

## Nitrox - Trimix

riel, logiciels, fabrication des mélanges

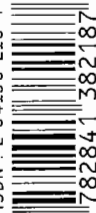
x! » Lancé au milieu d'un groupe de plongeurs, le mot interrompt les conversations, un étrange éclat aux regards. Si l'intérêt est indiscutable, en revanche souvent l'information manque. Non qu'elle soit inexistante, plutôt qu'elle apparait enveloppée d'un voile soufré ou réservée à une élite initiée. En réalité, si l'information existe, elle est souvent éparse ou rédigée en anglais. Le propos de cet ouvrage, qui ne se veut pas un manuel de plongée, est de répondre aux questions que se pose tout plongeur tenté par l'usage des mélanges : qu'est-ce qu'un nitrox, comment le fabriquer, comment régler un trimix, où trouver les composants d'une lyre à gaz, comment régler un analyseur d'oxygène, quels sont les protocoles de décompression, comment les paramétrer, comment choisir un mélange, mouiller un bateau, un plongeur... Ces questions sont celles que l'auteur, plongeur expérimenté, s'est posées ; les réponses sont ses réponses, sa propre expérience, sa propre connaissance, qui ne prétend à aucune généralité. Ici et là, de petites histoires vécues permettent de changer de mélange.

A quoi s'ajoute un chapitre consacré à la plongée souterraine, origine de la plongée technique, et un autre aux recycleurs, qui en sont l'avenir.

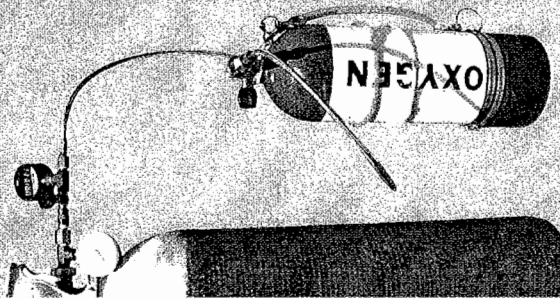
Romancier né en 1959 près de Grenoble, Jacques Vettier compte depuis plus de vingt ans la plongée au nombre de ses passions. En s'installant en Guadeloupe à partir de 1995, il a pu consacrer davantage de temps encore à sa pratique, particulièrement à l'accès des zones profondes à l'aide de mélanges gazeux autres que l'air.

La réunion de deux passions, l'écriture et la plongée sous-marine, donne cet ouvrage qui ne se veut pas un manuel didactique mais plutôt la description d'une démarche, celle de l'auteur qui, un jour, a voulu aller plus loin, au-delà de l'espace lointain.

ISBN : 2-84138-218-4



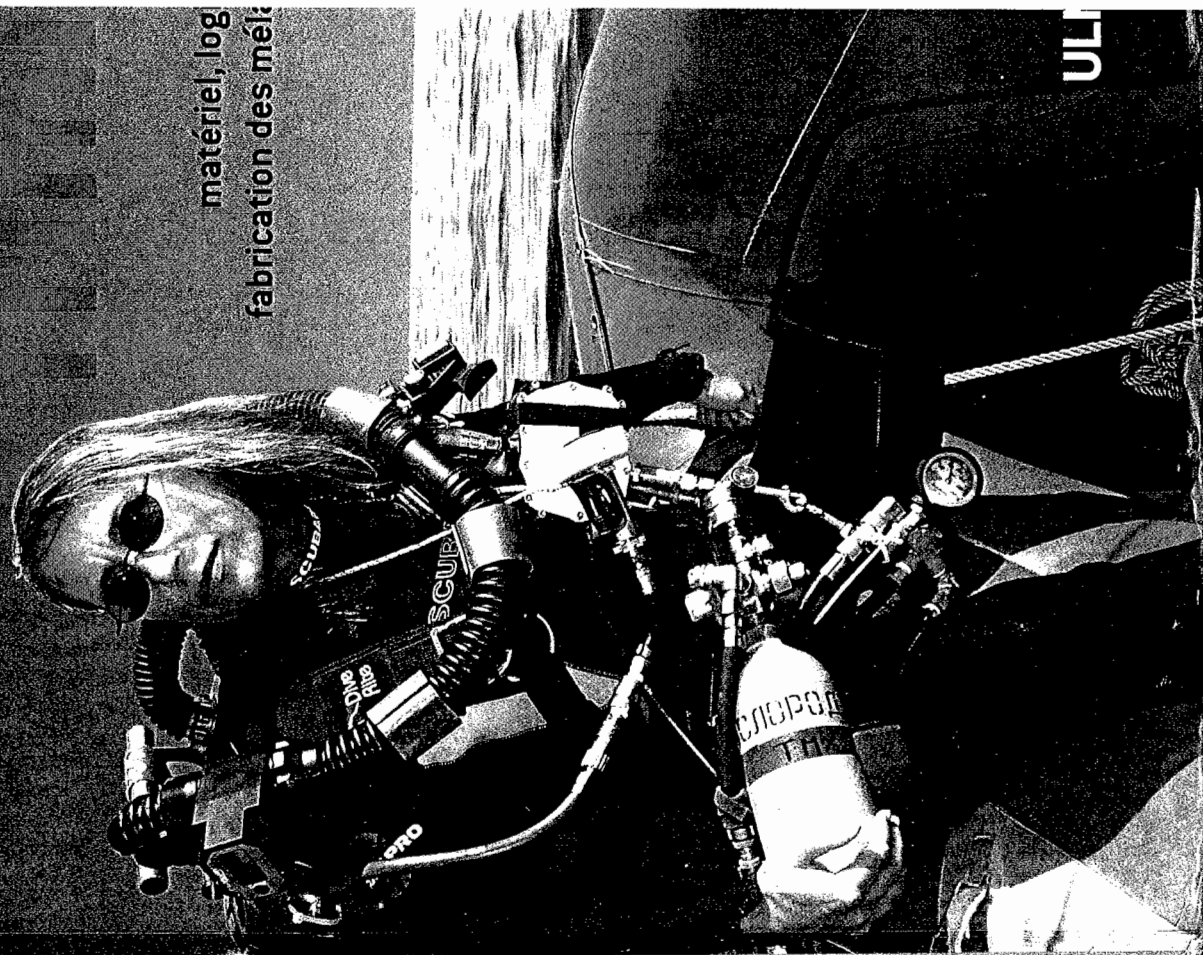
9 782841 382187



## Nitrox - Trimix

J. VETTIER

PLONGÉE TECHNIQUE



matériel, logiciels, fabrication des mélanges

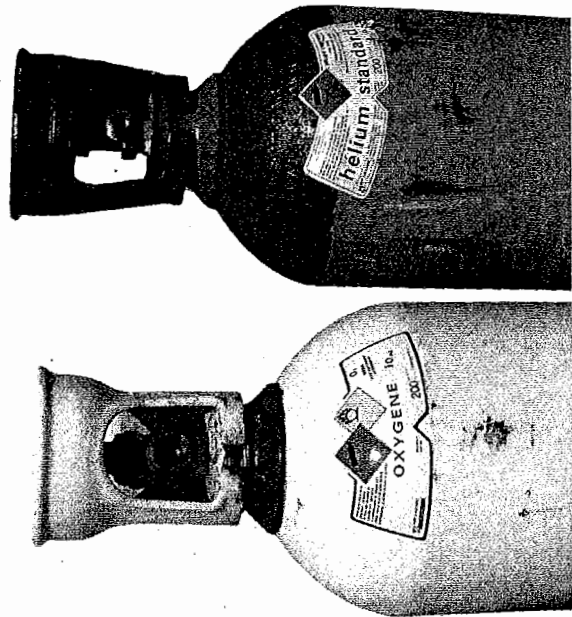
ULT

Jacques Vettier

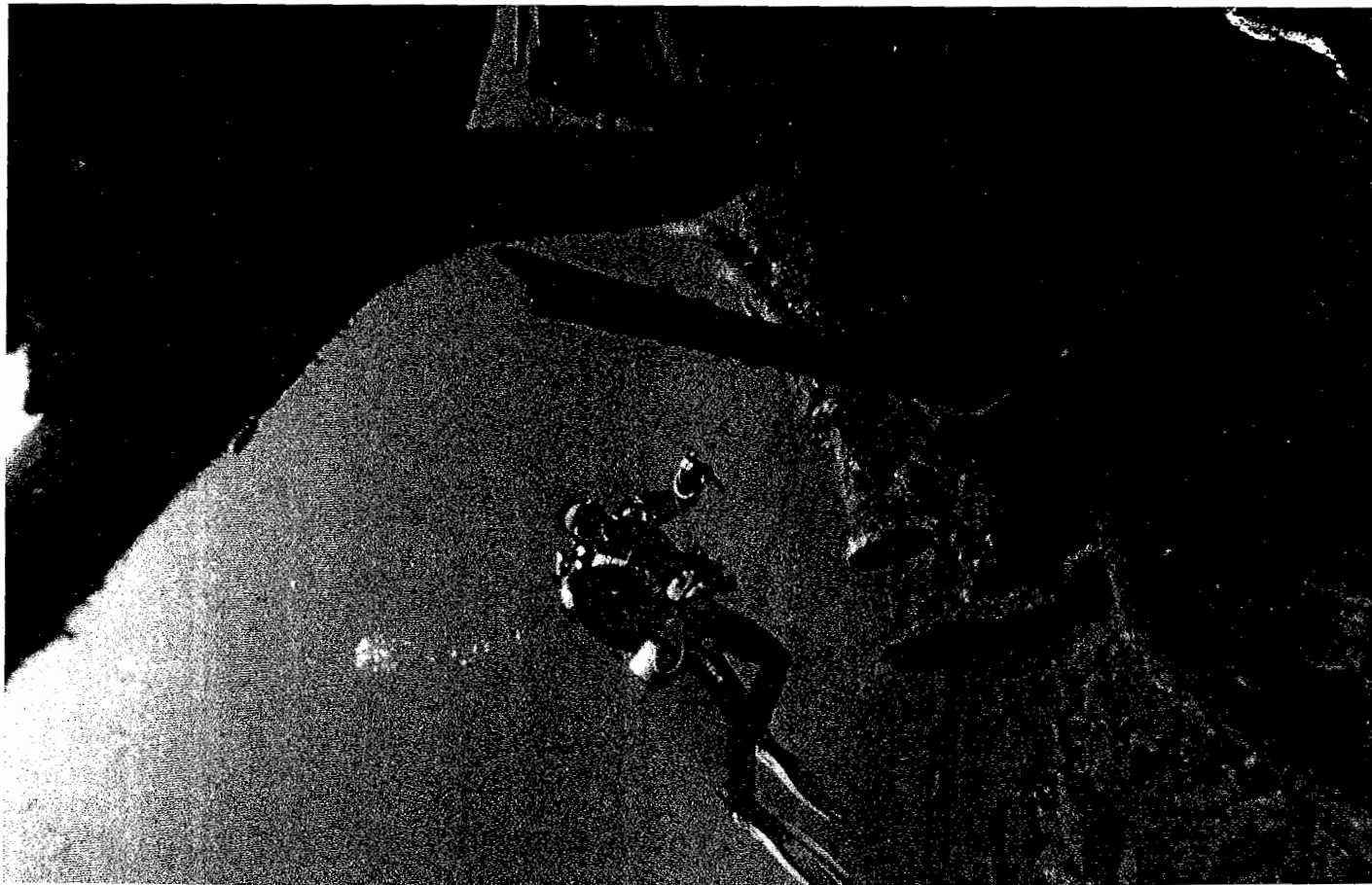
# Nitrox - Trimix

matériel, logiciels,  
fabrication des mélanges

Préface de Jean-Marc Belin  
Chapitre sur la plongée souterraine par Frank Vasseur



ULMER



*A Gisèle,  
qui y verra peut-être l'intérêt d'aller plus bas !*

### Remerciements

Pour l'aide qu'ils ont apportée à la réalisation de cet ouvrage, avant, pendant ou après sa rédaction, je tiens à remercier particulièrement :

Paul Poivert, du magazine Octopus, pour sa relecture attentive et ses conseils avisés

Lee Ann Hires, de la société Dive Rite  
Veronica Chericoni, de la société OMG Italy  
Philippe Chappot, de Swiss Custom Rebreather  
Christophe Vedel, de Nitrogen Plongée à Pointe-à-Pitre  
Philippe Moinat, de Caraïbes Plongée  
Sandrine et Remy Heffinger  
Frédéric Pinna

Et pour leur participation amicale :  
Frank Vasseur et Jean-Marc Belin (textes)  
Eric Spielmann et Richard Huttler (photos)

### Crédits photographiques :

Toutes les photos sont de l'auteur sauf :  
Eric Spielmann : pp. 2, 11, 26-27, 52, 116, 132, 134, 147, 148, 160.  
Richard Huttler : pp. 164, 166, 172.

ISBN 2-84138-218-4

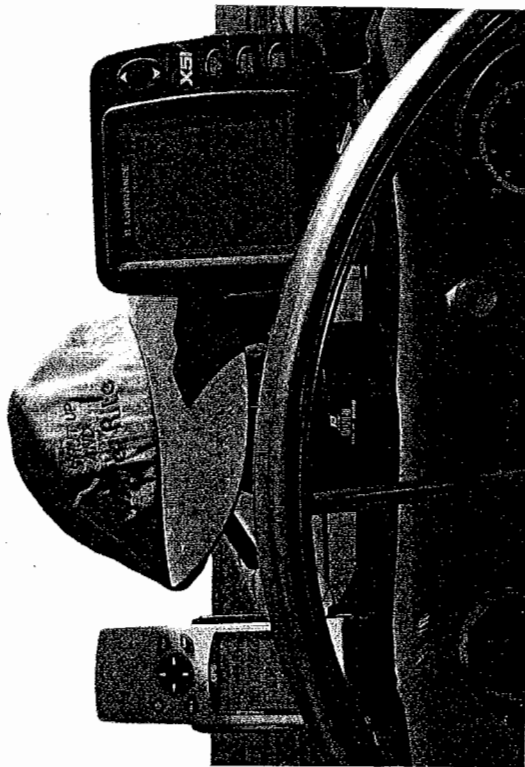
© 2003 Les Éditions Eugen Ulmer  
5 rue de Charonne 75011 Paris  
Tél. 01 48 05 03 03  
Fax 01 48 05 02 04  
[www.editions-ulmer.fr](http://www.editions-ulmer.fr)

Conception et réalisation : Laurent Melin  
Impression : I.M.E. Baume-les-Dames  
Dépôt légal : 4<sup>e</sup> trimestre 2003

Printed in France

# Sommaire

Préface.....	7	Bateaux, mouillage et plongées.....	137
Avant-propos, avertissement	9	Les recycleurs.....	153
À quoi ça sert ? .....	12	À cent mètres de la plage.....	163
Les mélanges.....	15	La plongée souterraine.....	167
La fabrication :		La recompression sous l'eau.....	177
• calculs.....	28	Fabricant et constructeurs	181
• pratique.....	33	Associations et organisations.....	186
La décompression.....	53	Sites internet.....	187
Trismisque story.....	82	Parachutes et moulinets.....	119
Le gros matériel.....	87	Ordinateurs, tables et couteaux.....	124
L'équipement.....	104	Bibliographie.....	189
Index.....	191		



# Préface

par Jean-Marc Belin

Quoi de plus fade qu'un monde connu, un monde topographié, cartographié, photographié?

Un monde aussi fréquenté qu'une station de métro un jour de service minimum. Sans doute restera-t-il toujours quelques menus détails à découvrir, mais l'Aventure ne peut s'en suffire. Car c'est bien d'Aventure dont il s'agit; celle qui fait vibrer, celle qui fait parler, celle qu'on prépare depuis si longtemps.

Le moniteur nous a bien expliqué que c'est dans la zone des 20 mètres que la luminosité est la meilleure et que c'est là qu'il y a le plus de chose à voir.

Mais il ne nous a pas convaincus bien longtemps. Lorsque les autres sont revenus d'explorations profondes pour nous raconter les merveilles que nous n'avions pas vues, le désir d'aller voir ces contrées inaccessibles est devenu une obsession. Nous aussi, quand nous serons grands, nous irons à 40 m et quand nous serons encore plus grands, nous descendrons jusqu'à 60 mètres.

Et nous sommes allés à 40 mètres, et nous sommes allés jusqu'à 60 mètres. Puis nous avons lu que d'autres étaient allés visiter des épaves vierges et des tombants vertigineux à plus de 100 m de profondeur. D'autres encore explorent des cavités souterraines qui s'enfoncent à des profondeurs déraisonnables.

L'Aventure sous-marine n'est donc pas finie, il suffit d'aller plus bas.

Mais qui étaient ces pionniers, comment faisaient-ils?

Nous sommes la deuxième génération en herbe de ces explorateurs des grandes profondeurs, plus tout à fait des pionniers, mais pas encore des anonymes utilisant une technique banalisée.

Les précurseurs ont défriché le terrain. Ils ont mis au point des harnais et des bouées capables de supporter de lourds

scaphandres, ils ont conçu des lyres de transversement pour fabriquer les précieux mélanges, ils ont construit des analyseurs d'oxygène, écrits des logiciels de décompression, mis au point des matériels et des techniques qui permettent aujourd'hui d'élargir considérablement notre espace d'évolution habituel. Et comme le législateur n'a pas encore tout interdit, alors il reste encore un peu de temps pour rêver.

Mais cette activité n'est pas pratiquée en club, aussi reste-t-elle égoïste et coûteuse. Elle nécessite de passer de nombreuses heures à la recherche de documents, d'articles, d'adresses. Il faudra dépenser beaucoup d'argent dans du matériel qui ne servira parfois même pas, et pourtant on était sûr que c'était celui qu'il fallait!

Au fil du temps, des contacts privilégiés seront noués avec ceux qui savent ou avec ceux qui cherchent. On aura d'ailleurs du mal à distinguer les deux. On s'échangera les bons tuyaux et on donnera même son avis sur une technique qu'on n'a peut-être pas essayé mais qu'un autre a décrit.

Et dans cette jungle de désinformation, ou ce désert de vraies informations, on va se construire son modèle, l'unique, le vrai, le meilleur. On va calculer et recalculer des proportions d'oxygène et d'hélium, on va se concocter des procédures de décompression maison car celles des autres sont imparfaites, on va commander des ustensiles à l'autre bout du monde (merci Internet) et puis... et puis on va douter, on va recalculer, on va modifier, on va recommander, on va redemander.

Car l'Aventure commence bien avant de mettre les palmes dans l'eau. On cherchait une vérité et on en a trouvé



cent. Où se trouve la bonne? Sans doute partout et nulle part! Certaines agences proposent le mode d'emploi tout fait, la méthode universelle en dehors de laquelle il n'y a point de salut, mais ce n'est pas ce que vous trouverez ici. Loin des doctrines et des tourmentes, l'ouvrage présente des matériels et des techniques très actuelles qui ont nécessité des recherches s'étendant bien au-delà de nos frontières. Mais ce n'est pas un simple recueil qui exposerait froidement une liste terne et sans vie. Le vécu transparaît et guide le lecteur au fil des chapitres. Rien n'est oublié, et même

l'aspect marin est abordé, ce qui n'est pas forcément le point le plus facile. Il restera sans doute toujours des choix à faire, mais ceux-ci pourront être faits en toute connaissance.

D'ailleurs, nous sommes déjà entrés dans le 3<sup>e</sup> millénaire et l'électronique a envahi nos cafétières depuis longtemps. Et si nous échangeons toutes nos bouteilles contre un petit appareil magique qui ne fait pas de bulle?

La littérature Tek en français est une denrée rare. Alors quand, en plus, elle s'accompagne d'humour et de poésie, c'est du vrai bonheur...

# Avant-propos - Avertissement

## But

La plongée est une activité à risques. La profondeur, la décompression, les mélanges, les plafonds ajoutent à ses risques. Aucun livre, si complet soit-il, ne peut prétendre enseigner la plongée. Il existe des écoles pour cela, associatives ou commerciales, dont on trouvera les coordonnées en annexe. Et là encore, les formations ne sont qu'un début, l'expérience, par définition, demande de la pratique et du temps. Un adage dit qu'il existe de vieux plongeurs, qu'il existe des plongeurs téméraires, mais qu'il n'existe pas de vieux plongeurs téméraires.

Alors quel est le but de ce livre? Pas celui d'être un manuel de plongée, non plus qu'un ouvrage pédagogique. Il espère répondre à quelques questions simples, celles que l'auteur s'est posées lorsqu'il a décidé d'aller un peu plus loin, sous l'eau. Quel matériel employer, où le trouver, comment l'agencer? Ces questions étaient également celles que posaient d'autres plongeurs, sur les bateaux, dans les bistrot du port et sur les forums Internet.

Bien entendu, certaines réponses pourraient être différentes, dictées par les conditions d'usage, une réalité locale, une réglementation spécifique ou des préférences personnelles. L'auteur ne peut offrir de réponses qu'en fonction de sa propre expérience, il s'agit donc de sa démarche, rien de plus, rien de moins.

## Législations

En France, la pratique de la plongée en mer est libre. Tout un chacun peut acheter une bouteille, un

détendeur et s'immerger sans autre forme de procès. Si personne (ou presque) n'agit ainsi, c'est par simple bon sens.

Les établissements organisant la pratique ou l'enseignement de la plongée (autre que souterraine) sont eux soumis aux arrêtés de 1998 (plongée en général) et 2000 (plongée aux mélanges et recycleurs). Les textes sont disponibles sur les sites de l'ANMP, de la FFESSM (réf. en annexe) ou encore du Journal Officiel.

Les lacs, grottes ou pièces d'eau, naturels ou artificiels, selon qu'ils sont publics ou privés peuvent se trouver sous l'autorité de l'État (préfecture), d'une municipalité ou d'un propriétaire (particulier ou entreprise). Le plongeur peut y être reçu de façons diverses, purement et simplement prohibé, autorisé à certaines périodes seulement. Une obligation spécifique peut également exister: interdiction des plongées individuelles, présence impérative d'une signalisation sur berge ou sur engin flottant. S'agissant de décisions émanant d'un niveau local, elles peuvent prendre effet ou être levées rapidement.

Dans les autres pays, même francophones, le ou les législations peuvent être très différentes. C'est vrai pour la plongée comme pour l'homologation et l'utilisation des matériels soumis à la pression ou les équipements de sécurité. Qu'un manomètre soit homologué aux États Unis ne signifie pas qu'il l'est en France. Une lyre de transvase-ment répondant aux spécifications françaises ne répondra pas forcément aux critères suisses. Une bouteille de recycleur parfaitement à jour de ses épreuves en Belgique et apte à voyager en avion pourra se voir refuser

de remplissage au Québec. Dans nombre de grottes de Floride, se mettre à l'eau équipé d'une lampe suppose la présentation d'un brevet reconnu de plongeur spéléo. Certaines îles des Caraïbes interdisent la plongée en dehors des structures commerciales du pays (et les amendes sont lourdes - de quoi stopper net une croisière).

Une liste des règlements, directives et dérogations concernant la plongée et les appareils nécessaires à la fabrication, au contrôle et au stockage des gaz et des mélanges ne saurait être exhaustive et exacte pour tous pays, tous lieux et en toutes périodes. Il appartient donc à chaque plongeur de s'assurer que le matériel qu'il emploie et que sa pratique du sport sont en conformité avec les lois et les normes du pays où il réside ou de celui où il se rend.

## Forme

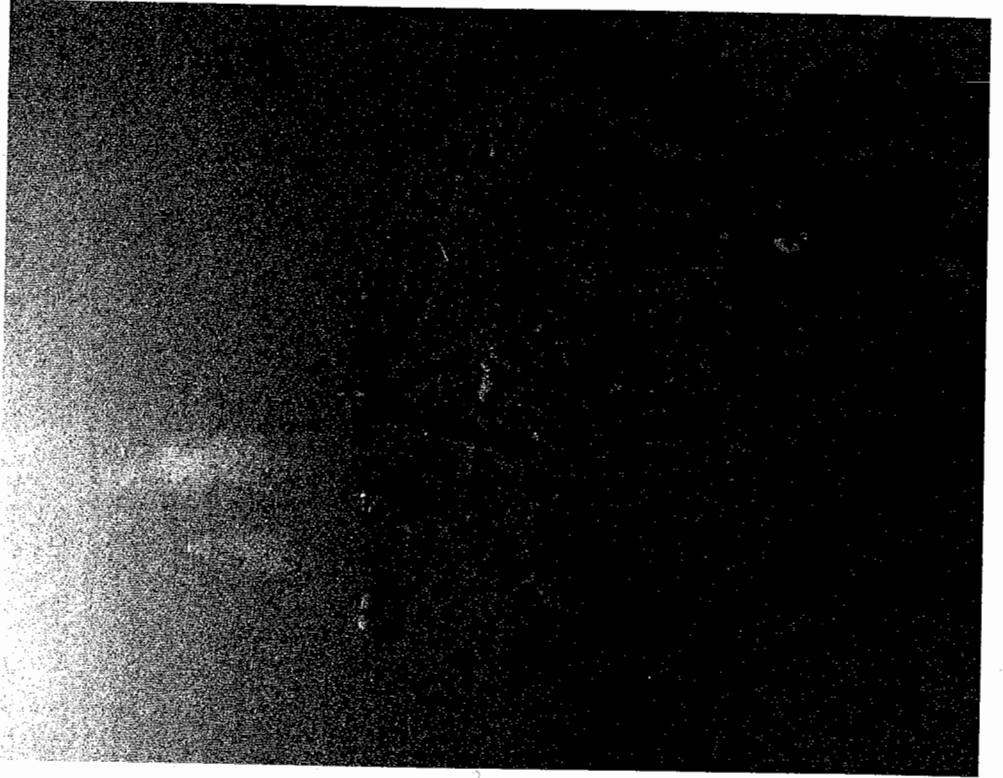
On trouvera dans ce livre des termes anglais ainsi que des exemples de configurations sans doute plus communes en Amérique du Nord qu'en Europe. Ce n'est pas une volonté délibérée de ma part, non plus que le produit d'une admiration particulière pour un côté de l'Atlantique plutôt que l'autre. C'est le résultat d'un état de fait. Lorsque, résident en Guadeloupe où n'existait aucune structure proposant la plongée aux mélanges, j'ai décidé de me lancer dans l'aventure, je me suis tourné vers le médium qui était pour moi le plus pratique: l'Internet. L'essentiel de l'information qu'on y trouve provient des États-Unis. Le rapport n'est guère meilleur pour les livres « papier » : quelques titres en français, des dizaines en anglais. Au vu de l'activité française en plongée, une information francophone existe sûrement, mais ce n'est pas elle qui est le plus facilement accessible. Ce constat a d'ailleurs présidé à la décision de rédiger le présent ouvrage. J'ai donc

peu, mais ce sera j'en suis convaincu suffisant pour éveiller la curiosité, susciter l'intérêt. Et peut-être qu'ainsi verra le jour un ouvrage français dédié à la plongée spéléologique. La France bénéficie d'un réseau noyé parmi les plus considérables du monde. L'Europe vient y plonger. Les spéléo français réalisent régulièrement des immersions hors du commun. Un livre anglais de référence consacre des chapitres entiers aux résurgences françaises et aux équi-

pes qui les ont explorées et les explorent encore. Alors, que manque-t-il donc?

## Conclusion

Parfois, un voyage commence par la vision d'une photo, d'une affiche, d'une image. J'espère que la lecture de ce livre pourra déjà être, un peu, une plongée.



## À quoi ça sert ?

- Et d'abord, ça sert à quoi d'aller si bas, hein ?

Tout plongeur profond a été confronté à cette question, voisine de l'imprécation, défi de produire une belle et bonne réponse sensée. Les plus féroces inquireurs en la matière étant comme souvent les plus néophytes, ceux à qui les dogmes tiennent lieu d'expérience. Les croyances de béquilles.

Longtemps ma réponse occupa cinq lettres ; précise, concise, efficace, elle coupait court et m'épargnait de fastidieuses pertes de temps. Le plongeur profond a pour principe de gérer son temps. Puis, l'âge commençant à venir, accompagné peut-être d'un brin de sagesse, cette question je finis par me la poser à moi-même. J'avais le temps, je me répondis.

Tout ça c'est la faute à Manufrance !

Parfaitement. Quoique plus justement : au Catalogue Manufrance.

Oui oui, celui de la Manufacture française d'armes et cycles de Saint-Étienne.

Car avant d'aller sous l'eau, j'allais au bord. *Au bord de l'eau* était d'ailleurs le titre d'un magazine halieutique de l'époque. Au bord de l'eau, je faisais en sorte de me trouver le plus souvent possible, trois cannes disposées en éventail sur la berge d'une lône, une seule tenue à la main, le long d'un torrent.

Mais à six, sept ou huit ans, notre temps appartenait à d'autres. Entre les divisions à virgules et les trains qui se croisent, entre les Compositions et les taloches pédagogiques, heureusement, il y avait le Catalogue Manufrance.

- C'est étrange, votre fils est capable de rester des heures immobile, le nez sur un catalogue... Il tourne à peine les pages... Des cannes à pêche et des bobines de fil... Je me demande à quoi il peut penser..., dit un jour une institutrice déstabilisée à des parents mortifiés.

Et elle se demandait sincèrement, cette institutrice, fort brave au demeurant, mais incapable de voyager à la vitesse de la pensée, de monter en un tournemain la canne de la page 2 au bord de la Grande Lône, d'entendre en S le fil de la page 12, non, celui de la 11, il est plus souple, de surveiller la plume de la page 4 au droit d'une roselière, de la voir se coucher - c'est une brème ou une tanche-, frémir, s'immobiliser-ou elle a lâché ou c'est une tanche-, frémir de nouveau -c'est une tanche- avant de s'enfoncer lentement. Au terme d'un combat sévère, mais juste, le poisson entre -à peine- dans l'épuisette de la page 16 -celle vendue pour les *vraiment gros*. Ne reste plus qu'à recommencer, dans la Lône Verte cette fois, celle des brochets, le beau bouchon rouge et blanc de la page 8 est idéal, secondé par ses quatre conducteurs.

Je crois que, si elle est toujours de ce monde, cette brave institutrice se demande encore...

Lorsqu'on passe son temps au bord de l'eau, est-il logique d'aller dessous ? Sans doute non pour beaucoup, pour moi c'était juste naturel. A ceci près que si la pêche était l'affaire de l'eau verte, la plongée ne pourrait être que celle de l'eau bleue. Peut-être pour conserver tout leur mystère aux roseaux, aux pattes des hérons et aux amours des carpes.

A cinq ans d'autres disposent de notre temps, à douze d'autres disposent de nos moyens. Lors de chaque *Vacances à la mer*, la question plongée se heurtait à un refus familial aussi massif qu'irrévocable. Tant et si bien que la question elle-même finit par disparaître. Le temps passait. Le Catalogue Manufrance lui aussi disparaissait. Arriva un âge peu réputé pour sa sagesse. Mais bien connu pour les *précipitations de son âge*... Même les berges des lônes en furent désertées. L'autouroute A41 en profita pour les saccager. Faut bien mener au plus vite les Parisiens à la neige. Beaucoup plus tard, un

concours de circonstances, voyage interrompu, appartement occupé, me conduisit devant le panneau du centre de plongée du Lavandou, vaguement désemparé - ce n'était pas prévu- mais avec du temps et quelques moyens. Dire que le baptême fut une révélation serait un mensonge. J'étais persuadé que ça allait me plaire. Je n'avais pas non plus trouvé une voie, je savais déjà qu'elle était là. Il fallait juste que les choses se mettent en place. Elles s'étaient mises. Et se conclurent par un *Brezer élémentaire*. La visite régulière des épaves de la région. Puis par un *Premier échelon*.

Du temps passa encore. Une installation sur la Côte d'Azur et l'achat d'un bateau décuplèrent le nombre de plongées. Les Antilles et leur éternel été amplifient encore le mouvement. Jusqu'à ce que le pire se produise : l'achat de *Plonger aux mélanges*. Au terme de sa première lecture je le posai sur une étagère, convaincu que ces affaires-là n'étaient pas pour moi, bien trop compliquées. Je poursuivis mes plongées de tous les jours. Mais pendant que l'azote assiégeait mes neurones, l'idée faisait son chemin, seule, discrète, insidieuse. Les plongées de tous les jours devinrent fades. Presque malgré moi je repris le livre et le lu de nouveau. Et une vieille mécanique se remit en marche. Des lyres de transvasement scintillaient au soleil carabie, de l'hélium chuintait dans les tuyaux, des ordinateurs égre-naient des chiffres impossibles... J'avais retrouvé mon Catalogue Manufrance !

Le gamin de six ans disposait d'un support papier, celui de trente-neuf était connecté à l'Internet. Un Catalogue Manufrance sous acide. Délirant. Ma facture téléphonique connut la saturation (et la désaturation explosive le jour où ma moitié la découvrit). L'échec d'une théorie de professeurs se transforma en succès : je parvins à lire l'anglais. Le magasin de plongée d'un pote fut mis à contribution. Jusqu'à ce que tout soit réuni : lyres, gaz, analysteur, logiciels, filtres, blocs, harnais, détendeurs, j'en oublie... Les plus braves se trouvèrent une occupation urgente lorsqu'il fut question d'ouvrir la vanne d'O<sub>2</sub>. Elle fut

pourtant ouverte. Celle de l'hélium aussi. Comme la cuiller frétilante de la page 2 nouée au cheveu d'ange de la page 4 était destinée à trouver la surface devant un vrai brochet -ou une vraie souche-, les trimix 15/40 et autres nitrox 50 sur harnais à plaque inox n'étaient pas destinés à encombrer la vitrine d'un magasin, fur-il de plongée.

Il y eut une période d'essais, bien sûr. De doute aussi. Et d'essais encore. De doute toujours. Puis un jour, l'homme, ses armes et ses bagages s'immergèrent, pour de vrai. Le trou dans l'eau ne fut guère plus grand qu'à l'ordinaire, et il se referma tout aussi vite.

Dessous, c'était autre chose. La descente d'abord, longue, étourdissante, interrompue seulement par un bref changement de détendeur. La traversée de couches d'eau ensuite, chaudes ou fraîches, claires ou opaques, nuages des abysses. Et, le fond enfin, exactement comme je l'avais imaginé, à l'opposé du récif tropical grouillant de vie et débordant de couleuvres. Ici, la pire des houles cycloniques est ignorée, la vie se fait discrète, même la lumière arrive avec regret. Ici, c'est le monde du silence, le vrai. Immobile, silencieux, minéral, hostile. Infini. Sidéral. Lunaire.

J'ai rendu responsable la défunte Manufacture. J'ai menti. Comme un sale mouflet que je suis toujours et qui n'a pas voulu dénoncer ses petits camarades. Car ils sont nombreux, les coupables. Vernes et Hergé, Bob et Bill et Milou et Tania. Et bien d'autres. Tous m'ont donné envie de marcher sur la lune.

Et j'ai marché sur la lune. En scaphandre. Bardé d'instruments improbables. Sans la moindre radio pour joindre Houston.

Et j'ai aimé ça.

Et j'y suis retourné.

Suis-je pour cela devenu Grand Boula Matari comme Tintin ?

C'est peu probable.

Mais je vous en conjure, Parents, ne laissez jamais vos enfants toucher un livre, ils risqueraient d'en devenir heureux.

# Les mélanges

Plonger technique suppose d'utiliser des mélanges gazeux autres que l'air, il en existe un certain nombre, tous ne concernent pas la plongée sportive. On peut citer le nitrox, l'héliox, le néox, le trimix, l'hydréliox.

