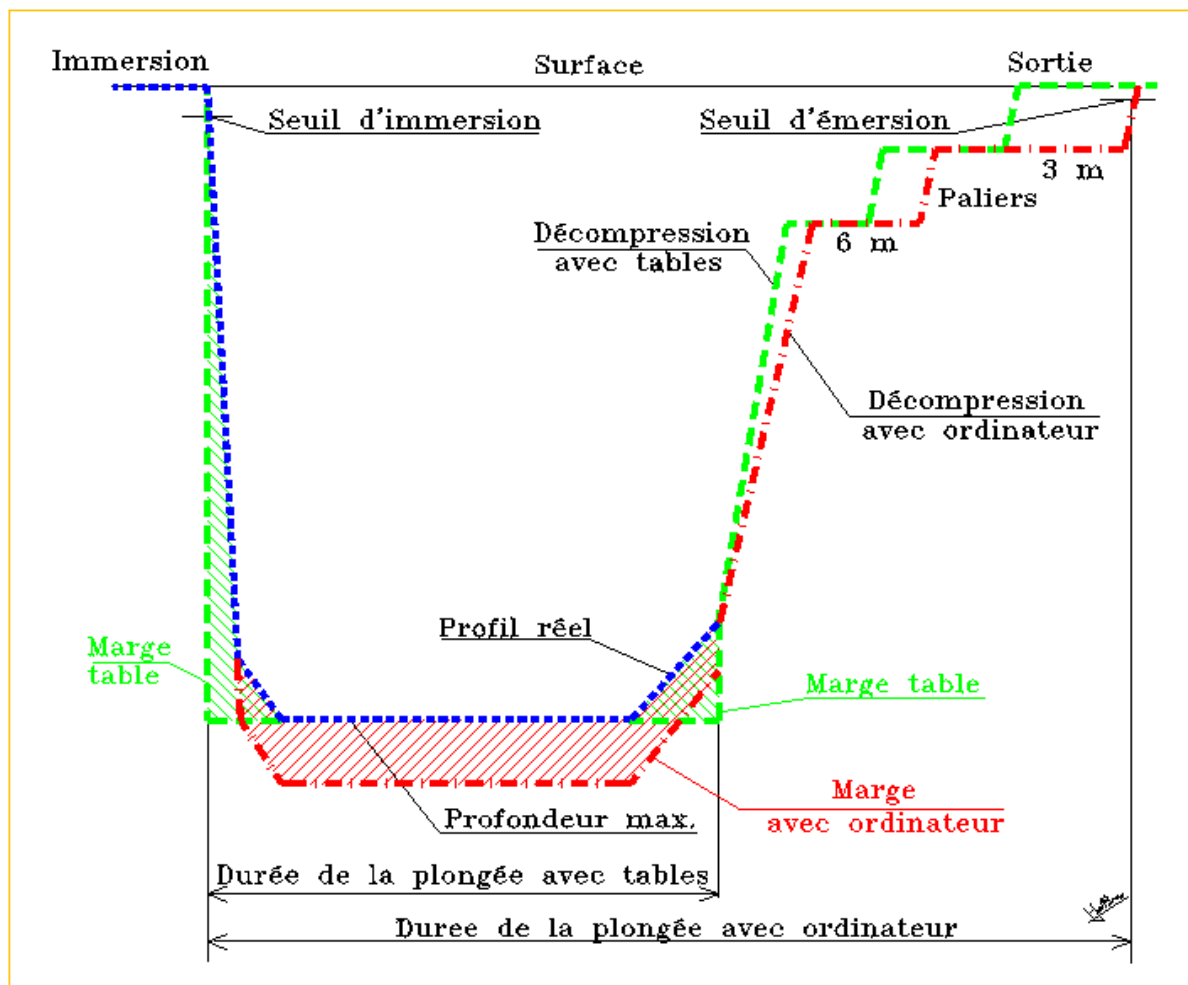


Figure 17 *Marges en profil rectangulaire*

Contrairement à ce qui se passe avec les tables, la procédure de décompression n'est pas déterminée par la profondeur maximum atteinte et la durée totale de la plongée (profil rectangulaire). Vous ne devez donc considérer ces valeurs que comme des informations intéressantes, à reporter pour mémoire dans votre carnet de plongée.

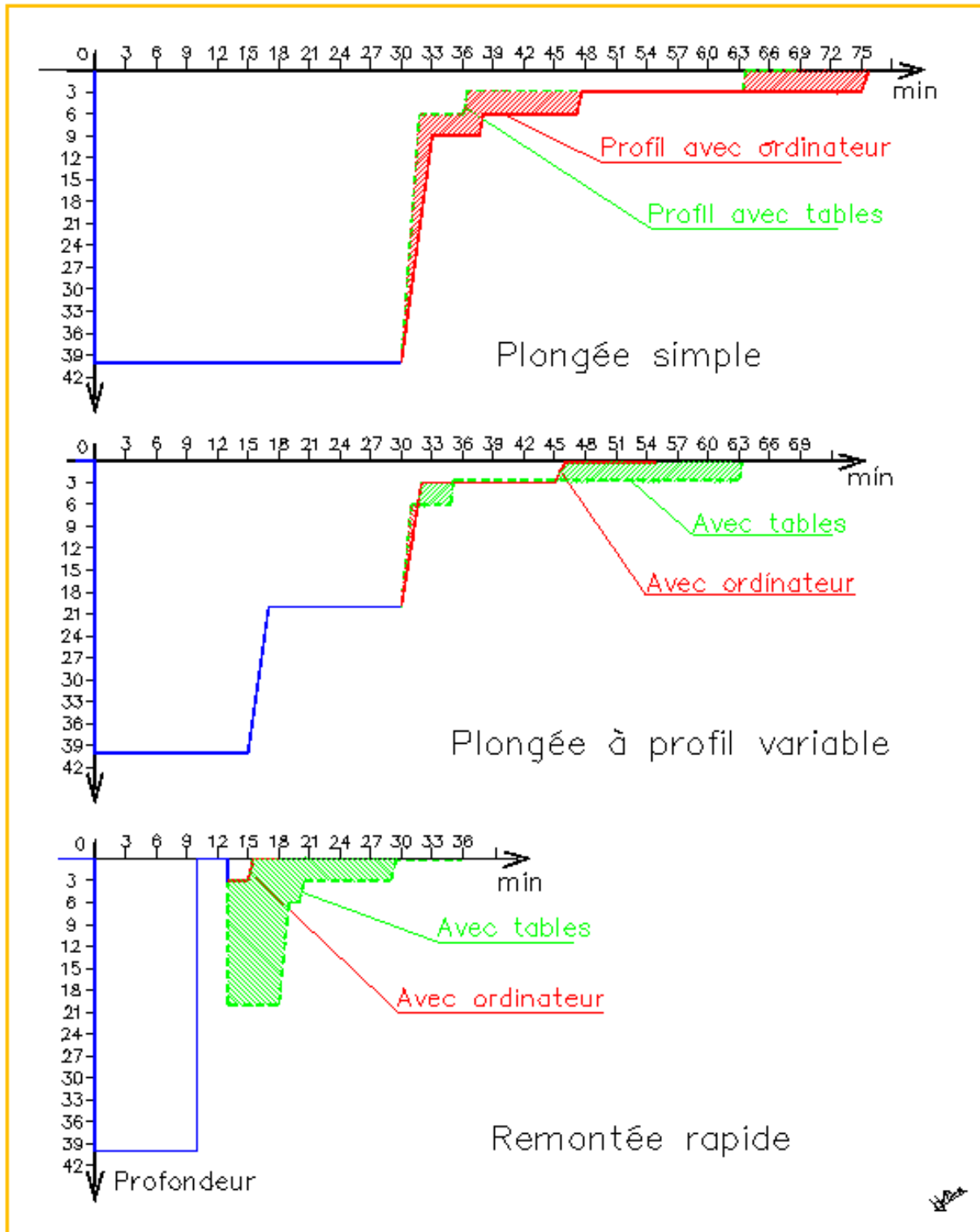


Figure 18 *Comparaison Tables MN90/Ordinateurs UWATEC*

En comparant les figures 16, 17 et 18 ci-dessus, vous pouvez voir que, suivant le profil de la plongée l'ordinateur peut imposer davantage ou moins de paliers que les tables. Lorsque le profil se rapproche d'un rectangle, les paliers à faire avec un ordinateur augmentent et arrivent même à dépasser ceux demandés par les tables.

Vérification en caisson

Le contrôle du capteur qui nous indique la profondeur et la pression qui permet de gérer la décompression est très important. Le caisson de la figure 19 nous a servi pendant de nombreuses années pour tester les ordinateurs aussi bien que les profondimètres. Il est très précis et il n'a pas besoin d'air comprimé. L'appareil de mesure peut-être remplacé par un ordinateur de référence placé dans le caisson. Il devra cependant être vérifié régulièrement.

Les résultats théoriques sont confirmés par la figure 18 qui montre des relevés pratiques effectués dans le caisson avec des appareils du commerce. On y voit la différence de résultat que l'on obtient pour deux plongées de 30 minutes à 40 mètres, l'une avec la totalité du temps à 40 mètres l'autre avec la moitié à mi profondeur.

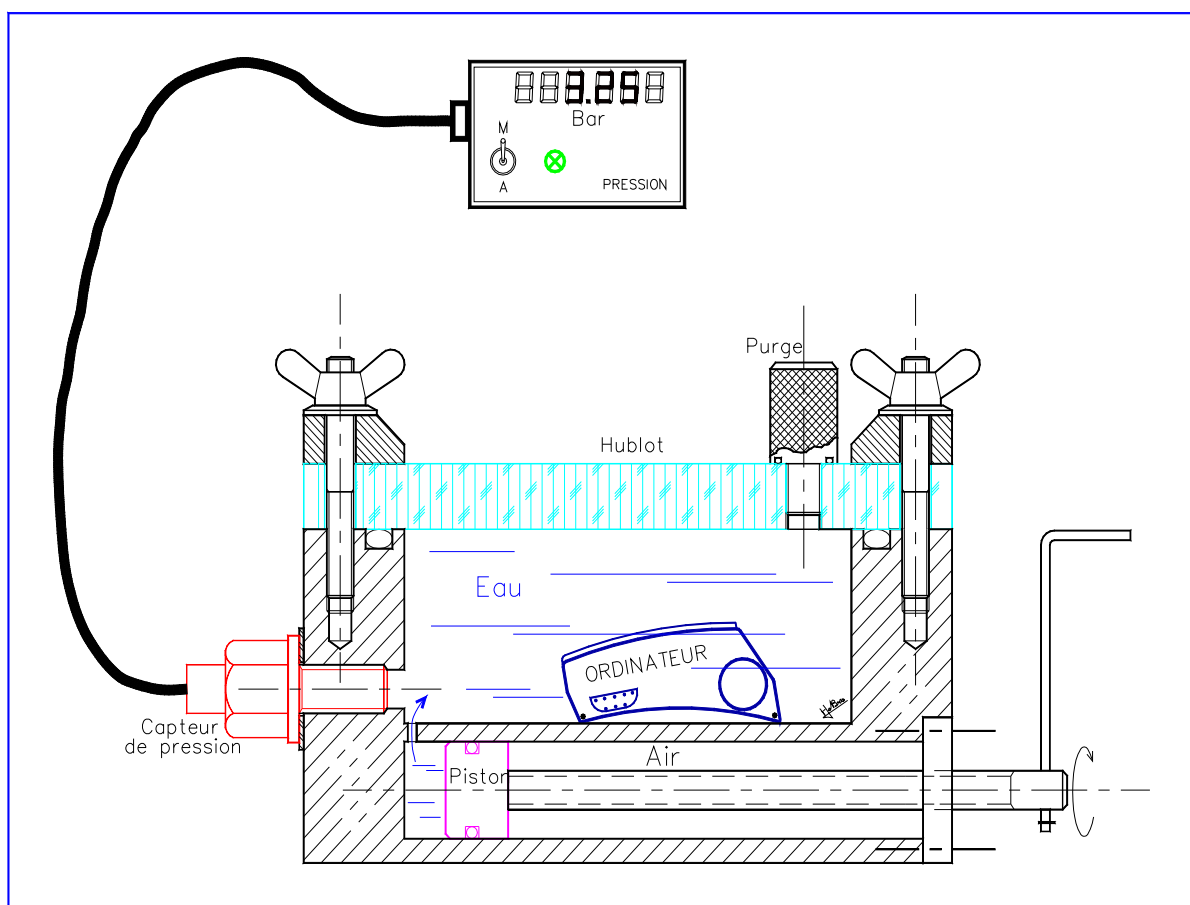


Figure 19 *Caisson de test pour ordinateur*

Vous voyez aussi qu'avec un facteur de risque comme la remontée rapide, certains appareils ne proposent pas de procédure adaptée. Les tables sont alors plus sécurisantes, il y a donc lieu d'utiliser leur procédure. La comparaison dépend aussi, bien entendu, du modèle de tables utilisées. Nous avons choisi les MN90 parce que ce sont celles enseignées par la FFESSM.

Un paramètre qui est souvent utilisé pour comparer les systèmes de décompression est leur courbe de sécurité. La figure ci-dessous montre que les courbes de sécurité des ordinateurs sont plus sécurisantes que celle des tables pour les faibles profondeurs en profils rectangulaires.

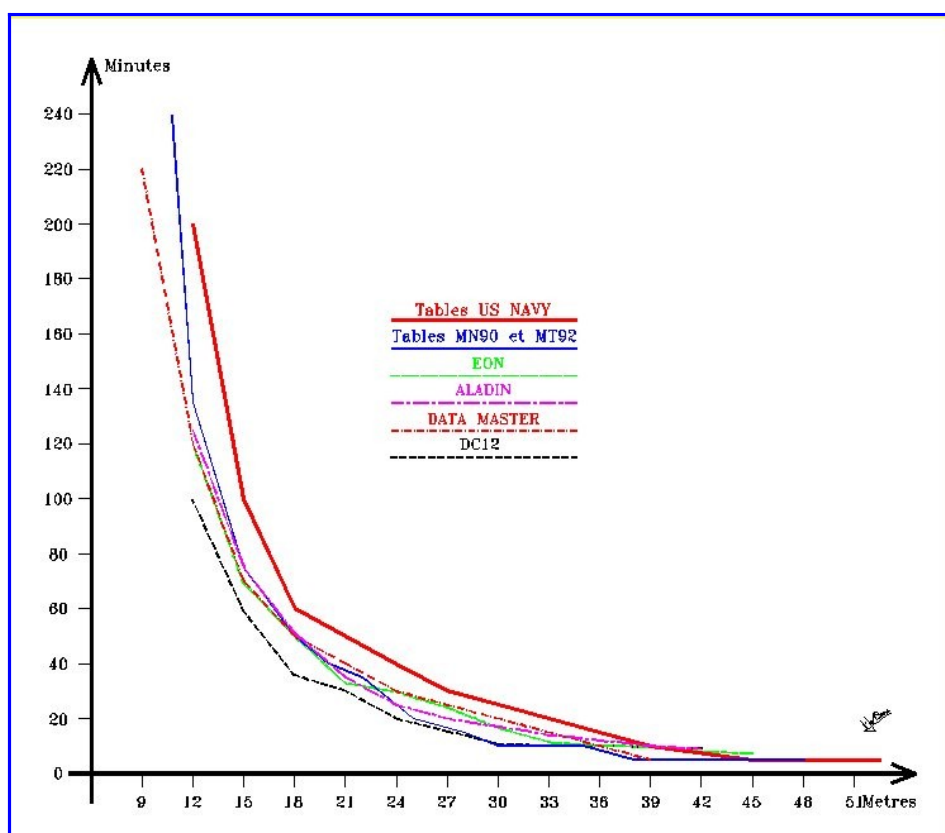


Figure 20 *Courbes de sécurité : Tables/ordinateurs*

Il semble que, pour une utilisation dans des conditions normales, la probabilité d'accident n'est pas très différente entre les tables et les ordinateurs de plongée. Par ailleurs, l'augmentation de la durée de décompression n'est pas le remède universel à la réduction des accidents.

Pour obtenir une amélioration significative, il faut surtout prendre des marges de sécurité en présence de facteurs de risque. C'est ce qui se fait automatiquement dans les « [Appareils adaptatifs](#) ».

Avantages des ordinateurs de plongée

La procédure de décompression est déterminée en prenant en considération le profil réel de la plongée, donc des quantités d'azote estimées plus précises, avec bien entendu une marge de sécurité raisonnable.

Dans les figures 16,17 et 18, les parties hachurées, en deux sens différents, montrent les marges prises pour les tables et pour les ordinateurs. Avec les tables, on considère que le plongeur a passé la totalité de la plongée à la profondeur maximale atteinte, ce qui est rarement le cas.