- **le néox** est un mélange de néon et d'oxygène. Peu soluble, le néon s'absorbe moins vite que l'azote et pourrait présenter un intérêt pour des plongées brèves ou comme gaz intermédiaire afin de limiter la saturation. Mais il se restitue lentement, son avantage devient un inconvénient. Les études menées à son propos sont rares, les protocoles de décompression fiables restent à inventer, et des plongeurs de l'Union Carbide traités pour accident de décompression au néon semblent avoir mal répondu aux thérapies habituelles. C'est en outre un gaz au coût prohibitif. Bref, le néox, comme l'argox (argon/oxygène - au contraire très soluble et narcotique), sont essentiellement des gaz « de laboratoire », leur présence dans quelques logiciels de décompression est surtout... artistique!

- **l'hydréliox** est un mélange d'hydrogène, d'hélium et d'oxygène. C'est le gaz utilisé lors de l'expérience Hydra X menée par la Comex. -701 mètres en caisson, un exploit mondial. La réaction explosive de l'hydrogène confrontée à l'oxygène réserve son usage à des pourcentages d'O<sub>2</sub> très faible, inférieurs à 4 %, donc à de très grandes profondeurs. Pour les mêmes raisons, sa mise en œuvre demande une technologie de pointe. L'hydréliox est de très loin hors du champ d'action du plongeur sportif.

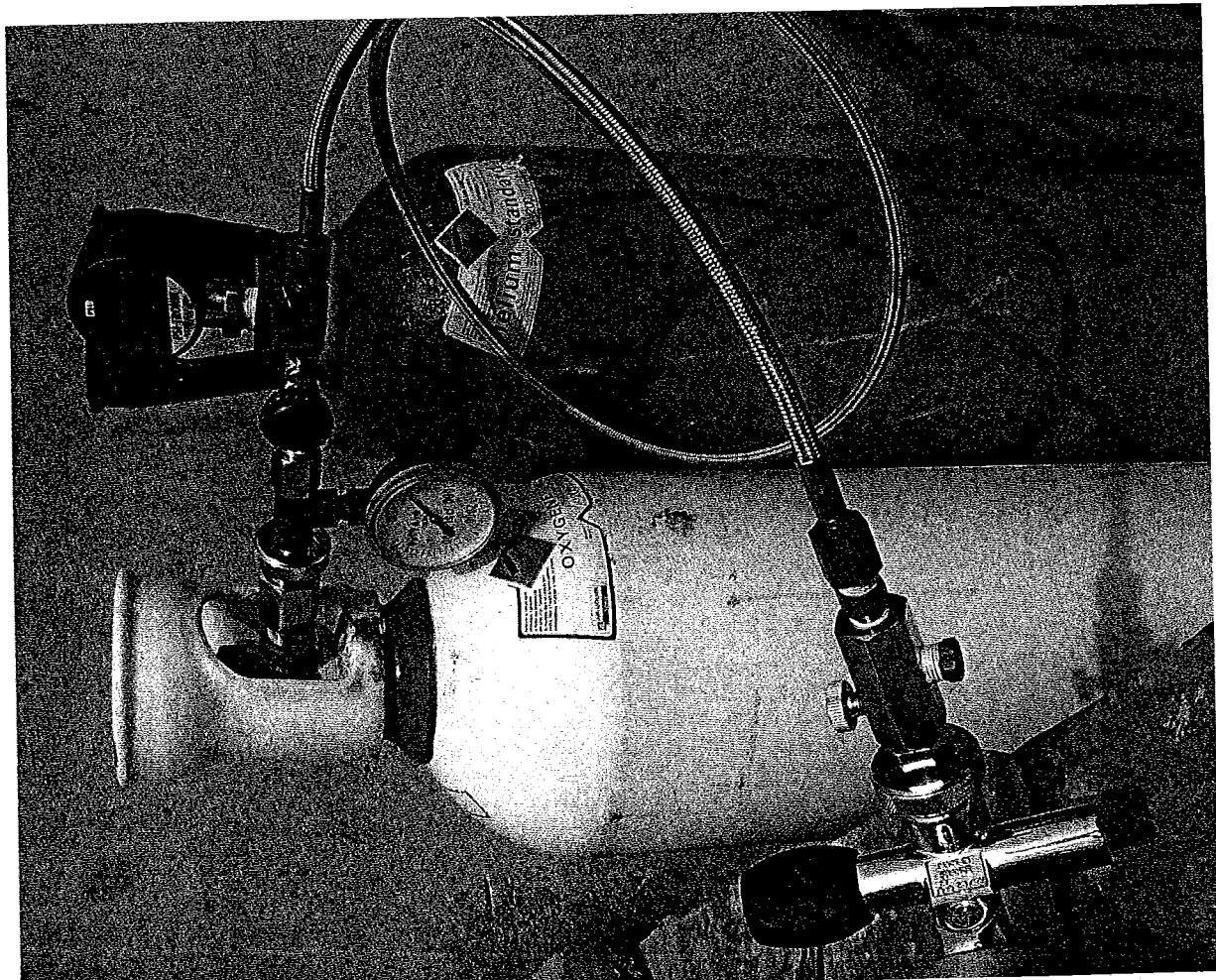
- **l'héliox** est un mélange d'hélium et d'oxygène. Avec lui on commence à aborder les gaz *sporiff*. L'absence totale d'azote élimine les problèmes de narcose, mais aux grandes profondeurs qu'autorise l'hélium apparaît le SNHP, Syndrome nerveux des hautes pressions, que connaissent bien ceux qui ont vu le film *Abyss*. Le SNHP, qui se déclare rarement avant 150 mètres, est sans doute ce qui limitera la profondeur des plongées sportives (c'est ce phénomène qu'a rencontré Pascal Bernabé lors de sa plongée à plus de 250 m dans la Fontaine de Vaulcuse). En outre, l'hélium favorise la déperdition calorifique.

Et enfin, c'est un gaz coûteux. L'héliox est beaucoup utilisé en plongée professionnelle, en saturation. En plongée sportive il l'est surtout par quelques plongeurs expérimentés, entraînés et lors d'immersions dépassant les cent mètres. Ou encore dans certains recycleurs.

- **le trimix** est composé d'oxygène, d'hélium et d'azote. C'est LE gaz fond de la plongée tek, et à ce titre mérite un chapitre pour lui seul

- **le nitrox** est composé d'oxygène et d'azote (et oui, l'air est un nitrox!). C'est le bon à tout faire, gaz principal pour des plongées récréatives longues et peu profondes, pour les plongées d'altitude en eau glaciale, gaz intermédiaire ou de décompression lors des plongées au trimix. Lui aussi mérite un chapitre complet.

- Un petit mot pour l'oxygène: il n'est pas un mélange mais il est présent dans tous, et il reste LE gaz de la décompression (et le gaz thérapeutique lorsque survient un problème).





mentaires près, relatives aux expositions à l'oxygène.

Entre tables classiques et ordinauteur immergeable, il existe depuis

22,5 m est la *profondeur équivalente air* du Nx 35 à 30 mètres. On peut obtenir plus directement la profondeur équivalente air par la formule suivante:

$$\text{pression absolue réelle} \times \frac{\% \text{ N}_2 \text{ du mélange}}{\% \text{ N}_2 \text{ de l'air}} = \text{pression absolue équivalente}$$

$$4 \times \frac{65}{80} = 3,25 \text{ soit } 22,5 \text{ mètres au niveau de la mer}$$

peu (quelques années) des logiciels de décompression qui tournent sur ordinateurs de bureau (PC). Ce sont des outils extraordinaires. Certains sont disponibles gratuitement sur le Net. On aura l'occasion de les revoir au chapitre *décompression*.

Une autre, proche du suroxygéné consiste à s'en tenir (pour la déco) aux paramètres air de la profondeur. Et ainsi d'accroître sa sécurité. Certains plongeurs pratiquent ainsi à l'occasion des *safaris plongée* où l'on aligne trois à quatre immersions/jour durant plusieurs jours. C'est loin d'être une méthode stupide.

### ■ Ca ne peut quand même pas être aussi simple ?

Eh non bien sûr... Sans quoi on ne se casserait pas la tête, on plongerait à mille mètres à l'oxygène pur.

Si on ne le fait pas, c'est que la cause du problème est cette fois l'oxygène. Au-delà de certains seuils il devient toxique, et ce de deux manières: toxicité neurologique d'une part, toxicité pulmonaire d'autre part.

### ■ La toxicité neurologique ou effet Paul Bert

Ce sont des crises convulsives semblables à des crises épileptiques, qui sous l'eau présentent un risque mortel, principalement à cause des risques de perte du détendeur.

accumule. C'est le gaz qui impose les paliers, c'est lui qui est à l'origine des accidents de décompression. En réduisant la charge d'azote, le nitrox permet des paliers plus courts et plongée égale, une durée fond plus importante à paliers égaux, une moindre majoration lors des plongées successives.

La réduction de la pression partielle d'azote diminue bien entendu la narcose - la fameuse ivresse des profondeurs, mais on verra que ce n'est pas l'intérêt principal des nitrox.

### ■ Plonger au nitrox, c'est bête comme chou!

Plonger au nitrox, c'est comme plonger moins profond que l'indication de son profondimètre. Plonger au nitrox, c'est comme plonger avec un profondimètre pessimiste.

D'ailleurs, c'est virtuellement ce que l'on va faire, décaler le profondimètre vers le haut. De combien? Ça dépendra de la  $fO_2$ !

**Explications chiffrées:** C'est l'azote qui est base des calculs puisque c'est lui la cause de nos soucis. On prendra un air à 20 % d' $O_2$  et 80 % de  $N_2$  pour simplifier.

A 30 m à l'air, la pression partielle d'azote sera de:  $4 \text{ bars} \times 80 \% = 3,2 \text{ bars}$   
A 30 m avec un Nx 35 la  $ppN_2$  sera de:  $4 \text{ bars (là ça ne change pas)} \times 65 \%$  (le taux d'azote du mélange) =  $2,6 \text{ bars}$

C'est comme si nous plongeons à une profondeur où la pression d'azote est inférieure de 0,6 bar, soit une pression d'air de 0,75 bar (0,6 : 80 %). 0,75 bar équivalent à 7,5 mètres.

Plonger à 30 mètres au nitrox 35 revient à plonger à 22,5 mètres à l'air. Et voilà, nous avons décalé notre fondimètre de 7,5 mètres vers le haut.

*Décaler le profondimètre* est une image, bien sûr. En revanche, la conversion des profondeurs permet d'obtenir la *profondeur équivalente air*.

Les anglophones parlent d'EAD, pour équivalent air depth. On dira que

## Le Nitrox

### ■ De quoi parle-t-on ?

Composé d'azote et d'oxygène, on devrait en français l'appeler azox...

On trouve parfois le terme *surox*. C'est l'héritage des anciens (enfin, qui ont dans les 45 ans! ; -), spéléo pour beaucoup car c'est de là que vient la plongée tek. Surox est parfaitement valide, puisqu'il signifie suroxygéné, ce qui définit exactement le gaz en question. Seulement voilà, l'anglais est partout, les Etats Unis fournissent une part importante du matériel *tek* et la quasi-totalité de l'information concernant les méthodes et les procédures, l'azote s'y prononce nitrogen, *nitrox* a été adopté, même par les écoles françaises. Les Anglo-saxons emploient également l'acronyme EANx, pour Enriched Air Nitrox. EANx et nitrox, c'est bonnet blanc et blanc bonnet.

J'utiliserai nitrox, et de temps en temps surox parce que je suis attaché à ces vieilles valeurs républicaines, laïques, gratuites et obligatoires...

Le nitrox, donc, est suroxygéné. Composé de deux gaz uniquement, c'est un mélange dit *binaire*. La valeur seule de son % d' $O_2$  va le définir - on parle de sa *fraction d' $O_2$* , notée  $fO_2$ .

*Nitrox 30* (ou Nx30) désignera un gaz composé de 30 % d'oxygène, les 70 % d'azote restant sont sous-entendus. Nitrox commence à 22 %. Avant c'est de l'air, faut pas être idiot. Il finit vers 97 %, après c'est de l'oxygène, faut pas chipoter. Bien qu'on puisse imaginer un nitrox à moins de 21 % d' $O_2$ , dans la pratique on s'en passe.

Le but étant de réduire la quantité d'azote, l'intérêt d'un Nx 15 saute aux yeux...

### ■ Pourquoi réduire le taux d'azote ?

Contrairement à l'oxygène qui est métabolisé par l'organisme, l'azote s'y

### Historique :

Concernés au premier chef en raison de l'usage d'O<sub>2</sub> pur dans les recycleurs à circuit fermé, les militaires ont entrepris des études qui restent la base de nos connaissances actuelles sur la toxicité neurologique de l'oxygène.

La principale fut conduite pour la Royal Navy par le docteur Kenneth W. Donald dans les années 40. Elle montre que les convulsions hyperoxiques apparaissent de manières très différentes d'un individu à l'autre, mais également, chez un même individu, d'un jour à l'autre. Par exemple, sur un groupe de 37 individus soumis à une même ppO<sub>2</sub>, les temps de latence avant l'apparition de symptômes s'échelonnent de 6 à 96 minutes. Les convulsions sont parfois précédées de signes avant-coureurs, et parfois non.

Les signes avant-coureurs sont des bourdonnements d'oreilles, une vision en tunnel, des nausées, des contractions involontaire des lèvres et des muscles.

Kenneth Donald établit également que des facteurs réduisent la tolérance à l'oxygène : l'immersion, le froid, la chaleur, la profondeur, l'effort, la rétention de CO<sub>2</sub>.

Au terme des travaux du docteur Donald, la Royal Navy estima qu'il était peu sûr de respirer de l'oxygène pur à une pression supérieure à 1,76 bars (7,6 mètres). Pour ses plongées plus profondes, la marine anglaise utilisa des mélanges azote-oxygène, des nitrox.

Plus tard, à partir de 1950, la marine américaine procéda également à des recherches destinées à établir des limites d'exposition à l'O<sub>2</sub>, respiré pur et sous forme de nitrox. La conclusion de l'US Navy fut que les plongés nitrox entraînent une moindre tolérance à l'oxygène, ceci en raison des plus grandes profondeurs atteintes et des efforts que cela implique. L'US Navy Diving Manual incorpora donc deux tableaux de limites de ppO<sub>2</sub>, l'un pour l'oxygène pur, l'autre, plus contraignant, pour les nitrox.

Au début des années 80, la NEDU, Navy Experimental Diving Unit, effectua une nouvelle étude sur la respiration d'O<sub>2</sub> pur par des nageurs de combats à l'entraînement (c-a-d au cours d'une activité physique intense et soutenue). Les conclusions furent qu'une exposition à 1,76 bars (7,6 mètres) pendant quatre heures n'avait qu'une probabilité réduite d'entraîner des convulsions hyperoxiques, mais qu'en raison d'une crise convulsive enregistrée à cette profondeur après un peu plus d'une heure d'exposition seulement, il était recommandable de ne pas dépasser 1,6 bars (6 mètres) pour une durée de plus de quatre heures.

Plus près de nous, le docteur Andrea Harabin analysa et modélisa sous forme mathématique l'ensemble des données de la NEDU. Considérant tous les signes enregistrés même les plus faibles, elle obtint un seuil de 1,3 bars en deçà duquel la probabilité d'apparition d'un symptôme neurologique est quasi nulle.

Considérant seulement les symptômes les plus marqués et les convulsions, elle obtint un seuil de 1,7 bars.

### Et le plongeur sportif?

Il possède rarement l'entraînement et la condition physique d'un nageur de combat, alors qu'il « bénéficie » de presque toutes les circonstances aggravantes établies par Kenneth Donald : profondeur, eau, froid, fatigue ; on peut y ajouter le stress, le tabac, voire quelques substances diverses et variées.

La toxicité neurologique de l'O<sub>2</sub> est un phénomène complexe loin d'être pleinement cerné. On pense que les principaux agents de l'effet Paul Bert sont les radicaux libres, atomes ou molécules à l'existence précaire possédant au moins un électron non apparié. Cet état non apparié ne peut durer. Les radicaux libres sont instables, ils cherchent l'équilibre, en perdant ou gagnant un électron, créant une réaction en chaîne. C'est l'augmentation de la pression d'O<sub>2</sub> qui va générer les radicaux libres oxygène.

Certains radicaux libres sont nécessaires

est admis comme pression partielle d'O<sub>2</sub> maximum.

Cela introduit une nouvelle notion : la profondeur maximum d'utilisation d'un gaz. En anglais MOD, pour maximum operating depth. Un nitrox sera qualifié par sa teneur en O<sub>2</sub>, mais également par la profondeur maximum qu'il autorisera. La MOD d'un Nx 35 sera : 1,6 bars : (35 : 100) = 4,5 bars = 35 mètres.

En raison des nombreux facteurs réduisant la tolérance à l'oxygène, une ppO<sub>2</sub> de 1,6 bars est considérée comme étant à réserver à la décompression, là où le plongeur est au repos et peut ventiler. Lors des phases actives de la plongée, une exposition de 1,4 bars est préférée. Pour les plongées profondes au trimix, cette valeur est même ramenée pour le mélange fond à 1,3 bars, voire à 1.

Une agence fédérale américaine, la NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, a établi une table associant les ppO<sub>2</sub> et leurs durées d'exposition (continue et journalière, normale et exceptionnelle) aboutissant à des maxima autorisés. C'est cette table qui a été retenue en plongée sportive. (voir tab.1)

à l'organisme, pour lutter contre les infections notamment (d'où le traitement par O<sub>2</sub> hyperbare de la gangrène gazeuse). C'est l'excès qui cause des dégâts.

Si l'explication est intéressante, elle ne résout pas notre problème, d'autant moins que, selon le docteur Jolie Bookspan (Diving Physiology in Plain English), les traitements préventifs à base d'anti-oxydants (vitamines E et C), parfois variés, n'auraient en réalité aucun effet. Pas de recette miracle...

Le seul moyen de faire cesser une crise hyperoxique est de réduire la pression partielle d'O<sub>2</sub>. En diminuant la pression ambiante (remontée), ou en respirant un gaz plus pauvre en oxygène, ou les deux.

Un plongeur qui survit à des convulsions hyperoxiques n'a aucun traitement particulier à suivre, hormis un examen médical.

Des valeurs de pressions partielles limites ont été établies, qui n'ont rien de véritables absolues gravées dans le marbre. Elles figurent seulement des lignes tracées entre des probabilités.

En plongée technique sportive, 1,6 bars

Tab. 1 : table d'exposition oxygène établie par la NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration.

ppO <sub>2</sub>	Exposition maxi en continu	Exposition maxi par 24 h
1,6	45 min	150 min
1,5	120 min	180 min
1,4	150 min	180 min
1,3	180 min	210 min
1,2	210 min	240 min
1,1	240 min	270 min
1	300 min	300 min
0,9	360 min	360 min
0,8	450 min	450 min
0,7	570 min	570 min
0,6	720 min	720 min
Expositions exceptionnelles		
1,3 bars	240 min	
1,4 bars	180 min	
1,5 bars	150 min	
1,6 bars	120 min	
1,7 bars	75 min	
1,8 bars	60 min	

De ces limites d'exposition a été tirée une notion couramment appelée *CNS clock*, horloge du système nerveux central. L'idée est celle d'une horloge, dans chaque plongeur, créditée de 100 % et qui démarre dès la mise à l'eau. Le temps passé à une ppO<sub>2</sub> donnée est converti en %. 4,5 minutes à 1,6 bars correspondent à 10 % du temps autorisé. On a atteint 10 % du CNS clock. Si l'on venait déjà de passer 15 min à 1,4 bars, on avait déjà atteint 10 %, on se trouverait donc à 20 %.

Le calcul de CNS clock est présent dans la plupart des logiciels et ordinateurs de décompression. Bien que 100 % soit le maximum théorique, logiciels et ordinateurs continuent de calculer au-delà.

S'efforçant de représenter une réalité qu'on sait aléatoire, le CNS clock ne peut avoir la précision mathématique que figure un pourcentage. Il serait même dangereux d'y voir un partage indiscutable entre risque et sécurité. Des convulsions à moins de 100 % ont été relevées. A l'opposé, lors de plongées longues et profondes, spéléo par exemple, des CNS clock très au-delà des 100 % sont fréquents; si l'on s'en était tenu strictement à ces valeurs bien des plongées n'auraient pu être effectuées. Plutôt que de se fier entièrement au CNS clock pour assurer sa sécurité, il semble préférable de respecter les règles évoquées plus haut: 1,6 bars de ppO<sub>2</sub> en décompression. 1,4 en plongée lors d'immersions à faible profondeur. 1,3 à 1 lors de plongées profondes. En cas de longues expositions à une ppO<sub>2</sub> proche de 1,6 bars, il est en outre préconisé d'effectuer des coupures, appelées *rinçages*, de 5 min toutes les 20 min avec un mélange plus pauvre en oxygène. Cette méthode issue de la plongée professionnelle et de l'oxygénothérapie hyperbare est plutôt destinée à tempérer la toxicité pulmonaire de l'oxygène, mais certains auteurs lui attribuent quelques vertus contre ses effets neurologiques.

Tous les exemples de la plongée professionnelle ne sont pas à suivre. La prise d'O<sub>2</sub> pur à 12 mètres (2,2 bars) n'est pas transposable au plongeur sportif, les

professionnels décompressent dans des conditions très différentes, au sec, sous surveillance. Il en va de même pour l'oxygénothérapie hyperbare, où les ppO<sub>2</sub> peuvent atteindre 3 bars, en caisson sous surveillance médicale. Et si l'US Navy Diving Manual autorise des incursions exceptionnelles à 15 mètres à l'O<sub>2</sub> pur, ce n'est que pour cinq minutes et cela concerne des militaires triés sur le volet et hyper entraînés (pour ses opérations profondes en circuit fermé et ppO<sub>2</sub> constante, l'USN a retenu 0,7 bars comme ppO<sub>2</sub> maxi).

### ■ La toxicité pulmonaire, ou effet Lorrain Smith

Là encore le mécanisme exact du phénomène n'est pas parfaitement connu. Lors de longues expositions, l'oxygène va endommager le surfactant, film qui protège les cellules pulmonaires et permet les échanges gazeux, ou provoque l'écrasement des alvéoles, ou une inflammation des membranes alvéolaires. En tout cas, on constate une diminution de la capacité vitale des individus touchés. Cette diminution est réversible dans un premier temps, mais peut devenir irréversible. Les symptômes d'une atteinte sont la toux, une sensation de brûlure, des difficultés et douleurs respiratoires. Comme pour l'effet Paul Bert, le phénomène touche les individus de manières différentes.

La toxicité pulmonaire commence à partir d'une exposition à une ppO<sub>2</sub> égale à 2,5 fois la ppO<sub>2</sub> terrestre normale, soit environ 0,5 bar. Elle se mesure en OTU, pour oxygen toxicity unit. Une OTU correspond à une exposition d'une minute à un bar de ppO<sub>2</sub>. Il faut plusieurs centaines d'OTU pour que les premiers dégâts apparaissent, soit de nombreuses heures d'immersion (ou de caisson). Les OTU sont cumulatives.

A l'image de la table NOAA des ppO<sub>2</sub>, il existe une table des limites d'exposition à la toxicité pulmonaire, nommée table REPEX. (voir tab. 2).

Tab. 2 : table REPEX, limites d'exposition à la toxicité pulmonaire.

jours d'exposition	OTU quotidiennes	OTU par période	jours d'exposition quotidiennes	Total sur la période
1	850	850	9	330
2	700	1400	10	310
3	620	1860	11	300
4	525	2100	12	300
5	460	2300	13	300
6	420	2520	14	300
7	380	2660	14-30	300
8	350	2800		N/A

Tab. 3 : PPO<sub>2</sub> de l'air.

Profondeur Air	14 m	18 m	23 m	28 m	33 m	37 m	42 m	47 m	52 m	56 m	61 m	66 m
PPO <sub>2</sub>												

Selon l'US Navy, la possibilité d'atteindre interviendrait après 24 heures de plongée continue à l'air à 18 mètres, ou 24 heures de respiration continue d'un Nx 60 à pression ambiante (1 bar). Dans la pratique, l'effet Lorrain Smith concerne très rarement les plongeurs sportifs, même au cours d'importantes plongées souterraines. Bonne nouvelle!

### ■ Tout ça pour ça ?

Ce sont ces notions, les chiffres, tables et calculs qui y sont associés qui ont contribué, et contribuent encore (souvent épaulées par une mauvaise fois à l'épreuve des balles) à faire passer la plongée nitrox pour quelques chose d'extraordinairement complexe, voire d'éminemment dangereux.

Si l'on réfléchit quelques minutes à tête reposée et si l'on sait compter qu'il n'en est jusqu'à 2, on comprend qu'il n'en est rien. Les règles que l'on applique aux nitrox peuvent s'appliquer à l'air, qui n'est jamais qu'un Nx 21 à la MOD de 66 mètres. Seules les limites et les valeurs changent (voir tab.3). Pour le reste, on utilise des méthodes identiques, des précautions similaires, du matériel semblable. Bref, si l'on sait plonger à l'air, on sait plonger au nitrox. On peut même conclure que la plongée à l'air n'est qu'un cas particulier de la plongée nitrox. Si l'on continue de réfléchir, on se dit que oui bon d'accord, mais que tout ça se résume

à pouvoir passer un peu plus de temps à des profondeurs somme toute faibles (ce qui explique que l'effet antinarcose souvent avancé à propos du nitrox est un mauvais argument).

C'est exact, et si ce n'était que cela ce serait déjà beaucoup. Mais pouvoir effectuer un séjour plongée à trois plongées par jour (et plus si affinité...) sans piquer du nez à 20 h dans l'assiette de tagine n'est pas à dédaigner non plus (surtout du point de vue du conjoint (e) non plongeur(euse) !). La diminution de la fatigue d'après plongée est en effet un autre bon point à l'actif du nitrox. Il n'est pas le dernier.

Si l'on poursuit sans désespérer une intense réflexion, on arrive à penser que plonger au nitrox, finalement, c'est se trouver à une profondeur tout en étant à une autre, ou, que c'est monter tout en restant sur place, ou bien, que c'est commencer à désaturer là où d'habitude on sature encore.

Et voilà! On vient d'inventer la décompression accélérée, ou optimisée, sans quoi les plongées profondes trimix seraient difficilement envisageables, du moins sans palliers insupportables. C'est pour cela qu'en plongée technique nitrox et trimix sont indissociables. Pour cela que le nitrox n'est pas qu'un aimable gadget pour Américains frimeurs et timorés.

Le chapitre *Décompression* montrera comment s'agence une déco accélérée. Mais en attendant...

## Le trimix

### ■ C'est écrit dessus!

Le trimix est un mélange de trois gaz, il est dit *ternaire*. Ses composants sont toujours l'oxygène, l'azote et l'hélium. Le % de chacun peut varier. Alors que le nitrox est caractérisé par son seul % d'O<sub>2</sub>, le trimix affiche lui % O<sub>2</sub> et % He; le % N<sub>2</sub> -la balance- reste sous-entendu.

Un trimix 10/70 sera composé de 10 % d'O<sub>2</sub> et de 70 % d'hélium, et donc de 20 % d'azote.

### ■ Pourquoi?

On sait depuis que l'on a appris à plonger qu'avec la profondeur l'azote devient narcotique. On sait également, surtout depuis qu'on s'est intéressé au nitrox, qu'avec la profondeur l'oxygène lui aussi devient toxique.

Pour l'O<sub>2</sub>, la limite est une pp de 1,6 bars

Pour l'N<sub>2</sub>, la limite communément admise est 4 bars (bien qu'en plongée *ne se* soit une valeur considérée comme excessive et qu'on lui préfère 3,5).

Ramené à l'air, cela donne peu ou prou 70 mètres pour l'O<sub>2</sub> et 40 mètres pour l'azote. Est-ce à dire qu'à 41 mètres on va décapeler ses blocs en chantant la Cucaracha et qu'à 71 on sera foudroyé par des convulsions? Bien sûr que non.

Mais si l'on prend un nombre suffisant de plongeurs, on en trouvera quelque un - sans doute pas mal- qui vers 40 m verront leurs facultés de réflexion entamées à des degrés divers.

Et on en trouvera un qui vers 70 ressentira quelques effets de l'hypoxie, probablement sans aller jusqu'aux convulsions si l'exposition ne s'éternise pas. C'est une traduction, ma traduction, des limites couramment données à la plongée à l'air.

Nul n'est obligé de la suivre. Chacun peut estimer que ces limites ne sont pas les siennes, au motif que

les corailleurs corses travaillent *pépère* à 100 m à l'air -en oubliant que tout le monde n'est pas corailleur corse et que nombre de corailleurs sont morts. Ou que l'on s'habitue à la narcose. Ou que l'on a des *tas de fois* plongé à 90 mètres sans problèmes - un jour l'index a effleuré une fraction de seconde le sable à 80, entre la descente enclume et la remontée à grands coups de palmes.

Les discussions sur l'intérêt et la nécessité des mélanges ont fait et continuent de faire rage, au bistrot du port comme sur les forums Internet. Parfois drôles, parfois hargneuses. En ajoutant une imprimée sur papier n'apporterait rien à rien.

Celui qui ne *croit* pas aux mélanges ne plonge pas aux mélanges, et c'est tout.

Celui qui veut essayer doit comprendre que ceux qui les utilisent pensent aller dans le sens de la sécurité, mais que c'est un domaine où les certitudes sont rares, où les choix à faire peuvent être lourds de conséquence et où il y aura personne d'autre que soi-même pour les assumer.

Cela posé et admis, on a compris que pour plonger plus profond il va falloir réduire à la fois la ppO<sub>2</sub> et la ppN<sub>2</sub>. Cela ne peut se réaliser qu'en ajoutant un troisième élément, qui ne sera ni métabolisé comme l'O<sub>2</sub> ni narcotique comme l'azote. L'hélium remplit parfaitement ces conditions, il n'a aucun effet narcotique.

En outre, il est moins dense que l'azote, ce qui entraîne une réduction non négligeable de l'effort respiratoire.

Un trimix 14/55 demandera le même effort à 90 mètres que de l'air à 40. Effort respiratoire réduit signifie moins d'énergie dépensée et moins de rétention de CO<sub>2</sub>. Certains plongeurs ajoutent que l'hélium est un gaz qui *pass*e mieux, c'est-à-dire qu'ils se sentent moins fatigués au sortir d'une plongée trimix que d'une plongée équivalente à

l'air. Je fais partie de ceux-là. Difficile de quantifier une *sensation* de fatigue. Difficile aussi d'attribuer à l'hélium sa part de mérite et à la décompression optimisée la sienne.

C'est un simple constat, qui ne vaut pas plus, ni moins. Un fait incontestable cependant: arrivé en surface on ne respire plus d'hélium, rien ne contrarie une élimination rapide. L'hélium n'aurait donc que des avantages?

Presque!  
Moins dense que l'azote, il diffuse, s'absorbe et se restitue 2,65 fois plus vite, cela va entraîner de sérieuses révisions des tables et des méthodes de décompression. Inutile d'espérer *entrer* dans une table air comme avec un nitrox.

C'est un gaz coûteux, surtout en France, particulièrement dans ses DOM et TOM. Les tarifs varient selon les gaziers, il est utile de faire jouer la concurrence (lorsqu'elle existe).

Un client lambda peut tabler sur environ 200 euros les 9 m<sup>3</sup>.

L'hélium conduit davantage la chaleur que l'azote. La déperdition calorifique du plongeur sera plus importante.

Des pertes sont liées à la respiration, il n'y a pas grand chose à faire contre -sauf plonger au recycler mais c'est une autre aventure. En eau tropicale cette déperdition seule n'est pas réellement sensible. Lors de plongées aux Antilles, une combinaison humide 5 mm s'est tousjours avérée suffisante pour des immersions de plus de deux heures.

Mais à cent mètres l'eau est encore à 25° -et à 28 en surface! En eau froide et lors de l'utilisation de combinaisons sèches, des pertes sont

liées à l'hélium injecté dans la combinaison. La parade consiste à injecter de l'air au lieu du trimix, ou de l'argon, plus isolant encore que l'air.

A quel point l'argon, qui va demander une bouteille et un détendeur supplémentaire, est-il nécessaire?

Les rapports de conductivité sont ceux-ci: (voir tab.4).

L'argon serait donc presque 50 % plus isolant que l'air. Ce n'est pas négligeable, mais dans la réalité difficile à atteindre. Les sous-vêtements contiennent de l'air, le corps génère de la vapeur d'eau...

Reste que les plongées trimix sont par essence profondes et longues et ont souvent lieu dans des eaux froides voire glaciales. Le froid est un paramètre important, et même capital. Un gain, si minime soit-il, n'est sans doute pas à dédaigner dans des circonstances extrêmes.

L'hélium et la profondeur sont à l'origine du Syndrome Nerveux des Hautes Pressions. Ses effets apparaissent au-delà de 150 mètres, là encore de manière disparate selon les individus.

Ce sont des plongeurs qui concernent peu de plongeurs sportifs, même tek. Par ailleurs, la présence d'azote dans le mélange semble retarder l'apparition du SNHP, à tout le moins masquer pour un temps ses effets. En plongée professionnelle, pour éviter le phénomène on procède en outre à une pressurisation lente qui peut prendre plusieurs heures, ce n'est pas transposable à la plongée sportive. C'est sans doute ce qui a poussé la plupart des écoles de plongée tek à limiter à 120 mètres la plongée sportive aux mélanges.

Tab. 4: Rapport de conductivité thermique exprimée en % de la conductivité de l'air à 1 bar et 20 °C

Gaz	Air (et nitrox)	He	Ar
K <sub>gaz</sub> /K <sub>air</sub>	100%	563%	67%



## ■ Et comment ?

Toute plongée débute par la planification de son déroulement. Parmi les éléments de cette planification figure la détermination des mélanges à employer, lesquels sont liés à la profondeur maximum qu'il est prévu d'atteindre. Par exemple, un petit tour sur le Tamaya qui repose dans la baie de St-Pierre de la Martinique par 87 mètres de fond pourra raisonnablement être basé sur 90 mètres, soit une pression de 10 ATA.

Si l'on se fixe une  $ppO_2$  maxi de

1,2 bars, cela nous donne fraction d' $O_2$  de:  $10 \times 1,2 = 12\%$

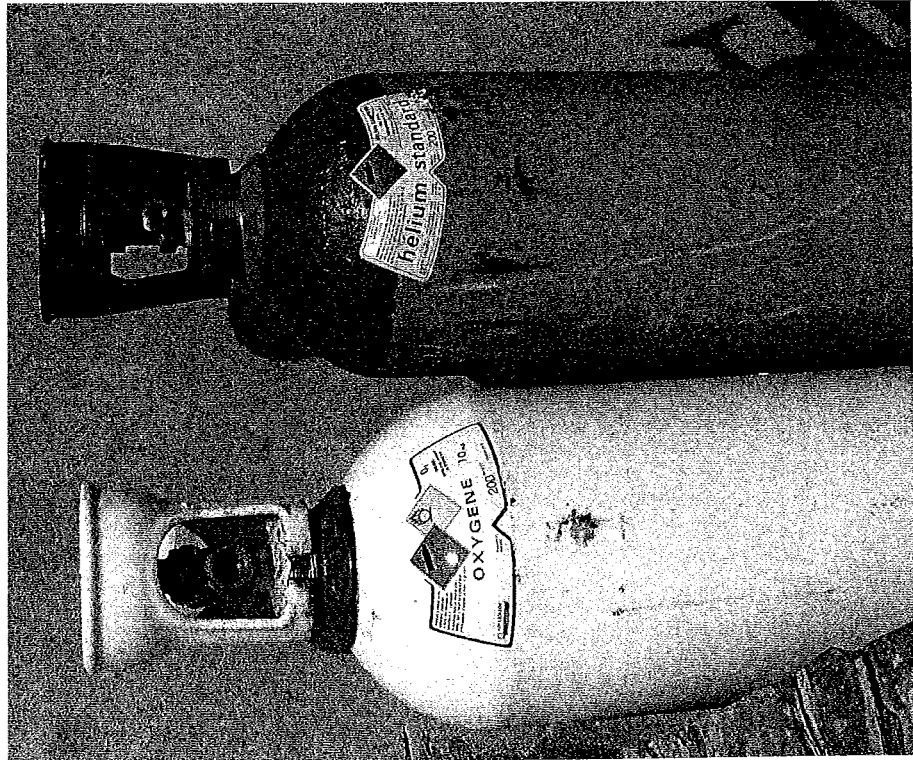
Si l'on ne veut pas subir une narcose plus forte qu'à 35 mètres à l'air, il ne faudra pas dépasser une  $ppN_2$  de 3,6 bars, ce qui impose une  $fN_2$  de  $10 \times 3,6 = 36\%$

La fraction d'He sera donc de 52 %.

Et le trimix un 12/52

Premier constat, un risque autre que l'hyperoxie apparaît, son contraire, l'hyperoxie, le manque d'oxygène. 12 % d' $O_2$  ne suffisent pas pour une respiration en surface. La  $ppO_2$  minimale tolérée est fixé à 0,17 bars, soit 17 %

Ci-contre :  
Les sœurs jumelles.



d' $O_2$  en surface. Tout mélange contenant moins de 17 % d' $O_2$  sera dit *hypoxique*, et nécessitera un autre gaz pour la première partie de la descente.

On l'appelle gaz de descente, ou gaz de voyage, ou gaz intermédiaire, ou gaz relais. Le plus logique sera qu'il serve de gaz de décompression à la remontée.

Deuxième constat, une nouvelle notion se dessine, celle d'équivalence narcotique. Les Anglo-saxons utilisent l'END pour équivalent narcotic depth.

La *profondeur narcotique équivalente* est la profondeur à laquelle de l'air aurait la même  $ppN_2$  que le mélange considéré à une profondeur donnée. A 90 m, l'END d'un trimix 12/52 sera de 35 mètres, à 50 mètres elle sera de 17 m.

### Un trimix sera donc qualifié par :

- Son % d' $O_2$  et d'He
  - Sa profondeur d'usage (celle à laquelle il atteint la  $ppO_2$  que l'on s'autorise)
  - Sa profondeur narcotique équivalente
  - Sa profondeur maximum d'utilisation (celle à laquelle il atteint la limite de l'hyperoxie, 1,6 bars - ici 123 m.
- On peut aussi considérer *profondeur maximale d'utilisation* celle où la  $ppN_2$  atteint 4 bars, ici 100 m)

Ces notions et leur maniement vont permettre de définir des mélanges optimum en fonction des paramètres de chaque plongée. C'est tout de même plus précis que plonger à l'air!

Depuis quelques années, l'engouement pour la plongée tek, surtout aux Etats Unis, a poussé quelques agences de plongée à s'interroger sur l'utilisation du trimix ailleurs qu'à des profondeurs importantes. La démarche a certainement quelque chose de commercial, mais peut-être pas uniquement, et puis ce n'en serait pas vide de sens pour autant (on ne peut pas prétendre que le nitrox soit une pure opération philanthropique!).

Bref, sont apparus depuis peu les *trimix normoxiques*, c'est-à-dire des trimix à la  $fO_2$  voisine de celle de

l'air. Disons entre 19 et 22 %. En tant que mélange fond, ces gaz intéressent ceux qui ne se sentent pas *confortables* dans la zone des 40/60 mètres. Ce n'est pas une idée si saugrenue que ça. Notamment en Méditerranée où cette profondeur correspond à celle de nombreuses épaves réputées. Qui a plongé sur le Donator, le Grec ou le Logo est convaincu à voir évoluer certains plongeurs que pas *confortable* est un euphémisme... Sans compter que lors d'un *safari* épave à Cavalaire, la moindre fatigue due à l'Helium (et/ou à la déco optimisée) ne serait pas à dédaigner.

Reste le problème du coût, mais si on en fait abstraction cela pourrait donner pour le Donator situé par 50 m de fond au large de Porquerolles:

A l'air la  $ppO_2$  est de 1,26, c'est très tolérable, on peut conserver une  $fO_2$  de 21 %. D'autant que l'épave est sur un fond régulier, aucun risque de *plomber*.

Par contre, sur le Donator on n'est pas toujours très frais, surtout lorsqu'il y a du courant et qu'il faut palmer et tirer sur le détendeur.

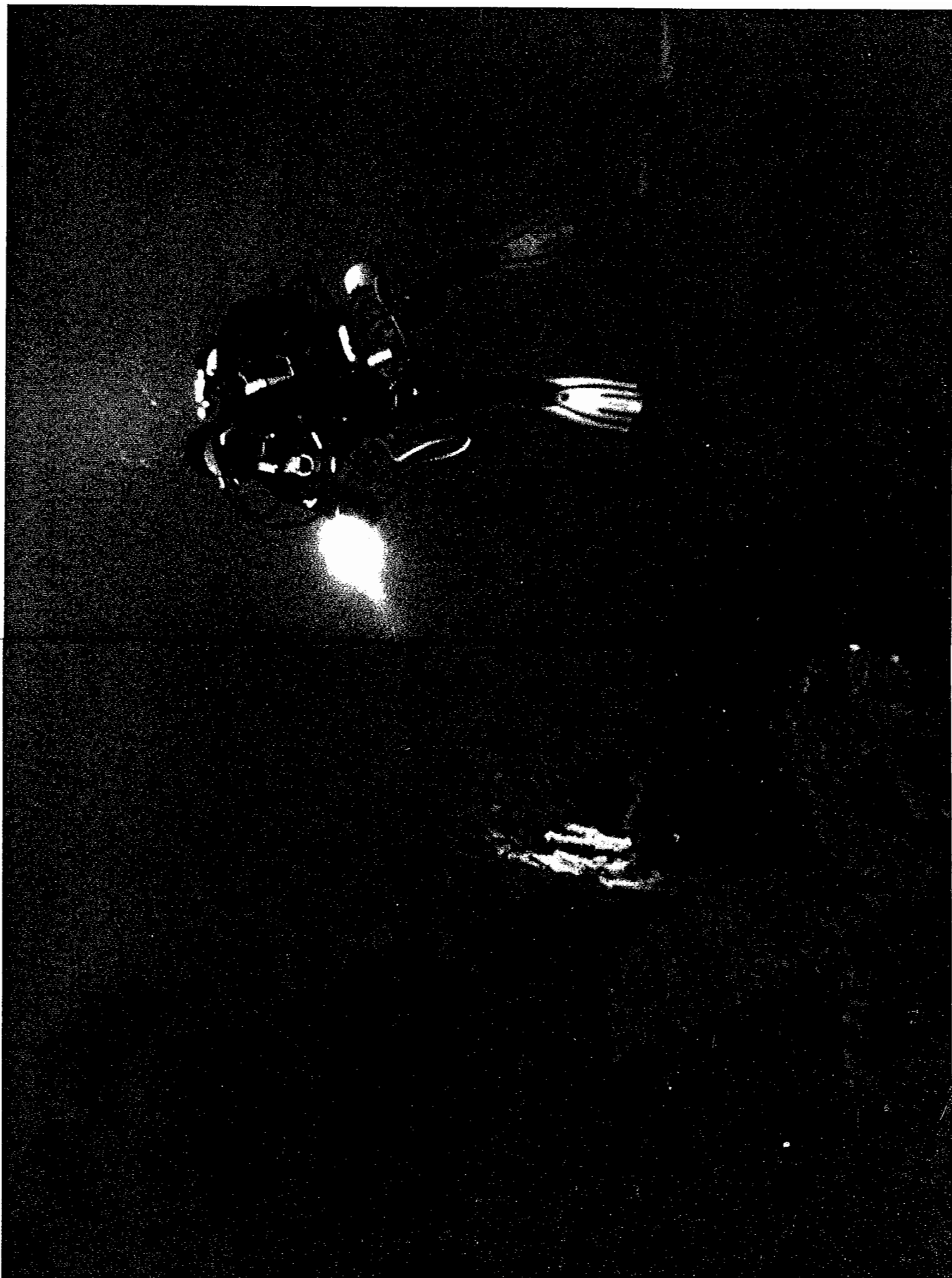
Beaucoup moins frais qu'à 30 mètres, ou qu'à 25... Obtenir à 50 mètres une END de 25 demande une  $ppN_2$  de 2,8 bars. Soit une  $fN_2$  de 47 %. Et une  $fHe$  de 32.

Le trimix sera un 21/32, strictement normoxique. Et le Donator sera magnifique. Comme d'habitude bien sûr, mais mieux!

Reste à décompresser.

Ca viendra.

Avant de respirer un gaz... il faut le fabriquer!



# La fabrication (calculs)

## Méthodes des Pressions Partielles

### ■ Par quoi commencer ?

Par un bloc vide de 12L, qu'on souhaite remplir de N<sub>x</sub> 35 à 200 bars

De quoi dispose-t-on ? D'air (21/79), d'oxygène et d'un bloc 12L vide.

12 litres à 200 bars font 2400L à 1 bar. 35 % de 2400 font 840L. Les 65 % restants seront occupés par l'azote, soit 1560L. Pour obtenir 1560 L d'N<sub>2</sub> dans le bloc il faut y mettre 1975L d'air, soit 164,5 bars, dont 34,5 d'O<sub>2</sub>. En ajoutant 35,5 bars d'O<sub>2</sub> pur on obtiendra un nitrox 35.

On peut aussi utiliser une formule, plus pratique :

$$\frac{f_{N_2 \text{ air}}}{35 - 21} \times \text{pression finale voulue} = \frac{f_{O_2 \text{ air}}}{200} \times \text{pression finale à ajouter}$$

$$\frac{35 - 21}{79} \times 200 = 35,44 \text{ bars.}$$

### ■ Si le bloc n'est pas vide ?

Il pourrait contenir par exemple 50 bars de 30 %. Pour le remplir de nitrox 35 % il est possible de le vider et de pratiquer comme précédemment, mais c'est douloureux, presque immoral.

On peut aussi tenir le même genre de raisonnement :

12 L de N<sub>x</sub>30 à 50 bars c'est 600L, 180L d'O<sub>2</sub>, 420L de N<sub>2</sub>. Au final on veut 840L d'O<sub>2</sub> et 1560L de N<sub>2</sub>. On a déjà 420L de N<sub>2</sub>, pour arriver à 1560L il faudra ajouter 1140L, soit

1443 litres d'air, 120,25 bars. Le reste sera de l'O<sub>2</sub>, 29,75 bars

### ■ Ou utiliser deux formules :

La première sert à déterminer le trop contenu d'O<sub>2</sub> du mélange dans le bloc (par rapport à de l'air).

$$\frac{f_{O_2 \text{ du mélange}} - 21}{79} \times \text{pression restant du bloc} = \text{trop contenu}$$

$$\frac{30 - 21}{79} \times 50 = 5,7 \text{ bars}$$

La seconde est celle utilisée pour le bloc vide, qui donnait une pression d'O<sub>2</sub> de 35,44 bars.

$$\frac{35-21}{79} \times 200 = 35,44$$

Il suffit d'ôter de ce résultat le trop contenu que l'on vient de déterminer : 35,44 - 5,7 = 29,74 bars

### ■ Et le trimix ?

Le principe est le même que pour le nitrox, avec cette fois trois éléments.

L'hélium est cependant plus compressible que l'azote ou l'oxygène, son facteur de compressibilité atteint 7 % à 150 bars/20° (une B50 d'hélium à 200 bars est vendue pour 9 m<sup>3</sup> et non 10).

Grossièrement, on peut considérer que la compressibilité se traduit par mettre moins de gaz à pression égale. A de rare exceptions près, on ne peut pas analyser l'hélium (les analyseurs existent mais sont très chers). Heureusement, il est admis qu'une erreur de 5 % sur le rapport

He/N<sub>2</sub> n'a pas de grande influence sur la décompression.

Dans la pratique, on commence un mélange en introduisant la quantité nécessaire d'O<sub>2</sub> pur dans le bloc.

Une technique souvent prônée pour palier la compressibilité de l'He consiste à restreindre d'ancien mélange.

### Bloc vide :

On veut un trimix 12/52 à 200 bars, c'est-à-dire :

O<sub>2</sub> 12% 24 bars

He 52% 104 bars

N<sub>2</sub> 36% 72 bars

La pression d'He à introduire est obtenue directement ..... 104 bars

La pression de N<sub>2</sub> donne la pression d'air nécessaire ..... 91 bars

Laquelle inclut une pression d'O<sub>2</sub> ..... 19 bars

Reste à introduire en O<sub>2</sub> pur (24-19) ..... 5 bars

200 bars

10 % de 5 bars, c'est 0,5 bar, ce qui demande un manomètre précis et un certain doigté...

### Recycler un ancien mélange :

Pour remplir de 200 bars de 12/52 un bloc où reste 70 bars de 15/40, on procède tout d'abord comme ci-dessus.

O<sub>2</sub> 12% 24 bars

He 52% 104 bars

N<sub>2</sub> 36% 72 bars

Puis on établit la carte d'identité du mélange restant à 70 bars :

O<sub>2</sub> 15% 10,5 bars

He 40% 28 bars

N<sub>2</sub> 45% 31,5

De nouveau la pression d'He

à ajouter s'obtient directement (104 - 28) ..... 76 bars

La pression de N<sub>2</sub> sera de 72 - 31,5 = 40,5 soit en air ..... 51 bars

Inclu 21 % d'O<sub>2</sub> soit 10,5 bars

Reste à introduire en O<sub>2</sub> pur (24 - 10,5 - 10,5) ..... 3 bars

pression de départ ..... 70 bars

200 bars

Ici 10 % ne représentent plus que 0,3 bar. L'expérience, la connaissance de son matériel, des manœuvres soignées seront plus importantes pour la précision qu'un % de correction.

Si l'on souhaite compléter le bloc au nitrox plutôt qu'à l'air, il suffit de remplacer les valeurs de l'air par celle du nitrox utilisé.

Après cette avalanche de chiffres, une bonne nouvelle : de nombreux logiciels existent, qui calculent plus vite et bien mieux qu'on ne le fera jamais.

Certains sont partie intégrante de logiciels de décompression, d'autres sont des programmes spécifiques. La plupart se téléchargent sur internet, les prix s'échelonnent de quelques centaines d'Euro à... gratuit.

**■ Nitrox en débit continu (ou au mélangeur)**

Il s'agit là de réaliser le mélange nitrox avant son introduction dans le compresseur. Bien entendu, les importants risques de combustion et d'explosion liés à l'oxygène limitent cette méthode. Le taux d'oxygène maximum admissible du nitrox sera de 40 %.

Pour les mêmes raisons, le mélange arrivant au compresseur devra être homogène. A cette fin on place en amont du compresseur un appareil appelé mélangeur, ou encore stick en raison de sa forme allongée. C'est lui qui est chargé d'effectuer le mélange entre l'air aspiré et l'oxygène injecté.

Ici plus de calculs. Un analyseur d'oxygène est installé entre le stick et l'entrée du compresseur, la lecture du pourcentage d'O<sub>2</sub> se fait en direct, et on règle le débit d'oxygène en fonction du % désiré. Et on ne dépasse pas 40 %!

Les avantages de ce système sont nombreux: on peut vider totalement la

bouteille d'O<sub>2</sub>, plus de lien entre la pression dans la bouteille d'O<sub>2</sub> et le % du nitrox réalisable, le remplissage s'effectue rapidement (aussi rapidement qu'à l'air), on peut gonfler les blocs « à la chaîne », les mélanges sont utilisables de suite, on peut simplifier la fabrication du trimix, dégraissage des blocs inutile.

Les inconvénients sont la limitation à 40 % du procédé et éventuellement le coût du stick. (l'analyseur est nécessaire dans tous les cas)

**■ L'avenir...**

C'est fabriquer du nitrox sans apport d'oxygène. Ce miracle existe, naguère réservé à quelques privilégiés en raison de son coût, ainsi qu'à de grosses unités de production, il se démocratise peu à peu. En Europe, des constructeurs comme l'italien Coltri proposent désormais ce procédé cléf en mains sur des compresseurs 6 m<sup>3</sup>/h.

Pour fabriquer du nitrox sans apport d'oxygène... on enlève l'azote de l'air.

C'est un filtre spécial qui réalise cela, un séparateur moléculaire installé en amont du compresseur HP. Les molécules d'oxygène et d'azote ayant des tailles différentes, le filtre peut faire le tri. L'opérateur règle le pourcentage d'O<sub>2</sub> qui reste là aussi limité à 40 %.

Il existe une version chimique du procédé, qui semble rencontrer moins de succès.

**Mélange à réaliser : Tmx 12/52**

$$\begin{matrix} \times \left\{ \begin{matrix} 0,12 & \text{O}_2 = & 24 \\ 0,52 & \text{He} = & 104 \\ 0,36 & \text{N}_2 = & 72 \end{matrix} \right. \\ \text{Pression finale : 200 bars...soit} \end{matrix}$$

**Ancien mélange : Tmx 15/40**

$$\begin{matrix} \times \left\{ \begin{matrix} 0,15 & \text{O}_2 = & 10,5 \\ 0,40 & \text{He} = & 28 \\ 0,45 & \text{N}_2 = & 31,5 \end{matrix} \right. \\ \text{Pression restante : 70 bars soit} \end{matrix}$$

**Sous total**  
(mélange à réaliser - ancien mélange)

$$\begin{matrix} 13,5 & & 76 & & 40,5 \\ \text{total O}_2 & & \text{He à} & & \text{total N}_2 \\ & & \text{ajouter} & & \\ \text{soit } 40,5 : 0,79 = 51 & \text{bars d'air à ajouter} & & & \\ & \text{soit } \times 0,21 & & & \end{matrix}$$

Pour l'utiliser en nitrox, il suffit de placer 0,79 et 0,21 par les valeurs correspondantes.

**Fabrication Trimix et Nitrox**

**Mélange à réaliser :** ..... **Date :** .....

$$\begin{matrix} \times \left\{ \begin{matrix} \dots\dots & \text{O}_2 = & \dots\dots \\ \dots\dots & \text{He} = & \dots\dots \\ \dots\dots & \text{N}_2 = & \dots\dots \end{matrix} \right. \\ \text{Pression finale : } \dots\dots \text{ soit } \times \dots\dots \end{matrix}$$

**Ancien mélange :** ..... **Pression restante :** ..... soit  $\times$  .....

$$\begin{matrix} \times \left\{ \begin{matrix} \dots\dots & \text{O}_2 = & \dots\dots \\ \dots\dots & \text{He} = & \dots\dots \\ \dots\dots & \text{N}_2 = & \dots\dots \end{matrix} \right. \\ \text{soit } \dots\dots : 0,79 = \dots\dots \text{ bars d'air à ajouter} \\ \text{soit } \times 0,21 \end{matrix}$$

**Sous total**  
(mélange à réaliser - ancien mélange)

$$\begin{matrix} \dots\dots & & \dots\dots & & \dots\dots \\ \text{total O}_2 & & \text{He à} & & \text{total N}_2 \\ & & \text{ajouter} & & \\ \text{soit } \dots\dots : 0,79 = \dots\dots \text{ bars d'air à ajouter} & & \dots\dots & & \dots\dots \\ & & \text{O}_2 \text{ à déduire} & & \dots\dots \\ & & \dots\dots \text{ bars d'O}_2 \text{ à ajouter} & & \end{matrix}$$



# La fabrication (pratique)

## Par pressions partielles

En plongée tek, fabriquer ses mélanges est souvent plus long que les respirer...

C'est la logique d'une discipline où, si l'on devait établir le rapport énergie dépensée/mètres parcourus, on éclaterait de rire, ou en sanglots selon son humeur.

La fabrication des mélanges est donc un gros morceau.

On a vu que cela passait par la manipulation d'oxygène pur. Or l'oxygène est un gaz dangereux. Un comburant. C'est même LE comburant.

En présence d'une concentration suffisante d'oxygène, n'importe quoi peut brûler, métal, béton. Le chalumeau oxyacétylène en est une illustration.

On sait également qu'une combustion ne nécessite pas qu'un comburant, elle demande également un carburant et un déclencheur, allumette, étincelle, chaleur. On a le comburant, l'oxygène, on a le carburant, l'oxygène, on a le carburant, puisque n'importe quel matériau est susceptible de brûler en présence de notre *supercomburant*, on pourrait croire qu'il suffit de se garder des flammes et autre mégot de cigarette pour être à l'abri. Manque de chance, et contrairement à un chalumeau où l'O<sub>2</sub> une fois détendu n'est plus recomprimé, nous allons commencer par détendre l'oxygène pour ensuite le recomprimer dans une bouteille. La compression d'un gaz génère de la chaleur, d'autant plus et d'autant plus vite que la pression atteinte est élevée et son augmentation rapide. Ce phénomène, la compression adiabatique, est capable de déclencher une combustion qui peut devenir explosion si elle se produit en milieu clos (un détendeur, un bloc). La vitesse de circulation de l'O<sub>2</sub> dans un conduit, son freinage

par une restriction sont également capable de générer assez de chaleur pour initier une combustion. Par ailleurs, si tous les matériaux sont des carburants potentiels, certains le sont plus que d'autres.

En présence de graisse, huile et corps gras en général l'oxygène réagit violemment, sans qu'il soit besoin d'un fort apport de chaleur, la simple réaction chimique des éléments peut suffire.

Horimis les graisses conçues spécifiquement pour l'oxygène, tout corps gras est à bannir du matériel destiné à recevoir l'O<sub>2</sub>, principalement celui qui sera soumis à la haute pression.

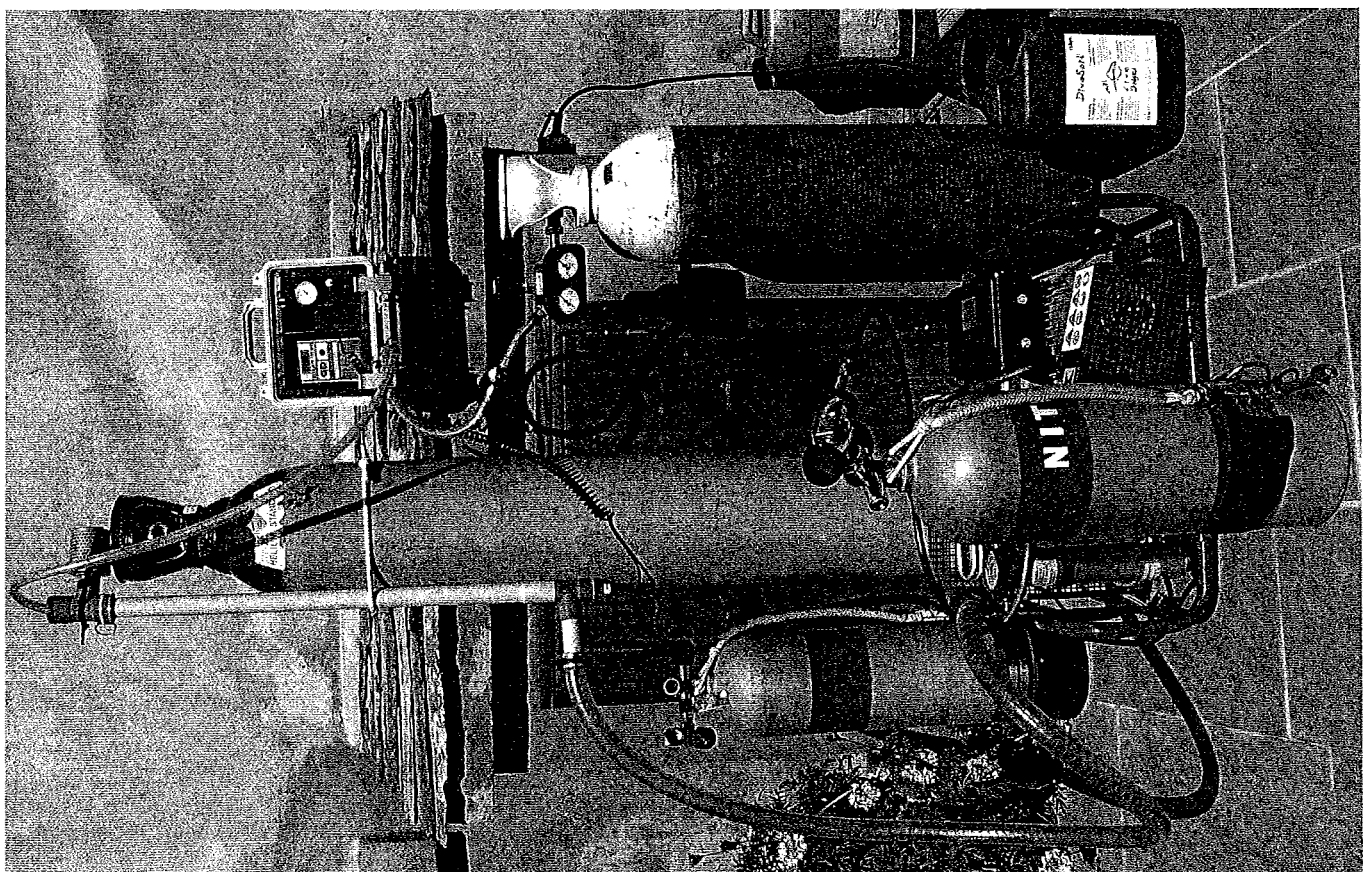
**D'où deux règles à ne jamais transgresser lors des opérations oxygène :**

- absence de corps gras

- lenteur des transferts et des montées en pression

La fabrication d'un nitrox ou d'un trimix par pression partielle commence par l'introduction dans un bloc de la quantité (en bars) d'oxygène que l'on a calculée. Commencer par l'O<sub>2</sub> n'est pas une obligation, juste de la logique. Si l'on veut mettre 5 bars d'O<sub>2</sub> dans un bloc vide, il suffit d'avoir une bouteille d'O<sub>2</sub> contenant un peu plus de cinq bars. Si l'on veut mettre 5 bars d'O<sub>2</sub> sur 150 bars d'air, il faut une bouteille mère à plus de 155 bars...

Cette quantité peut aller de quelques bars dans le cas d'un trimix hypoxique à près de 200 si l'on souhaite remplir un bloc de décompression. Pour aller de la bouteille d'O<sub>2</sub>, en général une B50 (50L), au bloc de plongée, on utilise une *lyre de transvasement*. La lyre de transvasement idéale, c'est un peu comme le monstre du Loch Ness, beaucoup l'ont vue, peu l'ont tenue. On peut l'acheter toute prête dans le commerce chez les détaillants spécialisés



en plongée tek. Il en existe à tous les prix, de 120 à 1000 € en fonction des options et du type de matériaux. On peut aussi monter sa propre lyre de toute pièce. Le nécessaire se trouve chez certains détaillants tek et également chez les fournisseurs de l'industrie.

En partant de la B50 d'O<sub>2</sub>, une lyre de base se compose de :

Un raccord à visser sur la B50, un tuyau, un raccord à visser sur le bloc de plongée, une purge. Ce n'est qu'une lyre d'équilibrage aux raccords dégraisés et au tuyau en matériau compatible O<sub>2</sub>, ses capacités sont réduites. Pour doser la vitesse de transfert il n'y aura que le volant de conservation de la B50, cela demande du doigté. Et déterminer la pression dans le bloc sans moyen de contrôle sera difficile. Une telle lyre peut à la rigueur être utilisée pour faire le plein d'un bloc de déco. Mais ce n'est pas la panacée en terme de sécurité.

La première pièce à ajouter est une vanne de laminage. C'est à dire un robinet qui va permettre de contrôler le débit avec précision (une vanne 1/4 de tour ne fait pas l'affaire!). On les trouve sous le nom de vanne à aiguille ou vanne pointeau ou vanne de régulation. Elle devra être dégraisée et adaptée à l'O<sub>2</sub>. Certains fabricants proposent plusieurs types de vannes et/ou des kits joints en fonction des fluides régulés, il en existe pour l'oxygène.

Elle doit pouvoir maintenir un débit de pression de l'ordre de 4 bars/min, ce dont sont capable la plupart. Certaines vannes dites de *fin réglage* ne sont pas conçues pour interrompre totalement le flux, elles possèdent une butée positive réglable. Jouer sur ce réglage pour obtenir une quasi-fermeture est possible, mais forcer la fermeture de ce type de vanne aboutit à coincer irrémédiablement l'aiguille dans son cône. Décongélez aux *gros doigts!*

La deuxième pièce à ajouter est un manomètre. Monté en aval de la

vanne de régulation, il permettra de connaître la pression atteinte dans le bloc, et aussi d'apprécier la vitesse à laquelle cette pression augmente. Les chiffres qui défilent ou le déplacement de l'aiguille est un bon indicateur. Ce manomètre doit répondre à des critères opposés. Précis, lisible, et cela sur une échelle de 0 à 200 bars.

La voie royale sont les manomètres digitaux de précision. Le nombre de chiffres d'un manomètre n'est pas le reflet de sa précision, qui reste une valeur donnée par le constructeur, de l'ordre de 0.25 %, soit moins de 0,5 bars dans la gamme de nos pressions courantes. Ces manomètres sont en outre légers, peu fragiles et peu encombrants. Revers de la médaille, ils sont chers, voire très chers, jusqu'à 600 Euro ou plus. On trouve dans l'industrie de très jolis manomètres digitaux, précis et plus abordables, de l'ordre de 150 Euro (Kelatron France : <http://www.kelatron.fr/index.htm>). Il est rare que leurs constructeurs les vendent directement compatible O<sub>2</sub>, le dégraisage est une opération à demander spécialement, sont coût est d'environ 60 Euro. Certains plongeurs montent des appareils ne sont pas compatible O<sub>2</sub>.

Les manomètres analogiques sont en principe moins onéreux. Encore qu'un modèle répondant entièrement à nos critères ne sera pas toujours facile à trouver et sera souvent volumineux et nécessitera beaucoup d'attention, un choc pouvant nuire à sa précision (Etablissements Mesureur <http://www.mesureur.com/>). Une méthode consiste à utiliser deux manomètres différents. Un précis pour le bas de l'échelle, un moins précis et moins cher pour le haut.

C'est en effet dans le bas que la précision est la plus cruciale, et c'est justement là où un manomètre travaillant jusqu'à 200 bars est le moins performant. Cette méthode se défend. Elle nécessite cependant un

montage plus complexe, car on ne peut pas laisser en ligne le mano 0/30 bars lorsqu'on gonfle à 80 ou 100. Ce serait la destruction assurée du matériel, sans compter les risques de blessure par éclatement, voire par incendie (O<sub>2</sub>!). Le choix d'un manomètre est donc une affaire délicate où chacun des besoins réels doit être posé. Si l'on n'effectue pas la fabrication de trmix hypoxiques, ou si l'on utilise un mélangeur, un manomètre capable d'assurer une lecture à 0,2 bars près n'est peut-être pas vraiment nécessaire. Quelques plongeurs utilisent leur ordinateur à gestion d'air et disent s'en satisfaire.

La lyre obtenue offre maintenant la possibilité de régler le débit et de contrôler la pression, elle est suffisante pour effectuer toute opération de fabrication de mélange. On peut cependant l'améliorer.

Du côté des raccords tout d'abord. En France, le filetage des bouteilles d'oxygène correspond à la norme NF29. Soit un filetage femelle sur la bouteille, au pas G5/8, étanchéité assurée par un cône, avec ou sans joint torique. On peut monter le raccord mâle correspondant directement sur la lyre. Mais on sera appelé à transvaser également de l'hélium. Il serait intéressant et économique d'utiliser la même lyre (aucun risque de pollution car l'hélium livré en bouteille est propre).

Les robinets des bouteilles d'hélium ont eux un filetage mâle d'un pas différent. La solution consiste à monter sur la lyre un raccord plongée DIN mâle, et de se procurer chez un détaillant tek les raccords DIN/O<sub>2</sub> et DIN/He.

Côté bloc, le DIN est également la meilleure des solutions.

Dans la plongée on parle de filetage DIN pour les robinets et les détenteurs. Le terme est impropre, DIN ne signifiant que *norme industrielle allemande*. Ces filetages appelés DIN sont en réalité des G 5/8.

On parle de DIN 200 bars et DIN 300 bars. Les pas sont identiques,

seul la longueur fileté change. Le DIN 300 destiné à supporter une pression plus élevée possède la plus grande. On peut donc monter un DIN 300 mâle sur un DIN 200 femelle, mais on ne peut pas monter un DIN 200 mâle sur un DIN 300 femelle. En cas de doute sur un type de filetage, mieux vaut prendre un sorte universel, puisque moyennant un adaptateur étrier/DIN on peut même équiper les blocs Int (pour International - étrier).

Le filetage des bouteilles d'O<sub>2</sub> étant également au pas G 5/8, on peut y visser directement l'embout DIN 300 mâle. Reste que l'étanchéité s'effectue différemment sur ces raccords (torique plat sur le DIN, cône sur l'O<sub>2</sub>), et bien qu'on parvienne à l'obtenir, ce ne peut être un montage officiellement recommandé, même s'il permet d'économiser un adaptateur.

Autre addition possible à la lyre : un orifice, pièce métallique pourvue d'un alésage calibré de très petit diamètre, moins de 1 mm. On en trouve sur les flexibles HP de plongée. Ils sont destinés à ralentir la montée en pression et à éviter un choc dans le manomètre à chaque ouverture. En cas de rupture du flexible, ils limitent en outre le coup de fouet. L'usage est identique sur une lyre de transvasement, une fausse manœuvre de la vanne étant toujours possible, c'est une garantie intéressante.

L'orifice se monte en amont de la vanne de laminage, le plus près possible de la bouteille mère.

Un clapet anti-retour est parfois proposé. Sur une lyre simple destinée à travailler uniquement sur l'O<sub>2</sub> ou l'hélium, son usage n'est pas indispensable techniquement, mais certaines législations, dont la française, peuvent l'imposer. Pour des montages en panneaux où plusieurs circuits se rejoignent, notamment celui du compresseur d'air, les anti-retours sont impératifs quelle que soit la législation. Une entrée d'O<sub>2</sub>

dans le compresseur pourrait avoir de graves conséquences.

Et enfin, dernier accessoire, un manomètre HP qui indiquera la pression disponible dans la bouteille mère, O<sub>2</sub> ou He. Un manomètre de chalumeau fait parfaitement l'affaire (voir schéma 1).

Les lyres oxygène achetées dans le commerce sont utilisables immédiatement sans préparation particulière.

Lorsqu'on réalise soi-même le montage d'une lyre, certaines pièces seront obtenues *comparable* O<sub>2</sub> et d'autres ne le seront pas. Pour des questions de disponibilité, de coût, ou des deux. Notamment les éléments de liaison, croix ou T, les adaptateurs divers. Ces éléments vont devoir être rendus compatibles O<sub>2</sub>, c'est-à-dire dégraissés.

Il est illusoire de penser dégraisser un manomètre, un liquide introduit dans la spirale a de forte chance d'y rester et de causer des soucis, ne serait-ce que des erreurs de mesures.

Dégraisser un flexible est à peine plus évident, en outre certains matériaux résistent mal à l'oxygène. Des flexibles O<sub>2</sub> existent, souvent une âme teflon recouverte d'une tresse inox, qui ne sont pas la part la plus onéreuse de l'équipement.

Pour le reste, certains métaux sont plus particulièrement adaptés, le laiton et l'acier inoxydable. L'acier ordinaire n'est pas en lui-même incompatible, mais il s'oxyde, des particules de rouille peuvent être entraînées dans le flux d'O<sub>2</sub>, se bloquer dans une restriction et en s'échauffant initier une combustion. L'aluminium et le titane ne sont pas recommandés, ayant quelques cas de combustion à leur actif.