- Il en résulte que les ordinateurs de plongée ont une marge de sécurité à peu près constante alors que les tables ont une marge essentiellement variable en fonction du profil.
- Les ordinateurs autorisent généralement, pour des durées de décompression équivalentes, des durées d'immersion plus importantes. Ceci, parce qu'ils optimisent la décompression en fonction des différentes profondeurs où le plongeur s'est trouvé et donc éliminent les marges "inutiles" ... imposées par les tables.
- Ils sont d'une utilisation plus facile et limitent les erreurs de lecture.
- Ils permettent, que ce soit en immersion, en surface ou en altitude, de tenir compte automatiquement de toutes les variations de pression auxquelles le plongeur est soumis. Ils permettent ainsi, d'éviter des corrections et des calculs fastidieux qui peuvent être source d'erreur.
- La vitesse de remontée est contrôlée de façon rigoureuse.
- La profondeur de décompression est moins critique qu'avec les tables. Celle-ci peut être effectuée dans une zone en dessous de la *profondeur plafond*, ou du *palier*, avec une marge plus large que celle imposée par les tables. La procédure étant recalculée en permanence il est possible par exemple de terminer une décompression à 6 mètres au lieu de 3 si l'état de la mer ne permet pas de faire de palier à cette profondeur.
- Le facteur humain a moins d'importance qu'avec les tables (Il ne faut cependant pas le négliger).
- Lorsqu'ils en sont équipés, les alarmes acoustiques libèrent le plongeur du souci de consulter fréquemment l'affichage. Ceci est important, surtout dans les situations critiques.
- Ils prennent en compte l'ensemble des tissus et non un seul pour le calcul des plongées successives durant l'intervalle de surface.
- Certains appareils donnent, après la plongée, une indication de l'exposition sous forme numérique ou analogique (Datamax). Ceci permet de comparer le degré d'exposition de différents plongeurs, même s'ils ont effectué des profils de plongée diffé-

rents. Ceci est utile, au moment de la remontée pour surveiller la décompression et aussi pour former les palanquées avant une plongée successive. (Seulement après un certain intervalle)

- Les mesures de temps et de profondeur sont très précises, beaucoup plus qu'avec les appareils mécaniques que l'on trouve encore sur le marché.
- Ils utilisent souvent, un grand nombre de compartiments ce qui leur permet de mieux se rapprocher du modèle de notre organisme.
- Quelques uns d'entre eux utilisent des compartiments très longs, jusqu'à 640 minutes ce qui leur permet de mieux prendre en compte les plongées sur de longues périodes.
- Certains permettent de tenir compte de la présence probable de micro-bulles en fonction du profil de plongée ce que ne permettent pas les tables.
- Ils fournissent, en surface, de nombreuses informations complémentaires qui sans être toujours indispensables peuvent être utiles au plongeur. Les ordinateurs permettent un nombre infini de profils de plongées à l'intérieur de certaines limites ; par contre les tables n'offrent souvent que quelques dizaines de plongées en dehors desquelles il faut extrapoler.

Ceci augmente statistiquement la sécurité de ces dernières mais augmente parfois considérablement les contraintes de décompression et le risque d'erreur.

Il est facile, arguant du fait que les tables imposent des marges importantes, de dire qu'elles sont plus sécurisantes. En fait en aucun cas les tables ne peuvent s'adapter aux plongées Yo-Yo, aux vitesses de remontées anormales, aux variations d'efforts au fond... Les tables donnent ainsi l'illusion d'une sécurité supérieure. Les ordinateurs, petit à petit élimineront ces inconvénients alors que les tables ne peuvent évoluer que peu dans ce sens.

Ces appareils bénéficient aujourd'hui d'une énorme expérience accumulée en de nombreuses années dans le monde entier.

Inconvénients des ordinateurs de plongée

Dès leur apparition, ces appareils ont fait l'objet de vives critiques parfois supposées. Ils semblaient moins fiables que les tables. De mauvaises utilisations ont même provoqué des accidents. Aujourd'hui, ils sont unanimement adoptés et leurs mérites reconnus. Il reste néanmoins des précautions à prendre. L'enseignement de leurs limites est très important.

Les utilisateurs non avertis ont une confiance aveugle en ces appareils qui appliquent des théories encore lointaines de la plongée pratique. C'est souvent l'exploitation exagérée de leurs avantages théoriques qui conduit à des accidents.

- Leur principal inconvénient était, pour la plupart d'entre eux, de ne pas bien tenir compte de certains facteurs de risque ou de certains profils de plongée et en particulier des remontées trop rapides ou trop fréquentes avec des intervalles courts (décrochage de l'ancre par exemple). Or nous savons que ces profils accompagnent souvent les accidents. Il faut cependant reconnaître que ces dernières années, ils ont fait beaucoup de progrès.

- Un autre inconvénient, important, est qu'ils n'imposent pas toujours ou ne suggèrent pas de procédures de rattrapage lorsque celles qu'ils préconisent n'ont pas été suivies.

Qui peut en effet prétendre qu'il ne se trouvera jamais, malencontreusement, dans une situation critique à la suite d'une erreur ou d'une imprudence ? A chaque fois qu'une alarme a eu lieu, ils devraient proposer ou imposer systématiquement une mesure de sauvegarde même empirique. (*Attention : Ne pas en abuser*)

Un certain nombre d'entre eux s'arrêtaient complètement en cas d'erreur ou lorsque certaines limites étaient dépassées.

- Leur automaticité risque de provoquer un relâchement dangereux de l'attention. Il est donc toujours recommandé, en secours, de planifier les plongées et particulièrement la consommation d'air.

- Ils ne devraient être utilisés que par des plongeurs parfaitement encadrés ou ayant suivi une formation sérieuse. Ce ne sont pas des appareils magiques que l'on peut utiliser sans précaution.

- La liberté qu'ils procurent a tendance à réduire la cohésion des palanquées et, au sein de celles-ci, de marginaliser les plongeurs qui sont équipés de moyens de calcul de décompression différents.

Les fabricants ne donnent aucune spécification sur les points suivants :

- Leur probabilité d'accident, estimée pour le modèle mathématique utilisé ;
- Leur fiabilité qui s'exprime par la durée moyenne estimée entre pannes (MTBF) ou leur intégrité qui est la probabilité qu'ils puissent donner une indication fautive alors qu'ils semblent bien fonctionner. De plus nous n'avons aucune information sur leur résistance aux chocs ou aux vibrations pas plus que sur le plan qualité utilisé pour leur fabrication. (Tout cela viendra un jour)

Il n'existe pas encore de normalisation complète de ces appareils. Seules quelques fonctions comme les mesures du temps et de profondeur sont normalisées (Norme EN13319).

Elle pourrait porter sur les dimensions et la nature des symboles utilisés. Cela apporterait une sécurité accrue et faciliterait la formation. On a normalisé les signes de plongées, pourquoi ne pas le faire pour les symboles des instruments. (*Au moins pour les plus importants*)

Remarques :

- Une critique souvent exprimée est que, si un plongeur suit les indications de son calculateur, il a toutes les chances de sortir de l'eau avec un coefficient de sursaturation limite donc avec une probabilité d'accident élevée. **Ceci est faux.** En effet, avec un ordinateur de plongée, *le plongeur se tient à la limite de la marge de sécurité choisie par le fabricant et non pas à la limite de la sécurité elle-même.*

- Tous les fabricants, tirant parti de l'allongement des plongées à niveau variable, réalisent un compromis entre les avantages de ce type de plongée et les inconvénients de celles à profil rectangulaire. Pour cela ils diminuent les coefficients de sursaturation critique ce qui augmente les marges de sécurité.

- On le constate facilement en remarquant que pour des plongées à profil rectangulaire, ils imposent généralement des décompressions plus longues que les tables (Voir et comparer les figures 16, 17 et 18). (On peut cependant parfois douter de théories qui proposent des plongées sans palier qui, suivant les modèles, varient de 9 à 23 min pour une profondeur de 30 mètres).

- En pratique un ordinateur donne très souvent des décompressions plus courtes que les tables parce qu'il est rare qu'une plongée soit parfaitement rectangulaire et que les paramètres utilisés pour les tables ne soient pas arrondis à des valeurs supérieures.

- On peut cependant dire qu'avec les tables c'est l'enveloppe qui a été expérimentée, pas les profils parfois fantaisistes qui y sont inscrits. Ce qui faisait dire que les tables étaient plus sûres c'est qu'elles n'étaient pas souvent utilisées à la limite de leurs possibilités.

Il faut noter que l'efficacité d'une table ou d'un ordinateur, en terme de probabilité d'accident est très difficile à établir. Nous ne disposons pas de moyen de mesure efficace.

- Chaque plongée avec ordinateur est une plongée inédite mais qui s'ajoute aux précédentes. Nous devons donc utiliser les banques de données existantes qui se développent au fil des années. Il faut aussi croire que nos chercheurs et nos fabricant travaillent sans arrêt pour améliorer notre sécurité sans toutefois oublier que le risque zéro n'existera jamais car nous sommes tous différents.

- Quelques critiques ci-dessus peuvent apparaître bien négatives. Nous devons néanmoins faire remarquer que la plupart des problèmes évoqués ici existaient autant avec les tables qu'avec les ordinateurs. Les inconvénients des ordinateurs devraient s'atténuer sinon disparaître avec le temps. Ceux des tables non !

- Si nous avons insisté sur certains de ces inconvénients c'est que ces appareils ont une durée de vie qui peut dépasser largement 10 ans. Les premières générations resteront sans doute en circulation pendant de nombreuses années.

Il y a lieu d'être prudent quant à l'utilisation de vieux ordinateurs de plongée.

- Contrairement à une idée reçue, la connaissance des principes de base du fonctionnement des ordinateurs permet de mieux comprendre celui des tables et non pas l'inverse !

- Dans le domaine de la plongée loisir, l'étude des tables, leur utilisation et leur enseignement est de moins en moins nécessaire.

(Pour ne pas dire inutile)

Livre d'or



- LA FORMATION -

Table des matières détaillée

Niveau I

Niveau II

Niveau III

Niveau IV

Que faire si ?

Ordinateurs différents

Panne complète d'un ordinateur

Plongeur en retard à la remontée

Présomption d'accident

En cas d'accident

Les formations théoriques et pratiques

sont les le plus sûr moyens de prévention des accidents.

Devant l'importance du développement de ces appareils, la formation doit se faire au même titre que celle qui se faisait pour les tables, voire davantage.

N'importe quel plongeur peut acheter un ordinateur de plongée ou plonger avec un encadrement qui en est équipé. La formation doit donc se faire à tous les niveaux.

Elle doit commencer par les règles générales de la décompression. (La décompression avec les tables n'est pas nécessairement un préalable si ce n'est pour son historique et pour des cas particuliers comme dans certains cas de plongées techniques.

Pour l'utilisation des différents ordinateurs de plongée, chaque moniteur pourra, en fonction du niveau, puiser dans cet ouvrage et dans les manuels concernés la matière nécessaire à la préparation de ses cours.

Aujourd'hui, tout plongeur peut acquérir un ordinateur de plongée. Il doit donc essentiellement être capable de comprendre le manuel d'utilisation. En cas de difficulté, les moniteurs doivent pouvoir leur venir en aide. Ils doivent donc avoir des connaissances plus approfondies.

Nous ne saurions trop recommander aux utilisateurs de lire et de relire attentivement la notice qui leur est fournie avec chaque ordinateur.

La formation proposée ci-dessous se cumule, bien entendu, d'un niveau à l'autre. Elle peut évoluer dans l'avenir en fonction de l'évolution et de la multiplication des appareils.

Par niveaux

Niveau I

Ces plongeurs étant toujours encadrés n'ont pas besoin d'une formation poussée. Il sera tout de même bon de leur présenter quelques modèles d'appareils et de leur exposer les principales règles applicables aux plongeurs. Ceci, afin qu'ils comprennent les consignes du chef de palanquée, même si à leurs débuts ils ne possèdent pas souvent un tel instrument.

Le niveau I doit être capable d'interpréter les indications de son propre appareil dans le cadre de ses prérogatives (Alarmes - Profondeur présente et maximum - Vitesse de remontée - palier de principe – autonomie électrique et éventuellement autonomie en air) et de respecter les règles de maintenance journalières. (Rinçage, séchage, stockage et transport)

Malgré son appareil, il doit toujours avoir en mémoire la courbe de sécurité sans paliers.

Niveau II

Ils sont amenés à plonger entre-eux et à utiliser ces instruments jusqu'à 40 mètres. Il est souhaitable qu'ils aient une connaissance des principes de base et connaître les différences essentielles avec les tables, surtout s'ils les ont pratiquées.

Mais surtout ils doivent être capables de paramétrer les différentes fonctions et d'interpréter correctement les informations données par leur propre ordinateur en particulier la gestion de l'air et les marges nécessaires. Ils doivent connaître les différentes plongées à risque, surtout si elles ne sont pas gérées par leur propre appareil.

Ils doivent connaître les limites et les risques de leur appareil, être capable de respecter la vitesse de remontée et tenir un palier en l'utilisant. En immersion, le moniteur les familiarisera avec les pré-alarmes de vitesse de remontée et de profondeur plafond qui devront être parfaitement connues.

Des démonstrations par simulations ou en caisson pourront être effectuées.
En cas de panne, ils doivent connaître la conduite à tenir en fonction des circonstances.

Ils doivent suivre les consignes relatives à l'utilisation et à la maintenance de leur appareil.

Niveau III

Ces plongeurs peuvent plonger entre eux en autonomie. Cependant chacun peut prendre la responsabilité de la palanquée. Ils doivent donc avoir une connaissance des consignes correspondant au guide de palanquée ainsi que de l'application des marges de sécurité.

- En présence d'appareils différents, ils doivent être capables de planifier les plongées. Ils devront connaître les principales fonctions des appareils utilisés par la palanquée et l'interprétation des alarmes avec la conduite à tenir. Ils devront savoir interpréter leurs indications dans les cas particuliers. D'où l'utilité de notices simplifiées avec chaque appareil.

- Ils doivent être capables de prendre les mesures qui s'imposent lorsqu'un instrument passe en alarme permanente suite à un non respect de la procédure.

- Ils doivent savoir pratiquer le chaînage pour la navigation au compas en immersion.

Niveau IV (Guide de palanquée)

- Ils sont amenés à faire de l'encadrement ainsi que des stages pédagogiques pour devenir enseignant.

- En encadrement avec l'aide de leur ordinateur, ils doivent être capables de conduire en sécurité des palanquées de plongeurs ayant des ordinateurs différents et parfois faire face à des situations non prévues.

- Pour cela, ils devront avoir une bonne connaissance des définitions de base et des caractéristiques générales des principaux appareils et être capables d'interpréter les indications et surtout les alarmes de plusieurs appareils courant du marché. Toujours l'utilité de notices simplifiées avec chaque appareil.

Remarques générales :

- Le plongeur doit acquérir une utilisation intuitive de son ordinateur en fonction de ses évolutions en profondeur. Au départ il le consultera fréquemment. Avec l'expérience, il s'habitue à remonter à la bonne vitesse, à se stabiliser à la bonne profon-

deur, à respecter la profondeur des paliers et à avoir une idée du temps passé... Mais il devra rester vigilant.

- Sous le prétexte de s'entraîner, il ne faut pas abuser de remontées fréquentes dont les dangers ont été évoqués au début de ce chapitre.

- On parle souvent d'[algorithmes](#) dans les ordinateurs de plongées mais personne ne s'aventure à définir ce terme. Nous proposons donc la définition simplifiée suivante :

- Un algorithme de plongée est une suite de calculs mathématiques et logiques qui, à partir des paramètres de plongée, permettent de déduire une procédure de décompression en tenant compte de l'aspect physiologique moyen de la population des plongeurs. En utilisant les tables, cela se fait manuellement et à la demande. En utilisant un ordinateur de plongée, cela se fait automatiquement.

Que faire si ?

À cette question, tout plongeur devrait avoir une réponse. Le sujet est vaste et nous ne développerons ici que quelques questions concernant l'usage d'un ordinateur. Pour le comportement, on distinguera notamment la conduite à tenir suivant les prérogatives. Un guide de palanquée aura bien entendu un rôle particulier à jouer.

A – Ordinateurs différents dans la palanquée

Prévention :

Dans la mesure du possible, La palanquée doit être constituée pour éviter cela. (Comparer les ordinateurs entre-eux)

Comportement :

Suivre la procédure la plus contraignante en principe indiquée et surveillée par le guide de palanquée. Le guide de palanquée à cette fin peut éventuellement durcir son appareil s'il en a la possibilité. (Attention aux paliers et à la réserve d'air)

B - Panne complète d'un ordinateur

(Exemple : écran blanc, piles vides)

Prévention :

- 1) La palanquée doit rester groupée. (Comparer les ordinateurs entre-eux)
- 2) Avoir en secours un deuxième ordinateur avec une autonomie électrique décalée). (Si l'on en a les moyens)
- 3) *Utiliser en secours une table de plongée, une montre et un profondimètre n'est pas réaliste à moins de programmer ainsi à l'avance la consommation d'air et le profil de la plongée correspondante.*

Comportement :

Dans le cas 1) : Partager l'ordinateur d'un binôme en s'assurant que le profil de plongé est le même sinon, prendre les marges nécessaires, voire importantes.

C) Plongeur en retard à la remontée de la palanquée**Prévention :**

Le guide doit s'assurer en permanence de l'homogénéité de la palanquée surtout en faible visibilité ou en présence de courant.

Comportement :

Après avoir regroupé la palanquée, ils effectuent ensemble les paliers de celui qui a le plus de contraintes.

D - Présomption d'accident**Prévention :**

Relever les paramètres de la plongée et les alarmes éventuelles.

Comportement :

Surveiller l'évolution de la santé du plongeur et des autres membres de la palanquée si un symptôme apparaît suivre la procédure prévue pour un accident.

E – En cas d'accident**Comportement :**

Relever immédiatement les paramètres de la plongée et les alarmes éventuelles de toute la palanquée puis suivre la procédure prévue. L'ordinateur doit accompagner la ou les victimes. Toujours l'utilité de notices simplifiées avec chaque appareil.

QUESTIONS

Dans le but de participer à la formation des lecteurs, nous leur proposons de répondre à quelques questions. Essayer d'y répondre avant de les rechercher. À quel niveau de plongeur les placez-vous ?

1) *Quels sont les 2 principaux types de décompression gérés par les ordinateurs de plongée, avantages et inconvénients ?*

2) *Quelle est la meilleure position de l'émetteur d'un ordinateur de plongée ?*

3) *Le volume en eau de la bouteille est-il nécessaire pour calculer l'autonomie, (Oui / Non) pourquoi ?*

Livre d'or

- MAINTENANCE DES ORDINATEURS -

Table des matières détaillée

Le rinçage

Différents types d'appareils

La crépine

L'écran

Le bracelet

Échange de pile : Attention

Généralité sur l'échange de pile

Monitor 1 et 2

Monitor 2+

Aladin Pro et CX2000

Monitor 3

Aladin air nitrox

Suunto D9

Aladin AIRX NitrOX

La maintenance journalière des ordinateurs est très simple car il s'agit en général d'un rinçage à l'eau douce après chaque plongée.

Le rinçage (Ordinateurs ou Compas)

Il a pour but d'éliminer toute trace de sel, de sable ou autre polluant de la surface et de l'intérieur de l'appareil.

Il faut cependant éviter d'envoyer un jet sous pression dans les trous de la crépine de l'ordinateur ce qui pourrait endommager le capteur.

Un trempage d'une ou deux minutes suffit donc généralement et est recommandé plutôt qu'un rinçage au jet. De même on évitera d'introduire quoique ce soit, autre que de l'eau, dans les trous de la crépine. D'autant plus que certains capteurs sont protégés par une membrane.

Le trempage doit se faire en agitant la crépine vers le haut puis vers le bas de façon à permettre à l'eau douce de bien rincer l'intérieur.

Une fois ceci effectué, on secouera l'ordinateur, crépine vers le bas pour éliminer l'eau intérieure puis on séchera l'extérieur avec un linge sec ou de l'essuie tout et on le laissera ensuite dans un endroit sec.

Différents types d'appareil

- Dans certains, l'électronique et le capteur de pression sont noyés dans une gelée qui transmet la pression au capteur tout en isolant électriquement l'ensemble du milieu ambiant. (Il n'y a pas de crépine)
- Dans d'autres l'électronique et le capteur de pression sont noyés dans de l'huile séparée du milieu ambiant par une membrane.
- D'autres enfin sont étanches, seul la partie sensible du capteur est en contact avec le milieu ambiant.

La Crépine

Toutefois, ces appareils possèdent une protection mécanique percée de trous qui constituent une crépine qui protège le capteur tout en le laissant en contact avec la pression ambiante. Il n'est pas bon de le soumettre à un jet d'eau, le trempé suffit.

L'écran

La plupart des appareils ont un écran en plastique que l'on évitera de nettoyer avec d'autres produits que de l'eau, sauf indication du fabricant.

Cependant on trouve de plus en plus d'écrans en verre trempés très solide mais qui peuvent se rayer facilement. Une protection en plastique les protégera contre ce type d'agression.

Le bracelet

Après et avant chaque plongée, il est important de vérifier son état mécanique. En dehors de la perte d'un appareil d'un certain prix, il pourrait être très dangereux de perdre le moyen de sa décompression au cours d'une plongée. Les barettes à ressort en sont les points faibles. Si l'une cède, on perd le tout. Les bracelets Barton ou du type Nato constituent une solution.



Bracelet Barton

Le principe consiste à séparer les deux barettes à ressort du bracelet lui même de telle façon que si une des barettes cède, l'autre maintient l'ordinateur ou la montre.

Voir aussi le cas particulier des [Suunto D6 et D9](#).



Suunto D9 adaptateur et Bracelet Barton

Échange de pile : Attention

Les informations qui suivent sont réservées à votre usage personnel et sous votre entière responsabilité. Les modifications apportées et les méthodes indiquées n'engagent en aucun cas la responsabilité de l'auteur.

Nous ne saurions trop vous recommander d'utiliser un appareil ainsi réparé par vos soins qu'après l'avoir suffisamment comparé dans les mêmes conditions avec un appareil semblable garanti par son fabricant.

Si vous ne vous en sentez pas capable n'hésitez pas à confier votre appareil à un professionnel qui de toute façon prendra la responsabilité de cet échange.

Généralités sur l'échange de pile

Lorsque sur l'écran de votre ordinateur, vous voyez apparaître le signal "Err", cela signifie généralement que la pile est épuisée. Avant d'en arriver là, l'appareil vous indique parfois la capacité de pile restante en %. Malheureusement la valeur à laquelle il ne fonctionne plus n'est pas précisée. Cela peut aller de 40 à 60%. L'inconvénient majeur de ce défaut est qu'il se produit brutalement au moment où l'on s'y attend le moins.

Il est difficile d'estimer la capacité restante d'une pile. Nous pensons que pour la plupart des appareils du marché, l'estimation est basée sur la valeur de la tension et/ou sur une approximation combinée avec le temps de fonctionnement, or ceci est plus qu'aléatoire. Une mesure par échantillonnage des quantités de courant consommé telle que celle utilisée pour évaluer l'autonomie en air de la bouteille serait plus précise.

Il faut aussi remarquer qu'à chaque fois que vous réinitialisez un ordinateur après un changement de pile, le logiciel considère que la nouvelle pile est neuve et affiche donc 99 % de capacité disponible. Si elle n'est pas neuve, il est possible qu'elle ne fasse par exemple que 80 %. On ne doit donc utiliser pour le changement que des piles neuves en parfait état et n'ayant été stockées que peu de temps.

On notera que les piles au lithium ont une auto décharge très faible qui permet aux fabricants de les garantir pour un stockage de 10 ans sans préciser quelle est la capacité restante au bout de ce temps. (L'expérience montre qu'il en reste au moins 50%) Sur des produits qui s'usent même lorsqu'on ne s'en sert pas, la date de fabrication ou la date limite devrait toujours être clairement indiquée.

Devant cette situation, la solution immédiate est de renvoyer l'appareil au fabricant, directement ou par l'intermédiaire de l'un de ses agents. Mais cela a 2 inconvénients : Il faut attendre plusieurs semaines pour le récupérer et payer le prix fort, c'est à dire de l'ordre de 80 à 100 € tout compris pour un appareil qui somme toute est encore en bon état. L'avantage est que le fabricant qui fait l'échange de pile est supposé vérifier votre appareil avant de vous le renvoyer avec une nouvelle garantie.

Le remplacement de la pile est une opération délicate, voire impossible et dans tous les cas peu compatible avec des méthodes industrielles. Il arrive donc que le fabricant préfère vous faire un échange standard avec un nouvel appareil plus récent pour quelques centaines d'euros. (Pas très standard cet échange)

Nous vous faisons part ici des travaux que nous avons réalisés depuis quelques années pour sauver ces appareils à moindre coût. Nous mettons cependant en garde les apprentis électroniciens contre les difficultés d'une telle opération et le fait que nous ne garantissons aucunement qu'il récupérera toutes ses performances et surtout sa précision initiale, voire son fonctionnement.

Nous possédons un caisson de test qui nous permet de vérifier le fonctionnement et la précision de la mesure de profondeur cela est déjà pas mal car le capteur est certainement le talon d'Achille de ces appareils. Il m'est arrivé que la profondeur ne s'affiche plus et reste à zéro. Quant au programme, il a peu de chance de se modifier mais sait-on jamais.

On ne le répétera jamais assez, après cette opération, vous aurez intérêt à l'utiliser en double pendant plusieurs plongées pour vous assurer qu'il fonctionne correctement.

Néanmoins, si vous ne vous en sentez pas capable, confiez cette opération à un professionnel compétant.

Pour réaliser cette opération, il faut compter une heure de travail et la préparer en s'assurant avant que l'on a bien :

L'outillage

- Fer à souder d'environ 30 watts avec trente centimètres de soudure à l'étain de 1mm.
- Couteau à lame fine

- Tournevis d'horloger.
- Brucelles
- Petite pince plate.
- Cutter

Le type de pile

Celles qui ne sont pas susceptibles d'être remplacées par l'utilisateur.

- Modèles courants : Pile au lithium 3,6 volts, 2,45 A/h du type LS14500BA ou LS14500CNA de chez SAFT. Ces dernières ont des connexions de sorties ce qui facilite leur raccordement. Ce sont les meilleures sur le marché. Coût 12 euros en moyenne sur internet. (La première génération ne faisait que 2,25A/h aujourd'hui, on en trouve qui font 2,60A/h)

Celles qui peuvent être remplacées par l'utilisateur.

- Pile bouton de capacité et de dimensions variables avec les appareils. Elles se conservent bien dans leur emballage. Il est donc recommandé d'en avoir une disponible en avance.

Les ingrédients (Suivant le cas)

- Si la pile n'a pas de pattes, 1/4 de goutte d'acide chlorhydrique. (*Attention, c'est un produit dangereux*)
- Un demi-litre d'huile de paraffine ou 90 gramme de résine "4441A 3M". (Coût 10 euro) Quand cela est possible, récupérer l'huile existante.

Nous avons opéré sur plusieurs appareils différents qui utilisent la même pile au lithium.

Ceux-ci ne sont plus disponibles sur le marché et parfois même il est difficile de trouver un magasin pour procéder à l'échange, néanmoins certains plongeurs leur sont fidèles et apprécieront d'augmenter leur durée de vie en faisant l'impasse sur les performances de nouveaux appareils :

**Aladin Pro – CX2000 – Monitor 1 et 2 – Monitor 3 air – Aladin Pro Nitrox
Monitor 2+ – Aladin AIR X NitrOX (Ces 2 derniers posent problème)**

I - Aladin Pro et CX2000 de Beuchat

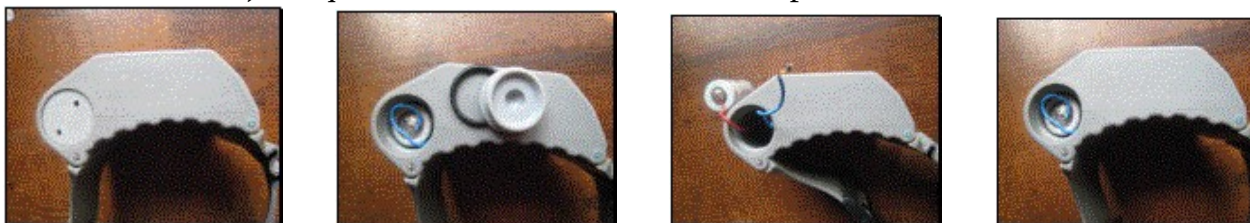
Ils se caractérisent par le fait que la pile se trouve dans un compartiment sec fermé par un bouchon vissé, avec un joint d'étanchéité. La pile au Lithium est soudée sur des fils qui sont dans ce compartiment. Si la pile n'a pas de pattes de soudage, la difficulté est de réaliser une soudure correcte.

Il faut souder directement sur les extrémités de la pile ce qui est difficile sans la chauffer exagérément. Les soudures ne doivent pas dépasser 10 secondes de chaque coté. Voir les soudures sur les 3 photos ci dessous. (Coté moins et plus de la pile)



Soudure des pôles plus et moins

La solution est d'utiliser de l'acide chlorhydrique comme décapant pour étamer les extrémités. (C'était la solution utilisée par nos grands-pères pour étamer toutes sortes de métaux) Il suffit pour cela d'une demi-goutte d'acide. Attention cet acide est dangereux à manipuler, je n'en ai pas essayé d'autres. (Après l'étamage, il faut bien rincer la pile à l'eau douce) La qualité de la soudure est très importante.



Fermée

Ouverture

Dessoudée

Ressoudée

La pile est facile à remplacer. C'est le cinquième appareil que j'opère. Il suffit de dévisser le bouchon, de dessouder la pile ancienne et de ressouder la nouvelle. Attention de ne pas abîmer le boîtier en plastique avec le fer à souder et de ne pas endommager les fils de connexion, **Rouge** pour le plus et **Bleu** pour le moins, ne pas tirer dessus.

On dessoude d'abord le fil moins puis on sort la pile complètement pour avoir accès au fil rouge qui est de l'autre coté, vers le milieu du compartiment.

L'appareil se réinitialise dès que la pile est soudée. Néanmoins il m'est arrivé qu'il reste indéfiniment avec tous les symboles allumés ou éteints. Je l'ai alors dessoude puis ressoude et il s'est réinitialisé correctement. On prendra garde de bien refermer le bouchon du compartiment après avoir nettoyé et graissé le joint.



Aladin pro prêt à l'emploi

Attention : Le CX2000 nécessite ensuite un paramétrage avec une interface et un PC pour le remettre à l'heure et remettre la capacité de la pile à 100%.

II – Monitor 1 et 2

Dans ces ordinateurs de première génération, la procédure est semblable. Le boîtier est en macrolon transparent. La pile et l'électronique sont noyées dans de la "Résine démontable" qui a pour particularité d'adhérer à toutes sortes de matériaux en empêchant toute infiltration d'eau. De plus, elle conserve une grande souplesse qui lui permet de transmettre les pressions. L'électronique et la pile sont séparées par un cloisonnement qui permet d'intervenir indépendamment sur l'une ou sur l'autre.

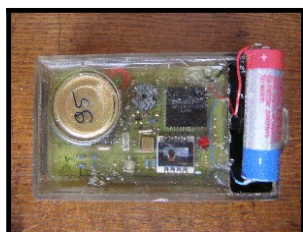
Le produit se présente sous forme de deux composants : la résine est très claire, le durcisseur est jaune clair. Ils sont livrés en 2 poches de plastique séparées. Pour ma part, je les ai transférées dans des bouteilles de verre de 25 centilitres et cela fait 15 ans que je les conserve ainsi. Pour commander en petite quantité, il faut indiquer la référence "4441A 3M". Le "A" signifie 90 grammes. Il faut dire aussi qu'il existe une nouvelle version qui porte la référence "Scotchcast 8882A 3M - High Gel" et qui doit être équivalente bien que nous ne l'ayons pas essayée.

Autre résine démontable : J'ai utilisé un silicone RTV souple (GE RTV-6126)

Procédure

- 1 - Enlever la protection caoutchouc qui recouvre l'ordinateur puis la plaque noire à l'arrière.
- 2 - Avec un cutter, inciser la gelée qui recouvre la pile de façon à libérer celle-ci. Attention à ne pas toucher les fils bleu et rouge de raccordement à la pile.
- 3 - Avec un petit tournevis faisant levier, dégager la pile en commençant par le plus. (Côté fil rouge)
- 4 - Dessouder la pile avec le fer à souder.
- 5 - Nettoyer parfaitement le logement de la pile. Finir le nettoyage avec de l'alcool.
- 6 - Décaper les extrémités de la pile avec une goutte d'acide chlorhydrique après les avoir dépolies avec du papier de verre. Étamer les extrémités de la pile avec de la soudure à l'étain. *(Il est quand même préférable d'utiliser une pile avec connexions)*
- 7 - Souder les fils de raccordement, le plus au fil **rouge** le moins au fil **bleu**. Ne pas tirer sur ces fils.
- 8 - Vérifier le fonctionnement de l'ordinateur par les contacts humides. En pressant la gelée au niveau du capteur de pression on doit voir la profondeur augmenter.
- 9 - Préparer 2 centimètres cube de gelée dans un petit verre, 50% de résine, 50% de durcisseur.
- 10 - Mélanger intimement pendant au moins 5 minutes les deux composants. Ne pas fouetter le mélange pour ne pas faire de bulles. Le liquide obtenu doit être limpide.
- 11 - Soulever la pile de façon à verser la gelée jusqu'à la moitié du logement.
- 12 - Enfoncer la pile dans le mélange le plus profondément possible.

- 13 - Faire l'appoint de gelée de façon qu'elle arrive à fleur de l'épaulement du boîtier.
- 14 - Enfoncer les fils pour être sûr qu'ils soient bien recouverts. Ne pas forcer.
- 15 - Attendre au moins 12 heures la polymérisation de la gelée sans la toucher. Le reste dans le verre peut servir de témoin.
- 16 - Recouvrir la gelée par une feuille de plastique transparent pour éviter de coller sur le couvercle.
- 17 - Remonter le couvercle noir du fond de l'ordinateur puis la protection en caoutchouc.



Sortir la pile



Nettoyer



Verser



Remonter

III - Monitor 2+

J'ai eu l'occasion de changer la pile de cet ordinateur, je me suis alors aperçu qu'il avait des problèmes de fonctionnement. J'ai alors cherché et trouvé un rappel (Recall) qui avec juste raison déconseille fortement de l'utiliser et proposait un échange pour un autre modèle.

IMPORTANT

Avis concernant les ordinateurs de plongée MONITOR 2 PLUS :

Si vous êtes encore possesseur ou utilisateur d'un MONITOR 2 PLUS, ordinateur de plongée de fabrication UWATEC commercialisé depuis 1995 par LA SPIROTECHNIQUE, veuillez :

IMPERATIVEMENT cesser de l'utiliser et le ramener **SANS DÉLAI** au point de vente où vous l'avez acheté, votre appareil pouvant présenter des défauts de fonctionnement.

IV - Monitor 3 air

Cet appareil possède une liaison sans fil pour la gestion de l'air. Un ami me l'a confié pour que j'essaie de le récupérer alors qu'il n'avait pas fonctionné depuis plus d'un an.

- Pile de l'ordinateur

L'ouverture du boîtier est assez simple puisqu'il suffit de dévisser les 3 vis qui se trouvent sur l'arrière du boîtier. Ensuite, on soulève ce côté avec un tournevis jusqu'à ce que les clips du côté opposé se déboîtent.

Il faut ensuite opérer au-dessus d'un récipient suffisamment large pour récupérer l'huile et en tout cas pour ne pas en répandre partout. Pour cela dégager délicatement la membrane en néoprène avec une pointe émoussée en faisant bien attention de ne pas l'endommager. Laisser égoutter l'appareil pendant quelque temps pour pouvoir travailler au sec.

Enlever l'ancienne pile. Pour cela utiliser un petit tournevis plat et fin, de diamètre 3 mm, l'engager entre la patte et le corps de la pile et le tourner sur lui-même pour faire sauter les soudures. Attention de ne pas endommager les composants qui sont à proximité.