Pour dégraisser on peut utiliser de l'eau chaude et des dégraissants doux comme le Teepol ou les liquides vasellés, on peut aussi se servir de produits plus agressifs comme l'acétone ou le trichloréthylène. Si ces derniers sont efficaces, ils sont peu agréables voire dangereux à manipuler et/ou laissent une odeur pénible et tenace. On peut effectuer un nettoyage à l'acétone suivi d'un rinçage au liquide vaselle. Le trempage ne suffit pas, il faut frotter, avec une brosse de taille adaptée

— brosse à dents pour les petites pièces. Je me sers fréquemment du lave-vaisselle, les produits pour lave-vaisselle sont particulièrement dégraissant tout en restant de catégorie alimentaire et l'appareil autorise une température d'eau que les mains ne supporteraient

pas (une vaisselle à la main à l'eau froide suffit à démontrer l'efficacité de l'eau chaude!) Cela n'exclut toutefois pas le brossage...

Autre problème auquel va être confronté le monteur amateur, parfois véritable casse-tête, la compatibilité des divers filetages entre eux, ou : les mystères des voies du gaz!

Souvent appelés pas du gaz, les filetages utilisés dans ce domaine se

divisent en deux grandes catégories, les droits et les coniques. Avec un filetage droit, l'étranchéité n'est pas assurée sur le filetage mais grâce à un joint, plat ou torique, plastique ou métallique, ou par l'intermédiaire d'un liquide après séchage (type Freinétanche, démontage difficile) - tous ces liquides n'étant pas compatibles O<sub>2</sub>. Sur un filetage conique, l'étranchéité est effectuée sur le filetage

Ci-contre:  
Transfert de l

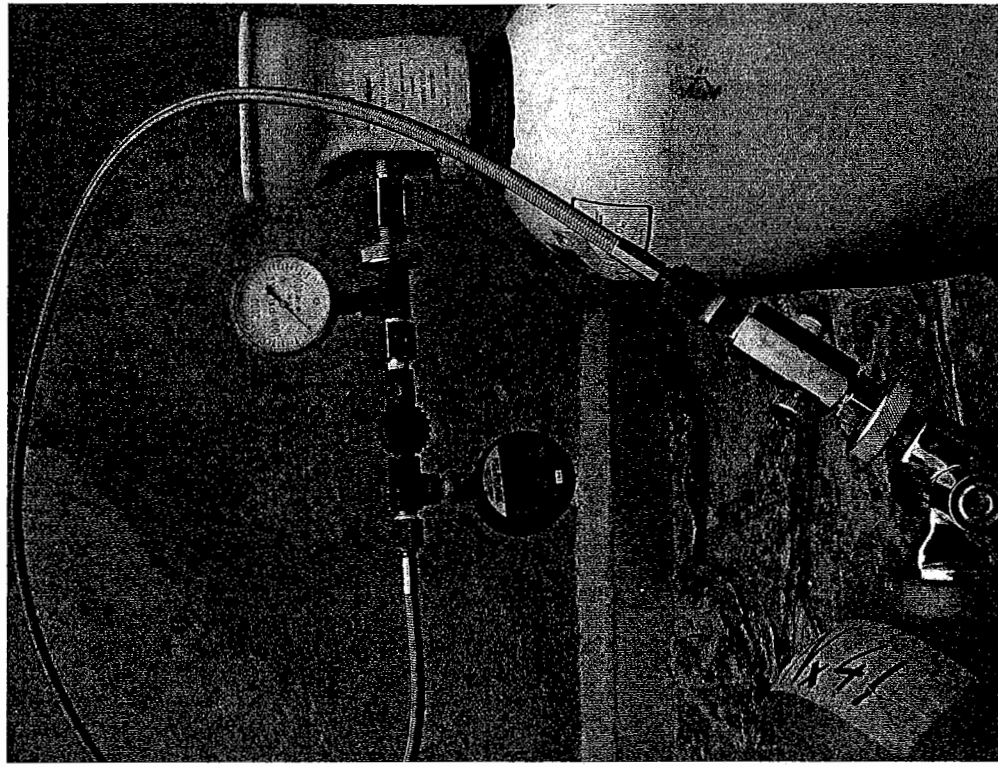
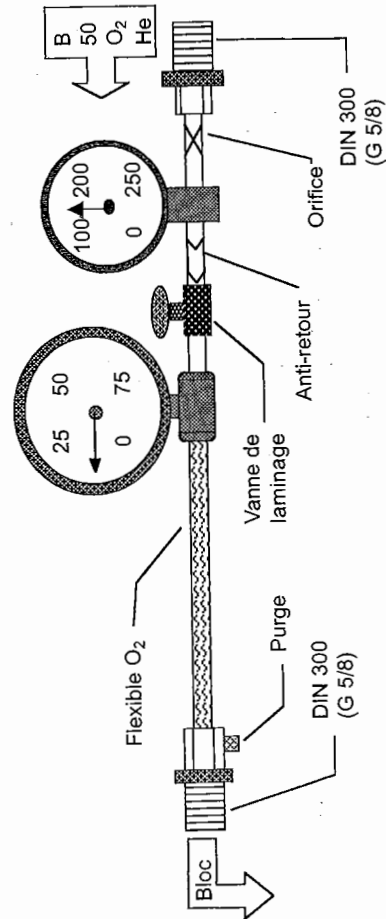


Schéma 1 : Lyre permettant de réguler le débit et la pression





avec interposition d'un produit d'étanchéité type Téflon.

Leurs mesures font appel au système impérial, c'est-à-dire exprimées en fraction de pouce, 3/8, 7/16, 1/8, 1/4, etc. Le plus courant dans nos tailles est le 1/4, parfois le 1/8.

Deux normes sont le plus utilisées, le BSP ou ISO et le NPT. Ce dernier est américain, on le trouve sur le matériel en provenance des USA. Au premier coup d'œil un filetage 1/4 BSP et 1/4 NPT se ressemblent, ils sont pourtant différents et ne doivent pas être mélangés.

On peut encore trouver d'autres normes, comme le JIC, où l'étanchéité est réalisée par blocage d'un cône mâle dans un cône femelle (ce qui permet une orientation sur 360° et des montages et démontages répétés). Ou même des pas fins métriques.

Les flexibles plongée font eux appel à une norme encore différente, UNF, filetage droit, en 3/8 pour la MP et 7/16 pour la HP.

Out:  
Fort heureusement, il existe des adaptateurs pour passer d'une norme à l'autre, mais ils ne couvrent pas toutes les combinaisons possibles et/ou ne

sont pas toujours faciles à se procurer en dehors de certains fabricants spécialisés dans la plongée tek. Il importe donc de bien s'assurer de la compatibilité des pièces achetées, surtout lorsqu'on envisage de panacher du matériel européen et américain. Une précision comme « filetage 1/4 » ne suffit pas, puisque d'un côté on va sous-entendre BSP - ISO et de l'autre NPT, et qu'il peut être droit ou conique.

En cas d'achat de matériel à l'étranger, penser aussi que les normes des robinets O<sub>2</sub> des bouteilles industrielles et médicales sont différentes d'un pays à l'autre. Les USA ont le CGA 540, qui correspondrait presque à la norme française NF 29, mais inversée. L'Italie utilise un filetage O<sub>2</sub> qui correspond pile à la norme gaz neutre française et espagnole... Quant à l'étrier O<sub>2</sub> médical (à deux picots) qui était quasiment universel, il vient d'être supprimé en France.

Autre point à vérifier: que la pression de service de chaque pièce de la lyre soit adaptée à la pression d'utilisation, 200 bars (ou davantage si l'on trouve de l'O<sub>2</sub> à plus de 200 bars!).

Chaque maillon de la chaîne doit être compatible O<sub>2</sub>. Le bloc de

plongée est le dernier, sa robinetterie l'avant dernier.

Après avoir été démontée et mise en pièce, une robinetterie se dégraisse comme les composants de la lyre. En demandant toutefois une attention particulière, car elles sont souvent enduites de graisse silicone qui est à la fois incompatible O<sub>2</sub> et résistante aux dégraissants. Il est également conseillé de remplacer les joints et sièges par des éléments en matériaux compatibles O<sub>2</sub>. Pour ma part, n'en ayant jamais trouvé, j'ai toujours réutilisé les éléments d'origine après les avoir dégraissés puis lubrifiés avec de la graisse compatible O<sub>2</sub>. On peut également acheter toute prête une robinetterie compatible O<sub>2</sub>, qui souvent se distingue par un volet de conservation vert.

Le dégraissage de la bouteille de plongée est un élément important et pour cela sera traité dans le chapitre consacré aux blocs.

#### ■ Un ptit cocktail pour la route ?

On a la B50 d'oxygène, la lyre et le bloc de plongée. On sait comment calculer les pourcentages de gaz nécessaires (ou on a un logiciel qui sait). Y a plus qu'à...

Le premier gonflage nitrox est en général un grand moment, celui où l'on reconnaît ses amis. Il est vrai que la procédure a quelque chose de solennel. La B50 est fermée, le bloc de plongée aussi. On monte la lyre soigneusement en serrant les connexions au couple adéquat (à la main ou à la clef selon les raccords, jamais à la pince).

On vérifie que la vanne de laminage est bien fermée, ainsi que la purge.

Puis on ouvre le bloc de plongée, lentement, et en totalité de manière à freiner le moins possible l'O<sub>2</sub> qui va entrer (freinage = chaleur!). Si le bloc est vide, aucun mano ne bouge, s'il s'agit d'un recyclage, le mano de contrôle bloc doit indiquer la pression sur laquelle sont basés nos calculs (on en profite pour jeter un dernier coup d'œil aux calculs en question).

L'autre mano reste sur 0. On ouvre la B50, un demi-tour à un tour suffit, ainsi en cas de problème on peut refermer vite. Le mano haute pression grimpe, l'autre reste stable. On ouvre alors la vanne de laminage, très peu, le manomètre de contrôle commence à monter, on adapte l'ouverture de la vanne de manière à obtenir le débit de pression choisi. Et on attend que la pression calculée soit atteinte. A 4 bars/minutes ou moins, cela peut prendre un certain temps. Les mano digitaux marquent à un nouveau point: inutile de rester le nez sur l'aiguille. La pression voulue atteinte, on ferme la vanne de laminage, le bloc et la B50, et on purge.

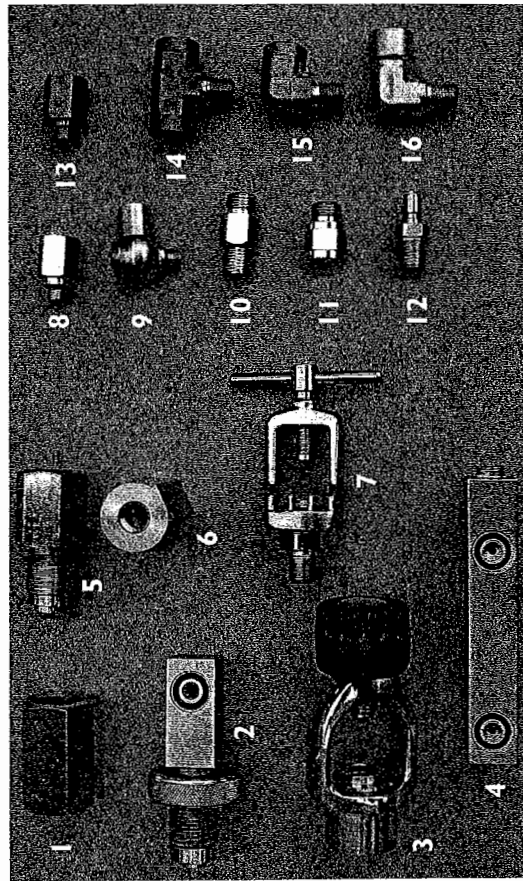
En posant la main sur le bloc, on se rend compte qu'il est tiède ou chaud (selon sa taille et la pression) et que donc la valeur mesurée sera différente quand il aura refroidi. On peut attendre qu'il ait refroidi et compléter. On peut calculer des coefficients de compensation. On peut estimer la variation. Ces différentes options influent bien entendu sur la précision finale, l'expérience sera d'un grand secours.

Si l'on voulait obtenir 200 bars de nitrox 35, on a introduit 35,5 bars d'oxygène (aux erreurs de mesures près), il ne reste plus qu'à compléter à l'air. A l'air, oui, mais lequel?

Si l'on a pris soin de dégraisser toute la ligne de remplissage y compris le bloc, ce n'est pas pour au dernier moment envoyer de l'air qui serait incompatible. Les compresseurs de plongée travaillent à haute pression, ce qui génère beaucoup de chaleur et nécessite une excellente lubrification, un peu d'huile passe dans le circuit air. Par ailleurs, l'air en se refroidissant rend de l'eau.

Huile et eau sont éliminées par la purge des condensats. En partie seulement. Le reste est retenu par le filtre terminal. Mais pas en totalité. La quantité de polluants se retrouvant dans le bloc dépend de la fréquence des purges et des changements de filtre. Un filtre

- Ci-dessous :**
- 1. Hélium/DIN300
- 2. DIN 300 mâle/Int (étrier plongée)
- 3. DIN300 femelle/étrier
- 4. Bloc deux étriers à 1/4 NPT femelle
- 5. NF29 (O<sub>2</sub>)/DIN300 femelle
- 6. 1/4NPT femelle/DIN300 femelle
- 7. 1/4NPT mâle/étrier médical (O<sub>2</sub>)
- 8. 3/8UNF mâle/1/4NPT femelle
- 9. 3/8UNF rotatif (Mp 1<sup>er</sup> étage)
- 10. 1/4NPT mâle/2<sup>e</sup> étage de détenteur
- 11. 3/8UNF femelle
- 12. 1/4NPT mâle/mâle (abouillage de flexibles Mp)
- 13. 1/8NPT mâle/1/4NPT femelle
- 14. T 1/4NPT
- 15. L 1/4NPT droit
- 16. L 1/4NPT conique





en mauvais état peut même ajouter des particules, charbon actif, tamis moléculaire, etc.

L'air destiné à la plongée répond un standard. A plusieurs en fait, selon les pays. On l'appelle par exemple Air respirable, Grade E, ou EN 12201. Ces standards sont assez proche les uns des autres et vont dans le sens de l'uniformisation.

#### On y trouve fixé entre autres :

- La  $fO_2$  : entre 20 et 22 %
- la teneur totale en matières organiques (ou hydrocarbures) : environ 5 mg/m<sup>3</sup>
- le monoxyde de carbone (CO) : environ 10 ppm (part par million)
- le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) : environ 500 ppm

Ce sont les matières organiques, principalement l'huile, qui posent problème. A l'entrée d'un bloc, le compresseur propulse de l'air chaud à grande vitesse dans l'oxygène, si un brouillard d'huile est contenu dans ce jet, toutes les conditions théoriques de déclenchement d'une combustion sont réunies.

Longtemps les plongeurs se sont contentés d'un filtre supplémentaire, ou de croiser les doigts.

Puis, sous l'influence des agences de plongée tek US, une norme s'est développée, ou plutôt une entente sur un standard nommé Grade J Modifié. Le Grade J modifié, également désigné Air Compatible Oxygène, ne doit pas contenir plus de 0,1 mg d'hydrocarbure par m<sup>3</sup>.

Pour atteindre ce standard, le seul filtre d'origine du compresseur ne suffit pas. Un deuxième filtre du même type monté en aval ne suffit pas non plus (en vertu du fait qu'on peut tamiser x fois du sable avec le même tamis sans pour cela l'affiner). Il faut utiliser un filtre de meilleure qualité, un tamis plus fin, un surfiltre. Les surfiltres sont des équipements onéreux, entre mille et mille cinq cents Euro, qu'on trouve chez les spécialistes de la plongée tek.

L'utilité réelle d'un surfiltre est un des -nombreux- débats qui agitent

régulièrement le petit monde des plongeurs techniques. Avec ses échanges de chiffres incontrôlables, ses affirmations péremptives, ses gourous d'une option ou d'une autre.

Si la question était « un surfiltre est-il nécessaire pour atteindre le Grade J Modifié? », la réponse serait incontestablement oui. Mais la question est « un surfiltre capable d'atteindre le Grade J Modifié est-il absolument nécessaire pour fabriquer un nitrox? ». La réponse est beaucoup moins nette.

Certains plongeurs se contentent d'un filtre supplémentaire de bonne qualité (allemand par exemple). D'autres ajoutent à cela un gonflage par bloc tampon intermédiaire - où les impuretés sont censées se déposer - et un remplissage lent contrôlé par vanne de laminage. Je fais partie de ces derniers. Je vérifie et change fréquemment mes filtres et purge les condensats deux fois plus souvent que préconisé.

Si l'on retient cette option, il faut bien penser que le problème a peu de (mal) chances de se déclarer lors du premier gonflage, mais plutôt du deuxième, l'huile étant peu à peu déposée dans le bloc et la robinetterie, jusqu'à atteindre une teneur explosive. En conclure au bout du deuxième gonflage qu'il n'y a aucun risque serait une erreur. Au contraire, procéder régulièrement à un démontage et à une inspection des blocs serait une bonne précaution. Je l'ai fait au bout de dix gonflages, et ensuite tous les 20 à 30.

Sans jamais avoir noté de dépôts suspects, j'ai tout de même à chaque fois de nouveau nettoyé blocs et robinets (mais j'utilise des blocs aluminium plus faciles à nettoyer que des acier).

Si un surfiltre n'est pas économique en argent, il l'est assurément en temps et en tranquillité d'esprit...

Quelle que soit la solution retenue, on estime injecter dans le bloc de l'air à tout le moins d'excellente qualité.

Ce(s) bloc(s) devra être dédié à cet usage, un seul remplissage avec un compresseur douteux (et ils sont

légions dans certains coins!) est capable de flanquer par terre tout le travail de nettoyage.

Notre bloc à 35,5 bars d'O<sub>2</sub> est complété à l'air jusqu'à 200 bars, plus ou moins vite selon les méthodes.

Et nous disposons d'une bouteille de nitrox 35.

Cette fois plus encore que lors du remplissage O<sub>2</sub>, la température va augmenter, faussant la lecture. La perte de pression après refroidissement peut atteindre 5 à 10 bars, on peut gonfler davantage pour compenser. Au début, il est préférable de laisser refroidir et d'analyser, quitte à ajouter quelques bars d'air si nécessaire (les enlever est impossible!). Après s'être familiarisé avec la procédure, on arrive à apprécier les compensations éventuelles.

Les calculs, si précis soient-ils, ne sont en aucun cas suffisants, la fraction d'O<sub>2</sub> du mélange doit toujours être confirmée par une analyse (on verra plus loin comment fonctionne un analyseur).

Par ailleurs, les mélanges sont susceptibles de s'être stratifiés, surtout avec un trimix et/ou si l'on a procédé aux remplissages très lentement. Il faut laisser aux mélanges le temps de s'homogénéiser, 12 heures pour un nitrox, 24 heures pour un trimix. Pour accélérer l'homogénéisation, il est recommandé de disposer la bouteille réceptrice horizontale plutôt que verticale durant le gonflage (augmentation des surfaces de contact des gaz), et aussi de rouler les blocs après gonflage, voire de les exposer au soleil (agitation moléculaire due à la chaleur). Le « roulage » est un -autre- sujet de discorde du milieu. Pour ma part, j'ai toujours analysé mes mélanges immédiatement après le gonflage, quelques heures plus tard, puis le lendemain.

Que les blocs aient été roulés ou non et/ou disposés au soleil ou non, je n'avais jamais relevé d'écart significatif, et j'étais prêt à jurer que tout

ça ne servait à rien. Et puis coup sur coup, à deux reprises, l'analyse a donné un % d'O<sub>2</sub> supérieur de près de 10 % à la valeur souhaitée.

Comme rien dans la procédure ni le matériel n'avait changé, que j'étais sûr de n'avoir pas commis d'erreur capable de générer un tel écart, j'ai roulé le bloc, je l'ai exposé au soleil et j'ai analysé. Après une après-midi au soleil (carai!be!) l'écart n'était plus que de 5 %. Il est resté de cet ordre toute la nuit, ce n'est que le lendemain dans la matinée que le % a rejoint la valeur calculée. Je suis incapable de fournir une véritable explication (la seule que j'entrevois est une différence de température des gaz, certaines bouteilles ayant séjournées dans une pièce climatisée et d'autres non), mais cela s'est produit deux fois. Depuis, lorsque je procède par pressions partielles, je dispose le bloc horizontalement, je le roule, je l'expose au soleil (lorsqu'il y en a!) et je m'y prends à l'avance afin de pouvoir le laisser reposer (et je stocke toute les bouteilles au même endroit). Je n'ai plus enregistré de tels écarts, mais je ne procède plus beaucoup par pressions partielles.

Nous disposons donc d'un bloc de nitrox d'un % situé quelque part entre 34 et 36, c'est bien sûr ce chiffre, donné par l'analyse, qui servira de base à la décompression et non pas celui qu'on espérait au départ. Il faudra de toute façon arrondir, l'analyseur travaille à la décimale, les ordinateurs immergeables et les logiciels à 1 %, les tables à plus encore.

Comment arrondir? Dans le sens de la sécurité. Ouï mais laquelle?

Si l'analyse donne 34,5 %, la *séwx* *dkw* est de prendre 34 (réduction du temps sans palier-augmentation de la durée des paliers), la *séwx ppO<sub>2</sub>* est de prendre 35 (réduction de la MOD).

Personnellement, dans ce cas je prendrais 34 %. La MOD est une profondeur limite, pas très difficile à mémoriser et à respecter (en l'espèce 35 mètres), alors que des paliers ne se calculent pas

de tête (quoiqu'ils puissent se mémoriser lors des plongées types).

Pour la petite histoire, lorsqu'on dispose d'un ordinateur nitrox, on constate qu'une différence de 1 % dans le paramétrage ne provoque pas un écart considérable de temps de paliers, sauf à plonger très longtemps (ou très profond, mais ce n'est pas le but du nitrox).

**Un moyen mnémotechnique permet de retenir quelques MOD :**

Nx 40 = 30 mètres

Nx 35 = 35 mètres

Nx 30 = 40 mètres (un peu plus en fait, mais bon...)

Maintenant que nous avons un bloc de nitrox, il ne reste plus qu'à en fabriquer un de trimix.

La procédure est exactement la même. Si l'on sait brasser un nitrox, on sait brasser un trimix.

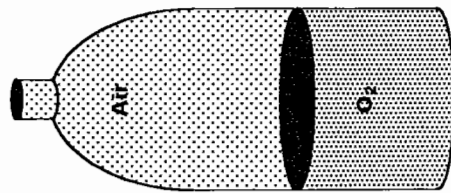
Naturellement, avec un élément supplémentaire, l'hélium, les sources d'erreurs sont plus importantes.

Mais il s'agit toujours d'empiler des

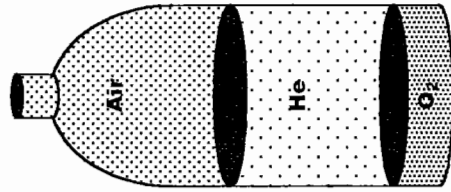
pressions de gaz. Le dessin ci-dessous (schéma 2) n'est bien sûr qu'une figuration éloignée de la réalité, même des pites cas de stratification!

On commence de nouveau par l'O<sub>2</sub>, pour les mêmes raisons que précédemment. Ensuite on ajoute l'hélium. Lorsqu'on dispose d'une B50 d'He à 200 bars, transvaser avec la lyre O<sub>2</sub> est la plus pratique des solutions. Mais une B50 d'hélium garde rarement longtemps ses 200 bars, surtout lorsqu'on fabrique des trimix à forte fHe. Le calcul est rapide: 4 blocs de 12 litres 200 bars c'est 9600 litres, un trimix 10/70 va demander 6700 litres, soit largement plus de la moitié d'une B50. Très vite on va se retrouver avec une pression dans la bouteille mère inférieure à celle que l'on veut obtenir dans le bloc de plongée (même si la quantité de gaz en litres est suffisante). La solution consiste à détendre l'hélium puis à le recomprimer. C'est un gaz neutre et propre, c'est assez facile, on le passe dans le compresseur.

Schéma 2 : Composition du Nitrox et du Trimix



**NITROX**



**TRIMIX**

pour ne pas freiner le flux (le diamètre d'entrée d'air du filtre est un bon indice. Du tuyau d'arrosage peut faire l'affaire. Du tuyau alimentaire rigidifié par cerclage métallique est plus sérieux, pas toujours plus facile à installer sur les raccords. L'étranchéité est à soigner car grâce à sa faible densité l'hélium parvient à fuir avec une déconcertante facilité.

La procédure de gonflage est la suivante: on monte le flexible HP sur le bloc et on laisse ce dernier fermé. On vide la wing, puis on la remplit d'hélium en ouvrant et fermant la B50. On démarre le compresseur purgé ouverte et on laisse gonfler et dégonfler la wing une ou deux fois afin de purger le circuit de son air. Lorsqu'on l'estime purgé, on cherche l'équilibre entre l'ouverture de la B50 et la consommation du compresseur, de manière à ce que la wing reste stable. Puis on ferme la purge, on laisse monter la pression à une valeur supérieure à celle du bloc (Sinon c'est l'O<sub>2</sub> qui peut entrer dans le filtre! Certains compresseurs possèdent un

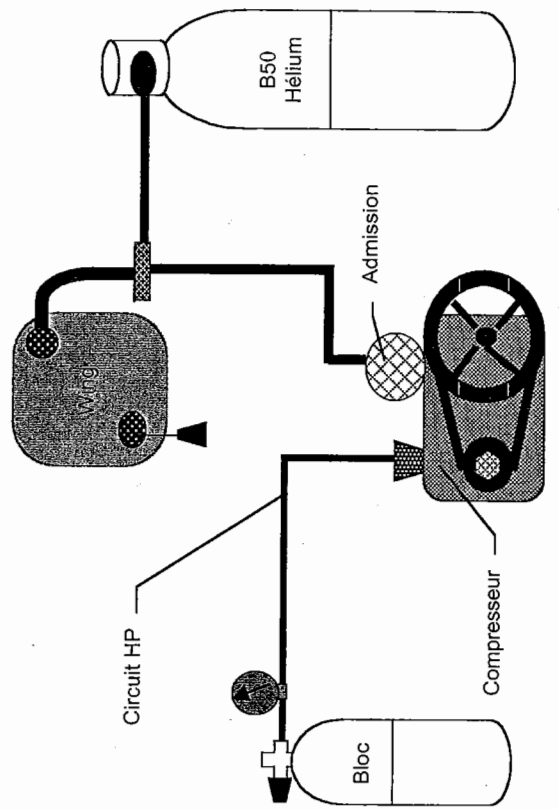
La méthode du sac poubelle, maintes fois décrite et toujours utilisée, a été moquée par certains qui lui reprochent son côté rustique, bricolé. C'est pourtant une technique simple à mettre en œuvre et qui fonctionne. J'utilise une petite bouée de harnais tek en guise de sac, c'est sans doute plus joli, et l'on dispose d'une soupape de surpression, mais le principe reste le même, un volume tampon où l'hélium va se détendre avant d'être aspiré par le compresseur.

Le montage (schéma 3) est simple, un raccord gaz neutre ordinaire disponible chez les gaziers sur lequel on adapte un tuyau relié à un T en PVC plombé. La seconde branche du T est reliée à la wing par le tuyau annelé d'origine de l'inflateur.

La troisième à l'aspiration du compresseur. Les tuyaux ne voyant qu'un gaz propre n'ont pas besoin de répondre à un quelconque critère.

Si ce n'est une légère rigidité de manière à ne pas être aspiré par la dépression, et un diamètre suffisant

Schéma 3 : Détente et recompression de l'hélium.



anti-retour sur le bloc de charge mais pas tous), et on ouvre le bloc. Il reste à surveiller l'augmentation de la pression tout en contrôlant l'inflation et la déflation de la wing grâce au volant de conservation de la B50. Inutile de purger le compresseur le gaz est propre et sec.

L'opération n'est pas difficile mais demande un peu d'attention. Plus ou moins selon le matériel employé. Avec une petite wing de 9 litres et un compresseur 6 m<sup>3</sup> heure, le contrôle de la bouée est réalisable mais demande qu'on ne s'éloigne pas de la B50, voire qu'on garde la main sur le volant. Une surprise ou une dépression excessive dans la tubulure d'admission peut endormir le compresseur. La valve qui équipe la wing est une protection contre la surpression, mais outre que ce n'est pas une garantie absolue c'est de l'hélium qui s'égare dans la nature. Une wing plus grosse offre plus de confort lors du contrôle mais fait perdre (un peu) plus de gaz lors des opérations de purge.

Il faut trouver le bon compromis, en fonction du débit de son compresseur.

Une wing étant chère, elle est à utiliser si l'on en a une sous la main. Les valves de surpressions de stab ainsi que les raccords de direct-system se vendent au détail et peuvent s'adapter sur une vache à eau (sèche!).

On peut aussi monter une vanne de laminage entre la B50 et le sac. Inutile pour cela de prendre du matériel aussi performant que pour la lyre O<sub>2</sub>.

Des plongeurs ont amélioré le système, en équipant la B50 d'un détendeur type Royal Mistral (à l'échappement condamné). Avec un réglage fin du détendeur, la wing peut être supprimée du circuit, le Mistral délivre l'hélium à la demande.

D'autres utilisent un détendeur deux étages. Le deuxième étage est relié à un sac et sa soupape d'échappement condamné. Ce montage ressemble à une *vanne à la demande* de recycleur.

On peut aussi envisager de monter un manodétendeur type chalumeau pour réduire la pression et le débit.

Bref, la méthode de base existe et fonctionne, la méthode idéale ne demande qu'à être inventée.

*Cette technique peut également être utilisée pour récupérer un fond de bloc ou un fond de tampon (maxi 40 % O<sub>2</sub>).*

Pour mesurer la pression dans le bloc pendant le gonflage He, on peut monter la lyre O<sub>2</sub> sur une autre sortie de la bouteille. C'est la méthode la plus précise, elle suppose une deuxième sortie.

Dans le cas contraire, on peut se contenter du mano du compresseur, il en général suffisamment précis pour l'échelle de pression qui occupe un trimix hypoxique. Au besoin on peut monter un mano plus lisible et/ou plus précis (tant que l'on ne cherche pas hyper précision et compatibilité O<sub>2</sub>, ce ne sont pas des pièces hors de prix). Il reste toujours possible de contrôler la mesure avec la lyre O<sub>2</sub> une fois le gonflage achevé. Il existe également des kits *doubleur de sortie* (deux sorties sur le même volant de conservation) montables et démontables instantanément.

L'O<sub>2</sub> et l'hélium ont été introduits, on a fabriqué de l'héliox. A ce stade, on peut effectuer une mesure partielle de la fraction O<sub>2</sub> et la comparer à celle que donne un calcul. S'il manque de l'hélium, il n'est pas difficile d'en ajouter. S'il manque de l'oxygène, on peut en ajouter à condition d'avoir une bouteille d'O<sub>2</sub> à pression suffisante. Si l'on n'en dispose pas, on peut essayer de recalculer la pression d'air restant à introduire. La fHe en sera probablement réduite, à voir dans quelles proportions, acceptables ou non.

L'ajout d'air s'effectue à l'image de ce qui a été réalisé pour le nitrox. L'air doit être compatible O<sub>2</sub> afin de ne pas polluer un bloc qui sera de nouveau appelé à voir de l'O<sub>2</sub> pur, mais la vitesse de remplissage peut être élevée de manière à favoriser le brassage des gaz et leur homogénéisation.

Et enfin on mesure. Si tout a été mené dans les règles de l'art, on lit une valeur d'O<sub>2</sub> très proche de celle que l'on a calculée.

Dans le cas contraire, si la fO<sub>2</sub> est

trop élevée on peut ajouter de l'hélium. Si elle est trop basse, il n'y a que de l'air à ajouter, avec les réserves évoquées plus haut. Il faut se souvenir que l'on ne mesure qu'un élément sur trois (à moins de posséder d'un analyseur d'hélium) et que chaque ajout d'air accroît l'incertitude concernant le rapport N<sub>2</sub>/He.

### ■ Fabrication en débit continu

On a vu que la méthode consiste à mélanger l'air et l'O<sub>2</sub> avant qu'ils soient aspirés par le compresseur, et que pour cela la teneur maximum en oxygène du mélange doit être de 40 %. La pièce maîtresse de l'opération est le mélangeur, plus couramment dénommé stick.

Le stick utilise le principe physique qui donne les mayonnaises et les vinaigrettes réussies: il fait tourner les éléments.

C'est aussi le principe de certains pistolets mélangeurs de colle.

Deux constructions de stick existent qui aboutissent à ce résultat.

L'une consiste en un tube dans lequel a été introduite une longue spirale.

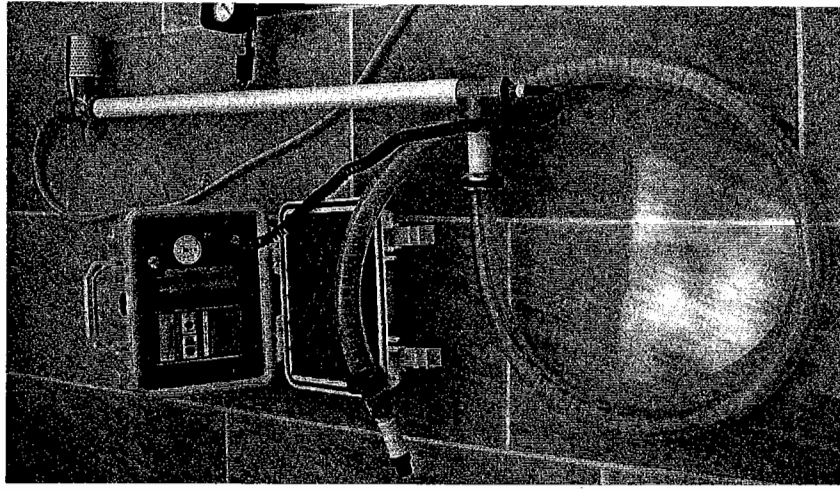
Le flux d'air aspiré par le compresseur à travers le tube entre en rotation contre la spirale. L'oxygène injecté à l'entrée du tube suit le même chemin et se trouve mélangé à l'air de façon homogène.

L'autre utilise l'effet *vortex*, ou *lavabo* quand on ouvre la bonde. Plusieurs tubes de rapport de diamètres d'environ 2 à 1 sont accolés les uns aux autres, provoquant une réduction rapide de passage. L'air entraîné par l'aspiration du compresseur entre alors en rotation, comme l'eau dans le lavabo. L'oxygène est la aussi injecté à l'entrée du tube.

Entre le stick et le compresseur est installée la cellule de l'analyseur d'O<sub>2</sub>.

C'est lui qui indiquera la fO<sub>2</sub> du mélange qui arrivera au compresseur.