On peut aussi préférer utiliser un cutter pour couper la patte. Voir les 3 figures a – b – c suivantes. Conserver et redresser les restes de pattes de chaque côté une fois la pile enlevée. (On constate que le message "Err" a disparu)

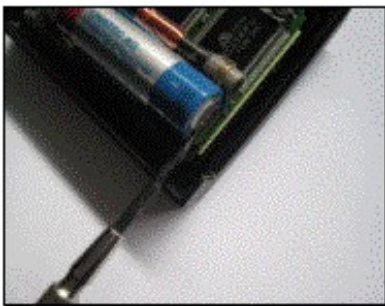


Photo a



Photo b

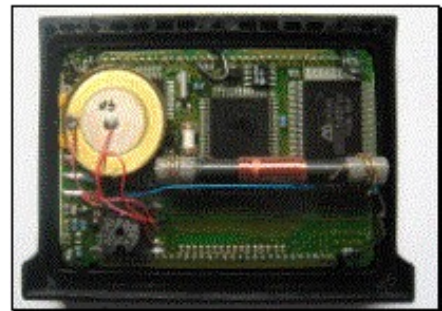
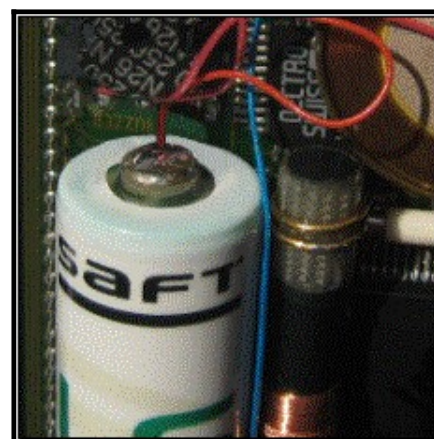


Photo c

Étamer alors la nouvelle pile comme décrit précédemment. Étamer aussi les pattes qui restent de l'ancienne pile. Positionner la nouvelle pile en faisant bien attention aux polarités. Elles sont indiquées sur la pile et sur le circuit imprimé de l'ordinateur.



Soudure du moins

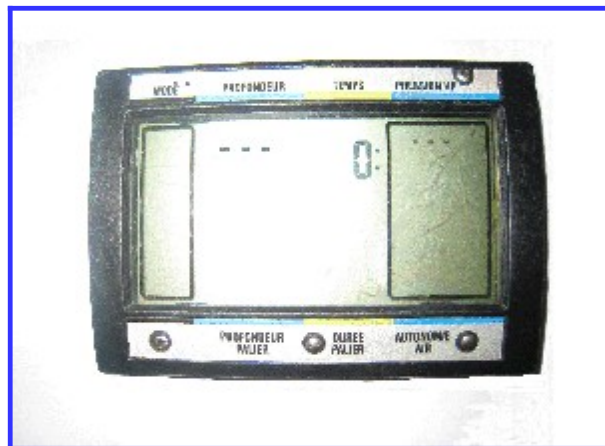


Soudure du plus

Ne pas confondre avec les "+" étamés qui sont sur le circuit. Souder ensuite les pattes sur la pile de chaque côté en faisant bien attention de ne pas toucher le boîtier en plastique avec le fer à souder. On constate alors que le message "Err" est revenu.



Pile à 99%



Prêt à plonger

Comme le Monitor2+, cet appareil, une fois la pile connectée nécessite une « Réinitialisation ». Celle-ci a pour but de relancer le fonctionnement de l'appareil, de mettre la pile à 99% de sa capacité et de vérifier que tous les segments de l'écran fonctionnent correctement. Installer une pile qui ne serait pas neuve serait dangereux car l'appareil indiquerait 99 %, capacité supérieure à sa valeur réelle.

On utilise pour cela une pile bouton de 3 volts dont le moins est connecté au contact humide percé d'un trou qui se trouve en haut et à droite de l'écran. Puis on « gratouille » avec le plus le contact humide percé d'un trou qui se trouve en bas à gauche. Au bout de quelques secondes, le signal « Err » disparaît et est remplacé pendant 3 secondes par l'ensemble des signaux de l'écran.

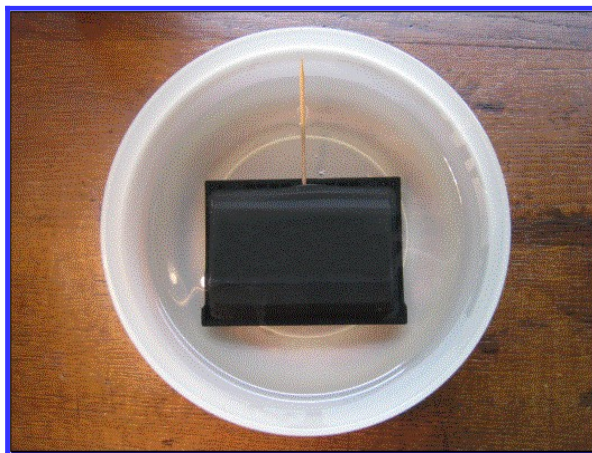
Enfin, apparaît le signal prêt à plonger constitué par 3 petits traits horizontaux en face de « Profondeur » et 0 en face de « Temps ». On notera que les contacts humides percés de trous sont ceux utilisés pour transférer les caractéristiques des plongées sur un PC. Après quelques minutes, l'ordinateur passe en veille, écran blanc.

En touchant alors les contacts humides de droite, l'appareil redémarre et on doit le voir comme en photo : Prêt à plonger.

Remplissage d'huile : Il est plus facile d'enlever le bracelet pour cette opération. Pour cela chasser les goupilles en appuyant sur le côté de plus petit diamètre avec une pointe de diamètre inférieur.

L'opération nécessite un bac assez grand. Immerger ensemble les différentes parties de l'appareil. Agiter longuement pour chasser toutes les bulles d'air. La membrane sera mise en place bien remplie d'huile. Le boîtier sera refermé en immersion.

Pour faciliter l'élimination des bulles, nous laissons un espace de la membrane entrouvert par un cure-dents et nous pompons en appuyant sur la membrane, l'orifice étant tourné vers le haut.



Moniteur III dans la cuve à huile avec un cure dent de purge

Avant de refermer complètement la membrane, il faut la presser légèrement pour qu'elle soit incurvée vers l'intérieur. Sinon une fois refermée la pression interne est telle que l'on risque d'afficher quelques mètres en surface.

- Pile de l'émetteur

Nous n'avons pas encore effectué cette opération complètement. Néanmoins nous avons ouvert un émetteur qui était considéré comme mort.

Il faut d'abord dévisser les 3 vis qui ferment le boîtier au-dessus d'un bac et récupérer l'huile. Ensuite, séparer la partie en acier inox de la partie en plastique. Cela vient facilement mais on risque fortement de casser les fils de liaison au bobinage qui se trouve au fond. Ces fils ne font que $1/10^e$ de mm. Nous ne sommes pas allés plus loin.

Nous supposons qu'ils sont suffisamment longs pour être dessoudés sans les casser à moins que le bobinage soit soudé puis poussé au fond du boîtier lors du montage. Nous avons simplement réussi à rallonger les fils existants pour analyser le fonctionnement.

V - Aladin pro NitrOX

La procédure est voisine de celle du Monitor 3 air. *Attention à la qualité des soudures*. La différence essentielle concerne l'ouverture du boîtier. En effet, la partie supérieure n'est pas vissée mais clipsée sur la partie inférieure.

Pour les séparer, il faut utiliser une lame fine que l'on engage délicatement le long des joues latérales. Attention, certains appareils semblent avoir un point de colle. On risque alors de casser le boîtier.

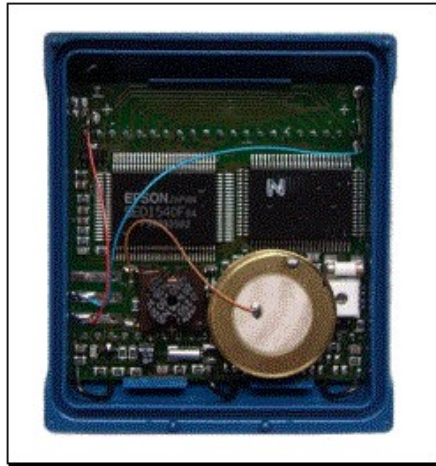


Photo 15

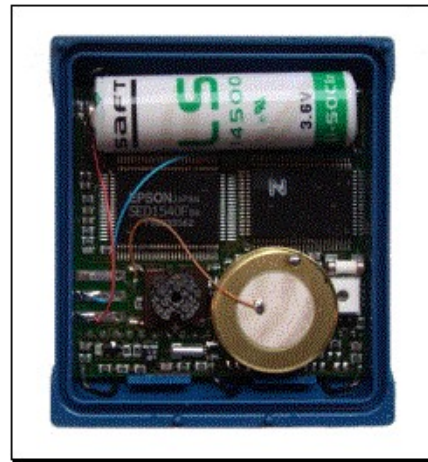


Photo 16

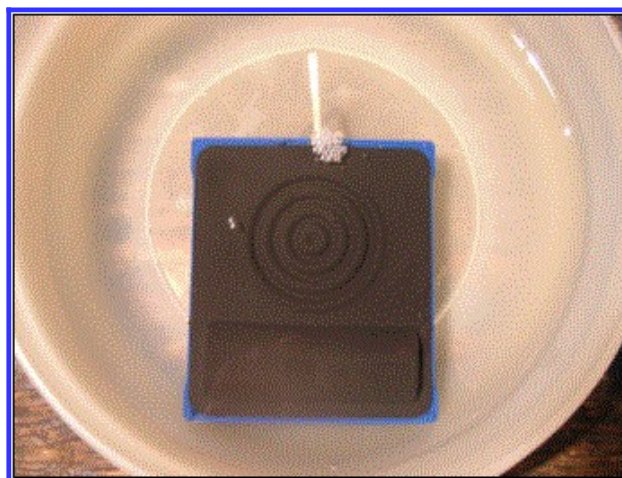
Une précaution supplémentaire doit toujours être prise pour ne pas toucher le boîtier avec le fer à souder lorsqu'on procède à la soudure des pattes sur la pile.

Réinitialisation :

On utilise pour cela une pile bouton de 3 volts dont le moins est connecté au contact humide percé d'un trou qui se trouve en haut et à droite de l'écran. Puis on « gratouille » avec le plus le contact humide percé d'un trou qui se trouve en bas à gauche. Au bout de quelques secondes, le signal « Err » disparaît et est remplacé pendant 3 secondes par l'ensemble des signaux de l'écran.

Enfin, apparaît le signal prêt à plonger constitué par 3 petits traits horizontaux en face de depth et 0 en face de Dive Time. On notera que les contacts humides percés de trous sont ceux utilisés pour transférer les caractéristiques des plongées sur un PC.

Si quand "Err" s'est effacé et que l'écran reste blanc, il faut continuer à gratouiller jusqu'à ce que tous les segments s'allument puis s'éteignent.



Élimination des bulles

On peut alors démarrer l'ordinateur en touchant les contacts "E" et ""B" avec les doigts humides. L'affichage du pourcentage de capacité de la pile indique toujours 99% quelque soit l'état de la pile utilisée.

Immerger ensuite l'appareil dans l'huile, avec un cure dents pour laisser sortir les bulles. La photo ci-dessus montre les petites bulles sortant de l'appareil en fin de pompage par appuis répétés sur la membrane.

Il faut beaucoup insister pour qu'il ne reste plus de bulles. Sinon, il arrive qu'une bulle apparaisse sur l'écran. (*Sur la photo, les bulles se distinguent près de la pointe du cure dent*)

Après avoir clipsé le dessous du boîtier, je fais un essai en caisson à 40 mètres, 9 minutes au fond. Cela demande un palier de 2 minutes à 3 mètres. À la remontée, aux 3 mètres, il ne reste plus que 1 minute de palier à effectuer. Sortie de l'eau après 18 minutes de temps total de plongée.

VI – Suunto D6 D9

- Le changement de pile est assez facile à condition d'avoir l'outil indispensable pour ouvrir le boîtier et de se procurer le kit comprenant la pile et le joint que l'on doit changer à chaque fois.

- Le changement du bracelet n'est pas difficile mais, il faut se procurer le bracelet, et les 2 vis qui doivent aussi être remplacées à chaque fois.

Le bracelet polymère a une durée de vie limitée. J'en suis au cinquième remplacement en 14 ans. Il se désagrège avec le temps et les manipulations. Le risque est grand de perdre l'ordinateur.



Amorce de rupture Bracelet Suunto D9

Il existe des adaptateurs fabriqués sous le nom de « Tibby-adapters » par la société « Sphere Diving Systems ». Ils permettent de remplacer les bracelets des ordinateurs D9 et D6 par des modèles avec barrettes à ressort sans risque de perdre le tout.

Néanmoins, on peut se demander pourquoi quelques fabricants utilisent encore des bracelets avec des barrettes à ressort.

VII – Aladin AIRX NitrOX

Bien que j'en ai déjà opéré 2, je dois considérer que cela est trop délicat et qu'il est dangereux de tenter cette opération sans risque pour l'ordinateur et donc pour son utilisateur. J'ai donc enlevé l'échange de ses piles de mon site. Je le considère comme un appareil non réparable même par le fabricant.

Il a été remplacé par l'Aladin AIR Z dont il est plus facile de changer la pile.

[Livre d'or](#)



- CHOIX D'UN ORDINATEUR DE PLONGÉE -

Table des matières détaillée

Différentes catégories

Orientations des principaux fabricants

Qualités à rechercher

Défauts à éviter

Caractéristiques techniques

L'instrumentation et la vision

Lecture dans le masque

L'investissement que constitue un ordinateurs de plongée est loin d'être négligeable et le plongeur a tout intérêt à ne pas se tromper en choisissant l'appareil qui lui convient le mieux. L'idéal n'existant pas, il sera amené à faire des compromis : prix, qualités, défauts. Actuellement on trouve sur le marché une trentaine de modèle qui vont de 200 à 2000 euros.

Pour les plongeurs encore habitués aux tables, le choix en est important parce qu'il modifie beaucoup leur comportement. Ceci ne doit pas augmenter leur probabilité d'accident. Celle-ci doit toujours rester inférieure à celle que procurait les tables.

Différentes catégories

Ils peuvent se classer en 2 catégories principales caractérisées par la façon dont ils traitent la décompression et les plongées successives :

1) Ceux qui permettent la décompression dans les limites admises en plongée sportive. Ils correspondent mieux à la façon de plonger en Europe. Leurs limites sont très larges ; ils ne devraient donc être utilisés que par des plongeurs confirmés dans leurs prérogatives. Ils correspondent aujourd'hui à un premier achat.

Quoi qu'en disent certaines documentations, ils ne devraient pas être utilisés pour plus d'une plongée successive avec décompression tant que les progrès de la physiologie ne le permettent pas. Ils étaient parfois qualifiés de "Pro. Exemples : l'ALADIN AIR Z de UWATEC - Le SURVEYOR de MARES - le VYPER de SUUNTO - le CX 2000 de BEUCHAT -

2) Ceux qui permettent les plongées aux mélanges voire multi gaz. Ce sont des appareils spécialisés qui nécessitent une formation particulière. Exemples : l'ALADIN PRO de UWATEC - Le SURVEYOR NITROX de MARES - le VYPER et VYTEC de SUUNTO mais aussi les nouveaux qui apparaissent chaque année.

À cette répartition, il faut ajouter le classement suivant leur degré d'automatisation en ce qui concerne la prise en compte des variations d'altitude et de gestion de la réserve d'air.

En plus de ces caractéristiques liées à la décompression, l'acheteur potentiel devra tenir compte de toutes les autres fonctions

Orientations des principaux fabricants

Celles-ci concernent surtout les appareils "haut de gamme". Au fil des années on s'aperçoit que de nouvelles possibilités apparaissent tandis que les bas de gamme profitent peu à peu des innovations. (Comme pour les véhicules automobiles)

Les grandes marques présentes sur le marché français sont: UWATEC, SUUNTO, MARES, OCEANIC, CRESSI, DIVE RITE, BEUCHAT...

Qualités à rechercher

Vous ne les trouverez pas toutes simultanément sur un même appareil.

- Calcul de l'autonomie en air ou aux mélanges respirés ;
- Calcul précis de l'autonomie électrique ;
- Alarmes sonores puissantes ;
- Facilité d'utilisation et d'interprétation ;
- Écran large facile à lire sans ambiguïté ;
- Suivi automatique de l'altitude ;
- Choix manuel des marges de sécurité ;
- Échantillonnages rapides ;
- Enregistrement et restitution des profils
- Fiabilité (Se renseigner auprès d'autres possesseurs et des vendeurs) ;
- Documentation complète et surtout fiche d'utilisation résumée ;
- Changement des piles par l'utilisateur.

Défauts à éviter

- écritures ou symboles trop petits (voir figure 1) ; les petits appareils ne sont pas forcément les plus intéressants ;
- limites d'utilisations contraignantes ;
- risque d'erreur lorsqu'on saute à l'eau ;
- affichages alternés périodiquement en immersion ;
- commandes en surface trop difficiles à exécuter à main nues ou avec gants ;
- pas de durée du prochain palier (Sauf en décompression continue) ;
- mise hors service complète en cas d'alarme définitive.

Ces défauts heureusement commencent à disparaître.

Caractéristiques techniques

Ce sont les principales caractéristiques que l'on aimerait trouver dans la notice. Les valeurs données ici, à titre d'exemple, sont celles que l'on souhaiterait au minimum. Se reporter aux tableaux comparatifs, de la presse spécialisée, pour les caractéristiques détaillées des différents appareils du marché.

1. Profondeur maximum limite75 mètres *
2. Durée totale de remontée limite120 minutes *
3. Capacité de la mémoire.....30 plongées ou 15 heures.
4. Altitude minimum2500 mètres
5. Seuils d'immersion et d'émersion.....1 mètre
6. Précision en immersion.....0,3 mètre \pm 1%
7. Résolution.....0,1 mètre
8. Température d'utilisation.....- 5 à +40°C
9. Température de stockage.....-20 à + 70°C
10. Autonomie électrique.....>200 plongées ou 1000 Heures
11. Réserve d'énergie électrique10 plongées ou 24 heures, lorsque l'alarme s'affiche.
12. Niveau de l'alarme sonoreAudible à 2 mètres (Avec cagoule)
13. Période d'échantillonnage.....1 seconde en immersion 10 min dans l'air

* Comme dans tout appareil de mesure, les limites doivent représenter au moins une fois et demi la plage normale d'utilisation.

L'instrumentation et la vision

Vous devez choisir un appareil facile à lire. Néanmoins, trop de plongeurs, voire de moniteurs pour des raisons financières ou par coquetterie, ne portent pas de masque avec verres correcteurs. C'est un élément de sécurité aussi important que les instruments eux-mêmes.

La figure 1 ci-dessous peut vous donner une idée de la qualité de votre vision.

(Mais seul un praticien peut vous donner un avis autorisé)

Comme référence, « Le Monitor 3 » doit faire 9 cm de large à ajuster si nécessaire avec votre zoom.

Si, à une distance de 50 centimètres, vous ne pouvez lire les écrans des appareils ci-dessus, vous devez faire tester votre vue.

Un test de vision pourrait donc figurer à la visite d'aptitude à la pratique de la plongée. Il en va de même bien entendu pour l'acuité acoustique pour les alarmes sonores.

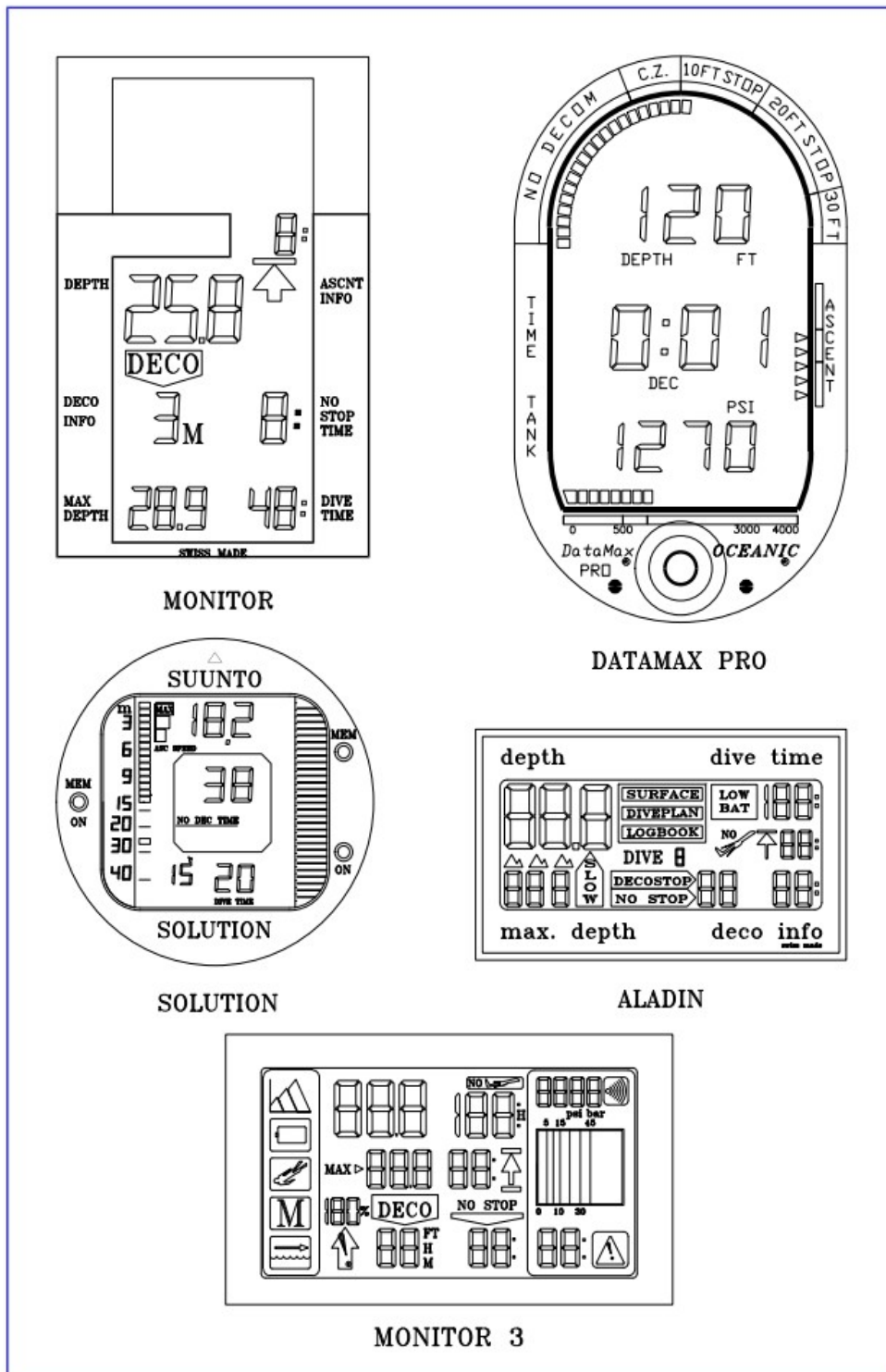


Figure 01 *L'instrumentation et la vision*

Lecture dans le masque

À ce sujet, il est bon de noter qu'**Océanic** a sorti en 2006 un ordinateur incorporé dans le masque ce qui facilite la lecture à tout moment.

(Ceci se faisant au dépend d'une légère perte de l'angle de vision de l'œil droit, vers le bas)



***Affichage dans un masque**
Voir aussi le HUD de Scubapro*

[Livre d'or](#)



- RAPPELS SUCCINCTS DE PHYSIOLOGIE - **ET DES RISQUES ENCOURUS**

Table des matières détaillée

Modèle physiologique
Modèle de Haldane
Modèle de l'U.S. Navy
Modèle de Bühlmann
Modèle du DCIEM
Les accidents neurologiques
Les micro-bulles et les bulles
Action sur la désaturation
Shunt pulmonaire
Shunt cardiaque
Plongée ascenseur_
Vitesse de la remontée
Accident articulaires
Le froid
Les efforts
L'altitude
Les facteurs de risque_
Le temps de latence
La toxicité de l'oxygène
Effet Paul BERT
Effet Lorrain SMITH

La façon simplifiée dont la physiologie est présentée ici n'a pour objet que d'expliquer comment elle intervient dans la conception des ordinateurs de plongée. L'étude de la décompression est très complexe et affaire de spécialistes. L'histoire en est ancienne et pas prête à se terminer.

Sur ce sujet, on lira avec profit le mémoire d'instructeur de Bernard Shittly
<http://ffesm67.free.fr/technique/memoiresIR/LaDecompression.BernardSchittly.pdf>

Il ne faut pas confondre la décompression avec les outils qui servent à la calculer. (Ce que sont les ordinateurs et les différentes tables) Ces dernières n'étaient qu'un pis allé avant l'existence des ordinateurs. Il faut cependant noter que dans certains cas particuliers les tables peuvent encore trouver leur utilité.

Modèles physiologiques

On considère, en théorie tout au moins, que l'organisme est constitué par un certain nombre de tissus et compartiments *. Ceux-ci se chargent en azote, d'une façon logarithmique lorsque la pression partielle du gaz qui leur est imposée augmente. (Et non exponentielle comme on l'entend dire parfois) Ils se déchargent, à l'inverse lorsqu'elle diminue.

La tension d'azote dissous dans un compartiment est donnée par la formule mathématique bien connue :

$$T_{N_2} = T_0 + (P - T_0)(1 - 0.5^{t/T})$$

Où : T_0 est la tension partielle d'azote initiale dans le compartiment.

P est la pression partielle d'azote libre imposée au compartiment.

T est la période du compartiment.

t est la variable temps.

Lorsque $P > T_0$ on dit qu'il y a sous saturation.

Lorsque $P = T_0$ on dit qu'il y a saturation.

Lorsque $P < T_0$ on dit qu'il y a sursaturation.

Pour simplifier l'écriture, en remplaçant, $(P - T_0)(1 - 0.5^{t/T})$ par ΔT_{N_2} cette formule devient :

$$T_{N_2} = T_0 + \Delta T_{N_2}$$

Ne pas confondre T_{N_2} , T_0 et ΔT_{N_2} , qui sont des tensions de gaz dissous, avec T ou t qui sont des temps.

* Les tissus sont des parties distinctes de l'organisme alors que les compartiments sont constitués par un ensemble de tissus ayant les mêmes caractéristiques du point de vue de la saturation et de la désaturation.

Chaque compartiment est une notion théorique caractérisée par deux valeurs : sa période " T " qui est le temps nécessaire pour que sa tension d'azote varie de la moitié de la variation de pression à laquelle il est soumis et son coefficient de sursaturation critique " Sc " qui est le rapport tolérable entre la tension d'azote dissous et la pression absolue ambiante. Au-delà de celui-ci la probabilité d'accident augmente fortement.

Ces deux valeurs permettent de calculer la valeur minimum de la pression absolue tolérée.

$$P_{abs. tol.} = \frac{TN_2}{Sc}$$

Modèle de Haldane

Ces considérations constituent un modèle dont le principe a été énoncé dès 1907 par John Scott HALDANE. Il a servi par la suite de base de départ à la plupart des autres. A titre d'information, nous donnons ci-dessous les périodes et les coefficients de sur-saturation critique choisis pour le calcul des tables MN90 de la Marine Nationale Française (J.L. MELIET). Ces tables dès leur sortie avaient été adoptées par la FFESSM.

(Vitesse de remontée : 17 mètres par minutes)

Compartment	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (min)	5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
Sc	2,72	2,54	2,38	2,20	2,04	1,82	1,68	1,61	1,58	1,56	1,55	1,54

Modèle de l'U.S. Navy

Celui-ci n'utilise pas de coefficient Sc mais une valeur " M " qui est la tension maximum que peut tolérer un tissu avant de se rendre à un palier donné. $M0$ est la valeur de " M " qui permet au compartiment d'arriver en surface, $M1$ est celle qui lui permet d'arriver à 6 mètres ...

Le tableau suivant donne les valeurs de $M0$ exprimées en FSW (Feet of Sea Water) et en MEM (Mètres d'Eau de Mer) en fonction des périodes des compartiments. Ce modèle a été utilisé pour les tables de l'US Navy et par la plupart des organisations Américaines ainsi que par la LIFRAS Belge.

(Vitesse de remontée : 18 mètres par minutes)

Compartment	1	2	3	4	5	6
T (min)	5	10	20	40	80	120
M0 (FSW)	104	88	72	56	54	52
M0 (MEM)	32	27	22	17	17	16

Nota : Les FSW sont utilisés couramment par les américains pour définir des pressions. Le MEM est parfois utilisé en France par certains spécialistes. Il ne faut donc pas les confondre avec des profondeurs.

Le NMRI (Naval Medical Research Institute) a étudié un nouveau modèle de décompression basé sur la probabilité d'accident à partir des bases de données existantes. Il est utilisé pour les nouvelles tables de l'US Navy et est applicable aux ordinateurs de plongée.

Modèle de Bühlmann

Il a été développé en particulier pour la plongée à toutes altitudes. Il utilise un coefficient de sursaturation défini par deux variables, l'une "a" varie avec la pression ambiante, l'autre "b" est un coefficient. La pression absolue tolérée est :

$$P_{abs.tol} \geq (T_{w2} - a) \times b$$

Le tableau ci-après donne ces deux variables en fonction de la période des compartiments. Il a servi à l'élaboration des tables adoptées par la Fédération Suisse. Il est couramment utilisé dans un grand nombre de calculateurs de plongée.

(Vitesse de remontée : 10 mètres par minutes)

Compartiment	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T (min)	4	6	12,5	18,5	27	38,3	54,3	77	109	146	187	209	305	390	498	635
a	1,90	1,45	1,03	,882	,717	,575	,468	,441	,415	,416	,369	,369	,255	,255	,255	,255
b	0,80	,800	,800	,826	,845	,860	,870	,903	,908	,939	,946	,946	,962	,962	,962	,962

Modèle du DCIEM

(Defence and Civil Institute of Environmental Medicine).

Il a été mis à point par les Canadiens pour la plongée sportive. C'est l'un des plus sévères. Il prend en compte plus particulièrement les plongées successives et les plongées ascenseur.

Nous verrons plus loin que ces différents modèles, issus des tables, peuvent être choisis comme base de calcul dans les ordinateurs de plongée. Cependant, dans ce cas, ils subissent toujours des adaptations et évoluent régulièrement avec les progrès de la physiologie.

Le modèle de Workmann a été modifié par Spencer puis par Rogers. Celui de Bühlmann, mis en œuvre pour les ordinateurs Aladin par Ernst Wollm et Marcus Mock, est passé du ZH12 en 1960 au ZH16 puis au ZH-8 ADT en 1993...

Les périodes des compartiments utilisés sont généralement communiquées par les fabricants ; par contre les coefficients réels associés ainsi que les corrections utilisées sont rarement connus. Les modèles les plus récents sont destinés à prévenir les acci-

dents neurologiques et articulaires. Ils prennent en considération des phénomènes qui viennent modifier considérablement les échanges gazeux.

Remarques :

- Les modèles mathématiques ont apporté une nette amélioration dans la prévention des accidents de plongée.
- Néanmoins ce ne sont que des modèles avec des limites qui dépendent de nombreux facteurs. Ils s'améliorent toujours mais font encore l'objet de nombreux débats.
- Certains fabricants adaptent ces modèles en prenant en compte la température ou le rythme cardiaque de chaque plongeur.
- Il n'existe pas de modèle adaptable à chaque individu !
- *Existe-t-il d'autres pistes pas encore utilisées ? Par exemple la surveillance de la saturation du sang en oxygène : avant, pendant et après une plongée. Est-ce significatif ? Les appareils existants sont-ils utilisables ?*

Les accidents neurologiques

Le modèle de Haldane prenait en compte la phase dissoute des gaz jusqu'au moment de leur passage en phase gazeuse et supposait que les accidents ne se produisaient que lors de l'apparition de bulles dans l'organisme.

Les micro-bulles et les bulles

Les théories les plus récentes considèrent que des micro-bulles ou noyaux gazeux, servent de relais à la production des bulles. Ces micro-bulles, se produisent en permanence dans l'organisme par cavitation dans le cœur ou, par frottement dans les vaisseaux sanguins.

Comme leur nom l'indique elles ont un diamètre de quelques microns. Elles n'obéissent pas à la loi de Mariotte. Elles se nourrissent de l'azote environnant. Leur durée de vie est de quelques millisecondes lorsque la pression ambiante est stable. Elles circulent librement, dans la circulation veineuse, sans être pathogènes.

À la suite d'une remontée, lorsque la pression diminue, leur durée de vie augmente et, en se déplaçant des capillaires aux poumons, elles ont le temps de grossir, de se regrouper, de se transformer en bulles, et de devenir pathogène dans la phase finale de la plongée.

Pour éviter ou en tout cas réduire ce phénomène, les spécialistes aujourd'hui recommandent de réaliser des paliers plus profonds que ceux indiqués généralement par les tables. Ainsi les micro-bulles, dont la durée de vie est faible, disparaissent avant d'avoir pu grossir. (*C'est un sujet de débats*)

Le calcul de ces nouveaux paliers n'est pas encore au point mais on sait que leur profondeur doit être au voisinage de la moitié de la différence entre la profondeur maximum et le premier palier recommandé par les tables.

Exemple : Vous plongez à 50 mètres, selon les tables, vous devez effectuer un palier à 6 mètres. Vous effectuerez un premier palier plus profond à 22 mètres de 2 à 3 minutes. (*Ceci, bien sûr, est empirique*) Nous attendons avec impatience des chiffres dont la fiabilité serait garantie.

Action sur la désaturation

Pendant la désaturation et notamment pendant l'intervalle de surface, ces bulles engorgent le filtre pulmonaire, réduisent ses performances et ralentissent ainsi la désaturation. Celle-ci n'est plus logarithmique. Le modèle mathématique de Thalman introduit une désaturation linéaire, pour tenir compte de ce phénomène.

Shunt pulmonaire

Une autre conséquence, plus grave, est que ces bulles peuvent forcer le filtre pulmonaire passer directement dans la circulation artérielle, d'où le nom de "Shunt pulmonaire" donné à ce phénomène. Par exemple, après une remontée rapide, les poumons se trouvent engorgés par un afflux de bulles. Si on redescend, le diamètre des bulles se réduit ce qui leur permet de franchir les capillaires pulmonaires et de se retrouver dans la circulation artérielle ou elles se distribuent de façon aléatoire.

A la remontée qui suit, ces bulles grossissent, et peuvent provoquer un accident neurologique. Il faut donc redescendre suffisamment profond et suffisamment longtemps pour dissoudre ces bulles. D'où la règle utilisée avec les tables, de redescendre à mi profondeur pendant au moins 5 minutes, après une remontée catastrophe.

Shunt cardiaque

Chez un certain nombre d'individus (estimé à 30% de la population) un passage existe entre les cavités droite et gauche du cœur. Les micro-bulles peuvent le franchir avec le sang veineux. Lors de la remontée qui suit, des bulles peuvent alors se développer dans la circulation artérielle et provoquer un accident neurologique.

Plongée ascenseur

Nous avons vu qu'à chaque fois qu'un plongeur remonte, le nombre et le diamètre des bulles augmentent ainsi que leur durée de vie. Elles peuvent alors atteindre une taille critique, au-delà de laquelle elles se résorbent plus difficilement même si l'on redescend.

Un plongeur, après être remonté plusieurs fois, même à vitesse normale, se retrouvera ainsi avec davantage de bulles à la dernière remontée, que s'il avait passé tout le temps à la profondeur maximum.

Plus on est près de la fin de la plongée plus le risque est important. Les ordinateurs de plongée qui ne gèrent pas ce genre de profils, peuvent ainsi se comporter comme de véritables "*Pompes à bulles*" au gré des descentes et remontées successives.

Max H. Hahn, décédé en juin 2000, avait créé un modèle dans lequel chaque mètre de remontée introduisait une pénalisation en fonction du moment de la plongée ou l'on était remonté.

Une situation particulièrement dangereuse est celle de la récupération de l'ancre quelques minutes après la plongée. Même à vitesse de remontée normale, les micro-bulles produites pendant la deuxième remontée se cumulent avec celles de la première et freinent la désaturation.