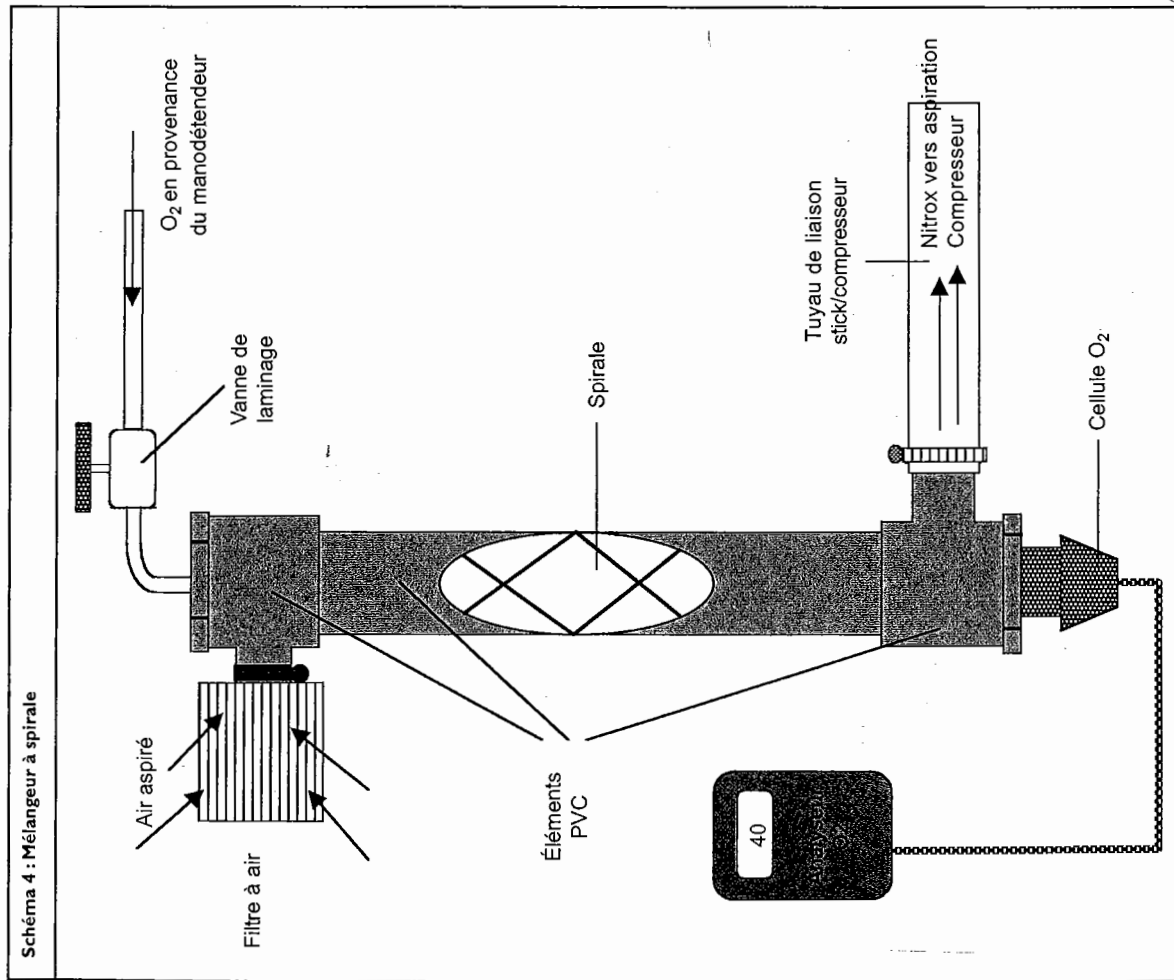
En actionnant la vanne de laminage, on joue sur le débit d'oxygène et on ajuste la fO<sub>2</sub>. Pour alimenter la vanne de laminage, on peut équiper la B50 d'un débitre O<sub>2</sub> médical ou un manodétendeur de chalumeau dont la pression sera réglée au minimum.



La procédure de gonflage est la suivante:  
« Manodéténdeur de pression et analyseur d'O<sub>2</sub> »

On branche le bloc au compresseur. Le bloc est fermé, la bouteille d'O<sub>2</sub> est fermée, la vanne de laminage est fermée, les purges du compresseur sont ouvertes. On démarre le compresseur et on étalonne l'analyseur à l'air. La lecture stabilisée à 21 %, on ouvre la bouteille d'O<sub>2</sub>, puis la vanne de laminage, lentement, jusqu'à obtenir le % d'O<sub>2</sub> souhaité, sans dépasser 40 %. Lorsque cette nouvelle valeur est stabilisée, on ferme la purge et on ouvre le bloc.

Avec l'augmentation de pression dans la bouteille, il est fréquent que les petits compresseurs voient leur débit



légèrement baisser. Dans ce cas la  $fO_2$  du mélange augmente, il faut corriger en réduisant l'arrivée d' $O_2$ . Quand on actionne les purges, la  $fO_2$  du mélange est aussi modifiée, dans l'autre sens, mais il n'y a pas lieu de corriger car cela ne dure que quelques secondes.

Lorsque la pression voulue est atteinte dans le bloc, on ferme l'oxygène et on coupe le compresseur. Pratiquement à l'inverse n'aurait pas de conséquences immédiates, mais le stick privé d'aspiration se remplirait d' $O_2$ , et au prochain démarrage le compresseur risquerait d'aspirer de l' $O_2$  pur. En cas de gonflages successifs, il est préférable de laisser tourner le compresseur purges ouvertes, cela limite les possibilités de fausses manœuvres.

Certains plongeurs équipent l'alimentation d' $O_2$  d'une vanne commandée par la dépression du compresseur, ainsi, l'arrêt du compresseur coupe automatiquement l'arrivée d'oxygène.

**On voit que les mélangeurs ne manquent pas d'avantages :**

Plus besoin de lyre, à tout le moins de manomètres de précision, plus besoin de surfiltres, plus besoin de dégraissages fastidieux, plus besoin d'attendre des heures l'homogénéisation des mélanges, le recyclage des fonds de blocs devient facile, une bouteille d' $O_2$  est utilisée jusqu'au bout, on peut rapidement remplir un tampon de Nx 40, cela fait pas mal de bons points.

Et ce n'est pas fini. Si les sticks sont prévus pour fabriquer du nitrox, ils peuvent sérieusement faciliter la fabrication des trimix.

En effet, il suffit désormais d'introduire dans le bloc la quantité d'hélium que l'on a déterminée par calcul, puis de brancher ce bloc sur le compresseur et de le compléter avec le nitrox au pourcentage que l'on aura également calculé, et c'est tout.

**Par exemple, pour obtenir un trimix 12/52 :**

- 104 bars d'hélium  
- 96 bars de nitrox 25

(on devait introduire 24 bars d' $O_2$  et 72 bars de  $N_2$ , soit 24 : 96 x 100 = 25 %)

Si le stick n'existerait pas, il faudrait l'inventer !

Son principal défaut est de limiter les nitrox à 40 %. Mais cela offre déjà beaucoup de possibilités, surtout si l'on utilise l' $O_2$  pur en décompression.

Les mélangeurs avaient un autre défaut, leurs prix, entre 1500 et 2000 Euro. Puis quelques plongeurs ont tenté d'en fabriquer et se sont aperçus que c'était réalisable à moindre coût.

Je n'ai construit pour ma part que le modèle à spirale (voir schéma 4). Le tube PVC plombier mesure 30 mm de diamètre intérieur et 70 cm de long. La spirale a été réalisée à partir d'une moulure plastique de 30 mm de large vrillée au-dessus d'un brûleur à gaz ou d'un décapeur thermique.

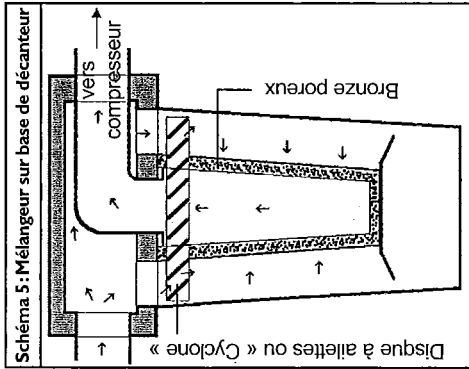
Il est nécessaire de parvenir au moins à cinq tours pour que le mélange s'homogénéise correctement, le faire sans déformer exagérément la spirale n'est pas évident, mais on peut réaliser deux spirales de trois tours que l'on glisse l'une derrière l'autre dans le tube. Il faut s'assurer que la spirale joint bien contre les parois du tube, sinon la mise en rotation du flux sera déficiente, et le mélange manquera d'homogénéité. Les autres pièces se trouvent également en plomberie PVC. La vanne de laminage peut être du même type que celle destinée à l'hélium. Le filtre à air est un filtre d'origine de compresseur de plongée (c'est-à-dire un filtre à huile automobile). Les mesures données ont été testées avec des compresseurs de 6 à 12 m<sup>3</sup>/h, pour un débit plus important elles sont certainement à revoir à la hausse. Des diamètres trop petits risqueraient de freiner exagérément l'aspiration du compresseur.

**Dernière minute :** la construction de mélangeur entrant dans les mœurs, les réalisations se multiplient, plus astucieuses les unes que les autres, telle celle de Gérard Cordonnier, plongeur luxembourgeois, qui utilise un séparateur d'eau ou décanneur.



Commun aux circuits d'air comprimé des garages et carrossiers, cet accessoire utilise pour séparer l'eau de l'air une hélice à pales multiples appelée Cyclone mise en rotation par le flux. Le Cyclone qui sépare l'eau peut mélanger l'oxygène.

Voici le schéma fourni par Gérard Cordonnier: (schéma 5)



Les décanteurs existent en plusieurs diamètres d'entrée et sortie, il faut en choisir un adapté au compresseur.

Davantage de renseignements sur le site <http://www.plongeesout.free.fr> rubrique articles/technique.

Un autre site propose quelques superbes schémas de mélangeurs, celui de Bernard Murisier, plongeur suisse: <http://www.plongee-speleo.com> (à ne pas louper non plus sur ce site, les photos d'un recycleur O<sub>2</sub> maison tout simplement magnifique).

Toutes les réalisations précédentes peuvent sembler simples, de fabrication et d'emploi, il ne faut pourtant jamais perdre de vue que l'on travaille avec de l'O<sub>2</sub>, et qu'une fausse manœuvre peut être définitive. Soins, réflexion et prudence restent les maîtres mots lors de toutes les opérations.

De même, quelle que soit l'attention

12 mv, certains pouvant fournir 25 mv. Leur durée de vie dans l'air est maintenant annoncée à plus de quarante mois par les fabricants – il est raisonnable de compter sur un chiffre plus faible, 24 à 30 mois est déjà fort correct.

Deux types de cellules existent sur les appareils employés en plongée, les galvaniques et les polarographiques.

La quasi-totalité sont des galvaniques. Un constructeur, VTI, propose un appareil capable de fonctionner avec l'un ou l'autre type de cellules.

Les analyseurs du commerce oscillent entre 200 et 500 euro, les cellules de rechange autour des 90 - 120. C'est moins cher que ce qui était proposé voici une dizaine d'années.

Mais depuis peu, on trouve sur l'Internet des kits analyseurs à monter soi-même pour 90 euro, comprenant la cellule. Le sensor au détail coûtant environ 60 euro. (tarifs basés sur un Euro à un dollar)

Que valent ces kits? Et bien de nombreux plongeurs les utilisent et en sont

satisfaits. Celui dont je me sers me paraît tout aussi efficace et précis que mon analyseur VTI, qui d'ailleurs utilise la même cellule (d'excellente qualité, employée dans les recycleurs et possédant une membrane anti-humidité et un circuit de compensation de température).

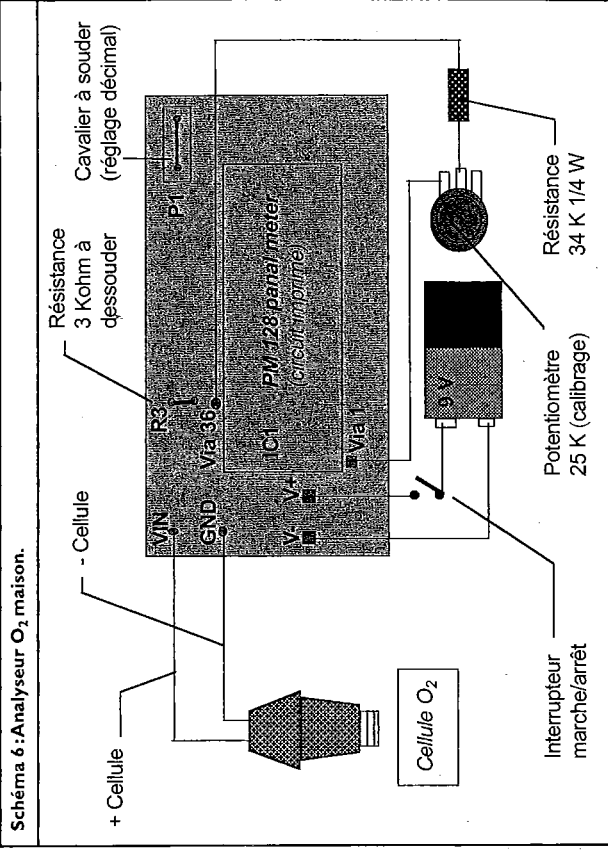
Leur assemblage demande un peu de précision, et une loupe si l'on n'a plus ses yeux de lynx, mais c'est bien là la seule difficulté.

On peut également acheter toutes les pièces au détail chez les revendeurs de matériel radio et électronique.

Voici à titre indicatif le montage d'un de ces appareils: (voir schéma 6)

La notice de montage des kits est naturellement plus détaillée que cela. Ne sont ici représentées que les parties du circuit imprimé de l'afficheur ayant à subir une modification.

Le PM-128 LCD Digital Panel Meter est un afficheur destiné à la construction de multimètres.



### On le trouve dans les kits proposés

par :

- RC dive : <http://www.oxygenanalysis.com>  
 - OxyCheq : <http://oxycheq.com/index.html>

### On peut également se le procurer au détail chez :

Circuit Specialists : <http://www.web-tools.com/pm-128a.html>

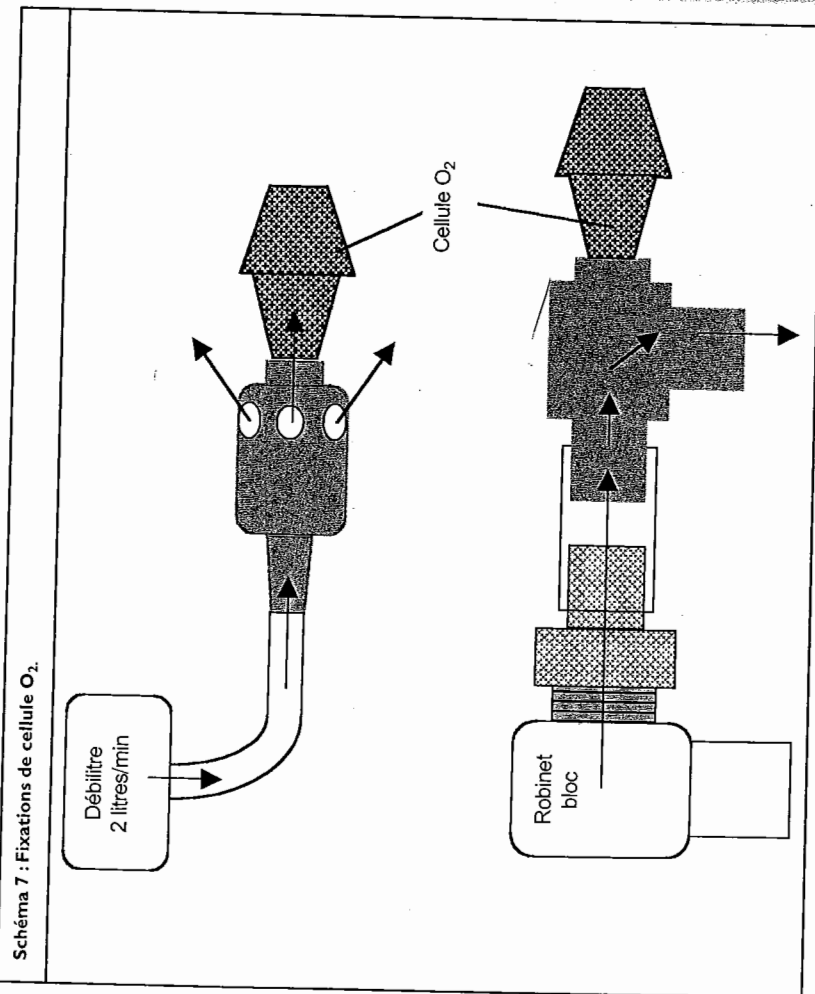
Bien entendu, on peut employer d'autres afficheurs, la valeur des composants sera alors différente et à déterminer.

On peut faire plus simple encore, relier le millivoltmètre directement à la cellule sans le modifier. Si dans l'air il donne une mesure de 8 mV, on sait que ces 8 mV correspondent à 21 % d'O<sub>2</sub>. Le rapport est de 21/8 = 2,625.

Toute mesure multipliée par 2,625 donnera le % d'O<sub>2</sub> du mélange. Il est théoriquement possible d'opérer ainsi, en pratique c'est laborieux.

Pour qu'une cellule O<sub>2</sub> fournisse une mesure fiable, elle doit recevoir le gaz à analyser et lui seul, et doit travailler en normobarie (à la pression atmosphérique). On peut utiliser pour cela un manodétendeur-débitmètre ou un détendeur avec débitmètre à tube. Deux litres/minutes est un débit suffisant. Le sensor ne doit pas être verrouillé de manière étanche sur l'alimentation en gaz, sinon la pression risque de monter.

Certaines cellules sont fournies avec une pièce ressemblant à celle du dessin ci-après pouvant être montée directement sur un débitmètre.



ture/hygométrie disponible chez les fabricants ou sur le Net.

On peut étalonner à l'hélium, à l'O<sub>2</sub> et à l'air, mais les cellules n'étant pas parfaitement linéaires (elles le sont de plus en plus), il est préférable d'utiliser le gaz dont la fO<sub>2</sub> est la plus proche du mélange que l'on doit analyser. Dans la plupart des cas ce sera l'air.

Certains fabricants proposent un triple étalonnage, du zéro, puis du 100 puis du 21. C'est sans doute bénéfique pour la précision, même si c'est beaucoup de manipulations – donc de sources d'erreurs. En fait, cette méthode était nécessaire lorsque l'offset (la tension à vide) des cellules n'était pas nul, les sensors actuels sont beaucoup plus performant de ce point de vue aussi, le triple étalonnage est donc moins important (certaines cellules conservent cependant un offset non nul, lire impérativement la notice technique).

Quelle précision peut-on espérer ? Difficile à dire. Quelques constructeurs d'analyseurs annoncent une précision de 1 % à pleine échelle, qui correspond à la précision des cellules qu'ils utilisent. Sans doute leurs appareils sont-ils parfaits...

A ces erreurs il faut ajouter celles éventuelles de l'opérateur lors du calibrage et des opérations de mesures.

Estimer qu'un nitrox lu à 35 % se situe quelque part entre 34,5 et 35,5 semble un pessimisme raisonnable. Peu probable de faire mieux, facile de faire pire.

En tout cas, cela montre qu'il n'est guère intelligent de jouer trop près des limites de ppO<sub>2</sub> lors de l'utilisation des mélanges.

Cette fois ça y est, les blocs sont pleins, les mélanges sont analysés, on va absorber du gaz.

Il va falloir le restituer ! C'est le sujet du prochain chapitre, le Belpégot de la plongée tek, celui qui a fait couler des litres d'encre, de sueur et de salive, l'auteur d'imitités plus inoxydables qu'un harnais DIR : La décompression...

On peut également fabriquer une pièce du même genre à monter sur un tuyau de direct-system. (voir schéma 7)

La plupart des kits sont livrés avec un T dont une branche reçoit la cellule et dont l'autre est destinée à être fixée au robinet du bloc (à l'aide d'un adaptateur DIN par exemple), ou simplement maintenue à la main contre le robinet. Lorsqu'on entrouvre le robinet, le gaz balaye la cellule et s'échappe par la troisième branche. Quoi que simple, ce système fonctionne très bien, à condition de ne pas exagérer l'ouverture du bloc.

Ces pièces se trouvent également au détail chez les fournisseurs de kits ou d'analyseurs.

Autre point clef de l'usage des analyseurs : l'étalonnage, ou calibrage. Il consiste, avant chaque utilisation de l'appareil, à vérifier la valeur affichée en présence d'un gaz connu. Dans l'air, il devra afficher 21 % (idéalement 20,9), dans l'hélium 0 et dans l'O<sub>2</sub> 100 %. Au besoin on corrige à l'aide du bouton de calibrage (le potentiomètre). Des variations minimales sont tolérables, en raison des changements de pression atmosphérique, d'hygométrie et de température, mais aussi de la précision de l'appareil de lecture et de la cellule elle-même ainsi que de son usure.

Quand une stabilisation de l'affichage nécessite plusieurs corrections successives importantes, c'est signe que la cellule arrive en bout de course (ou d'un montage défectueux de l'appareil). Lorsqu'on passe de l'analyse en continue dans un mélangeur à l'analyse d'un bloc (et inversement), il n'est pas anormal de devoir recalibrer, dans un stick le gaz est en légère dépression et souvent plus froid que dans un bloc.

De même, lorsque l'on calibre à l'air, mieux vaut utiliser celui d'un bloc qui aura une température et une hygrométrie proche du gaz à analyser (surtout en zone tropicale où l'hygrométrie atteint souvent 90 % et les températures dépassent 30° à l'ombre). Il existe également des tables de compensation tempé-

# La Décompression

## Un (petit) peu d'histoire

(source : *Beating The Bends*, Alex Brylske, ed Best Publishing)

L'accident de décompression n'est pas né avec la plongée. L'une de ses premières victimes répertoriée fut un serpent, une vipère, qu'en 1670 un anglais du nom de Sir Robert Boyle (celui de Boyle - Mariotte) avait enfermée dans un réceptacle où il fit le vide. Observant la vipère soumise aux affres du traitement, Sir Boyle remarqua dans l'humour aqueuse d'un de ses yeux la présence d'une bulle de gaz.

Bien que le phénomène ne fut pas nommé accident de décompression, cela en était bien un.

Près de deux siècles plus tard l'ère industrielle battait son plein, et avec elle l'extraction du charbon. Il fallait creuser toujours plus profond, souvent des galeries se trouvaient inondées, coupant court à l'exploitation.

En 1841 un ingénieur français du nom de Trigger réalisa à Chalon la première mine pressurisée. Dans les *tubes de Trigger*, la pression tenait l'eau à l'écart de la galerie. Et les mineurs commencèrent à ressentir de curieux maux, douleurs dans les oreilles et les articulations, voix nasillardes. Trigger conseilla de frotter les parties atteintes avec de l'alcool. En 1854, deux physiiciens français, Pol et Wattelle, s'intéressèrent au phénomène et conclurent que le danger n'était pas d'entrer dans une zone pressurisée, ni même d'y séjourner, mais que seule le retour à la normale présentait des risques.

Quelques années plus tard, un chercheur du nom de Hoppe déterminait grâce à des autopsies animales et humaines qu'une baisse de pression importante et rapide génèrait des bulles dans le sang et les tissus.

Pour limiter cela, il préconisa une décompression lente.

Dans le même temps, la technique de Trigger fut étendue à d'autres activités, notamment à la construction de tunnels et de ponts. Grâce à des *caissons à pression* on put édifier les fondations d'ouvrages importants. L'un d'eux fut un pont sur la Mississippi River à Saint-Louis en 1869. La pression atteinte dans les caissons de ce pont équivalait à une immersion à 44 mètres. Trent-cinq accidents neurologiques graves débouchèrent sur six décès. Le phénomène y gagna un nom : le mal des caissons.

Intéressant peu ceux qui n'en souffraient pas, le mal des caissons ne fut pas réellement étudié et ne bénéficia d'aucun traitement adapté.

En 1872, Paul Bert établit que les bulles générées par une décompression rapide contenaient essentiellement de l'azote et conclut que ces bulles étaient la source du mal. En 1879, Paul Bert publia *La pression barométrique*, ouvrage considérable où il décrivait le phénomène avec précision. Il indiquait également que les travailleurs des caissons devaient être ramenés très lentement à la pression atmosphérique pour laisser à l'azote le temps de s'éliminer. En cas d'accident de décompression, Paul Bert recommandait que les victimes soient recomprimées, puis lentement décompressées.

Paul Bert imagina aussi, puisque les bulles en cause contenaient de l'azote, qu'une respiration d'oxygène pur pouvait accélérer leur élimination. Suite à quoi il fut le premier à mettre en évidence le phénomène de toxicité neurologique de l'oxygène.

En 1900, des expériences de remonté très lente sont menées. Hill et Greenwood plongent à 50 mètres et remontent à 0,5 m/min sans rencontrer de problèmes.



En 1905, la Royal Navy chargea de recherche sur la décompression un physiologiste écossais, John Scott Haldane.

Haldane suivit des opérations de travaux sous-marins et remarqua que les plongeurs pouvaient séjourner longtemps à faible profondeur et remonter sans souffrir de maladie de décompression. Par expérimentation animale (essentiellement des chèvres, car après une heure à 50 mètres une souris de laboratoire décomprime en une minute), il détermina le rapport 2 à 1.

Les chèvres pouvaient être maintenues à deux bars puis rapidement décomprimées à 1 sans dégâts, ou comprimées à 6 et ramenées à 3. Haldane en déduisit qu'un plongeur pouvait remonter rapidement et sans accident pour autant que le rapport 2 à 1 n'était pas dépassé. Ce rapport atteint, le reste de la remontée devant se dérouler lentement pour laisser à l'azote le temps de s'éliminer.

Les bases de la décompression par paliers étaient jetées.

Pour arriver à ses fins, Haldane dut imaginer encore beaucoup de chose. Il pensa que la vitesse d'absorption et de restitution des gaz n'était pas égale dans tous les tissus du corps, et en déduisit le modèle *multi-tissus* ou *multicompartiments*.

Il pensa qu'absorption et restitution suivaient un rapport exponentiel (ouvrir le robinet d'un bloc plein en donne une idée, le bruit est d'abord important et la pression chute rapidement de moitié, puis le flux ralentit et le bruit diminue, les derniers bars sont très longs à quitter la bouteille dans un

souffle imperceptible; le même phénomène se produit au remplissage). Et il utilisa pour le modéliser le principe du *half-time* ou *période*. La période représente le temps que met un élément pour absorber (ou restituer) la moitié de ce qu'il est capable d'absorber.

Haldane définit cinq compartiments, de période 5, 10, 20, 40 et 75 minutes. Le compartiment 5 minutes est le compartiment le plus rapide, en 5 minutes il aura absorbé la moitié de sa capacité (le 75 minutes aura lui à peine commencé à se remplir), durant les 5 minutes suivantes, il absorbera la moitié de la capacité restante, et ainsi de suite (rigoureusement parlant, on ne peut jamais atteindre 100 % de cette manière - il restera toujours une moitié- mais on considère qu'au-delà de 98 % un compartiment est plein), (voir tab.5).

Au bout de 30 minutes, le compartiment 5 min a atteint sa *saturation*, il enre autant de gaz qu'il en sort, il est en équilibre avec le milieu ambiant (le 75 minutes est lui encore loin d'avoir achevé sa première période).

Haldane constata que différents compartiments atteignaient la saturation en fonction de la profondeur et de la durée de la plongée, il imagina que le compartiment le plus proche de la pression maximum autorisée devait prendre le contrôle de la décompression - devenait le compartiment directeur.

En 1908 il publia le premier jeu de tables destinées à prévenir les *maladies de l'air comprimé*. La plupart des tables de plongée loisir actuelles, avec quelques aménagements et améliorations, sont basées sur les principes établis par John Scott Haldane.

Au cours des années qui suivirent, toujours dans le but d'aller plus bas, les tables d'Haldane subirent quelques modifications. La Royal Navy voulait atteindre 90 mètres. Et pour cela le rapport 2 à 1 devint un rapport 1,75 à 1.

Puis l'US Navy lança également des recherches sur la décompression, et valida ses travaux lors de la récupération en 1915 du sous-marin F4 perdu par 90 mètres de fond.

En 1935, un chercheur conclut qu'Haldane avait commis une erreur en établissant un rapport unique pour tous les compartiments, qu'au contraire chaque tissu devait avoir son propre ratio. Un autre estima que les compartiments 5 et 10 minutes supportaient de tels écarts de pression qu'on pouvait les supprimer. Un nouveau jeu de tables vit le jour, ne comportant que les tissus 20, 40 et 75 minutes, avec un ratio différent pour chacun.

Avec l'arrivée de la deuxième guerre mondiale, les travaux sur la décompression furent mis en sommeil.

Ce n'est qu'au début des années 50 que l'US Navy décida de réviser ses tables. Les compartiments 5 et 10 min furent rétablis, et un autre, de 120 minutes, fut ajouté.

Jusque-là, les opérations de plongée profonde étaient effectuées par des scaphandriers alimentés en air par la surface. L'autonomie n'était pas un problème, les pieds-lourds pouvaient rester au fond jusqu'à l'achèvement de leur mission. Avec l'avènement du scaphandre autonome inventé en 1926 par le Commandant le Prieur et adopté par la Marine nationale en 1935, la mobilité des plongeurs s'accrut considérablement, mais une contrainte nouvelle apparut : l'obligation de remonter se réapprovisionner en air. Et avec elle la nécessité des plongées répétitives.

Un nouveau concept vit le jour, la notion de *groupe* pour le calcul de

l'azote résiduel. L'utilisation du tissu le plus long - 120 minutes - permet de calculer la quantité d'azote éliminée entre deux plongées.

En 1958, l'US Navy publia une nouvelle version de ses tables de décompression pour la plongée à l'air. Elles devinrent un standard en plongée loisir, aux Etats-Unis, puis dans d'autres pays.

En 1959, le GERS (Groupe d'Etudes et de Recherches Sous-marines, dépendant de la Marine nationale) mit au point les tables GERS 59 basées sur trois tissus.

Si au cours des années les tables de décompression avaient démontré leur efficacité, il restait toujours, malgré leur usage, un certain nombre d'accidents. Aussi les recherches se poursuivirent.

En 1965, Robert D. Workman de la NEDU découvrit que le rapport 2 à 1 était en réalité un rapport de 1,58 à 1 si l'on considérait uniquement la cause des bulles, l'azote. Il découvrit également que la surpression tolérable par un compartiment variait selon sa période mais aussi en fonction de la profondeur. Les compartiments courts supportant un rapport plus élevé que les longs, tous voyant leur ratio tolérable diminuer avec l'augmentation de la profondeur. Workman transforma les rapports de pressions haldaniens en une valeur de pression partielle nommée *M-value*, pour *maximum value*. Par exemple, le compartiment 5 minutes de l'US Navy possède pour l'azote un rapport de surpression de 3,15 à 1. Cela signifie que ce compartiment est autorisé à supporter en surface une pression maximum égale à 3,15 fois la pression ambiante. Workman traduisit cela par une valeur : 3.15 bars (en fait 104 pieds d'eau de mer car il utilisait des mesures impériales, soit environ 31,5 mètres d'eau de mer).

Puis il effectua une projection des *M-values* obtenues en fonction des compartiments et des profondeurs, et

Tab. 5 : Charge d'un compartiment en 6 périodes.

0,786%	(1) 50 %
0,816%	(2) 75 %
0,836%	(3) 87,5 %
0,856%	(4) 93,6 %
0,866%	(5) 96,9 %
0,876%	(6) 98,6 %



s'aperçut qu'elles pouvaient s'écrire sous forme de fonctions  $y = ax + b$ , soit  $P = m (P_{amb}) + Mo$  avec :

-  $P$  = pression maximum tolérable par le tissu (surpression tolérée)  
 -  $m$  = pente de la droite  
 -  $P_{amb}$  = pression ambiante  
 -  $Mo$  = décalage de l'origine, pour Workman 1 atmosphère car il travaillait au niveau de la mer.

(les unités des différents systèmes, américain, européen, international, ne sont pas rigoureusement équivalentes, mais on admet dans les exemples que  $1 \text{ bar} = 1 \text{ ATA} = 10 \text{ mem} = 33 \text{ fsw}$ )

La pente, qui va devenir une caractéristique du compartiment, sera notée  $\Delta M$ .

Cette représentation sous forme d'équation de droite allait grandement faciliter l'écriture informatique des M-value.

A partir des années 60, l'essor de la plongée, tant militaire, commerciale que de loisir pousse nombre d'organismes à se pencher sur la décompression. Les marines bien sûr, américaine, anglaise, française (le GERS), canadienne, suédoise, traditionnellement intéressées au sujet, des entreprises privées comme la COMEX, des laboratoires, des universités comme celle d'Hawaï. Sans oublier les agences comme la NASA.

Tous ces organismes et les chercheurs qui en dépendaient ne travaillèrent pas dans la même direction.

Certains mirent au point des modèles statistiques, l'étude d'un nombre donné de plongées et d'accidents permet d'établir des tables présentant un risque d'accident de  $x$  ou  $y$  % - il faut ensuite choisir son risque.

D'autres, comme les Canadiens Kidd et Stubbs considérèrent que le modèle haldanien où les compartiments n'ont aucune interaction entre eux n'était pas une représentation réaliste du corps. Ils développèrent un système où la pression d'azote

pouvait s'écouler d'un compartiment à l'autre. Le modèle haldanien est dit parallèle, le modèle de Kidd-Stubbs est dit en série. Pour simuler leur modèle, Kidd et Stubbs utilisèrent une machine faite de réceptacles interconnectés par des freins pneumatiques chargés de contrôler l'écoulement du gaz; les microprocesseurs n'existaient pas encore. Plus tard, en 1970, le DCIEM, Defense and Civil Institute of Environmental Medicine in Canada, entra l'algorithme Série Kidd-Stubbs dans un ordinateur. Plus tard encore, il mena des expérimentations Doppler sur des plongées utilisant cet algorithme. Il en résulta les tables DCIEM qui furent publiées en 1985, dans une version loisir en 1988, puis dans des versions techniques en 1990 et 1994. Utilisées par plusieurs marines et agences de plongée, ces tables ont acquis leurs lettres de noblesse - principalement en Amérique du nord.

D'autres encore modifièrent le modèle haldanien, en considérant par exemple que si l'absorption suivait un mode exponentiel, la restitution devait suivre un mode linéaire. Nommé EL modèle, ce mode de calcul aboutit à des tables plus contraignantes. Ou bien en augmentant le nombre de compartiments - ce qui aboutit à un résultat proche, d'autant que les deux méthodes sont cumulables.

D'autres au contraire n'utilisèrent qu'un seul compartiment, appelé slab, dans lequel les gaz diffusent d'une zone à l'autre. La partie la plus rapide est présumée en contact avec la pression du gaz dans le sang, la plus lente en étant très éloignée. Le BSAC, British Sub-Aqua Club, utilise des tables conçues avec le modèle Slab développé par le Dr Tom Hennessy.

Et enfin, plutôt que de chercher à éviter la création de bulles - ce que les modèles classiques ne parvien-

adaptation au loisir, si elle ne supprima pas - et ne supprimera probablement jamais - les accidents, les limita à un nombre tolérable - encore qu'en ce domaine la tolérance est aussi une donnée à perméabilité variable.

Le plongeur sportif tek fut lui confronté à un problème majeur: les tables loisirs n'étaient pas faites pour lui, et celles pour les plongées aux mélanges adaptées à son cas n'existaient pas. Les entreprises ayant des acquis dans ce domaine les gardaient pour elles, les militaires (qui pratiquent les premières plongées à l'hélium dans les années 30) diffusaient peu leur savoir.

Dans les années 80, William Hamilton offrit au public les possibilités de son programme DCAP (Decompression Computation and Analysis Program) mis au point lors de ses études pour la marine suédoise, il suffisait d'avoir les coordonnées de Bill Hamilton dans son carnet d'adresse et les moyens de s'offrir ses services! En Europe, les plongeurs (surtout spéléo) employèrent souvent des tables conçues pour les scaphandriers dans les années 75, comme les C. G. Doris, qui avaient prouvé leur efficacité sur de nombreux chantiers, et qui pour être de diffusion restreinte n'en circulaient pas moins sous le manteau. Leur usage sportif nécessitait pas mal d'adaptations, notamment concernant les nitrox et l'O<sub>2</sub> pur, voire d'extrapolations. Un plongeur d'exception, Jochem Hasenmayer, développa ses propres méthodes et en 1983 réussit l'exploit d'atteindre - 205 mètres dans la Fontaine de Vauluse. Hasenmayer resta peu disert sur les gaz et techniques de décompression qu'il employa.

On est encore très loin de données accessibles au grand public... Les choses évoluent. En premier lieu grâce au professeur Albert Bühlmann, qui débuta

à réaliser de toute façon certains chercheurs ont pensé qu'il était préférable de tenter de maintenir les bulles en nombre et/ou taille supportable par l'organisme - les mesures Doppler montrent que bulles circulantes ne riment pas systématiquement avec accident.