Vitesse de la remontée

Nous venons de voir que la vitesse de remontée était déterminante dans l'évolution des micro-bulles. Cependant, même en remontant lentement, on n'élimine pas tout risque d'accident. En effet, le filtre constitué par les poumons n'est pas parfait et une petite quantité de bulles peut toujours, après n'avoir pu franchir la paroi des alvéoles, se retrouver dans la circulation artérielle. La probabilité d'accident n'est donc jamais nulle.

Remarques :

La vitesse idéale est celle pour laquelle les micro-bulles se résorbent spontanément sans se développer. C'est pourquoi dans de nombreux appareils on a choisi des vitesses très lentes surtout au voisinage de la surface. Par contre, au-delà de 20 mètres par minute il est indispensable d'appliquer une procédure de sécurité.

Plus la vitesse est lente plus elle est difficile à respecter sans appareil de mesure ; certains spécialistes considèrent que l'on peut remonter à 17 m/min quitte à effectuer un palier supplémentaire de quelques minutes à 3 mètres. L'efficacité de celui-ci dans la réduction des micro-bulles est d'ailleurs prouvée.

D'autres préfèrent imposer une vitesse variable, d'autant plus lente que l'on s'approche de la surface. Ceci permet de limiter la saturation, de réduire la consommation d'air, d'échapper au froid et au stress de la profondeur. Cette solution tend à se répandre mais est toutefois contestée par les tenants des paliers profonds.

Une bonne précaution consiste à remonter lentement et, à chaque fois que possible, d'effectuer un palier final de quelques minutes à 3 mètres même si l'on n'a pas de palier à effectuer.

L'un des rôles des ordinateurs de plongée est de contrôler l'évolution des micro-bulles pour les empêcher de se transformer en bulles.

Accident articulaires

Lorsqu'une quantité suffisante d'azote a été accumulée dans un tissu et que la pression ambiante diminue en deçà d'une certaine valeur les micro-bulles qui s'y trouvent se transforment en bulles, elles risquent de s'y trouver bloquées et de donner naissance à un accident articulaires.

Elles peuvent aussi provoquer l'accumulation de micro-lésions qui avec le temps aboutissent à des nécroses articulaires importantes. L'apparition de ce type d'accident dépend à la fois de la charge en azote du tissu considéré et de la vitesse de remontée.

C'est surtout pour ce type d'accident que les tables de plongées avaient été conçues à l'origine. Il n'y a pas, comme dans l'accident de type I, de seuil inférieur à la vitesse de remontée. Du moment que l'on dépasse une profondeur plafond, on risque l'accident.

Lorsque les règles de décompression ne sont pas respectées, les bulles peuvent apparaître et circuler pendant un certain temps, sans donner de symptômes : elles sont alors dites "*silencieuses*". Ces bulles peuvent cependant, à tout moment, "*se coincer*" n'importe où et devenir pathogènes.

C'est pourquoi, même si une erreur ne donne pas lieu immédiatement à un accident, elle doit être enregistrée et rester signalée d'une façon visuelle ou sonore pour inciter le plongeur à prendre les mesures préventives qui s'imposent.

Ceci n'empêche évidemment pas que des bulles puissent apparaître spontanément et brutalement en cas d'erreur importante de décompression.

Le froid

Au début de la plongée les tissus périphériques se chargent, comme les autres, en azote en fonction de la pression, de la profondeur et de leurs caractéristiques. Mais, lorsque la température diminue, généralement en fin de plongée, leur perfusion diminue au profit des tissus centraux.

Leur désaturation s'en trouve ralentie tandis que le coefficient de sursaturation critique du compartiment correspondant diminue. Ces phénomènes augmentent le risque de voir des bulles s'y développer et un accident de s'y produire. La température doit donc être prise en considération lors de la décompression.

Les efforts

Lorsque le plongeur fait des efforts pendant la plongée la perfusion des muscles concernés augmente. Ceux-ci se chargent donc davantage en azote que s'ils étaient au

repos. Lors de la remontée et en particulier pendant la décompression, la perfusion de ces muscles redevient normale. Il en résulte une augmentation de la durée de désaturation et une diminution de leur coefficient de sursaturation critique.

La plupart des tables de plongée et des ordinateurs destinés à la plongée de loisir prennent en considération un travail moyen du plongeur. Mais ils négligent les efforts importants qu'il peut être amené à accomplir dans certaines circonstances.

L'altitude

À partir du modèle de Haldane, il est possible de calculer la décompression en fonction des variations de pression liées à l'altitude. En fait, là aussi, des modifications physiologiques apparaissent, par exemple la variation de pressions partielles d'oxygène dans les alvéoles en fonction de la présence de vapeur d'eau.

Ceci peut conduire à la nécessité de modifications profondes de la décompression surtout au-delà de 3000 mètres (*Le Péchon*). Des modifications des coefficients de sécurité doivent donc être introduites en fonction de l'altitude.

On notera qu'une descente, après un séjour en altitude, provoque une désaturation tandis qu'après un séjour au niveau de la mer, une montée en altitude provoque une sursaturation. Il suffit ainsi de monter de quelques centaines de mètres après une plongée pour provoquer un accident.

Les facteurs de risque

Les phénomènes décrits ci-dessus peuvent être la cause de nombreux accidents car ils en augmentent fortement la probabilité, mais ils ne sont pas les seuls. Nous avons regroupés quelque uns des plus connus sous forme d'une liste non exhaustive.

Pour des raisons pédagogiques nous les appelons "*Facteurs de risque*" mais on les appelle aussi : "*Facteurs favorisants*", "*Cofacteurs*", "*Facteurs aggravants*".

Ce sont :

- - le froid ;
- - la fatigue ;
- - les efforts physiques en profondeur ;
- - le manque d'entraînement ou la mauvaise condition physique ;
- - les plongées successives ;
- - les plongées répétées sans repos périodique ;
- - les profils de plongée en ascenseur ;
- - les coups de soleil ;
- - l'âge ;
- - l'obésité ;
- - les antécédents d'accident ou d'incident de plongée ;
- - les antécédents médicaux comme le cholestérol et l'hypoglycémie ;

- - la déshydratation ;
- - la mauvaise alimentation ;
- - la prise de certains médicaments ;
- - l'abus d'alcool ;
- - l'abus de tabac ;
- - le stress ;
- - les mauvaises conditions psychologiques ;
- - le matériel respiratoire défectueux ;
- - l'altitude (hypoxie et mal des montagnes au-dessus de 3000 m).

Ces facteurs interviennent : certains par l'accumulation de micro-bulles, d'autres en modifiant le volume et la fréquence respiratoires, le rythme cardiaque ou la perfusion des tissus. Les marges de sécurité des tables ou des ordinateurs ne les prennent que partiellement en compte. Chacun de ces éléments ne suffit généralement pas à provoquer un accident.

L'association de 2 ou 3 d'entre-eux peut cependant être déterminante d'autant plus que, dans certains cas, leurs effets ne s'ajoutent pas, ils se multiplient. (Exemple : l'alcool et les médicaments)

En examinant la liste ci-dessus, on peut noter que quel que soit l'ordinateur ou les tables utilisés, le comportement du plongeur est le principal facteur de risque. (*Bernard Schittly*)

Le temps de latence

À la suite d'une erreur, les bulles produites peuvent se résorber par re-compression. Le plongeur dispose d'un certain temps pour les éliminer en se re-comprimant. Au-delà, si les conditions qui leur ont donné naissance persistent, elles s'entourent de plaquettes sanguines qui les isolent du milieu.

Dans ce cas, l'élimination du gaz qu'elles contiennent n'obéit plus aux lois logarithmiques mais à des lois mal connues, beaucoup plus complexes.

Ceci conduit à des phénomènes, difficilement réversibles, qui s'entretiennent d'eux-mêmes. L'Accident De Décompression (A.D.D.) se transforme et se traite alors comme une véritable maladie. C'est pourquoi on l'appelle "*Maladie De Décompression*" ou *M.D.D.*

Il est couramment admis que le temps disponible, avant que l'accident ne se déclenche, est de quelques minutes. C'est ce temps, dit de "*latence*", qui permet au plongeur d'éviter les conséquences de certaines erreurs. On rappellera qu'avec les tables, on tolère

trois minutes en surface après une remontée rapide.

En plongée professionnelle, la décompression dite de surface exploite largement et efficacement le temps de latence. Les plongeurs à l'issue de leur plongée remontent

directement en surface, se déséquipent avant de pénétrer dans le caisson où ils sont comprimés pour effectuer leur décompression bien au sec.

Bien entendu il ne faut pas pour autant s'autoriser des abus mais, se rappeler, qu'après une erreur de courte durée, on dispose d'un certain temps pour éviter un accident. Les ordinateurs exploitent aussi cette possibilité et ne passent en "alarme définitive" qu'après quelques minutes. C'est donc une caractéristique importante de ces appareils.

La toxicité de l'oxygène

La plongée s'oriente de plus en plus vers l'utilisation de mélanges suroxygénés qu'on appelle "Nitrox" dans les pays anglo-saxons ou "Surox" en France. Mais l'oxygène est toxique selon la pression partielle et le temps d'exposition.

Effet Paul BERT.

Il est appelé Central Nervous System toxicité "CNS" par les Américains. Il affecte le système nerveux. La toxicité apparaît après un temps de latence qui peut être nul ou de quelques dizaines de minutes en fonction de la pression partielle d'oxygène. Ce temps, relativement stable d'un individu à l'autre, varie selon la température, l'effort, l'immersion etc.

La toxicité se manifeste par une crise convulsive généralisée qu'on appelle crise hyperoxique. Elle peut se produire très rapidement au delà d'une pression partielle de 1,6 bar. Celle-ci ne doit donc jamais être dépassée. Si, en immersion, le sujet n'est pas immédiatement soustrait à l'hyperoxie, il risque la mort par noyade.

P_{pO_2}	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	>1,6
min	720	570	450	360	300	240	210	180	150	120	45	0

En 1990 le N.O.A.A. (National Oceanographic and Atmospheric Association) des U.S.A. a créé un standard qui recommande les limites d'exposition à ne pas dépasser. Le tableau ci-dessus donne les valeurs en fonction de la pression partielle d'oxygène pour des plongées simples. Un effet cumulatif doit aussi être pris en considération pour des plongées successives.

- **Effet Lorrain SMITH**

Il affecte le système pulmonaire. La toxicité apparaît là aussi après un temps de latence mais celui-ci peut être de quelques heures ou de quelques dizaines d'heures suivant la pression partielle d'oxygène. Les symptômes peuvent aller d'une simple toux, jusqu'à une broncho-pneumonie, pour des durées prolongées.

Ce fut le cas de certains cosmonautes soviétiques soumis à la respiration d'O₂. Ces symptômes sont réversibles après retour à la normoxie. Il est peu probable que ce type d'accident arrive à des plongeurs sportifs. Néanmoins il est imaginable qu'il se produise en cas de plongées répétitives, très longues utilisant des recycleurs par exemple ou, dans les habitations sous-marines.

La quantité d'O₂ absorbée est traduite en OTU (Oxygène Toxicité Unit) qui est le produit de la P_pO₂, du temps et d'un coefficient de correction K_p. Celui-ci permet de tenir compte de la variation non linéaire de la toxicité avec la P_pO₂. Ces données sont utilisées dans certains d'appareils fabriqués par COCHRAN et par SUUNTO.

On admet généralement que la dose d'O₂ à ne pas dépasser est de 400 O.T.U. À titre d'exemple, un plongeur utilisant un mélange à 40% d'O₂ et qui effectue une plongée de 60 min à 30 m accumule 185 O.T.U.

La quantité d'oxygène admissible peut aussi être traduite en OLI, "Oxygène Limit Index" qui traduit la quantité d'oxygène que l'on peut accumuler en tenant compte des profils variables, des intervalles et des plongées successives.

Ceci d'après un modèle mathématique mis au point par Bill Hamilton et Randy Bohrer et utilisé dans l'ordinateur Nitrox "BRIDGE II de chez Orca. Les Ordinateurs de plongée Nitrox doivent calculer l'absorption et l'élimination d'O₂ comme ils le font pour le N₂ mais avec des paramètres différents.

Résumé :

- D'une façon générale, contrairement aux anciennes théories, la désaturation des compartiments ne suit pas une loi logarithmique reproductible et facile à mettre en équation.
- Il est indispensable d'adapter les modèles mathématiques destinés aux calculateurs de plongée pour tenir compte des facteurs de risques, de la présence des micro-bulles, de la température, des efforts du plongeur et de la pression partielle d'oxygène.
- Le plongeur dispose d'un temps de grâce pour rattraper ses erreurs, mais il ne doit pas en abuser.
- L'utilisation de mélanges enrichis en oxygène nécessite des appareils spéciaux, prenant en compte à la fois la P_{pO₂} et la durée d'exposition.

Les modèles que nous avons cité ont marqués le début des recherches dans le domaine de la décompression. Ils évoluent et il s'en créent d'autres mais aucun n'est universel pour résoudre les différents problèmes soulevés par la décompression.

Aussi certains ordinateurs de plongée ajoutent à un modèle de base une dose d'un autre modèle répondant par exemple à la limitation des micro-bulles.

La probabilité d'accident ne sera jamais nulle

Elle augmente rapidement lorsqu'on dépasse certaines limites surtout en présence de facteurs de risque.

Des recherches se poursuivent pour déterminer la probabilité individuelle d'accident de plongée. Le lecteur se sera rendu compte de l'extrême complexité de ce sujet.

On n'a pas encore trouvé le moyen fiable de déclencher une alarme adaptée à chaque plongeur. Chacun doit donc se préoccuper de ses propres facteurs de risques.

Livre d'or



- LES INSTRUMENTS DE NAVIGATION -

Table des matières détaillée

La boussole

Le compas

Éclaté d'un compas

Le boîtier

La rose des vents - Recto et Verso

Le couvercle

Le boîtier

La couronne

Le capot de protection

Utilisation d'un compas mécanique

Compas à boîtier gradué

Relevé à l'aide d'un compas à couronne graduée

Relevé à l'aide d'un compas à boîtier gradué

Utilisation du compas en plongée

Le chaînage

Les compas électroniques

Questions compas

Les profondimètres



Compas de marine ancien

Les plongeurs parlent souvent indifféremment de compas ou de boussole.

D'une façon générale, ils servent à mesurer l'angle que fait une direction par rapport au Nord magnétique. Nous négligerons ici la déclinaison (variable) qui est la différence entre le Nord magnétique et le Nord géographique.

*La boussole et le compas sont des instruments différents
même si leur usage est voisin.*

La boussole

Elle est surtout destinée à une utilisation terrestre.

Elle se compose essentiellement d'une aiguille aimantée montée sur un pivot, parfois en rubis sur bronze pour réduire les frottements. Cette aiguille est montée dans un boîtier, pas forcément étanche, dont le fond comporte une graduation en degrés. La

lecture ne peut se faire que vue de dessus. Ce type de boussole est fragile et possède souvent un système de blocage de l'aiguille. (Petit bouton sur la gauche de la photo ci-dessous)

Le couple de rotation de l'aiguille est faible car sa masse magnétique est faible. Le principal inconvénient de la boussole est de nécessiter d'être bien horizontale.



Petite boussole de poche

Certaines boussoles évoluées possèdent un système pour relever une direction mais cela est incompatible avec une utilisation sous-marine.

Le compas

Il est surtout destiné à une utilisation marine.

Il se compose essentiellement d'un disque monté sur pivot. Sur ce disque est dessinée une rose des vents graduée, le plus souvent de 0 à 360 degrés. Dessous ce disque, de part et d'autre du pivot, sont disposés 2 barreaux aimantés dont la masse magnétique est bien plus importante que celle de l'aiguille aimantée d'une boussole.



Les barreaux aimantés, vus de dessous

En penchant le compas et en regardant par dessous à travers la fenêtre, vous pouvez distinguer les deux barreaux aimantés qui distinguent les compas des boussoles.

Le tout est monté dans un boîtier étanche contenant parfois un liquide amortisseur de mouvement. Les principaux avantages d'un compas de marine sont leur précision et la tolérance d'un angle important par rapport à l'horizontale.

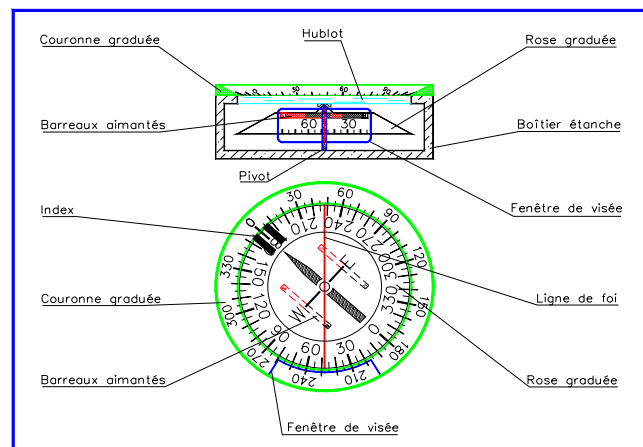
Il existe plusieurs types de rose :

- La rose des vents représentée par une étoile à 32 branches. Elle est toujours d'actualité bien qu'elle ait été prévue, à l'origine pour la navigation à voile.

- Une graduation de 0 à 360 degrés.

Les compas de marine, à bord des bateaux, ont à la fois une graduation en degré et une rose des vents, souvent très stylisée. Ils sont maintenus horizontaux grâce à un système de cardan. (Voir la photographie en début de page)

Les compas sous-marins, objets de cette page, sont le plus souvent, gradués de 5 en 5 degrés, la rose des vents est réduite à sa plus simple expression. (Nord, sud, est et ouest représentés par les lettres N,S,E et W)



Compas SK7 de Suunto à couronne graduée et détails

Il existe 2 types principaux de compas :

- Le compas de route : Comme son nom l'indique, il est destiné à suivre une route. (Un cap) À bord d'un bateau, il est le plus souvent solidaire de celui-ci et pour améliorer sa tenue au roulis et tangage, il est monté sur cardan. L'axe du bateau est appelée ligne de foi. La graduation de la rose par rapport à l'avant de la ligne de foi indique le cap suivi.