Parce que les compartiments ne sont plus le point central du problème, qui devient la gestion des bulles, ces modèles sont dits à bulles, ou dynamiques, ou encore diaphasiques (les gaz sont gérés sous deux états, en solution et gazeux). L'un d'eux a été développé par un groupe de chercheurs de l'Université d'Hawaï conduit par les docteurs Yount et Hoffman, il est nommé VPM, pour Varying Permeability Model, modèle à perméabilité variable. Un autre, appelé RGBM pour Reduced Gradient Bubble Model, a été développé par le docteur Bruce Wienke sur la base de travaux proches de ceux de Yount et Hoffman. Les profils obtenus à l'aide de ces modèles sont assez différents des autres, on le verra plus loin.

Dès le départ, le plongeur sportif a utilisé les tables issues des recherches militaires. Il n'avait pas tellement le choix, c'était les seules disponibles. Il s'en est cependant trouvé fort bien, ces tables n'étant pas si mal faites, qui bénéficiaient de validations par des dizaines de milliers de plongées d'essais. Bien sûr, lorsque des procédures conçues pour des hommes de vingt ans en parfaite forme physique, sportifs et entraînés furent utilisées de façon de plus en plus fréquente par des hommes et des femmes de cinquante pour qui le comble de l'exercice consistait à tourner la clef de contact de la voiture pour aller chercher son paquet de cigarette au café du coin, il y eut quelques couacs.

Peut-on réellement s'en étonner? La révision de la plupart des tables dans le sens de la sécurité, leur



ses recherches au laboratoire de physiologie hyperbare de l'hôpital universitaire de Zurich en 1959, et les poursuivit pendant trente ans.

A. Bühlmann s'appuya sur les recherches de Workman, comme lui il travailla sur l'azote et l'hélium, mais les lacs sus-cités n'étaient pas au niveau de la mer, son point de départ fut la pression absolue, chose utile pour les plongées en altitude.

Son collaborateur Hannes Keller réalisa en 1961 des plongées en caisson spectaculaires, - 215 mètres à Toulon puis - 300 aux Etats Unis, en utilisant des mélanges gazeux il réussit des décompressions éclair. Sa plongée aux USA ayant provoqué la mort de deux participants suite à une fausse manœuvre, Hannes Keller cessa ses recherches. Bühlmann non.

En 1983 il publia un livre intitulé Décompression - Maladie de la décompression. Pour la première fois un ouvrage offrait au grand public la quasi-totalité des calculs nécessaires à la décompression. Le livre fut rapidement traduit en anglais (jamais en français...). L'algorithme d'Albert Bühlmann connut un succès foudroyant et mondial, on le retrouva dans la plupart des ordinateurs immergeables, mais aussi dans les programmes des particuliers.

Car autre chose avait changé, les ordinateurs personnels étaient désormais capables de calculer plus vite et mieux que ceux des chercheurs des années 70. Et nombre de plongeurs disposaient eux de connaissances mathématiques et informatiques leur permettant de programmer plus qu'un simple algorithme.

Le résultat ne se fit guère attendre : ce que les plongeurs tek ne trouvaient pas, ou difficilement, ou à des prix exorbitants, ou que ce qu'ils trouvaient ne leur convenait pas, ils le mirent au point eux-mêmes. Les premières réalisations avaient la forme austère et rébarbative des lignes de chiffres des systèmes DOS, mais très vite les interfaces graphiques les rendirent agréables, d'aspect et d'usage.

Dernier élément du développement, l'Internet, qui permet en quelques minu-

tes d'obtenir souvent sans bourse délier un logiciel élaboré à l'autre bout de la planète. Qui permet aussi d'échanger des informations, des retours d'expérience, des idées.

Magique, trop beau pour être vrai ?

C'est un peu magique. Et c'est beau. Et en plus, c'est vrai ! Car les logiciels de décompression fonctionnent, aucun doute là-dessus.

Mais qu'un logiciel de déco fonctionne ne signifie pas qu'il ne se trompera jamais, ne serait-ce que parce qu'il n'est qu'un calculateur ; si on lui demande de calculer une idiotie, il calculera une idiotie. Utiliser un logiciel de déco n'est pas promener un doigt sur la ligne d'une table jusqu'à lire un temps de palier, cela ressemble davantage à fabriquer la table, en tout cas, cela demande de comprendre un minimum ce que l'on fait. Par chance ce n'est pas exagérément compliqué, c'est même plutôt amusant.

## Les logiciels de déco

Il en existe au moins une dizaine, je ne parlerai que de ceux que j'utilise ou ai utilisés, afin d'éviter de dire trop de bêtises. A une exception près tous emploient un algorithme Bühlmann, à tout le moins haldanien modifié.

### ■ Abyss Advanced Dive Planning Software

<http://www.abysmal.com/pages/index.html>

revendeur en France Technodive Sarl., 18 Avenue des Orangers, 06800 Cagnes sur mer

<http://www.technodive.com/index.htm>

Créé aux Etats Unis par Christopher Paret, c'est un des premiers à avoir été largement diffusé, de manière commerciale, par Internet et par un réseau de revendeurs. Abyss est un logiciel très complet, on pourrait

presque dire trop, mais assez onéreux, environ 300 \$ en version *Advanced Mixed Gas* (nitrox, héliox, trimix, néox, argox - 307 m maxi). On peut l'acheter en version *Mixed Gas* (nitrox, héliox, trimix - 100 m) pour 200\$ ou encore *Technical Nitrox* (air, nitrox - 70 m) pour 100 \$. Chaque version peut être élevée à la supérieure en ne payant que la différence. Il existe encore une version *Commercial* à 400 \$ utilisable à 450 m et comprenant une option déco de surface. Une version d'Abyss « parle » français, mais ce n'est pas la dernière en date.

Abyss est basé sur un algorithme haldanien qui lui est propre et qui comporte 32 compartiments, en outre il peut se décliner en trois modes 100, 120 et 150, où le temps de restitution est respectivement égal, 20 % supérieur et 50 % supérieur au temps d'absorption (algorithme asymétrique). 150 est recommandé pour les plongées aux mélanges engagés. Un quatrième algorithme est disponible sur les dernières versions, le RGBM de Bruce Wiencke, qu'Abyss présente pour l'instant comme expérimental, et que je n'ai guère pu tester, même virtuellement, car la version en ma possession s'est révélée instable.

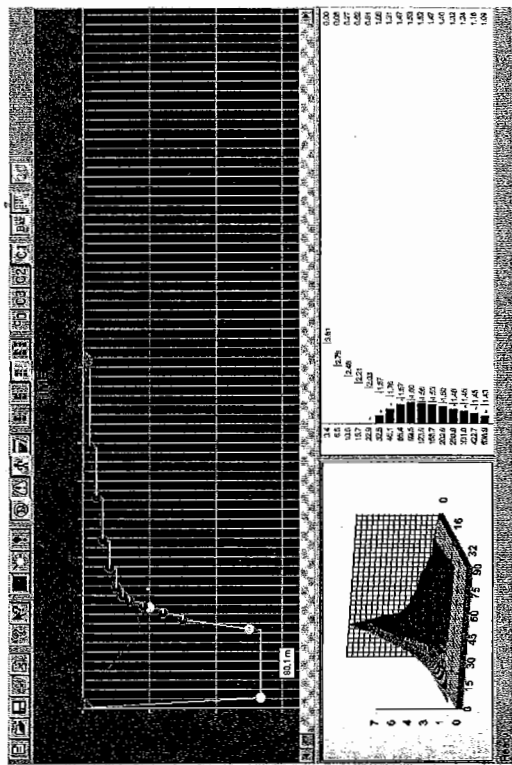
Abyss dispose en outre de corrections apportées par des informations comme l'altitude, l'âge du plongeur, sa condition physique, son niveau de plongée ou son type de combinaison. Autre option, les paliers profonds basés sur la méthode Richard Pyle.

### ■ GAP Gas Absorption Program

<http://www.gap-software.com/>

Développé par deux plongeurs, l'un hollandais, Kees Hofwegen et l'autre danois, Peter Fjelsten, ce logiciel est disponible gratuitement sur l'Internet. Il emploie les derniers algorithmes Bühlmann, ZH-1.16 B et C au choix (les nuances entre B et C sont faibles; prévue pour les ordinateurs, la C est donnée plus contraignante).

ZH signifie Zurich, L. limite, et 16 seize compartiments et seize jeux de coefficients de sursaturation. On peut intervenir sur le résultat des algorithmes de manière conséquente et précise par la méthode des Facteurs de Gradients (GF) mise au point par Erik Baker et dont on aura l'occasion de reparler. Gap lui parle anglais ou hollandais en standard, mais grâce à Frédéric Pinna qui a effectué la traduction, on trouve un petit fichier qui le fait causer normal!



### Ci-dessous:

Capture d'écran Abyss pour un 20 mn à 80 m. Le plan de travail se présente sous la forme d'un graphique du profil de plongée. Le logiciel est très agréable et permet de commander facilement les tables. Les tables sont au format Excel, les dernières versions sont disponibles sur le site <http://www.abysmal.com/pages/index.html>. Un outil de calcul des mélanges est très efficace. Abyss PC, il est protégé par une copie ; installation et réinstallation de chaque fois un agrément de Ch. Paret. Une version Y depuis des années destinée à des ordinateurs, rest Windows.

<http://www.gap-software.com/home-page/french.html>

Son tableau de travail se présente également sous la forme d'un graphique symbolisant le profil de plongée, il reste cependant un peu moins agréable à renseigner que celui d'Abyss. Gap gère les nitrox hélio et trimix jusqu'à environ 300 mètres, de quoi satisfaire le plongeur technique le plus exigeant. D'autant que lui aussi propose un calcul à  $ppO_2$  constante pour les recycleurs.

Avec Gap, pas de corrections liées à l'âge de la combinaison du capitaine, mais la possibilité d'utiliser les facteurs de gradients, un conservatisme par profondeur (calculer 3 % plus profond que la plongée), ou encore l'altitude d'entrée et/ou de sortie. Les tables sont générées dans un format imprimable non modifiable mais plus pratique à utiliser que le non modifiable Abyss (un jeu de tables s'imprime sur une feuille A4). Gap inclut lui aussi un outil de calcul des mélanges, simple à manipuler mais moins complet que celui d'Abyss.

Gap tourne sur PC. Une fois téléchargé il s'installe et se réinstalle à volonté.

Kees Hofwegen travaille à une nouvelle version de Gap qui permettra de calculer un profil à l'aide du ZH-L16 ou de l'algorithme dynamique RGBM et de passer instantanément de l'un à l'autre. Le peu que j'ai vu de ce nouveau logiciel est appétissant, il donne une courbe proche du VPM-B tout en offrant une interface à la fois superbe et pratique et de nombreux outils de paramétrage. Annoncé pour le milieu de l'année 2003, ce programme ne sera plus gratuit - compte tenu du travail que représente le développement d'un logiciel de cette qualité, cela n'a rien d'étonnant, mais il est vrai que sur le Net on prend des habitudes ! Par ailleurs, Bruce Wienke, le papa du RGBM, n'a rien d'un philanthrope et assure

une diffusion exclusivement commerciale de ses travaux.

L'ancienne version de Gap restera disponible gracieusement.

## ■ Decoplaner

<http://www.gue.com>

C'est le logiciel du GUE, Global Underwater Explorers, une association fondée par Jarrod Jablonski. En quelques années, par la réalisation de considérables plongées souterraines et sur épaves, le développement de techniques, de configurations matériel, de méthodes d'enseignement et de pratique de la plongée (DIR, doing it right, presque une philosophie), le GUE est devenu un acteur incontournable de la plongée technique aux USA et commence à faire quelques apparitions en Europe. Quoi qu'on pense de l'association et du côté parfois directif de certains de ses membres (c'est un euphémisme !), il faut admettre que les techniques DIR méritent qu'on leur prête attention.

Decoplaner est lui aussi basé sur les algorithmes Bühlmann ZH-L16 B et C sur lesquels on intervient par les facteurs de gradients d'Erik Baker.

Il gère les nitrox hélio et trimix jusqu'à 300 m environ. Contrairement à Gap et Abyss, son cadre de travail se présente sous forme de tableaux que l'on renseigne en bonne partie au clavier ; plus austère, c'est en fait tout aussi rapide sinon plus. En revanche, Decoplaner offre d'intéressantes fonctions de représentation des profils de désaturation et d'analyse des plongées qui permettent de visualiser et de quantifier les effets des facteurs de gradient. Il comprend lui aussi un logiciel de calcul des mélanges, complet, presque trop car on arrive à se perdre dans les paramètres. Les tables générées sont compatibles Excel.

Decoplaner tourne sur PC (une version Palm Os existe, nommée DPlan). Il se télécharge sur Internet moyennant 89 \$ et s'installe et se réinstalle à volonté. Et ne parle qu'anglais.

## ■ V-Planner, un cas particulier

<http://www.v-planner.com/>

Changement de décor, le tableau est plus sobre (en gros l'interface du -déjà- ancien Z-planner), pas de graphique, pas de gadget, pas de calculateur de mélange non plus ; tout le nécessaire, rien que le nécessaire. Un des seuls à proposer le calcul automatique des *couppures air* lors des expositions  $O_2$  et l'ouverture de la *fenêtre oxygène* aux paliers. La principale originalité de V-planner reste son algorithme à bulle, le VPM de David Yount, écrit est développé par Ross Hemingway et Erik Baker. Gestion des nitrox hélio et trimix bien entendu. Plusieurs possibilités de réglage de l'algorithme existent, quatre sont fort simples (des cases à cocher qui durcissent le calcul), d'autres modifient les réglages internes et demandent de sérieuses connaissances du modèle pour être utilisées - intelligemment s'entend.

V-Planner se télécharge sur le Net. Il a longtemps été totalement gratuit, depuis peu Ross Hemingway demande une participation symbolique de 39 \$ après trente jour d'usage.

Si cette participation n'est pas acquittée, le logiciel continue de fonctionner, mais à chaque demande de calcul un petit tableau casse-pieds rappelle à l'ordre, ensuite le calcul s'effectue. Régler sa cotisation est donc une question de conscience. V-planner génère des tables à son image, sobres mais efficaces, et compatibles Excel. Il calcule les profils recycleurs.

Un groupe travaille au développement du logiciel sur Palm Os et Win CE : <http://groups.yahoo.com/group/palmvpm/>

Depuis février 2003 une nouvelle version de V-Planner est disponible, la 3.00, basée sur un algorithme lui aussi modifié, le VPM-B. Tout juste opérationnelle, cette version a été suivie des versions 3.02 puis 3.10 afin de résoudre des problèmes de calculs multinuiveaux du modèle VPM-B. Le meilleur moyen de suivre les évolutions du logiciel est de s'inscrire à la liste de discussion sur le site [v-planner.com](http://v-planner.com).

Bien que je ne les aie jamais utilisés en vraie grandeur (c-a-d sous l'eau), un petit mot concernant deux autres programmes :

## ■ XS-Gf

<http://www.lizardland.co.uk>

Développé pour son propre usage par Stuart Morrison, un spéléo anglais co-président du DIS qui pratique le *mine diving* (la plongée dans les galeries noyées d'anciennes mines), ce logiciel utilise lui aussi le ZH-L16C et les *gradient factor* (gf) d'Erik Baker. Son interface est sobre, ses tables également. Outre les facteurs de gradients, il propose pour durcir l'algorithme l'adjonction d'un 17<sup>e</sup> compartiment nommé ZH-L17TS, ou l'emploi des paliers profonds Richard Pyle. Sa principale originalité est d'offrir un mode spéléo où la plongée s'écrit en mètres et non pas en minute. XS-Gf se télécharge gratuitement sur l'Internet.

Depuis quelque temps, en cherchant bien sur le site, on trouve une version VPM : [http://www.lizardland.co.uk/XS\\_VPM.zip](http://www.lizardland.co.uk/XS_VPM.zip) XS-Gf ne parle qu'anglais et tourne sur PC.

## ■ ZPlan

<http://www.zplan.com/>

Un de ceux qui font figure de pionnier dans le domaine, de facture très sobre et toujours disponible gracieusement via le Net. Basé sur les ZH-L16B ou

C, il propose plusieurs modes dont un WKPP style et un Richard Pyle style. Tous les mélanges à base d'O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> et He sont gérés, en circuit ouvert ou fermé (recycleur).

Une seule table par profil, dans un format compatible Excel. Anglais uniquement. Frédéric Pinna avait effectué une traduction française du fichier profile.dat, on peut encore le trouver sur le Net, il faut chercher...

Le Z de Zplan vient de Zach, le nom du chat du concepteur, Will Smithers.

Will Smithers s'est tué le 08 novembre 2002 dans un accident d'hélicoptère. Son épouse maintient en son honneur le site de téléchargement et d'informations.

Zplan fonctionne avec une interface de type DOS, austère. Une interface graphique (Windows) avait été développée par Ross Hemmingway et nommée Z-Planner. Ross Hemmingway se consacrant désormais à V-Planner, cette interface n'est plus couramment diffusée. On peut néanmoins se la procurer en contactant directement R. Hemmingway, ou sur certains sites comme le brésilien Divemania :

<http://www.divemania.hpg.ig.com.br/>  
(rubrique Software)

## ■ Comment ça marche ?

Avant de poursuivre, une précision : l'emploi des logiciels de décompression n'est pas une fatalité. On peut désormais faire autrement : s'inscrire dans une (ou plusieurs) agence de plongée technique, suivre son enseignement et acheter ses tables. Outre de l'expérience pratique, on bénéficie ainsi de procédures de décompression validées par un nombre certain de plongées.

Avec un logiciel au contraire on joue avec le feu. Dire qu'on plonge chaque fois un profil inconnu est sans doute un peu exagéré, dans la

mesure où les bases de calcul sont (souvent) identiques, où les profondeurs, durées et mélanges finissent par se ressembler. Mais il est vrai que l'on peut arriver à créer un profil que personne n'a jamais plongé.

Ou un profil abracadabrant. Ou des mélanges absurdes. Ou un cocktail de l'ensemble. Sans compter les erreurs du programme lui-même, toujours possibles. Le fait qu'un certain nombre (le chiffre est difficile à déterminer) de plongeurs les utilisent sans se brûler ne signifie pas que nul ne se brûlera jamais.

Cela posé...

Un deuxième point ! Le but n'est pas de donner un mode d'emploi de chaque logiciel, pour cela des aides existent dans les programmes. En outre, ce n'est pas sorcier, d'autant moins que télécharger et installer un logiciel demande un certain vernis informatique, bien suffisant pour l'utiliser par la suite.

Or donc, on se retrouve avec un superbe tableau ouvert sur l'écran de l'ordinateur. Et ensuite ?

La vitesse de remontée est un point capital. On a vu que l'hélium diffusait 2,65 fois plus vite que l'azote, ce qui signifie que sa propulsion à dégazer est aussi plus élevée.

Une trop grande vitesse ascensionnelle peut déclencher un dégazage important, c'est un risque réel et majeur. Après de nombreuses discussions, un accord semble trouvé sur une valeur de 9 à 10 mètres minute maximum. C'est plus lent que beaucoup de tables de plongée loisir, et c'est normal. Sauf précision contraire, cette vitesse sera celle des exemples à venir. De même que l'on sera toujours au niveau de la mer.

Premier exemple : plongée à l'air sur une épave, 20 minutes (temps total) à 60 mètres, avec Abyss 120 (algorithme asymétrique et multigaz, donné proche du ZH-L16C Bühlmann).

## On obtient 4 paliers :

2 min à 12 m - 7 min à 9 m - 16 min à 6 m - 19 min à 3 m - total 44 min

Bien que les comparaisons soient difficiles compte tenu du nombre de paramètres en jeu, si l'on rapproche ces temps d'une table MN90 on constate une durée similaire (44 min au lieu de 43) et une courbe légèrement tirée vers le bas (premier palier à 12 m au lieu de 9, temps à 9 et 6 m plus long, à 3 plus court). Un profil qui n'est donc pas formidablement différent de ce que l'on connaît. Rien d'étonnant à cela, même si Abyss utilise 32 comparaisons contre 12 pour les MN90, leur principe est semblable, halda-nien. Augmenter le nombre de point sur la courbe n'a que peu de chance de modifier la forme de la courbe dans des proportions notables du moins.

Si l'on tient à pénaliser ce genre de profil pour améliorer sa sécurité, un moyen proposé consiste à donner aux logiciels une altitude de sortie plus élevée que celle d'entrée, ici ce pourrait être 300 mètres au lieu de 1. Ou 600 mètres.

## Les paliers deviendraient :

Pour 300 mètres : 2, 7, 16, 26 - total 51. Soit 7 minutes supplémentaires à 3 mètres.  
Pour 600 mètres : 2, 7, 16, 34 - total 59. Soit 15 minutes supplémentaires à 3 mètres.

Cette technique se résume à l'allongement du dernier palier. Ce n'est intellectuellement pas très satisfaisant. En outre, surtout pour des plongeurs qui vont utiliser des mélanges différents de l'air, cela n'a que peu de chance d'améliorer la déco. Si un problème doit se produire, il est probable qu'à la fin du palier de trois mètres il soit déjà engagé. Augmenter ce palier a un parfum de thérapie, la déco est peut-être imparfaite, alors on attend un moment que ça s'arrange. Cela

peut sans doute fonctionner, jusqu'à un certain point.

Une autre méthode est de tromper le logiciel, et l'utilisateur, en lui faisant calculer une profondeur supérieure à celle affichée - automatiquement ou manuellement selon les programmes. En moyenne 3 % de plus. Ici environ 62 mètres au lieu de 60.

## Résultat :

- 3, 9, 18, 20 - total 50 minutes  
L'allongement est moindre mais réparti sur toute la courbe. Cette méthode paraît plus satisfaisante, en tout cas offre une courbe plus harmonieuse. Finalement, elle revient à choisir la ligne du dessous sur une table... Avec plus de souplesse il est vrai, les logiciels calculent au mètre (et même au pied).

Avec Abyss, on peut utiliser un autre algorithme, le 150, qui avec des temps de restitution plus longs est censé être plus pénalisant et recommandé pour les plongées profondes aux mélanges.

## Résultat :

- 3, 8, 15, 17 - total 43 minutes.  
Une minute de moins que la version 120 prétendue moins pénalisante !  
Un bug ? Non, plutôt l'allongement des deux paliers inférieurs qui raccourcit les supérieurs. Une minute de plus ou de moins n'a cependant pas grande signification. En revanche, cela montre que la sécurité n'est pas toujours là où on l'attend, ni n'a la forme qu'on attend. L'algorithme 150 a été conçu pour des plongées profondes aux mélanges - avec de l'hélium, donc. Si l'on emploie cet algorithme pour ce type de plongée, alors en effet il sera plus pénalisant. Sans pour cela beaucoup changer le profil, la base de calcul restant identique.

## Le même profil effectué avec un trimix 19/25 donne :

- avec Abyss 150 : 2 6 11 21 25 - total 66 minutes - premier palier à 15 mètres

- avec Abyss 120 : 3 8 15 20 - total 46 minutes

Les différences se creusent, les paliers déburent plus tôt et durent plus longtemps, c'est l'effet trimix... Pour tempérer, il va falloir user de l'effet surox. Surtout si profondeur et temps fond augmentent.

Restons pour l'instant à 60 mètres, ce pourrait être une épave méditerranéenne. Un Tmx 19/25 permet d'avoir l'esprit plus clair tout en s'écartant des limites hyperoxiques, si ce n'est pas complètement indispensable c'est bien agréable - d'aucun, ajouteraient même encore de l'hélium. Comme on garde l'algo 150, c'est plus d'une heure de paliers, déjà beaucoup. Optimisons!

L'idéal serait deux gaz, par exemple un Nx 40 et de l'O<sub>2</sub> pur. Un peu lourd à gérer tout de même, d'autant qu'on ne respirerait que quelques bars du nitrox 40. Une plongée de ce type reste envisageable avec un seul gaz de déco. Lequel? S'il existe une seule réponse... je ne la connais pas. Tout mélange de 50 % jusqu'à l'O<sub>2</sub> pur peut convenir - voire moins.

- Un Nx 50 donnera 28 min de palier

- L'O<sub>2</sub> pur en donnera 34

- Un Nx 70 en donnera 23

Ne pas se hâter de tirer des conclusions, les expositions sont trop faibles pour cela. Le Nx 70 semble le meilleur. Il apparaîtra ainsi dans tous les profils de ce type. C'est mathématiquement imparable, une ppO<sub>2</sub> de 1,6 bars permet de le respirer dès 12 mètres, c'est-à-dire durant les plus importants paliers. Que ce soit mathématiquement juste ne signifie pas que ce soit biologiquement exact. Des plongeurs estiment que l'O<sub>2</sub> assure une meilleure décompression puisque plus aucun gaz inerte n'est respiré. Difficile de trancher.

Mais il est certain que décompression la meilleure n'est pas synonyme automatique de décompression la

plus rapide. Pour ma part j'utilise l'oxygène pur autant que faire se peut. Mais j'ai pratiqué des profils de ce type au nitrox 70 ou 50, et en pratiquerai encore j'espère.

La plongée tek est décidément cruelle, qui n'offre pas de réponse définitive...

### ■ Et plus bas c'est comment?

Le retour d'une plongée profonde se traduit presque toujours par une torpeur rarement douce. Parfois par des maux de tête. Des petits tracas sans gravité mais pénibles. Bien que l'usage des surox et de l'oxygène réduise considérablement ces phénomènes, il ne faut pas se leurrer, une plongée profonde, longue et en eau froide sera toujours un choc plus sévère pour l'organisme qu'une balade à 20 mètres aux Îlets Pigeon.

L'ensemble de ces manifestations est parfois appelé symptômes du stress de la décompression. Le stress de la décompression, ce n'est pas encore la maladie, mais ce n'est déjà plus un état normal.

Les plongeurs soumis au stress de la décompression ont assez vite pensé que quelque chose dans la procédure n'était pas parfaitement adapté à leur cas. Et de manière empirique ont tenté d'apporter une solution.

Richard Pyle, un biologiste marin que son métier et sa passion amenaient à plonger souvent et profond, a particulièrement bien rendu son expérience dans un article qui a fait le tour du monde. Au sortir de ses nombreuses plongées, Richard Pyle se sentait fatigué, mais pas toujours, ou parfois moins que d'autres. Il chercha ce qui pouvait expliquer ces différences, et constata qu'il était moins fatigué lorsqu'il remontait un poisson avec lui. Présentée ainsi, l'explication peut sembler ridicule. Mais Richard affina sa découverte. Lorsqu'il ramenait des poissons, c'était

pour les conserver vivants en aquarium. Tout pêcheur qui a remonté un poisson de quelques dizaines de mètres à grands coups de moulinet a remarqué que la vessie nataoire de l'animal lui sort par la gueule. Dans notre cas le phénomène était identique, mais pour éviter que les poissons souffrent et meurent, Richard Pyle parvint à intervenir régulièrement la vessie nataoire de ses captures à l'aide d'une aiguille adaptée.

Ce faisant, il marquait des arrêts; il en conclut que ces paliers étaient la raison de sa moindre fatigue. Pression par volume égale constante, la vessie nataoire des poissons gonflait vite, les paliers commençaient profondément, beaucoup plus profondément que ceux des tables. Richard eut l'idée de systématiser ces arrêts lors de toutes ses plongées et de les appeler paliers profonds. Comme toutes les plongées n'avaient pas de vessie nataoire témoin, il mit au point une méthode de calcul: le premier palier profond serait situé à mi-chemin du fond et du premier palier normal et son temps d'arrêt inclus dans les calculs, puis un nouveau palier profond serait posé à mi-chemin du précédent palier profond et du premier palier normal, et ainsi de suite jusqu'à rejoindre la courbe standard. Bien que Richard Pyle précisât au terme de son article qu'il n'était ni médecin ni spécialiste en décompression et que suivre sa méthode pouvait présenter de gros risques, elle fut rapidement adoptée.

Sans doute parce qu'elle correspondait au vécu, au ressenti de nombreux plongeurs. Presque aussi vite elle fut intégrée dans plusieurs logiciels de décompression.

La voici appliquée à notre profil en utilisant l'option *Deep Stops d'Abyss*

150 sans gaz de décompression :

- 36 m/1min 24 m/1min  
18 m/1min 15 m/1min 12 m/5min  
9 m/12min 6 m/22min 3 m/27min - total 70 min

Le temps total de déco est un peu allongé,

mais surtout la forme de la courbe change de façon sensible. Avec 95 minutes de temps total de plongée, l'usage d'un mélange de déco devient impératif. On peut même commencer à en employer deux sans passer pour un puriste.

Avec un nitrox 70 on obtient:

- 36/1 24/1 18/1 15/1 12/3 9/2 6/9 3/8 - total 26 min

Avec un nitrox 30 et de l'O<sub>2</sub> pur:

- 36/1 24/1 18/1 15/1 12/1 9/6 6/7 3/7 - total 25 min

Il est normal que le Nx30 ne modifie pas les paliers inférieurs car ils sont imposés au programme et non pas définis par son calcul de désaturation. La différence d'une minute entre les deux déco n'est pas significative, l'intérêt du deuxième mélange est de commencer au plus tôt l'élimination de l'hélium. En effet, chaque gaz se comporte comme s'il était seul, il « ignore » ce que fait son voisin. Autrement dit, dès que l'on cesse de respirer un gaz, ici l'hélium, son élimination commence (si la pression diminue) même si l'on respire davantage d'un autre gaz non métabolisé (ici l'azote). Encore autrement dit, que l'on respire de l'O<sub>2</sub> pur ou un nitrox, l'hélium s'éliminera de la même manière. Cette notion est importante, mais on verra qu'elle est à manier avec précaution.

La différence de durée entre une déco standard et une déco optimisée est considérable, 25 minutes au lieu de 70, c'est presque trois fois plus rapide. Cela peut paraître effrayant ou délirant. Pourtant il faut bien admettre que cela fonctionne. Certains en concluent que le calcul de base (mélange fond uniquement) est exagérément pénalisant. C'est possible, mais il est difficile pour un non-spécialiste d'avoir une opinion arrêtée à ce sujet.

### ■ Encore plus bas...

Bien que la méthode Richard Pyle ait montré une efficacité certaine dans la diminution du stress de la décompression, certains plongeurs ont estimé qu'elle était imparfaite, ou incomplète, et cela

Schéma 8 : représente la charge en gaz inerte d'un compartiment au cours de la décompression.

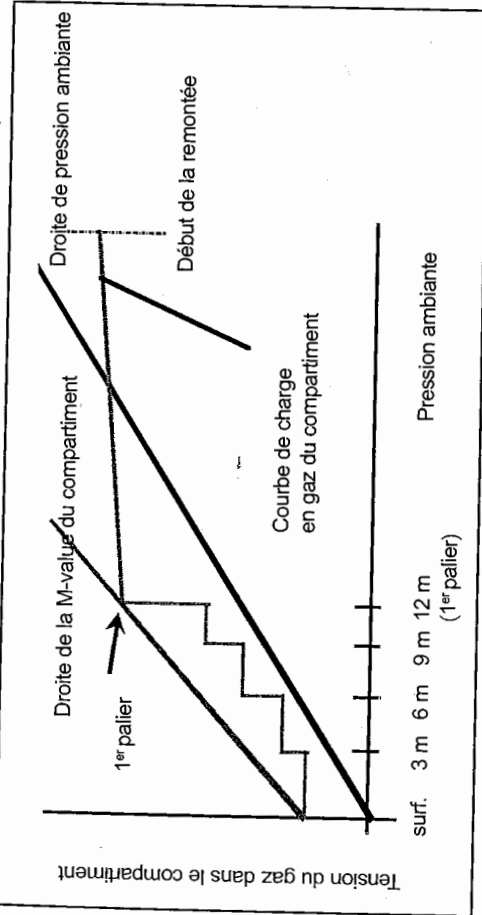
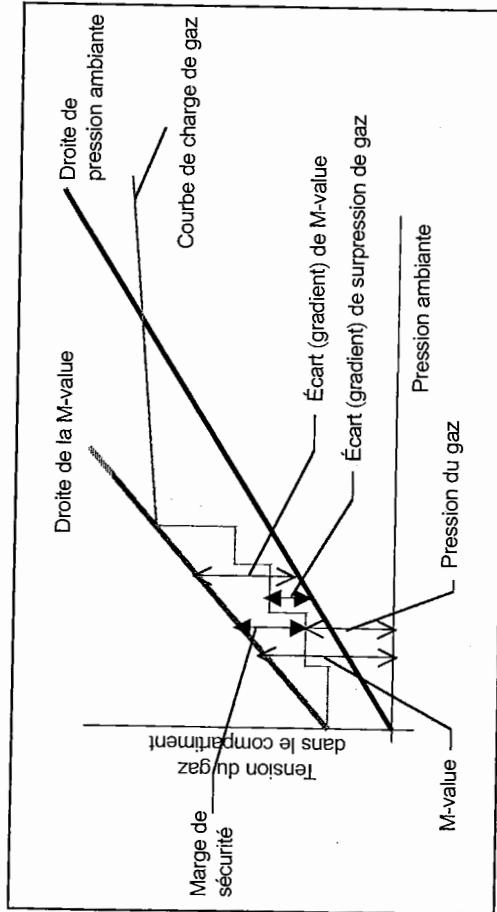


Schéma 9



d'autant plus que les profondeurs et/ou les durées de plongée augmentaient.

Parmi eux Erik Baker, plongeur doté de solides connaissances en informatique. Son raisonnement peut être résumé à l'aide des tableaux suivants (voir schéma 8 et schéma 9).

Ce graphique, très simplifié, représente la charge en gaz inerte d'un compartiment au cours de la décompression.

Le diagramme complet pour 16 compartiments présenterait 16 droites de M-value et 16 courbes de charges, comme celui que l'on trouve dans le logiciel Decoplan. Ces seize courbes étant elles-mêmes l'addition des seize courbes azote et des seize courbes hélium...

La zone de décompression se trouve située entre la droite de pression ambiante et la droite de la M-value. A droite de la pression ambiante, le compartiment ne désature pas, il est trop profond et peut même continuer d'absorber du gaz.

A gauche de la droite de M-value, la valeur maximum de surpression est dépassée, on est remonté trop haut. Au premier palier (12 m), puis en surface, ce compartiment atteint la droite de M-value, il atteint donc le maximum de sa surpression autorisée, soit 100 % de sa M-value. (courbes et valeurs n'ont qu'un but d'illustration, elles ne correspondent pas à une situation réelle)

Pour des questions de commodités d'écriture et de calcul, certains chercheurs et concepteurs ont exprimé les M-value et les diverses notions qui s'y attachent sous la forme de pourcentage.

Ainsi:

$$\%M\text{-value} = \frac{\text{pression de gaz}}{M\text{-value}} \times 100 \quad \text{et} \quad \frac{\% \text{ de gradient de surpression de gaz}}{\% \text{ de M-value}} = \frac{\text{écart de surpression de gaz}}{\text{écart de M-value}} \times 100$$

du compartiment proche de la droite de pression ambiante, à l'inverse, un % important indiquera une position proche de la droite de M-value, donc de la valeur critique (étant bien entendu que les M-values ne délimitent pas une frontière certaine entre sécurité absolue et accident inéluctable, mais représentent une ligne tracée parmi des probabilités plus ou moins importantes).

Dans un profil obtenu à l'aide d'une méthode classique (voir schéma 10), les compartiments rapides (courts), plus chargés en gaz, sont les compartiments directeurs, comme ils autorisent une surpression conséquente, la remontée rapide au premier palier va créer un important gradient de surpression. Par la suite, lorsque les compartiments lents (longs) seront directeurs, un tel gradient ne sera plus jamais atteint.

Néanmoins, il est probable que ce fort gradient en début de décompression aura généré des bulles, en nombre sans doute insuffisant pour causer un accident, mais capable de troubler la décompression au point d'entraîner un stress de la décompression.

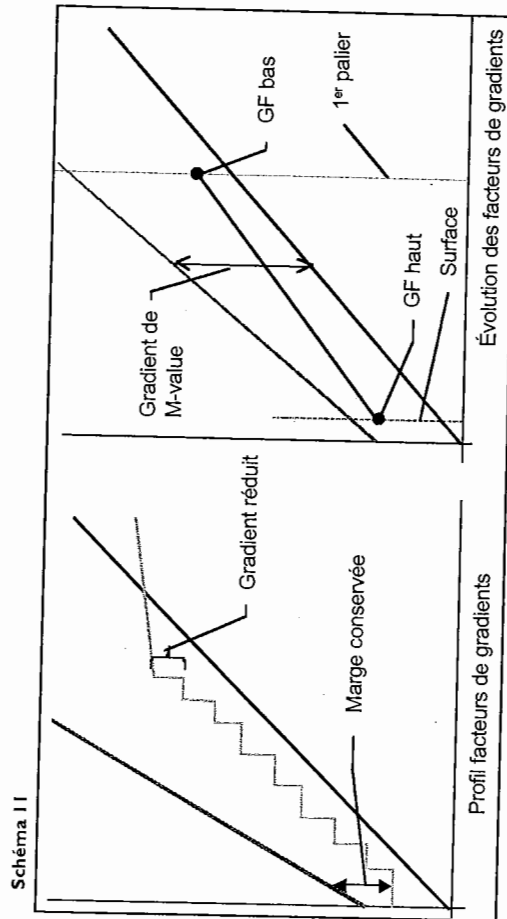
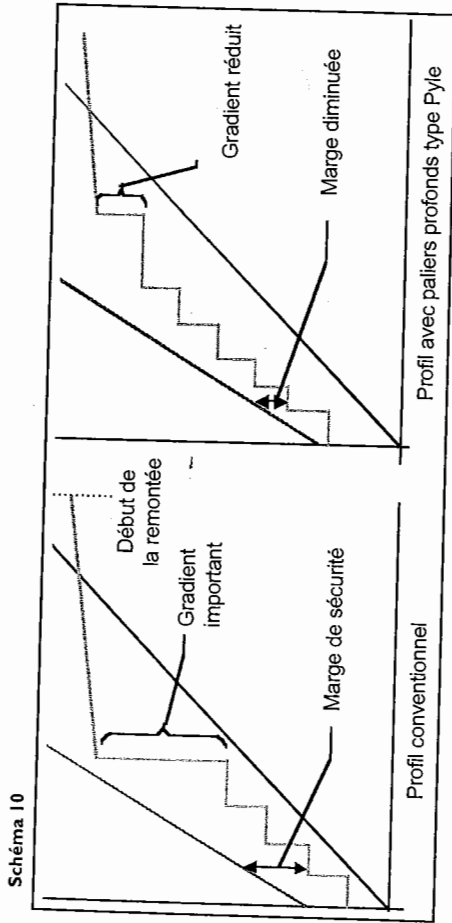
La méthode de Richard Pyle, ses paliers profonds, apporte une solution à ce problème en réduisant de manière importante le gradient de surpression à l'entrée de la zone de décompression.

Mais elle a été jugée imparfaite car la charge supérieure imposée aux

Ces valeurs et notions vont se retrouver dans les logiciels de déco. Un faible % de M-value ou de gradient de M-value indiquera une position

compartiments lents les rapproche de la M-value en fin de décompression. C'est assez logique, la méthode Pyle est extérieure au calcul de la





décompression, elle agit sur l'ensemble des compartiments sans distinguer leurs spécificités. (voir schéma 10)

Pour garder une marge de sécurité équivalente, il va falloir augmenter le conservatisme du programme, allonger les paliers supérieurs.

Erik Baker imagina alors un moyen d'agir sur chaque compartiment et sur chaque palier, en contrôlant les pourcentages de M-value et de gradient de M-value.

Cette méthode fut dite à *facteurs de gradients*, *Gradient Factor* en anglais, GF en abrégé. Un facteur de gradient est une fraction décimale d'un pourcentage de gradient de M-value.

Les GF permettent de générer des paliers profonds tout en imposant une marge de sécurité définie à l'avance, et ce durant toute la décompression. (voir schéma 11)

Dans la pratique, le programme offrira deux facteurs de gradients à paramétrer, le GF haut (Gf high ou Gf Hi) et le GF bas (Gf low ou Gf Lo).

Le GF bas va définir la profondeur du premier palier, plus sa valeur sera proche de 0, plus le palier sera profond et débuttera près de la droite des pressions ambiantes.

Le GF haut définira lui la marge de sécurité, plus sa valeur sera élevée, plus on sera proche de la droite des M-values et plus la sécurité sera réduite.

La ligne imaginaire tracée entre GF Hi et GF Lo symbolise la droite que le profil ne pourra traverser. En d'autres termes, cela revient à dessiner une nouvelle droite des M-values, sa propre droite, située entre celle définie par A. Bühlmann et la droite des pressions ambiantes, et d'inclinaison variable.

Selon les programmes, les GF s'écrivent entre 0,01 et 1 ou entre 5 et 100, le principe reste bien sûr le même.

Faire démarrer très tôt (profond) sa décompression influe naturellement sur la durée des paliers supérieurs, dans le sens de l'allongement. Une question se pose immédiatement:

Quels GF employer?  
Et la réponse est comme d'habitude... ça dépend!

De la plongée, de l'individu, de sa forme physique, de sa pratique de ce type de plongée, etc.

D'origine les logiciels proposent par défaut des valeurs de 20 à 30 pour le GF bas et de 70 à 80 pour le GF haut. Ce n'est pas une mauvaise idée de s'y tenir lors des premières immersions, quitte à augmenter le GF haut si l'on se sent en pleine forme au sortir des plongées.

Ou bien sûr à le diminuer dans le cas contraire. Sans perdre de vue que sortir en forme d'une plongée à 70 mètres ne signifie pas un résultat identique pour une plongée à 90.

Certains plongeurs utilisent un GF L à 10 et un GF H à 100, d'autres un GF L à 20 et un GF H à 50.

Comme toujours en plongée tek, il faut se servir de sa tête.

Pour un plongeur habitué à des modèles conventionnels aux temps de paliers concentrés vers le haut, les profils générés par les logiciels à facteurs de gradients peuvent être déstabilisants.

La table ci-dessous (voir tab.6) est issue de Decoplanner, pour une plongée de 20 minutes à 70 mètres avec un Tmx 17/30 en mélange

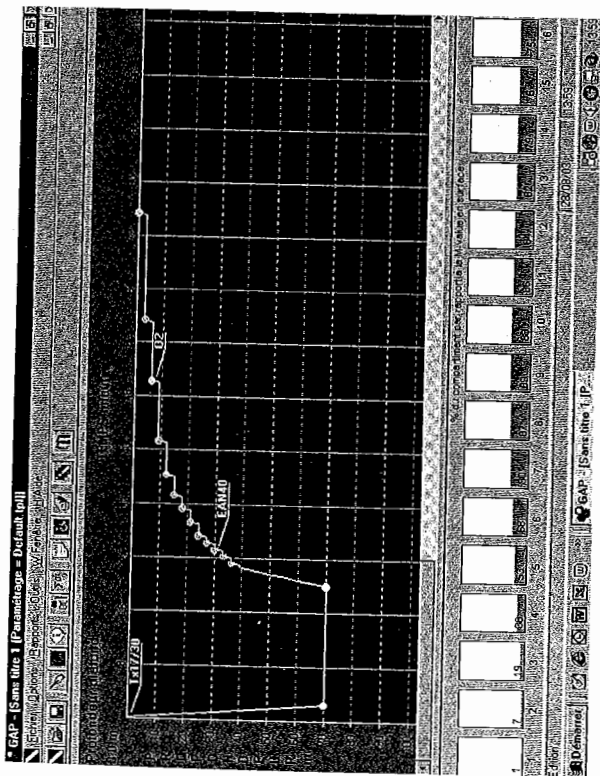
**Tab. 6: Profil GF**

Table: ZHL16C GF Lo%: 25 GF Hi%: 75

70 m	20 min	17\30
36 m	2 min	17\30
33	1	17\30
30	1	40%
27	1	40%
24	1	40%
21	2	40%
18	3	40%
15	3	40%
12	6	40%
9	8	40%
6	9	100%
3	16	100%
Total déco	<53 min>	
Total plongée	77 min	

### Ci-contre :

Capture d'écran du logiciel GAP pour une plongée de 20 mn à 70 m.



fond, un Nx 40 et de l'O<sub>2</sub> pur en décompression. Par rapport à une table classique, la courbe est nettement tirée vers le bas, elle est aussi plus régulière, plus harmonieuse, c'était le but recherché, sans sacrifier la sécurité. Reste que la relative brièveté des paliers supérieurs a de quoi laisser perplexes. Tous les plongeurs confrontés à ce genre de modèle se sont posés les mêmes questions. Ceux qui ont adopté la méthode des facteurs de gradients ne semblent pas le regretter. Pour ma part, je n'envisage plus de plongées profondes aux mélanges autrement qu'avec des profils comportant des paliers profonds de type GF. Ou plus profonds encore.

### ■ Toujours plus bas ?

L'autre famille de logiciel, essentiellement représenté par le programme V-Planner issu du modèle VPM, est dite à *bulle*, ou *dynamique* ou encore *diaphasique*. Si la compréhension d'un modèle haldanien est à la portée de n'importe qui s'en donnant la peine, il

en va autrement des modèles dynamiques. Les notions auxquelles fait appel VPM dépassent les capacités de beaucoup de plongeurs, et en tout cas les miennes. Les informations données à son propos ne concernent donc que les grandes lignes du modèle, ses principes de bases.

VPM utilise toujours des compartiments parallèles à périodes, cependant, à la différence des modèles haldaniens, la remontée du plongeur ne sera pas contrôlée en comparant des rapports de pressions mais en maintenant le volume de gaz produit par les bulles dans le corps en deçà d'un seuil critique.

### Le modèle a comme postulat de départ plusieurs points :

- que les liquides et les tissus du corps présentent à l'état initial, avant la plongée, une certaine quantité de micro-noyaux gazeux.

- que le nombre de micro-noyaux susceptibles de grossir dépend de la compression maximale subie au cours de la plongée. Cette compression, nommée Pression de Réduction, est

fonction de la plus grande profondeur atteinte, mais également de la vitesse de descente et du mélange employé.

- Le fait, vérifié par expérience, que le corps humain peut supporter indéfiniment un certain nombre de bulles ou un nombre de bulles plus important durant un temps limité.

### Pour contrôler la plongée, VPM va utiliser principalement quatre constantes :

- $f_0$  : rayon minimal de la bulle que l'on peut exciter
- $\gamma$  : *gamma*, tension de surface du noyau gazeux
- $\gamma_c$  : *gamma c*, tension de réduction du noyau
- $\lambda$  : *lambda*, volume maxi de bulles tolérable

### Mais aussi :

- $T$  : temps de régénération des noyaux (plongées successives)
- Et des paramètres plus classiques :
  - profondeur maxi, temps de plongée, mélanges respirés, vitesse de descente et de remontée.

Durant la plongée, le modèle va suivre sans cesse l'évolution des bulles. Au cours de la descente, il va calculer la réduction des noyaux initiaux causée par la compression. Puis, lors de la remontée, il va maintenir le gradient de saturation à un niveau tel que les noyaux d'un rayon inférieur au rayon critique ne pourront être excités et se développer.

Concrètement, à quoi ressemble un profil de déco VPM ?

### Avec les paramètres précédents, 70 m, 20 min, Tmx 17/30, Nx40, O<sub>2</sub>, on obtient (voir tab.7) :

Cela avec la valeur de conservatisme la plus élevée (+ 4). On constate que les paliers démarrent beaucoup plus profondément encore, à 42 mètres, mais que le temps total de plongée est réduit, de presque 10 minutes, et cela quasi exclusivement sur les derniers paliers.

VPM assume en effet que le strict contrôle des bulles durant toutes les phases de la plongée assure une désaturation d'une qualité telle que les paliers supérieurs peuvent être diminués.

L'hypothèse est séduisante. Et les paliers profonds générés par les programmes à facteurs de gradients ont montré leur efficacité, à tout le moins ont convaincu nombre de plongeurs techniques. VPM peut être vu comme un pas supplémentaire dans cette direction. Mais jusqu'à présent, les retours d'expérience sur ses profils sont encore peu nombreux, pas assez pour se forger une opinion définitive.

Des plongeurs qui admettent le bien fondé des remontées lentes et des paliers profonds sont encore réservés sur la réduction des paliers supérieurs.

Certains, dont je fais partie, associent parfois des paliers profonds de type VPM à des paliers supérieurs plus classiques.

Et au moment où ces lignes sont écrites, la question est sans doute en passe d'être réglée. Ross Hemingway qui développe V-Planner vient en effet de rendre disponible la version 3.00 de son programme. Basée sur un nouvel algorithme nommé VPM-B,

Tab. 7 : Profil VPM

Prof.	Palier	Runtime	Mélange
70	0	21	17
45	0	24	17
42	1	25	17
39	1	26	17
36	2	28	17
33	2	30	17
30	1	31	40
27	2	33	40
24	1	34	40
21	2	36	40
18	3	39	40
15	3	42	40
12	5	47	40
9	6	53	40
6	6	59	100
3	9	68	100

elle est présentée comme conservant les paliers profonds tout en allongeant les paliers supérieurs, qui dès lors se rapprochent de ceux d'un programme à facteur de gradient.

**En utilisant nos mêmes paramètres de plongée, voici ce que donne VPM-B comparé au profil à GF :**

Sans se superposer parfaitement, les deux courbes sont très proches, ce qui confirme la description que fait R. Hemingway de ce nouveau programme. (les comparaisons ne peuvent être considérées à la minute près, car certains programmes comportent en temps fond uniquement descente instantanée- alors que d'autres incluent le temps de descente dans le temps total)

Avec une existence publique de quelques jours seulement, voire de quelques heures, les retours d'expériences concernant V-Planner 3.00 sont insignifiants. On peut néanmoins penser que les profils générés sont désormais à même de convaincre les plongeurs qui hésitent. Et donc que des informations sur son usage ne tarderont pas.

Outre son profil, VPM possède une autre faculté remarquable: il explique des phénomènes qui, bien que validés par l'expérience ou par l'usage, étaient expliqués par peu d'autres modèles.

**Par exemple :**

- effectuer la partie la plus profonde de la plongée en premier: une descente rapide provoque une réduction des noyaux initiaux de manière favorable au plongeur.

- pas d'effort physique avant, pendant et après la plongée: l'effort musculaire va générer des micro-noyaux que les modèles ne prennent pas en compte.

- les tissus rapides acceptent des sur-saturations plus importantes que les lents: les tissus courts éliminent rapidement les gaz, les bulles n'auront pas le temps de se développer au point de devenir pathogènes.

Bien entendu, qu'une explication soit donnée à un phénomène ne signifie pas qu'elle soit la bonne, la seule, ou la seule bonne...

Un autre point qu'expliquent les modèles diaphasiques concerne l'efficacité des paliers profonds.

Les modèles classiques ne s'occupent

**Tab. 8 : Profil VPM-B**

70	0	21	17
45	0	24	17
42	1	25	17
39	1	26	17
36	1	27	17
33	2	29	17
30	1	30	40
27	2	32	40
24	1	33	40
21	2	35	40
18	3	38	40
15	4	42	40
12	5	47	40
9	8	55	40
6	8	63	100
3	14	77	100

**Tab. 6 : Profil GF**

70 m	20 min	25 GF	HI%: 75
36 m	2 min	1730	1730
33	1	1730	1730
30	1	40%	40%
27	1	40%	40%
24	1	40%	40%
21	2	40%	40%
18	3	40%	40%
15	3	40%	40%
12	6	40%	40%
9	8	40%	40%
6	9	100%	100%
3	16	100%	100%
Total déco	<53 min>		
Total plongée	77 min		

des gaz que durant leur phase dissoute, s'efforçant même de les conserver sous cette forme, d'éviter l'apparition de bulles. Or on sait depuis longtemps, et les mesures Doppler l'ont confirmé, qu'une décompression même parfaitement menée et conclue génère des bulles.

C'est la phase dynamique des gaz. Les modèles diaphasiques estiment que durant cette phase également du gaz inerte va pourvoir être éliminé. Mais si sous forme dissoute le gradient favorisant l'élimination augmente avec la diminution de la pression, en phase gazeuse ce gradient diminue avec la diminution de la profondeur.

Considérons une bulle apparaissant au cours d'une remontée. Les gaz en phase gazeuse vont se détendre jusqu'à ce que la pression à l'intérieur de la bulle atteigne la pression ambiante. En fait, la pression interne de la bulle sera toujours légèrement supérieure à la pression ambiante, en raison de la tension du film extérieur de la bulle (la « peau » de la bulle) et de l'effet de confinement dû aux tissus environnants. La diffusion des gaz va se faire dans le sens tissu bulle, jusqu'à ce que la composition interne de la bulle soit identique à celle des tissus.

Par expérimentation, Brian Hills, inventeur de la décompression thermodynamique, a mesuré que les bulles étaient composées de vapeur d'eau pour une pression de 47 mmHg, et des ppO<sub>2</sub> et ppCO<sub>2</sub> des tissus qui pouvaient être estimées par leurs valeurs dans le sang veineux. Les gaz inertes vont donc occuper la pression restante jusqu'à arriver à la pression ambiante, minime de la tension de surface de la peau de la bulle et de l'effet de confinement des tissus. Toujours par expérimentations, Hills a déterminé 133 mmHg comme valeur pour ces deux derniers éléments. Le gradient favorisant l'évacuation des gaz inertes est

la différence entre les pressions partielles des gaz inertes à l'intérieur de la bulle et celles à l'extérieur.

Pour illustrer l'effet de l'augmentation de la profondeur sur le gradient intérieur/extérieur ( $\Delta$ ) de l'azote, Brian Hills utilise la formule suivante:

$$\Delta P_{N_2} = P(1-f_{N_2}) + 47 (f_{N_2}) - 133 \text{ mmHg}$$

Avec P = pression ambiante et  $f_{N_2}$  = fraction d'azote du mélange respiré; toutes pressions exprimées en mm de mercure

Etant fonction de la pression ambiante, il est clair que  $\Delta P_{N_2}$  augmentera avec la profondeur et diminuera avec elle.

Ainsi, si les paliers profonds permettent de maintenir l'apparition de bulles à un niveau admissible en contrôlant finement l'augmentation du gradient de surpression, ils sont en outre susceptibles de favoriser l'élimination des gaz inertes par les bulles qui sont créées. Et ce de manière d'autant plus efficace que la profondeur est importante.

Un autre facteur participe à l'élimination des gaz inertes dans les bulles, l'oxygène, grâce à un phénomène appelé *fenêtre oxygène, oxygen window*, on verra plus loin de quelle manière.

## ■ Et plus haut ?

Un cas que les logiciels de décompression gèrent avec une désolante facilité: la plongée en altitude. Il suffit d'indiquer au programme l'altitude de départ de la plongée, et il fait le reste. Certains proposent même de préciser s'il s'agit d'eau douce ou d'eau salée, d'une plongée sous plafond ou non. L'altitude doit être renseignée en mètres ou en millibars selon les logiciels.

Reste encore au plongeur à réfléchir quel profondimètre il va employer!

responsable d'accidents vestibulaires. Une autre explication avancée pour certaines maladies de la décompression fut la contre-diffusion isobare. Phénomène dit isobare car il se produit sans changement de pression. Et contre diffusion parce que deux gaz diffusent à contre-courant, l'un entre pendant que l'autre peut provoquer une sursaturation des tissus et une apparition de bulles, sans même qu'une baisse de pression soit nécessaire.

Dans d'autres cas, la contre-diffusion peut sous-saturer des tissus et favoriser l'élimination des bulles, lors des traitements hyperbares par exemple. Tous les gaz ne produisent pas de contre-diffusion isobare, mais les héliox et tri-mix en présence de nitrox - donc d'air - en sont capables.

Jusqu'à tout le monde est d'accord. Les divergences de vues apparaissent sur la probabilité voire la réalité du risque en plongée sportive. Pour certains le phénomène ne concerne que les plongeurs professionnels opérant dans des conditions particulières, cloches à plongeurs ou chambres de soudure. Pour d'autres, lors du passage du mélange fond riche en hélium à un mélange de décompression riche en azote, les conditions d'une contre-diffusion isobare sont réunies, et ce d'autant plus que le changement s'effectue profondément, le phénomène pouvant toucher le cerveau et/ou les zones du cerveau contrôlant les mouvements.

Difficile pour le non-spécialiste de trancher. Mais il peut raisonnablement supposer qu'être brutalement soumis à une pression narcotique de 6 bars n'a que peu de chance de provoquer quelque chose de très intéressant pour lui. Une solution pour ne pas augmenter trop brusquement la  $ppN_2$  consiste à augmenter la  $ppO_2$ , fabriquer un nitrox, mais qui ne deviendra intéressant qu'à des profondeurs modérées, de l'ordre de 30 mètres, or les paliers profonds peuvent débiter à 80 % de la profondeur maximum.

Reste la possibilité d'augmenter légèrement la  $ppO_2$  tout en maintenant la  $ppN_2$  à un niveau raisonnable, en ajoutant de l'hélium, c'est-à-dire fabriquer un trimix de décompression, un trimix narcotique ou hyperoxique. Cette idée a longtemps été accueillie par des sourires navrés ou des haussements d'épaules. Parce que l'hélium était supposé « risqué », et en tout cas allait être responsable d'un considérable allongement des paliers. C'est vrai dans les modèles haldaniens, encore que dans des proportions souvent supportables et pas pour tous les types de profils. Ce n'est plus vrai dans les modèles à bulles comme VPM ou RGBM.

Par ailleurs, des plongeurs comme Jarrod Jablonski du GUE et Georges Irvine du WKPP, auteurs de plongées souterraines longues et profondes (5000 mètres de pénétration à 90 mètres de profondeur), ont largement fait part de leur expérience.

Pour eux, la véritable difficulté d'une décompression est d'éliminer l'azote des tissus lents, particulièrement lors de plongées où des paliers profonds et intermédiaires importants vont accroître la charge d'azote des tissus. Au cours de ce type de plongée, ils en sont arrivés à utiliser des mélanges de décompression à base d'hélium jusqu'à 10 mètres de profondeur. Leur conclusion est que les modèles haldaniens traditionnels pénalisent excessivement l'hélium, et qu'en réalité c'est un gaz plus « favorable » au plongeur que l'azote.

Si donc on admet l'usage d'un trimix au moins lors de la première phase de la décompression, la question qui se pose est : comment en déterminer la composition ?

Le but est de passer d'une manière la plus harmonieuse possible d'un mélange fond riche en hélium à un mélange de décompression qui en comportera moins.

On peut raisonner en pourcentage, ce sera simple. Un mélange fond 13/60 pourra être suivi d'un mélange de déco 25/30, la  $fN_2$  passant alors de 27 à 45

comptées participant à la désaturation). Que si l'on en juge par les temps d'expositions à l'oxygène pur lors de longues plongées souterraines, on peut penser que le risque hyperoxique est moins élevé que ne le laisse croire un calcul CNS, pour autant que l'on respecte une  $ppO_2$  maxi de 1,6 bars - qui par chance correspond à 6 mètres. Et ils concluent en remarquant que, pour les paliers effectués dans l'eau, la plongée professionnelle utilise depuis longtemps exclusivement l' $O_2$ , avec des coupures et uniquement à 6 mètres (pas de paliers à 3 m).

La cause semble désormais entendue pour de nombreux plongeurs profonds, qui utilisent l' $O_2$  pur lors de leurs paliers de 6 et 3 m.

On peut encore ajouter en faveur de l'oxygène une fabrication plus difficile et plus risquée des nitrox à haute  $fO_2$ .

Et en faveur des coupures une réduction de la vasoconstriction due à l'oxygène; vasoconstriction qui elle perturbe les échanges.

### Reste les mélanges intermédiaires.

Certains facteurs influant sur leur choix font l'objet de querelles d'experts, à tout le moins de divergences d'opinions. Ainsi la contre-diffusion isobare, l'usage de l'hélium en décompression, la fenêtre oxygène.

Traditionnellement, le premier gaz de déco fut souvent l'air. Son principal avantage, pour ne pas dire son seul, est d'être facilement disponible, partout, tout le temps, à vil prix. L'habitude de l'utiliser même à grande profondeur fit qu'on l'employa en décompression à 60 mètres ou plus.

Une autre raison de l'usage de l'air en profondeur pour la déco était une « peur » de l'hélium, gaz qu'il fallait cesser de respirer au plus tôt.

Des incidents et accidents furent attribués à des narcoses brutales causées par le passage en profondeur d'un trimix ou héliox peu ou pas narcotique à un mélange contenant 80 % d'azote. On pensa aussi que ce changement était

### Quelles mixtures pour quelle déco ?

Lorsqu'on se cantonne à des profondeurs modérées (pour la discipline), le choix des gaz de décompression reste relativement simple. De l'oxygène pur ou un nitrox à forte  $fO_2$ , 70 ou 80 % éventuellement accompagné d'un nitrox plus léger en  $O_2$ , de 35 à 50 %.

Mais lorsque les profondeurs augmentent, l'affaire demande plus de réflexion. On a compris que l'idéal serait de respirer à tout instant le minimum de gaz inerte possible, c'est-à-dire le maximum d'oxygène possible, 1,6 bars.

C'est un peu ce que font les recycleurs en circuit fermé qui opèrent à  $ppO_2$  constante. Mais à cause du risque hyperoxique, la  $ppO_2$  ne peut être longtemps maintenue à 1,6 bars (l'US Navy préconise 0,7 bar pour ses plongées recycleurs). En circuit ouvert, au risque hyperoxique s'ajoutait une énorme difficulté technique : un nombre de mélanges et de bouteilles astronomique.

Pour un plongeur qui emmène toute sa déco avec lui, quatre gaz différents représentent déjà un chiffre considérable. C'est un mélange fond et trois gaz de déco, soit cinq blocs, un bi dorsal et trois mono portés en général sous les bras. Cela demande un bon entraînement. Le mélange fond s'établit en fonction des paramètres que l'on a choisis, en terme de  $ppO_2$  et  $ppN_2$  liés à la profondeur d'utilisation.

Le dernier gaz de décompression sera de l' $O_2$  pur ou un nitrox 70 ou 80.

Les avocats du nitrox à forte  $fO_2$  avancent le risque hyperoxique moindre. Les tenants de l'oxygène rétorquent que l' $O_2$  pur assurera toujours une meilleure déco qu'un mélange contenant un gaz inerte.

Que ses effets toxiques peuvent être réduits par la méthode des *couppures* ou *rincages* (toutes les 15 ou 20 minutes de respiration oxygène, « rincet » les poumons par 5 minutes de respiration d'un gaz pauvre en  $O_2$  - le mélange fond ou un mélange intermédiaire - ces périodes de cinq minutes n'étant pas



(c'est mieux que de 27 à 80!). Puis par un nitrox 40 ou 50, la  $fN_2$  devenant 50 ou 60. Et enfin par de l' $O_2$ . La  $fN_2$  augmente ainsi progressivement, jusqu'au palier de 6 m où l' $O_2$  pur assure une élimination maximum.

Les changements de mélanges s'effectuant à ppO<sub>2</sub> 1,6 bars.

On peut raisonner en pressions partielles. Ce qui semble plus proche de la réalité (mathématique du modèle!). Premier problème, 16 compartiments donnent 16 ppN<sub>2</sub> différentes. La logique veut que l'on retienne celui qui présente la plus forte ppN<sub>2</sub>, le compartiment directeur dans la plupart des cas.

Deuxième problème, calculer cela va demander quelques opérations.

On peut affûter son crayon, ou utiliser la fonction Analyse d'un logiciel comme Decoplanner.

En reprenant le mélange fond précédé, Imx 13/60, et pour une plongée de 15 minutes à 90 m, on observe qu'à 54 m le compartiment le plus chargé en N<sub>2</sub> est le compartiment N° 1 avec une valeur de 2,33 bars. Le mélange suivant devra comporter une ppN<sub>2</sub> proche de 2,33 et une ppO<sub>2</sub> maximum de 1,6 bars. Cette dernière valeur donne une fO<sub>2</sub> de 25 %. Une fN<sub>2</sub> de 36 % donne une ppN<sub>2</sub> de 2,30 bars. On peut utiliser un Imx 25 % O<sub>2</sub>, 36 % N<sub>2</sub> et 39 % He. Ce trimix est introduit dans le programme. A 30 mètres, c'est maintenant le compartiment 2 le plus chargé, avec une ppN<sub>2</sub> de 1,97 bars. Le même raisonnement conduit à un mélange 40 % O<sub>2</sub>, 50 % N<sub>2</sub> et 10 % He.

Que l'on respire jusqu'à 6 m ou l'on passe à l' $O_2$  pur. GF réglés à 25/80, le programme donne une décompression de 71 minutes et un premier palier à 42 m.

En employant les mélanges déterminés par la première méthode, on obtient un temps de déco de 66 minutes et un premier palier à 39 mètres.

Cela ne signifie pas qu'elle est la meilleure, mais plus sûrement que le programme pénalise l'hélium. Si l'on

place les mêmes paramètres dans V-Planner, on obtient un résultat inverse, ce dernier considérant l'hélium de manière plus libérale.

Pour ma part, j'emploie la méthode des % car le calcul est facile à effectuer.

En janvier 2003, afin de pousser l'exploration de la résurgence du Goul du Pont (Ardèche) jusqu'à -153 mètres, Xavier Meniscus a développé une méthode personnelle:

Au cours de la remontée, augmenter la fO<sub>2</sub> des mélanges de la même valeur qu'est diminuée la fHe sans toucher à la fN<sub>2</sub>, afin de ne jamais resaturer de gaz, et cela jusqu'à -12 mètres, profondeur du passage sur nitrox 72.

L'application de cette technique impose un grand nombre de gaz, dix pour cette plongée (onze si l'on compte l'air utilisé pour le gonflage et les rinçages O<sub>2</sub>), répartis ainsi:

• Oxygène décompression.....	- 6 m
• Nitrox 83 % décompression.....	- 9 m
• Nitrox 72 % décompression.....	- 12 m
• Trimix 57/11 décompression.....	- 18 m
• Trimix 43/25 décompression.....	- 27 m
• Trimix 32/36 décompression.....	- 39 m
• Trimix 28/40 décompression et progression et	- 51 m
• Trimix 18/50 progression et	- 78 m
• Trimix 12/60 décompression.....	- 120 m
• Trimix 8/72 progression.....	- 153 m

Au total 32 m<sup>3</sup> de gaz respirés.

constat: la somme des pressions partielles des gaz du sang veineux est inférieure à la somme des pressions partielles des gaz du sang artériel.

L'explication du phénomène vient du CO<sub>2</sub>. L'oxygène consommé n'est pas converti intégralement en CO<sub>2</sub>, gaz qui est en outre vingt fois plus soluble que l'O<sub>2</sub>. La conséquence est une ppO<sub>2</sub> « consommée » par l'organisme qui n'est pas entièrement remplacée par une pression équivalente de CO<sub>2</sub>. Cet écart de pression est la fenêtre oxygène. Lorsque l'on respire de l'air à pression atmosphérique, l'écart est d'environ 45 mmHg. Plus la ppO<sub>2</sub> respirée augmente, plus la différence de pression entre les sangs veineux et artériel augmente, plus la fenêtre oxygène s'ouvre. Elle sera de 1066 mmHg lors d'une respiration d'oxygène pur à 6 mètres. Son ouverture maximum étant atteinte à 3 bars de ppO<sub>2</sub> respirée, soit très au-delà de ce qui est tolérable en plongée.

Les avis divergent sur l'intérêt réel de la fenêtre oxygène durant la décompression. Pour certains, la sous-saturation inhérente ne signifie pas que l'élimination des gaz inertes sera accélérée. Cette vitesse étant liée à la différence de pression partielle entre le gaz présent dans l'organisme et la pression partielle de ce même gaz dans le mélange respiré.

L'oxygène ne contenant aucun gaz inerte, tous les gaz inertes bénéficieront d'une vitesse d'élimination maximum, que la fenêtre oxygène soit ouverte ou non. L'intérêt d'effectuer des paliers O<sub>2</sub> entièrement à 6 mètres est de bénéficier de la même vitesse d'élimination qu'à trois mètres tout en conservant une pression ambiante plus élevée, donc en limitant la sursaturation des tissus et l'apparition de bulles. La fenêtre oxygène n'ayant pas d'influence sur ces deux facteurs, elle n'a pas grande importance.

Les procédures de décompressions avaient été établies sur Decoplanner avec des GF 20/50.

Xavier Meniscus a effectué sa plongée sans l'aide d'un propulseur sous-marin, et au terme de près de huit heures de désaturation n'a développé aucun signe d'accident de décompression, ce qui n'a pas toujours été le cas d'autres plongées réalisées à cette époque à des profondeurs voisines.

Comme il le dit lui-même: C'est une méthode qui a parfaitement fonctionné, mais qui n'offre le recul que d'une seule et unique plongée. Xavier n'est pas non plus un plongeur ordinaire, lorsqu'il ne parcourt pas les résurgences pour son plaisir, il est scaphandrier professionnel.

Il serait donc hasardeux de tirer de sa performance une vérité absolue, d'autant que de telles plongées sont le fruit du travail d'une équipe entière, mais pour le plongeur mer, elle met en évidence la limite de tout raisonnement ou théorie à propos des mélanges de décompression, même des plus pertinents: le nombre de bouteilles que cela peut impliquer de transporter.

En plongée souterraine également les limites du circuit ouvert semblent désormais atteintes ou proches de l'être. Seuls les recycleurs permettent de résoudre les difficultés liées au nombre et au volume de gaz à embarquer, mais ils en créent de nouvelles...

Autre sujet de controverse dans l'usage des mélanges de décompression, la fenêtre oxygène.

Le phénomène existe sans conteste, il a été mis en évidence par plusieurs chercheurs, dont le docteur Behnke, Américain auteur de travaux considérables sur la plongée, qui l'a baptisé Oxygen Window.

D'autres appellations comme pression partielle vacante ou sous-saturation inhérente désignent le même



Pour d'autres, les modèles dynamiques montrent que la fenêtre oxygène joue un rôle dans l'élimination des gaz inertes. Puisque les bulles qui se créent grandissent jusqu'à la pression ambiante et que la  $ppO_2$  à l'intérieur des bulles est inférieure à la  $ppO_2$  ambiante (du sang artériel), les gaz inertes vont diffuser à l'intérieur de la bulle pour occuper la différence de pression. Plus grande sera ouverte la fenêtre oxygène, plus important sera le gradient d'élimination des gaz inertes. (voir l'équation de Brian Hills).

Le plongeur dispose de plusieurs moyens pour profiter de la fenêtre oxygène. Effectuer ses derniers paliers  $O_2$  pur à 6 mètres plutôt qu'à 3. Effectuer des paliers profonds. Effectuer un palier lors des changements de mélange à  $ppO_2$  1,6 bars (ou étendre la durée d'un palier existant).

Cette dernière pratique n'est pas encore très courante, sans doute parce qu'elle signifie tenir une valeur limite de  $ppO_2$  à des profondeurs parfois importantes. Les retours d'expérience la concernant sont peu nombreux.

Difficile de juger de l'efficacité de telles méthodes. Là encore, à chacun de se forger une opinion...

Si l'on suivait peu ou prou ce qui a été évoqué au cours de ce chapitre, quels pourraient être les paramètres d'une plongée de 15 minutes à 90 mètres? Un trimix avec 12 % d' $O_2$  pour

une  $ppO_2$  fond de moins de 1,3 bars et 60 % d'He pour pression narcotique inférieure à 3 bars (pression narcotique équivalente 25 mètres).