- Le compas de relèvement : Il possède un système de visée permettant de relever l'angle sous lequel on voit une cible par rapport au nord magnétique.

Beaucoup de compas mobiles et plus particulièrement les compas de plongée combinent ces deux possibilités.

La déclinaison, qui est l'écart variable entre le nord magnétique et le nord géographique, n'est guère utilisée par les plongeurs car elle n'intervient que lorsqu'on veut tracer ou suivre une route portée sur une carte.

Éclaté d'un compas

Les photos ci-dessous montrent les différents composants d'un compas de plongée. La photo de l'ensemble 1) ci-dessous montre un compas prêt à l'utilisation.



1) Ensemble monté



2) Embase



3) Rose Recto



4) Rose Verso



5) Couvercle



6) Boîtier



7) Couronne



8) Capot

Le boîtier 6) :

Il contient une embase 2) coeur de l'appareil qui comporte un axe constitué par une aiguille fine laquelle soutient la rose des vents.

Le boîtier est rempli par une huile destinée à amortir les mouvements de la rose des vents et à réduire les frottements sur l'axe. Pleine d'huile, elle est insensible à la pression extérieure.

La rose des vents - Recto 3) et Verso 4)

Elle repose sur l'aiguille par un pivot (crapaudine en creux conique) qui, dans certaines limites, lui permet de rester horizontale quand l'instrument s'incline.

Au verso on peut voir les deux aimants qui encadrent l'aiguille et orientent la rose vers le Nord.

On notera que pour lire la rose, il faut lire les valeurs qui sont à l'endroit en se tenant à l'extérieur de la rose. Vu de dessus, on voit que le Nord se trouve en face de 180° (À *l'envers*) et que le zéro est au Sud (À *l'endroit*) Par contre, lorsqu'on vise le Nord à travers la fenêtre, c'est bien le zéro à l'endroit qui apparaît. C'est le cas de tout les compas de plongée à rose tournante.

(Bien que suite à une erreur de sous-traitant, il y a quelques années, il s'est vendu des compas où la graduation était à l'envers et se lisait comme si l'observateur se trouvait au centre de la rose)

Le couvercle (5)

Il est transparent et soudé sur l'embase. Sur le dessus la ligne de foi est tracée **en rouge**.

Le boîtier (6)

Il reçoit la capsule collée ou soudée à l'intérieur.

La couronne (7)

Elle est graduée et possède un système de cliquet qui lui permet de tourner par bonds.

Le capot de protection (8)

Le compas est généralement protégé par un capot en caoutchouc solidaire du bracelet de fixation au poignet du plongeur.

Pour ma part, je préfère utiliser une garcette fixée à un anneau du gilet ce qui me permet de le tenir à la main et de mieux le positionner lorsque j'en ai besoin.

Cependant, dans les pays Anglo-saxons, il est souvent installé dans une console avec le manomètre HP et l'ordinateur de plongée.

Utilisation d'un compas mécanique

1) Il faut être capable de faire un relevé : ([Figure 22](#))

Cela consiste à mesurer la direction d'un repère qui par la suite servira à s'orienter sous l'eau. (Si la visibilité est suffisante, il est aussi possible de relever un cap en immersion, par exemple pour faire de la topographie)

2) Être capable de suivre un cap :

Cela consiste à suivre sous l'eau la direction mesurée lors d'un relevé.

Les compas mécaniques se divisent eux-mêmes en 2 catégories :

- Les compas à **couronne graduée** et les compas à **boîtier gradué**. (Ces derniers sont de moins en moins utilisés)

- Compas à couronne graduée

Pour son utilisation, il se compose :

1) D'un boîtier : Dans son axe est dessinée une «Ligne de foi» fixe. Sur le devant se trouve une fenêtre de visée avec un repère, dans le même axe que la ligne de foi.

2) D'une « Rose des vents » mobile où sont dessinés : le Nord, le Sud, l'Ouest et l'Est. (Ce Nord s'oriente automatiquement vers le nord magnétique) Une graduation de 0 à -360°, généralement de 5 en 5°. (Lecture sur le dessus et par la fenêtre latérale)

3) D'une couronne tournante, sur laquelle on trouve : Un repère double pour caler le nord de la rose Une graduation de 0 à -360° généralement de 5 en 5°.

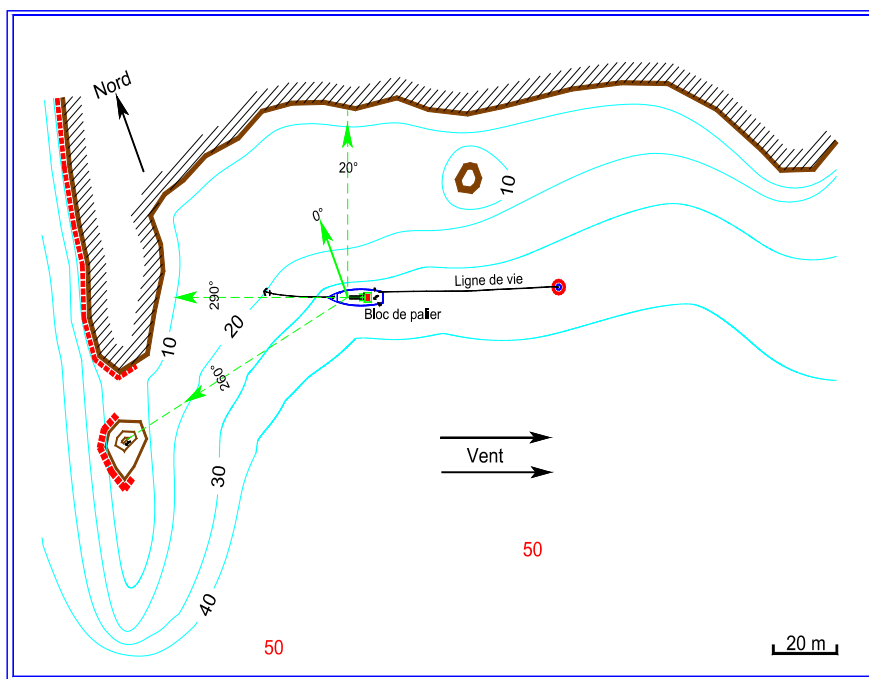


Figure 22 *Différents relevés sur un site de plongée*

Compas à boîtier gradué :

Pour son utilisation, il se compose :

1) D'un boîtier sur lequel on trouve : une «Ligne de Foi». (Sur le coté) Une graduation de 0 à +360° généralement de 5 en 5°. Une fenêtre latérale avec un repère dans l'axe du boîtier.

2) D'une « Rose des vents » mobile où sont dessinés : le Nord, le Sud, l'Ouest et l'Est. (Ce Nord s'oriente automatiquement vers le nord magnétique) Une graduation de 0 à -360°, généralement de 5 en 5°. (Lecture sur le dessus et dans la fenêtre latérale)

3) D'une couronne tournante avec : Une **ligne de visée** (matérialisée par 2 encoches) Un repère double pour caler le nord de la rose.

Relevé à l'aide d'un compas à couronne graduée

À l'aide du repère de la fenêtre latérale, visez dans la direction que vous voulez repérer. Notez l'angle indiqué par le repère sur la rose des vents. Si plusieurs directions sont envisagées, notez-les sur votre planchette immergeable.

Relevé à l'aide d'un compas à boîtier gradué

Réglez la couronne de façon que ses encoches soient parallèles à la ligne de foi. À l'aide des encoches, visez dans la direction que vous voulez repérer. Notez l'angle in-

diqué par le repère sur la rose des vents. Si plusieurs directions sont envisagées, notez-les sur votre planchette immergeable. Un cap peut être relevé en immersion aussi bien qu'en surface. (Ici, les 2 compas indiquent un relèvement de 48°. On remarquera que ce n'est pas très précis)



Couronne graduée

Boîtier gradué

(Relevés d'un cap)

Il existe un modèle de couronne où la graduation est tournée vers l'extérieur. Ce modèle n'est pas très pratique pour faire des relevés.

Utilisation du compas en plongée (Suivre un cap, relevé en surface Figure 22)

- Couronne graduée : Mettez l'angle mesuré en correspondance avec la ligne de foi.
- Boîtier gradué : Mettez le repère de la couronne sur l'angle de la direction que vous avez relevé.

Ici, sur les 2 modèles le réglage a été fait pour suivre un cap de 48°. On voit bien là, la différence qui existe entre ces deux types de compas.

Dirigez vous dans la direction indiquée par la ligne de foi en maintenant le nord de la rose dans le repère double de la couronne. La fenêtre de visée n'est plus utilisée mais elle doit être orientée vers vous sous peine de faire une erreur de 180°. Par contre, si vous voulez revenir sur vos pas, vous devrez maintenir le nord de la rose vers le repère simple. (C'est ce que l'on appelle faire un 180°)

Suivi d'un cap en immersion

Pour bien suivre le cap, il est préférable de tenir le compas à deux mains, les coudes appuyés de chaque côté de la poitrine. Le compas se trouve ainsi à la pointe d'un triangle indéformable ce qui évite de modifier sa direction. Lorsqu'on veut une bonne

précision, il est préférable de ne pas le quitter des yeux. Cependant, dans la pratique courante, il suffit d'y jeter un coup d'œil de temps en temps.

L'expérience aidant on se rend compte lorsqu'on modifie sa direction. Le compas pourra être fixé à un anneau, non magnétique, du gilet ou tenu au poignet par une dragonne pour être toujours à proximité de la main.

Lorsqu'il y a du courant, le plongeur en subit l'effet et cela peut entraîner une dérive importante. On peut éventuellement réduire cette erreur, à l'estime, mais c'est très aléatoire. Pour l'éviter et à condition que la visibilité soit suffisante, il faut réaliser un chaînage.

Le chaînage.

Il consiste à prendre régulièrement des repères naturels sur le fond, le plus loin possible, dans la direction où l'on doit aller. (Indiquée par la ligne de foi)

En prenant ainsi des repères les uns derrière les autres, on évite l'erreur due au courant et de plus, on a pas besoin de garder l'œil rivé sur la rose des vents. Il ne faut pas hésiter à s'arrêter de temps en temps sur le fond pour prendre les dits repères.

Pour éviter les erreurs dues au frottement de la rose des vents sur l'intérieur du boîtier, le compas doit être maintenu aussi horizontal que possible. Quand vous achetez un compas, vérifiez qu'il tolère une gîte importante, sans se bloquer. C'est une caractéristique qui est rarement donnée par le fabricant.

La précision des compas sous-marins est de quelques degrés.

Pour avoir une idée des erreurs possibles, il faut savoir qu'une erreur de 5° sur une distance de 100 mètres entraîne un écart d'environ 9 mètres à l'arrivée.

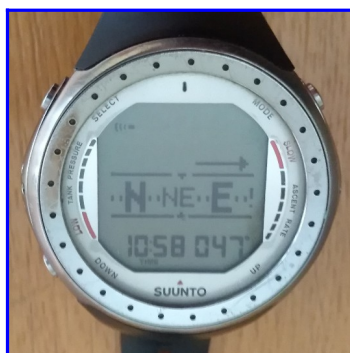
Les compas que nous venons de décrire peuvent être qualifiés de mécaniques.

Les compas électroniques

Ils sont en général intégrés comme l'une des fonctions dans un ordinateur de plongée.

Les 4 boutons latéraux du modèle ci-dessous permettent de naviguer dans le menu.

Leur avantage est d'avoir "Tout en un" dans un volume parfois bien inférieur à celui d'un compas mécanique et surtout moins fragile.



Le cap avec la D9 de Suunto

Ils ont cependant un point faible : Ils ne sont exploitables qu'en vue de dessus. Ils n'ont pas de Ligne de visée, ne permettent donc pas de réaliser un chaînage du moins aussi facilement et avec autant de précision que grâce à la fenêtre d'un compas mécanique.

Par contre, ils permettent la mise en mémoire d'un cap pré-défini et de donner une alarme dès que l'on s'écarte de la bonne direction. Et peuvent simultanément fournir des informations concernant la plongée.



SUUNTO EON (Les fonctions compas)

La montre Ordinateur D9 de Suunto affiche l'heure en bas à gauche (10:58) et le cap : au milieu (NE) et en bas à droite, sous forme numérique (047°).

Ils permettent de corriger les variations de la déclinaison.

Cependant, ils nécessitent parfois un calibrage pour tenir compte de la zone géographique dans laquelle ils se trouvent.

Questions compas :

- 1) Dans quelle condition le compas mécanique est plus avantageux que le compas électronique ?
- 2) Quel sont les avantages et inconvénients d'un compas mécanique ?
- 3) En plongée, comment pratique t-on le chaînage ?

Les profondimètres (Un peu d'histoire)

Autrefois, associés à un montre et à une table de plongée ils servaient à calculer les paramètres de cette dernière pour la prévention des accidents de décompression. Ils servaient aussi à connaître la profondeur à laquelle le plongeur se trouvait pour naviguer dans le sens vertical.

Ces appareils étaient mécaniques de technique horlogère. Le capteur de pression était constitué par un tube de Bourdon ou un ressort calibré associée à une membrane qui, à l'aide de leviers et d'engrenages actionnait une aiguille devant un cadran gradué en mètres.

Une seconde aiguille était entraînée par la première au cours de la descente mais ne revenait pas en arrière au cours de la remontée. Elle conservait ainsi la mémoire de la profondeur maximum atteinte.

Les sources d'erreur étaient nombreuses et nécessitaient en surface avant la plongée un réglage de remise à zéro des deux aiguilles.

Une centaine de ces appareils avaient été testés dans notre caisson spécialisé au cours d'une campagne d'information en Ile de France.

Entre 0 et 12 mètres	Entre 12 et 80 mètres
Meilleurs que ± 30 cm : 18 %	Meilleurs que ± 3 % : 36
Entre ± 30 et ± 60 cm : 25 %	Entre ± 3 et ± 6 % : 30
Entre ± 60 et ± 90 cm : 16%	Entre ± 6 et ± 9 %
Plus mauvais que 90 cm : 41 %	Plus mauvais que 9 % : 12

Les profondimètres mécaniques avaient ensuite fait l'objet d'un séminaire des instructeurs Ile de France de la FFESSM les 12 et 13 octobre 1986. Trente six appareils avaient été testés en mer ce qui avait confirmé leur dangerosité.

Je joins ici l'introduction de l'article paru au sujet des profondimètres
dans le magazine SUBAQUA en septembre 1986

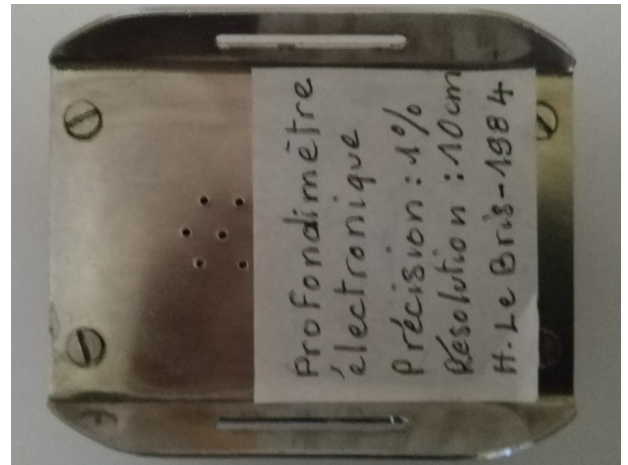
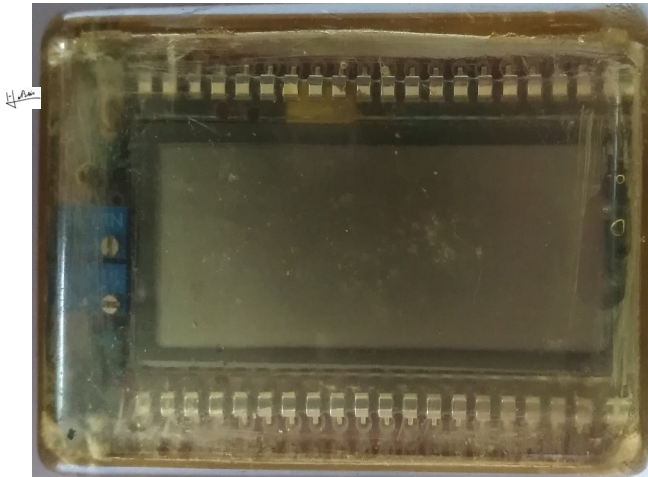
Nous avons tous pu constater au cours de nos plongées la forte dispersion qui règne dans les indications de nos profondimètres.

Dans cette situation chacun réagit à sa façon. Soit en choisissant l'indication la plus profonde soit en corrigeant une erreur connue en faisant confiance à l'une plutôt qu'à l'autre.

Il est paradoxal de constater que pour le calcul des paliers, on nous recommande d'être précis à la minute et au demi mètre près et qu'une montre banale nous donne une précision d'une seconde, alors que le profondimètre qui lui est associé n'est précis qu'à quelques mètres près.

Il faut se rappeler que les conséquences d'erreur sur la profondeur atteinte ou sur le niveau des paliers peuvent être très graves à court mais aussi à long terme, surtout si on les cumule lors de plongées successives.

Il est probables que certains accidents de décompression dits immérités s'expliquent de cette façon.



Premier et dernier profondimètre électronique !

Le profondimètre électronique ci-dessus avait une précision de 1 % et une résolution de 10 cm. Il a été conçu et fabriqué par l'auteur en 1984.

Le capteur venait de la société Bourdon, celle qui autrefois fabriquait les fameux tubes de Bourdon. La profondeur affichée jusqu'à 100m était en chiffres de 15mm de hauteur. Il était alimenté par 3 piles bouton au lithium LM2425.

Il s'amorçait par des contacts humides dès l'immersion. Il a été testé en caisson puis essayé la première fois en mer par Alain Germain à l'époque président du comité Île-de-France et enfin testé dans les laboratoires d'Aqualung.

À peine né il fut détrôné à la fin des années 80 par l'arrivée des calculateurs de plongée qu'on appelle maintenant « Ordinateurs de plongée ».

Aujourd'hui, les fonctions nécessaires au calcul de la décompression et à la mesure de profondeur sont intégrées dans les ordinateurs où un capteur de pression assure la mesure de celle-ci.

Cette mesure est utilisée d'une part pour calculer les paramètres de la plongée et d'autre part après une conversion en mètre d'eau douce ou parfois d'eau salée elle est utilisée pour la navigation en profondeur. La précision en est beaucoup plus grande.

[Livre d'or](#)



- LES MESURES DE HAUTE PRESSION -

Table des matières détaillée

Les manomètres de surface

Les manomètres immergeables mécaniques

Directive Manomètres

#Maintenance des manomètres

Manomètre en plongée teck

Les capteurs/émetteurs de Haute Pression

Elles sont destinées en général à la mesure de la haute pression avant et pendant la plongée. On distingue les manomètres utilisés en surface et les manomètres utilisés en immersion.

On peut aussi trouver des manomètres moyenne pression destinés à vérifier la MP délivrée par les premiers étages des détendeurs. (Ils font plutôt partie de l'outillage)

Le cœur de ces appareils utilise un tube de bourdon qui se déforme sous l'effet de la pression. Il est suivi de leviers qui actionnent l'aiguille devant un cadran gradué. Le cadran comporte des secteurs de couleur indiquant les limites à ne pas dépasser.

Tous ces instruments mesurent des pression relatives qu'ils soient utilisés en surface ou en immersion. Les capteurs/émetteurs destinés à transmettre la valeur de la HP aux ordinateurs ne sont pas des manomètres. Nous les traitons comme accessoires de détendeur.

Les manomètres de surface mécaniques

Ils sont munis d'un étrier ou d'un raccord DIN. Ils sont utilisés pour le contrôle de la HP à tout moment entre la fin du gonflage et avant de s'équiper pour la plongée. Ils sont fragiles au choc. (Ne pas les faire tomber sur le sol)



Manomètre HP de surface Méga sport

Les manomètres immergeables mécaniques

Bien que cette fonction soit souvent réalisée dans les ordinateurs, leur côté indépendant reste une valeur sûre dans le monde de la plongée en raison de la facilité avec laquelle les plongeurs peuvent partager leur lecture en immersion.

Ils sont utilisés pour vérifier la HP depuis l'équipement du scaphandre jusqu'à la sortie de l'eau. Ils permettent d'estimer à tout moment l'autonomie en air restante. Ils restent encore très utilisés à cause de leur faible coût et aussi de la redondance qu'ils procurent, bien que les ordinateurs de plongée assurent cette fonction d'une façon bien plus précise.



*Manomètre HP immergeable 360 bars
avec son joint tournant*

Il constitue un accessoire indispensable et bon marché pour le plongeur. Il se monte sur une sortie H.P. du détendeur.

Nous reproduisons ci-dessous la partie de la directive EN250 qui les concernent.

Les numéros des paragraphes sont ceux de la directive.

5.8.1. Directive Manomètres

Le manomètre doit être conçu et placé de sorte que le plongeur puisse le lire sans difficultés. Si pour cela un raccord flexible est nécessaire, il doit être protégé des effets mécaniques de l'environnement qui se manifestent en cours d'utilisation. Si une gaine de protection non perméable aux gaz est prévue, le volume qu'elle englobe doit communiquer avec l'atmosphère ambiante. (Elle doit être percée de trous pour éviter les hernies et les explosions)

Le raccordement du flexible au manomètre, au niveau du système de détente ou, s'il n'y a pas de flexible, le raccordement du manomètre, doit être conçu de sorte qu'avec une pression amont de 100 bar le débit d'air rejeté dans l'atmosphère n'excède pas 100 l/min.

La plage d'indication du manomètre doit aller de zéro à une valeur dépassant de 20% la pression de la (des) bouteilles d'air.

Les intervalles de graduation ou incréments ne doivent pas dépasser 10 bar. La plage inférieure à 50 bar doit être clairement différenciée de manière à bien indiquer les basses pressions. La précision du manomètre doit conforme aux tolérances ci-dessous mesurées à des pressions décroissantes :

à 40 bar + 5 bar

à 100 bar +10 bar

à 200 bar + 10 bar

à 300 bar + 10 bar

(On trouve aussi des manomètres allant jusqu'à 400 bars)

Le manomètre doit rester étanche à l'eau jusqu'à une pression externe d'au moins 10 bar au-dessus de la pression atmosphérique pendant au moins 15 min. Le verre du manomètre doit être constitué d'un matériau qui ne produit pas d'éclats lorsqu'il se brise. Le manomètre doit comporter une purge qui, en cas de fuite, protège le plongeur de tout risque de blessure.

Le dispositif de sécurité du manomètre mécanique doit se déclencher normalement à une pression n'excédant pas 50 % de la pression d'éclatement considérée. Il doit également se déclencher à un débit d'au moins 300 l/min.

Essais conformément à 6.2, 6.9.1 et 6.12



Manomètre immergeable 400 bars

L'ensemble se compose :

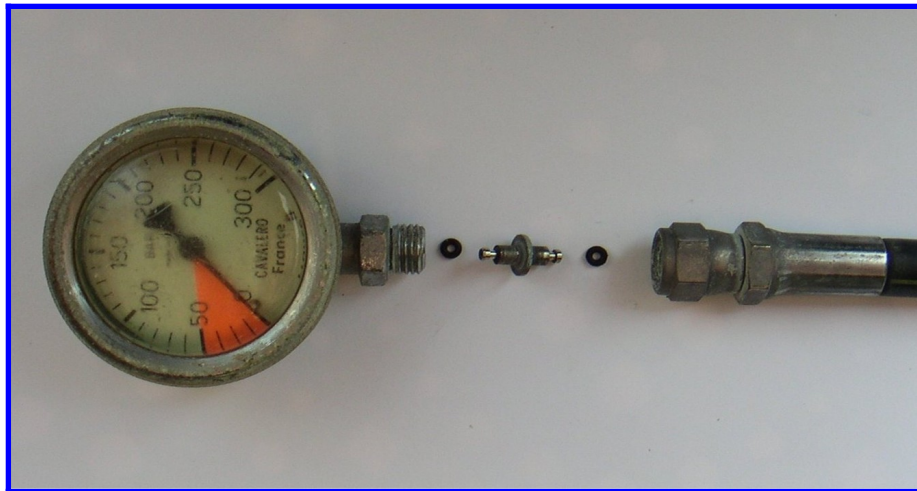
- 1) Du manomètre proprement dit. (Celui-ci doit être muni d'un système de sûreté pour éviter l'explosion de son boîtier ou de sa vitre, en cas de fuite interne)
- 2) D'un raccord tournant muni de 2 joints.
- 3) D'un tuyau qui se raccorde à une sortie HP du détendeur. (La sortie du détendeur doit avoir un débit limité pour limiter les pertes d'air en cas de rupture du tuyau ou du manomètre)
- 4) D'un système de protection du boîtier, en néoprène. Celui-ci possède un moyen de fixation pour être toujours à portée de main du plongeur.

Maintenance des manomètres immergeables HP

La maintenance journalière consiste à un rinçage en même temps que le détendeur auquel ils sont reliés.

Les images ci dessous montrent la détérioration qui se produit après plusieurs saisons voire seulement plusieurs mois sans soins.

Au début le problème se manifeste par la difficulté à orienter le manomètre et souvent par une petite fuite au niveau du raccord du tuyau.



**Manomètre HP immergeable
avec son tuyau et son joint tournant**

Leurs points faibles :

- 1) Ils sont fragiles (La technologie relève de l'horlogerie).
- 2) Ils sont source de fuites à leur raccordement avec le tuyau souple.
- 3) La protection mécanique en néoprène ne facilite pas le rinçage.

- Pendant l'immersion, l'eau stagne dans la partie centrale du raccord tournant, tandis que lors de l'entretien journalier, l'eau de rinçage y pénètre difficilement.
- Le jeu entre les parties fixes et mobiles est important ce qui favorise l'extrusion des joints à la mise sous pression.
- L'action combinée du sel, du calcaire et de l'extrusion des joints provoque une détérioration de ceux-ci lorsqu'on tourne le manomètre sous pression. Il en résulte des fuites fréquentes.



Entrée du manomètre HP encrassée

Pour éviter ce problème, il y a lieu de démonter régulièrement le raccord (À chaque saison), de le nettoyer et ne pas hésiter à y mettre beaucoup de graisse. (Air ou nitrox suivant le cas)



Connexion du flexible encrassé

Ne pas hésiter non plus à changer l'ensemble du joint tournant avec ses 2 joints.

Le nettoyage des parties femelles des raccords est important. Pour cela, utiliser des cotons tiges imprégnés de vinaigre blanc, chaud si possible. (Finir par un rinçage à l'eau claire).

On vérifiera le joint de raccordement à la sortie HP du détendeur. Ainsi que l'état de la capsule de sûreté qui se trouve à l'arrière du boîtier est en bon état.



Arrière du boîtier avec la capsule de sûreté

Manomètres en plongée tek

Dans ce type de plongée, on emporte souvent plusieurs bouteilles. Cela peut conduire à un emmêlement des tuyaux HP et à un risque de mauvaise identification de la bouteille.

Pour éviter ces inconvénients, on peut utiliser des mini manomètres. Ils peuvent se fixer directement sur une sortie HP du premier étage du détendeur. Cependant les plus utilisés le sont avec des tuyaux courts. (15cm) Ils sont plus faciles à lire et plus fiables. Ils ont des dimensions réduites, diamètre de 2 à 3 cm.

Leur principal inconvénient est d'avoir une échelle de lecture réduite. Par contre, il n'y a pas de joint tournant ce qui limite le risque de fuite.



Mini manomètre H.P.

Les capteurs Haute Pression - Émetteurs

Ce sont des modules qui se fixent sur une sortie HP d'un détendeur. Ils comportent : un capteur de pression, un micro processeur et un émetteur codés en PSK. (Phase Shift Keyed)

Ils transmettent ce signal sans fil vers l'ordinateur de plongée qui le décode et l'affiche sur son écran. Le signal obtenu est traité de façon à calculer l'autonomie du plongeur à la profondeur à laquelle il se trouve et le temps nécessaire pour regagner la surface.

Il prend ainsi en compte la vitesse de remontée et les paliers à effectuer. Il est alimenté par une pile au lithium qui lui confère une autonomie allant jusqu'à 1000 plongées.

Il peut être considéré comme un accessoire de liaison entre le détendeur et l'ordinateur. Vous obtiendrez de plus amples détails en cliquant vers le paragraphe de la "[Liaison sans fil](#)" de la page « Principe des Détendeurs ».



Le Smart + LED
(Capteur / Émetteur Scubapro)

Il en existe quelques variantes :

La photo ci-dessus est celle d'un module Scubapro. Il possède une diode Led sur le dessus. (En fonctionnement, elle est verte au dessus de 50 bars, rouge en dessous) Certains possèdent même un petit affichage par symboles.

D'autres comme celui mis sur le marché par la société italienne Ratio clignotent de différentes couleurs en fonction de la Haute Pression.

RATIO, le fabricant d'instruments de plongée italien a introduit un émetteur de lumière codée qui fournit une indication de la Haute Pression en plus de celle transmise sans fil vers ses ordinateurs de plongée iDive et iX3M.



RATIO Light coded transmitter
(30 mars 2017)

L'émetteur à corps translucide utilise un système de leds clignotantes pour indiquer le contenu de la bouteille, au dessus de 100 bars il clignote en vert, de 100 à 50 bars il clignote en jaune et lorsqu'il est inférieur à 50 bars, il clignote en rouge.

L'alimentation provient d'une batterie rechargeable USB. Le prix est de 275 £ soit d'environ 350€. (2017)

L'intérêt est que tous les membres d'une palanquée peuvent tenir compte de ces informations. Les inconvénients en sont le prix élevé et qu'ils ne sont probablement pas compatibles avec les ordinateurs d'autres fabricants.

Livre d'or



ANNEXE

Glossaire des termes employés par les fabricants

Pour mieux comprendre les fonctions des instruments, vous trouverez ci-joint le glossaire des termes employés dans leurs documentations. Celui-ci proviens de Scubapro mais il est à peu près utilisé par tous les fabricants et dans la littérature concernée.

AMD :

Profondeur minimale absolue – la profondeur à laquelle le mélange peut commencer à être utilisé, en fonction de sa teneur en oxygène.

AVG :

Profondeur moyenne, calculée depuis le début de la plongée ou à partir du moment de la réinitialisation.

CNS O₂ :

Toxicité de l'oxygène pour le système nerveux central.

DESAT :

Temps de désaturation. Le temps nécessaire au corps pour éliminer complètement tout l'azote absorbé pendant la plongée.

Temps de plongée

Le temps passé en dessous de la profondeur de 0,8 m. (3 pieds)

Gaz :

Se rapporte au mélange gazeux qui est sélectionné pour l'algorithme ZH-L16 ADT MB.

Heure locale :

L'heure de la journée dans le fuseau horaire local.

Prof. max :

La profondeur maximale atteinte pendant la plongée.

MB :

Microbulles. Les microbulles sont de toutes petites bulles qui peuvent se former dans le corps d'un plongeur pendant et après une plongée.

Niveau de MB :

Un des neuf niveaux de l'algorithme personnalisable de SCUBAPRO.

MOD :

Profondeur limite d'utilisation. C'est la profondeur à laquelle la pression partielle d'oxygène (ppO₂) atteint le niveau maximal autorisé (ppO₂max). Plonger plus profond que la MOD expose le plongeur à des niveaux dangereux de PPO₂.

Nitrox :

mélange respiratoire fait d'oxygène et d'azote, avec une concentration en oxygène égale ou supérieure à 22 %. Dans ce manuel, l'air est considéré comme un type de Nitrox particulier.

NO FLY :

(Temps d'interdiction de vol) – durée minimale que le plongeur doit attendre avant de prendre l'avion.

No-stop :

(Durée sans palier) – c'est le temps pendant lequel vous pouvez rester à la profondeur actuelle et remonter directement à la surface sans avoir à faire de palier de décompression.

O₂ :Oxygène O₂% :

Concentration en oxygène utilisée par l'ordinateur pour tous les calculs.

PDIS :

Palier intermédiaire dépendant du profil, un palier profond supplémentaire qui est suggéré par le G2 à des profondeurs où les 5e, 6e ou 7e compartiments commencent à rejeter des gaz.

ppO₂ :

(Pression partielle d'oxygène). C'est la pression de l'oxygène dans le mélange respiratoire. Elle dépend de la profondeur et de la concentration en oxygène. Une PPO₂ supérieure à 1,6 bar est considérée comme dangereuse.

ppO₂ max :

Valeur maximale autorisée de ppO₂ . Avec la concentration en oxygène, elle définit la MOD.

Pression :

L'action d'appuyer sur l'un des boutons et de le relâcher.

Pression prolongée :

l'action d'appuyer sur un bouton et de le maintenir pendant 1 seconde avant de le relâcher

INT :

Intervalle de surface, le temps compté à partir du moment où la plongée est terminée.

Mode SOS :

Résulte du fait d'avoir terminé une plongée sans respecter toutes les obligations de décompression requises

Chronomètre :

Un chronomètre, par exemple pour mesurer la durée de certaines phases de la plongée.

Profondeur de changement de gaz :

La profondeur à laquelle le plongeur doit passer à un mélange plus riche en oxygène lorsqu'il utilise l'option multigaz de l'algorithme ZH-L16 ADT MB PMG.

UTC :

Temps universel coordonné, se rapporte aux changements de fuseaux horaires lors de voyages.

TAT : (Total Ascent Time)

Durée totale de remontée.

RBT : (Remaining Bottom Time)

Durée possible restante de la plongée

CCR : (Closed Circuit Rebreather)

Recycleur à circuit fermé.

Trimix :

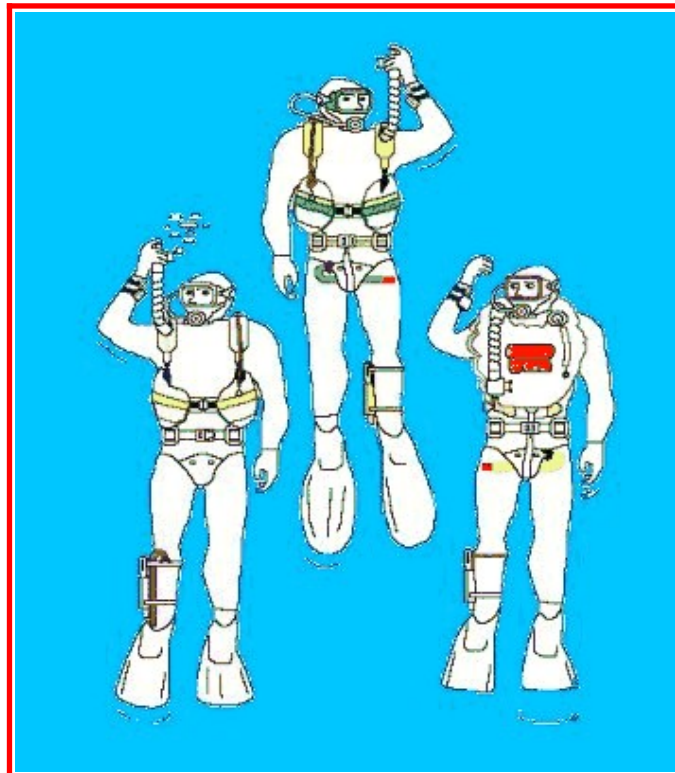
Mélange gazeux contenant de l'oxygène, de l'hélium et de l'azote.

PMG :

Prédictif multi-gaz.

OTU : (Oxygen Toxicite Unit)

Unités de toxicité de l'oxygène.



Livre d'or