- Mélange fond Tmx 12/60  
Un premier trimix de décompression avec 30 % d'He et 25 % d' $O_2$  afin que la  $ppN_2$  n'augmente pas dans de trop forte proportion.  
- 1er mélange déco Tmx 25/30 (respirable à 54 m)

Un second mélange de décompression qui pourrait être un nitrox 50, afin que l'hélium s'élimine, toujours sans augmentation importante de la  $ppN_2$ .

- 2nd mélange de déco Nx 50 (respirable à 21 mètres)  
Dernier gaz de décompression, de l' $O_2$  pur pour assurer la meilleure élimination possible des gaz inertes  
- Gaz de déco finale  $O_2$  (respirable à 6 mètres)

- Vitesse de remontée 10 m/min

**Introduites dans V-Planner B et Decoplanner, ces données aboutissent aux profils suivants : (voir tab. 9 et 10).**

Les deux programmes concluent par un temps de plongée identique, 89 minutes, c'est un hasard, un changement de Gf pour l'un ou de conservatismisme pour l'autre (+4) et les résultats seraient différents. Plus différents encore avec la version originale de VPM.

#### L'équation de Brian Hills

$$\Delta PN_2 = P (1-fN_2) + 47 (fN_2) - 133$$

Permet de quantifier dans quelle proportion :

- Pour une respiration d'air à 30 mètres, le gradient sera :

$$- 3040 (1-0,79) + 47 (0,79) - 133 = 542 \text{ mmHg}$$

- En passant à un mélange donnant une  $ppO_2$  de 1,6 bars à 30 m, un Nx 40, il devient :

$$- 3040 (1-0,6) + 47 (0,6) - 133 = 1111 \text{ mmHg}$$

Plus du double dans cet exemple.

90 mètres	15 min	12/60
54	1	25/30
42	1	25/30
39	1	25/30
36	1	25/30
33	1	25/30
30	2	25/30
27	2	25/30
24	3	25/30
21	2	50%
18	3	50%
15	4	50%
12	6	50%
9	10	50%
6	11	100%
3	21	100%

90	15	15	12/60
63	0	18	12/60
60	1	19	12/60
57	1	20	12/60
54	1	21	25/30
51	1	22	25/30
48	1	23	25/30
45	1	24	25/30
42	1	25	25/30
39	1	26	25/30
36	1	27	25/30
33	1	28	25/30
30	2	30	25/30
27	2	32	25/30
24	4	36	25/30
21	2	38	50
18	4	42	50
15	4	46	50
12	6	52	50
9	8	60	50
6	11	71	100
3	18	89	100

Dans les deux cas, ouvrir la fenêtre oxygène signifierait prolonger de quelques minutes les paliers de 54 mètres et 21 mètres.

Dans les deux cas également, effectuer l'ensemble des paliers  $O_2$  à 6 mètres reviendrait à additionner les temps de 6 et 3. Pas de réduction de temps de palier à ce niveau, hormis une minute en raison des arrondis.

Seul V-Planner propose d'intégrer les effets bénéfiques (selon lui) de la fenêtre oxygène. Activer cette fonction provoque la suppression ou la réduction de plusieurs paliers au-dessus de celui où est effectué « l'arrêt fenêtre ».

Le « rinçage » des paliers  $O_2$  correspondrait à une respiration de tmx 25/30 (ou Nx 50) durant cinq minutes à partir de la 7<sup>e</sup> min (environ) du palier de 3 m - ou de la 18<sup>e</sup> en cas de tout à 6 m.

**Ces changements s'inscrivent dans les deux tableaux de la page 80 (tab.11 et tab 12).**

Il est plus que probable que tous ces profils, malgré leurs différences, sont capables de ramener un plongeur à bon port. Définir quel est celui à

retenir sera souvent une question de méthode, commencer par les plus contraignants et/ou les plus utilisés, puis, en fonction de sa pratique, de ses expériences, des avis reçus, s'orienter dans une direction ou une autre.

#### Encore quelques mots

Les logiciels fournissent d'autres informations intéressantes, notamment la quantité de gaz consommé durant chaque phase de la plongée.

Très utile pour calculer son autonomie, à condition naturellement d'avoir fourni au programme une consommation de surface réaliste.

En raison de la profondeur, une appréciation imprécise de sa consommation aboutira à un résultat complètement erroné. A 100 mètres un bloc 12 litres à 200 bars se vide en guère plus de 10 minutes, et ce avec une consommation plutôt basse.

Ils fournissent également des indications de remontée sous forme de *run time*. Dans les tableaux V-Planner, ce sont les chiffres de la deuxième colonne en partant de la droite. Ils se lisent « quitter la profondeur à ». On

Tab. I1 :  
V-PlannerB (+4) - 90 m 15 min - fenêtre O<sub>2</sub> - Coupure

90	0	15	12/60
63	0	18	12/60
60	1	19	12/60
57	1	20	12/60
51	1	24	25/30
48	1	25	25/30
45	1	26	25/30
42	1	27	25/30
39	1	28	25/30
36	1	29	25/30
33	1	30	25/30
30	1	31	25/30
27	2	33	25/30
24	4	37	25/30
18	1	43	50
15	4	47	50
12	7	54	50
9	8	62	50
6	18	80	100
6	5	85	25/30
6	10	95	100

Tab. I2 :  
V-PlannerB (+4) - 90 m 15 mn - fenêtre O<sub>2</sub> - réintégrée Coupure

90	0	15	12/60
63	0	18	12/60
60	1	19	12/60
57	1	20	12/60
39	0	25	25/30
36	1	26	25/30
33	2	28	25/30
30	2	30	25/30
27	2	32	25/30
24	4	36	25/30
15	4	46	50
12	6	52	50
9	8	60	50
6	18	78	100
6	5	83	25/30
6	9	92	100

quitte la profondeur de 90 mètres à la 15<sup>e</sup> minute.

A la 18<sup>e</sup> minute on passe à 63 mètres. A la 19<sup>e</sup> on quitte le palier de 60 mètres. Etc. A l'aide d'un run time, d'un profondimètre et d'une montre (ou d'un timer) on peut à tout instant savoir si l'on est en avance, à l'heure ou en retard sur son programme, et adapter sa vitesse en conséquence. Le run time demande un peu de pratique, mais une fois la technique acquise, c'est efficace et précis. S'intéresser au run time permet de constater que VPM ne donne qu'une minute à la fois pour effectuer un palier d'une minute et se déplacer d'un palier à l'autre. C'est normal, les paliers ne sont en fait indiqués que pour une question pratique de représentation, c'est le run time qu'il est important de suivre. Les courbes de ce type tendent à ressembler aux décompressions continues pratiquées en caisson. Deco-planner offre un run time plus détaillé qui s'utilise de la même manière.

Autre information qu'offrent certains logiciels (pas tous) la profondeur maximum de palier, ou la profondeur selon le programme. Il s'agit, de la profondeur à laquelle la désaturation va commencer, en général entre 70 et 80 % de la profondeur maxi. C'est une profondeur qu'il va falloir rallier à la vitesse prévue ou un peu plus vite, mais en aucun cas plus lentement. Le temps passé en excès dans cette zone occasionnerait une saturation non prise en compte par les logiciels.

Le dernier palier, surtout s'il est réalisé à 6 mètres, ne doit pas être considéré comme le dernier mais comme l'avant dernier. Le dernier étant la surface, et la remontée jusqu'à elle s'effectuant lentement, à une vitesse plutôt inférieure à celle utilisée précédemment; certains vont jusqu'à 1 mètre minute. Une fois parvenu en surface, une bonne option est de continuer à respirer de l'O<sub>2</sub> quelques minutes, et si les conditions le permettent,

de se déséquiper tranquillement dans l'eau avant de grimper sur le bateau.

Une autre idée judicieuse consiste à utiliser plusieurs logiciels pour calculer un même profil, cela afin de repérer facilement une donnée erronée, un profil aberrant, une consommation optimiste. En informatique on n'est jamais à l'abri d'un bug, d'un trou dans le code, où encore, beaucoup de logiciels ayant une origine anglo-saxonne, de mauvaises conversions entre unités impériales et métriques. Sans compter les loups de l'utilisateur.

Tous les logiciels offrent une fonction qui permet, sur la base du profil calculé, de générer un jeu de tables de secours aux durées et profondeurs augmentées et/ou raccourcies. La plupart étant retouchables par un programme comme Excel, on peut y ajouter ou y retrancher les informations de son choix.

## Nota

Les principes et notions dont il est question dans ce chapitre ont été simplifiés, considérablement, pour ne pas dire exagérément...

Il est possible -et même conseillé- d'approfondir ces sujets en français grâce au site de Frank Vasseur et Jean-Marc Belin, La plongée sous-marine, où l'on trouve un remarquable travail de traduction, commentaire et compilation d'articles consacrés à la décompression.

On y trouve également un volume d'information colossal sur la plongée spéléo : répertoire, topographie et historique des galeries, techniques, explorations, formations, etc.

Bref, LE site à consulter, que l'on pratique ou non la plongée sous-marine. <http://plongeesout.free.fr/>

# Trimisque Story

par Jean-Marc Belin

Le 16 février 2001 à 16h00 tout est prêt. Le matériel a été descendu au bord de la vasque de St Sauveur. Il y a là un narguilé deux sorties relié à une bouteille de 50 litres d'oxygène, le matériel des deux plongeurs fond, soit deux bi 15 litres de mélange ternaire et 4 bouteilles relais de nitrox 40 %, et le reste des copains équipés de bi 12 litres d'air.

Yannick et moi nous immergeons avec le bi 15 litres et un relais nitrox. Les autres relais seront déposés au premier palier de -21 mètres par les copains qui installeront également une bouteille d'air et des ceintures de plomb à -6 mètres.

Nous relient le dévidoir au fil d'Ariane et nous nous approchons de l'étréouire à -24 mètres. Yannick a amené sa caméra et je devine ses yeux hilares alors que trois tentatives me sont nécessaires pour franchir le passage étroit. Ça finit par passer, encore quelques mètres et nous déposons le relais nitrox à -30 m.

Il nous aura fallu 10 minutes pour atteindre ce point. C'est beaucoup, mais c'est ce qui avait été prévu.

Maintenant nous passons sur le mélange fond et nous continuons la descente. A -55 mètres, Yannick dépose sa caméra, il la reprendra au retour. A cet instant je me rends compte que l'hélium offre un confort respiratoire inconnu à l'air.

Arrivé à -74 mètres je dois reconnaître que je conserve une parfaite lucidité, l'effet est surprenant.

J'avais noté de faire demi-tour au bout de 26 minutes. Nous n'avons pas consommé le tiers de notre réserve en gaz, mais la galerie est désormais horizontale et le but est atteint. Nous entamons donc la remontée avec 2 minutes d'avance sur le planning.

Désormais, le léger courant qui ralentissait notre progression nous fait planer vers la sortie.

A -55 mètres Yannick récupère sa caméra et à -30 mètres nous récupérons notre relais nitrox. Deux minutes pour accrocher tout ça, vérifions que nous sommes parfaitement dans le timing et nous nous rapprochons à nouveau de l'étréouire et là on se croirait dans le film Abyss ; toute l'équipe se trouve derrière le passage étroit à scruter notre arrivée.

C'est donc toute une série de lampes qui nous guide vers la sortie.

Le passage se fait mieux qu'à l'aller et nous retrouvons le deuxième relais nitrox à -21 mètres comme prévu.

Maintenant il ne reste plus qu'à prendre son mal en patience pour faire les paliers et rejoindre la surface.

Merci à toute l'équipe et à Yannick Guivarch le président de la Commission souterraine Centre qui m'a accompagné dans cette démarche.

## Caractéristique de la plongée

10 minutes à -74 mètres  
nitrox 40 % jusqu'à -30 mètres  
trimix 18 % O<sub>2</sub>/42 % He de -30 mètres à -74 mètres  
déco: nitrox 40 %

temps d'immersion totale: 110 minutes dont 61 minutes de palier

Il n'était pas prévu de se servir de l'oxygène. En effet, si on respecte un rinçage à l'air de 5 min pour 12 minutes de respiration d'oxygène pur (comme le préconise les Américains), le gain en temps de palier devient négligeable. Il était donc possible de ne plonger qu'avec deux mélanges (simplification de la logistique).

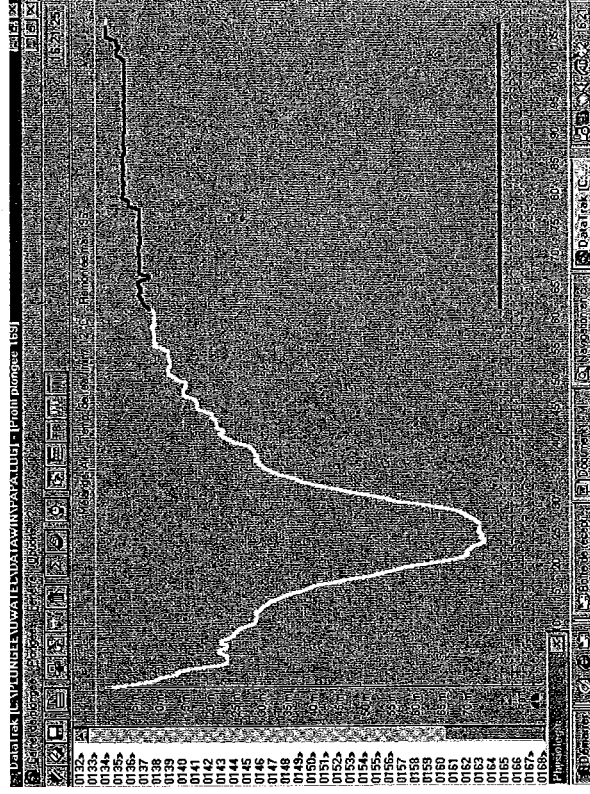
Décompression préparée sur GAP avec

### Paliers déterminés par GAP

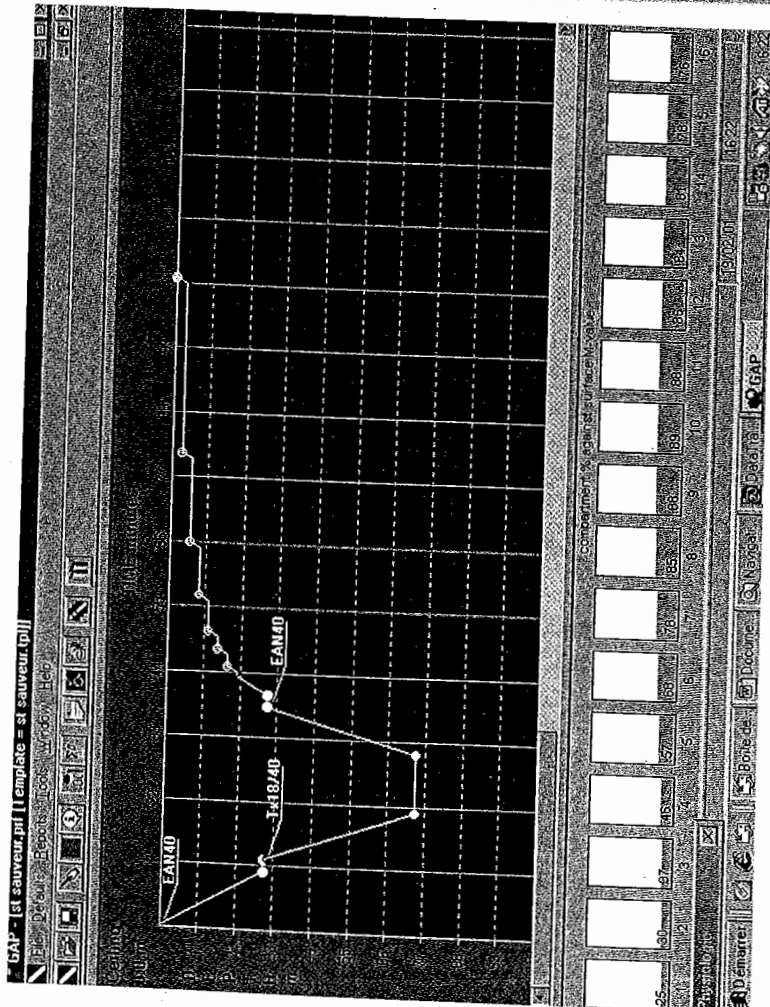
#### Stop Information

Depth	Run time	Name
Mètres	Minutes	
21	44	EAN40
18	47	EAN40
15	50	EAN40
12	56	EAN40
9	65	EAN40
6	80	EAN40
3	110	EAN40

**■ Courbe sortie de l'Aladin, qui s'est évidemment mis en SOS ensuite**



## ■ Plongée programmée sur GAP



## ■ Mais avant d'en arriver là, plusieurs étapes ont été nécessaires

Je ferai remonter le début de l'opération à deux ans.

### Fabrication des mélanges:

Il a fallu se former à la fabrication des mélanges car il était hors de question d'acheter des mélanges tout faits.

Cela a été possible grâce à Fred Pinna qui, avec son obstination légendaire, a su convaincre une personne compétente de venir nous former. En effet, il n'existe aucune qualification fédérale dans ce domaine.

Restait ensuite à acheter le matériel de fabrication des mélanges. Cela a été rendu possible par une subvention de la ligue Centre (devenu depuis comité régional Centre) à sa commission souterraine.

### Plongée aux mélanges:

La technique de fabrication des mélanges étant acquise, il fallait désormais obtenir la qualification de « moniteur nitrox ». Etant donné que nous évoluons dans un cadre fédéral, nous souhaitions donc logiquement obtenir le diplôme de notre fédération. La subvention obtenue de notre Ligue prévoyait également le financement de ce stage pour plusieurs d'entre nous.

### Plongée souterraine:

Le but était clairement fixé: il s'agissait de progresser vers les plongées aux mélanges dans le cadre de notre pratique de la plongée souterraine. J'ai donc concentré mes efforts sur les spécificités de cette activité (augmentation progressive de la durée des plongées, de la profondeur maxi, transport de relais, tenu au froid, etc.).

### La décompression:

Dans le cadre de la plongée aux mélanges, la gestion du profil de décompression est un obstacle difficile à franchir. Les tables usuelles ainsi que les ordinateurs de plongée ne sont plus utilisables et il régnait une sorte de secret autour de « ceux qui savent ». La seule solution semble être de travailler avec les logiciels de décompression.

Une première tentative a été faite en récupérant Z-Plan. La manipulation de ce soft est aisée et il est possible de faire des comparaisons avec ce qu'on connaît. Par contre, on s'aperçoit que les modèles construits sur les bases Bühlmann ZH-L16 sont trop permissifs et qu'il faut les durcir en introduisant des notions de conservatisme. Mais quels paramètres programmer?

Quel pourcentage de conservatisme faut-il paramétrer? Quel type de palier profond faut-il appliquer?

Une deuxième tentative plus fructueuse a été faite en récupérant le logiciel GAP, gracieusement mis à la disposition de tous par ses concepteurs Kees Hofwegen et Peter Fjelsten. Dans le fichier d'aide de ce logiciel figurait un article d'Erik Baker sur les paliers profonds. En contactant Erik, j'ai trouvé quantités d'informations très intéressantes qui m'ont permis de mieux comprendre les bases du modèle de décompression Bühlmann (au passage, j'ai traduit ces articles et je les ai mis à la disposition de tous). J'avais enfin un outil qui semblait fiable, paramétrable et utilisable pour les plongées que j'envisageais.

### L'équipe:

Ma passion a déteint sur quelques copains que j'ai entraînés dans l'aventure. A mon tour, j'ai donc initié cette nouvelle équipe aux techniques utilisées en plongées souterraine.

Lorsque tous les ingrédients furent en place, la plongée a pu être programmée et effectuée. Maintenant, à mon tour de les aider à accomplir leur rêve.

# Le gros matériel

## Les blocs

En plongée loisir traditionnelle, ce chapitre n'occupe pas une place prépondérante, en dehors de quelques notions sur les marquages et les épreuves. Il est vrai que rares sont les plongeurs loisirs à posséder et entretenir leurs blocs.

En plongée technique il en va autrement, le nombre de bouteilles nécessaires comme la maintenance qu'elles demandent imposent à plus ou moins brève échéance d'acquiescer son propre matériel.

Il existe deux grandes familles de blocs de plongée, les alu et les acier — on trouve des bouteilles en alliage léger avec enveloppe en matériaux composites (carbone), mais leur usage reste anecdotique en plongée sportive.

### ■ Les blocs alu

**Tout d'abord, quelques vérités à rétablir à leur sujet :**

- les blocs alu ne sont pas interdits en France
- les blocs alu ne sont pas à jeter au bout de dix ans
- les blocs alu doivent être inspectés et éprouvés avec la même fréquence et de la même manière que les blocs acier (inspection annuelle et épreuve hydrostatique tous les deux ans, pour le cas général et à l'heure où ces lignes sont écrites).
- les blocs alu ne sont pas toujours plus légers dans l'air que les blocs acier : un 80 cf. (11 litres 207 bars) Catalina alu pèse 14 kg, un Luxfer alu 12 litres 200 bars pèse 16 kg, un Faber 12 litres long acier 200 bars normes européennes pèse 12,8 kg. Un Catalina alu 100 cf. (13 litres 230 bars) pèse 21 kg, soit le poids d'un Faber 18 litres acier 220 bars...

-Tous les blocs alu ne flottent pas à vide: si un Catalina 80 cf. possède à vide une flottabilité positive de 1,8 kg et un 63 cf. (9 litres) une flottabilité positive de 0,9 kg, un 53 cf. (7 litres) possède lui une flottabilité négative de 0,1 kg (valeurs obtenues dans l'eau de mer, avec un robinet simple et sans détendeur).

Il est vrai que des bouteilles aluminium ont été retirées de la circulation et que d'autres ont eu une durée d'utilisation limitée à dix ans, mais cela ne concerne que certains modèles :

-retirées de la circulation (arrêté du 6 janvier 1989) : les bouteilles déplongées en alliage AG5 MO7 (5283) d'une capacité de 10,5 litres portant les numéros A1 à A1800.

-usage limité à 10 ans : toutes les autres bouteilles en alliage AG5 MO7 (5283)

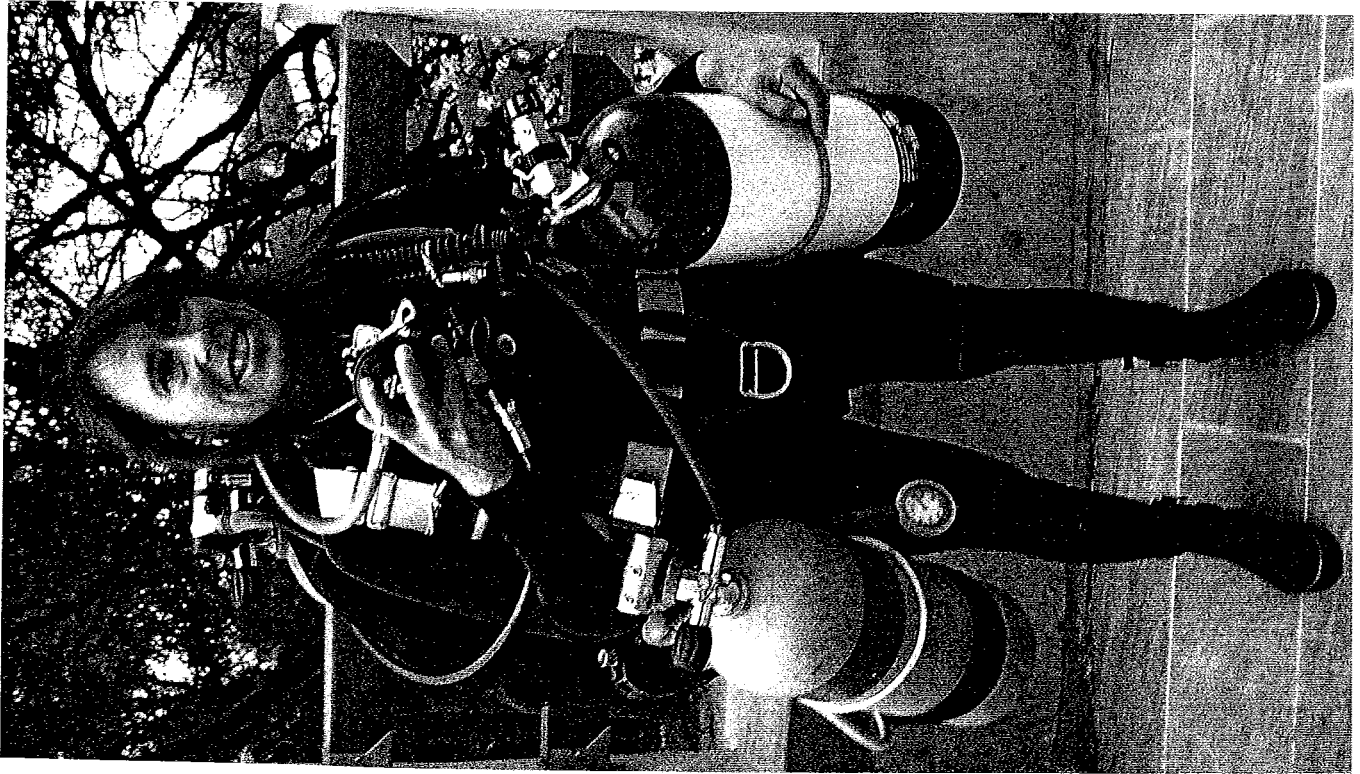
Actuellement, l'alliage 5283 n'est plus employé dans la fabrication des blocs de plongée courant, non plus que l'alliage 6351 qui a montré quelques problèmes structurels (moins de 0,37 % selon Luxfer). Catalina et Luxfer utilisent un alliage 6061.

Il est vrai également que les blocs alu ont bénéficié d'une réputation quinquennale alors que les acier devaient subir une épreuve tous les deux ans, mais depuis 2000 il y a eu alignement sur le plus contraignant (étonnant, non?).

Bien que d'usage peu courant en France (pour des raisons qu'il ne m'appartient pas de commenter), les bouteilles en aluminium présentent quelques avantages dans le cadre la plongée aux mélanges.

Elles ne rouillent pas, ce qui est bien agréable pour les détenteurs et les pompons, et aussi lorsqu'on doit y envoyer de l'oxygène pur.

Page de gauche  
La plongée Tel  
n'est pas réservée  
aux gros barbi





Parce qu'elles ne rouillent pas, il n'est pas nécessaire de les remplir d'huile lors de la fabrication, ce qui facilite grandement leur mise en compatibilité O<sub>2</sub>.

Si elles ne sont pas plus légères que les aciers dans l'air, elles sont en revanche moins « lourdes » dans l'eau. Se déplacer sous l'eau avec trois blocs de déco alu est plus confortable qu'avec trois blocs acier. On peut même porter deux blocs alu d'un côté sans être déséquilibré. Une objection commune ne est d'affirmer que le plomb qui n'est pas dans les blocs devra être porté ailleurs.

Ce n'est pas vrai dans tous les cas de figure, ça peut aussi éviter d'avoir à trop gonfler une combinaison étanche ou une stab, et quand cela est vrai, il peut être plus intéressant d'avoir la possibilité de répartir son lest là où il est nécessaire à l'équilibre plutôt que de le subir concentré en un point. Par ailleurs, la presque neutralité des bouilles alu limite la brutale variation de flottabilité lors d'une dépose volontaire de bloc (pénétration d'une épave), ou de leur perte accidentelle. Une autre affirmation commune est que le changement de poids de l'ensemble plongeur/blocs au cours d'une plongée est plus important avec des blocs alu. Or ce changement est dû à la quantité (au poids) d'air consommée, laquelle n'est pas influencée par le matériau des bouilles. L'air pèse environ 1,2 g par litre, si l'on consomme six mètres-cubes on perd plus de sept kilos, que les blocs soient en acier, en alu ou en fonte émaillée. Le trimix est moins lourd, mais là ce serait chipoter!

Absence de rouille ne signifie cependant pas absence de corrosion. Particulièrement en milieu marin où des réactions électrolytiques peuvent intervenir. Il importe de rincer soigneusement les bouteilles à l'eau douce après usage, en insistant au niveau de la liaison col/robinet et de toutes les éraflures sur la peinture (un long trempage suivi d'un rinçage est idéal). Tôt ou tard le revêtement finira par cloquer à ces

endroits, ce n'est pas grave s'il n'y a pas attaque du métal, pour cela il est préférable d'ouvrir, de nettoyer et d'araser les cloques (à la brosse ou au papier de verre fin) plutôt que de les laisser se développer, la bouteille prendra un aspect galeux peu engageant mais ce n'est pas dramatique. La plupart des blocs alu sont livrables bruts (sans peinture), c'est une excellente solution car ils conservent un aspect présentable très longtemps, d'autant plus que la réaction eau de mer/aluminium produit une pellicule protectrice dure, l'oxyde d'aluminium, qui fait barrière à la corrosion (c'est pour cela que l'on peint rarement les oeuvres vives d'un bateau alu). Les problèmes surviennent lorsqu'on installe un cerclage ou un collier inox. Sur l'alu brut quelques semaines suffisent à ce que l'électrolyse occasionne des dégâts irréversibles (aluminium rongé sur plus d'un millimètre de profondeur). Une parade consiste à interposer un morceau de caoutchouc (braclet de chambre à air) entre l'inox et la bouteille. Malgré cela, il m'est arrivé d'observer des traces de corrosion, j'ai donc pris l'habitude de peindre l'emplacement des colliers en plus de poser un bracelet de chambre à air.

Là encore quelques précautions : appliquées directement sur l'aluminium, les peintures tiennent mal, mieux vaut passer une couche de primaire, en s'assurant qu'il est bien conçu pour l'aluminium — des produits adaptés se trouvent entre autres chez les shipchandlers. Si l'on tient à coller un sticker tek Nitrox ou Trimix sur de l'alu brut, il est aussi préférable de peindre l'emplacement, les autocollants n'étant pas parfaitement étanches, l'eau de mer s'infiltrerait entre le métal et le plastique provoquant la même réaction qu'avec un revêtement éraflé (cloques).

Précaution encore lorsqu'on stocke une bouteille (l'O<sub>2</sub> de secours par exemple) à bord d'un bateau, les œillères d'un sac à voile ou un taquet inox sont eux aussi capables de générer une électrolyse intense et rapide.

Autre point à surveiller, pour les mêmes raisons, le filetage du col. En principe le chrome des robinets empêche ou limite les réactions électrolytiques entre laiton et aluminium, mais très souvent — y compris sur des robinets neufs — le chrome est écaillé. Une pellicule de graisse (compatible O<sub>2</sub>!) peut alors jouer le rôle d'isolant.

A noter que l'on trouve en Europe des blocs aluminium aux normes nord-américaines (estampillées DOT-TC Department Of Transportation et Transport Canada). Ces bouteilles sont souvent équipées de robinets à disque de rupture (burst-disk, une curiosité américaine) à l'intérêt douteux qu'on envisage parfois de remplacer par des robinets « normaux ».

Méfiance, le filetage américain est un 3/4 NPSM, le filetage français n'est disponible en Europe est en général un 3/4 BSP. Ils se ressemblent mais ne peuvent se monter que si le bloc est proche de son diamètre maxi et le robinet de son diamètre mini. Dans le cas contraire, le montage ne peut s'obtenir qu'en forçant, le robinet joue le rôle de taraud, ce n'est pas très bon pour les filetages... Pour neutraliser le burst-disk, les plongeurs US emploient deux pastilles d'éclaircissement l'une sur l'autre, ou la remplacent par une épaisse rondelle de cuivre ou d'aluminium garnissant son logement de soudure étain.

Pour ôter complètement la peinture d'un bloc, les fabricants préconisent le décapage chimique (avec un produit compatible alu) plutôt que le sablage, et dans ce dernier cas conseillent de mesurer l'épaisseur de la paroi après l'opération (en pratique il faudrait sabler longtemps pour tomber en dessous de la valeur limite). Le décapage thermique est lui prohibé, une température de plus de 130° pouvant endommager l'alliage.

Le nettoyage interne d'une bouteille aluminium est assez simple. Lorsqu'il s'agit d'eau de mer intro-

duite accidentellement (et qu'il ne faut absolument pas laisser là) ou d'eau de condensation, un rinçage à l'eau douce suivi d'un séchage à l'air comprimé est suffisant. Si l'eau est chaude le séchage n'en est que plus rapide.

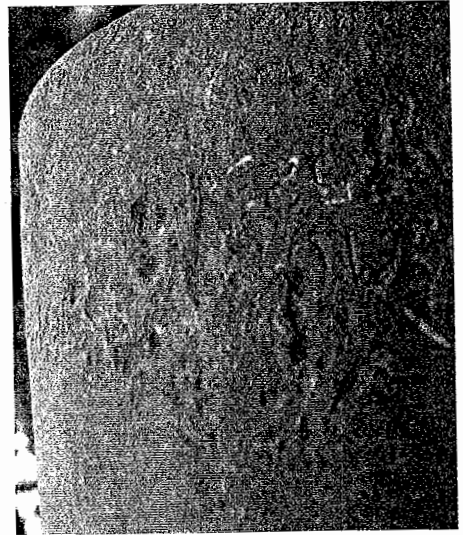
Rendre compatible O<sub>2</sub> un bloc alu neuf n'est guère plus compliqué. L'eau doit être chaude, le plus possible (sans utiliser un nettoyeur HP à vapeur qui pourrait endommager le métal), et additionnée d'un détergent efficace (je me sers de liquide pour lave-vaisselle).

On peut brasser l'eau en secouant la bouteille à la main (c'est lourd!), à l'aide d'un écouvillon monté sur une perceuse (protéger le filetage du bloc avec un morceau de tuyau) ou en installant la bouteille sur une tonneleuse (dont on répartira au paragraphe acier) sans abrasif ou avec un abrasif très très doux. Le filetage et le col se fignolent à la brosse à dent.

Ensuite rinçages abondants à l'eau toujours très chaude, puis séchage (on verra plus loin de quelle manière).

Moins le dégraissant sera dilué, plus il sera efficace, mais plus il demandera de rinçages... J'utilise en général moins de 0,5 litres de liquide pour 10 litres d'eau, et ça laisse de quoi rincer! Si l'on emploie une tonneleuse, ou

Ci-dessous :  
Électrolyse sur alu



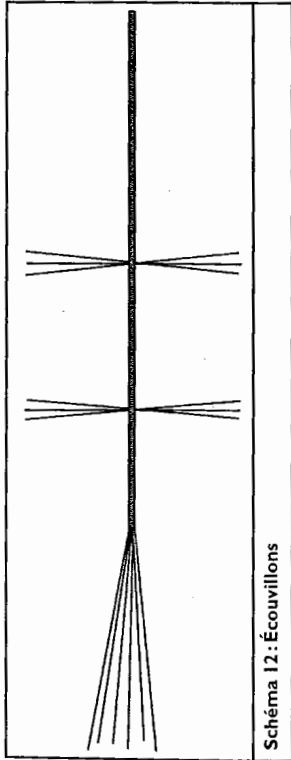


Schéma 12: Écouvillons

qu'on le remue à la main, remplir le bloc à moitié est suffisant.

Lorsqu'il s'agit d'un bloc usagé, avec beaucoup de dépôts et des traces de corrosion, la méthode de nettoyage est semblable à celle d'un bloc acier, avec l'emploi d'abrasifs plus doux et de temps de travaux plus brefs. Le tonnage avec précaution sur les blocs alu.

On trouve des écouvillons (voir schéma 12) chez des fournisseurs comme Global, Bigata ou Under Water equipments. Certains possèdent des foyers revêtus d'abrasif.

On peut en fabriquer à l'aide de câbles inox sertis dans un tube puis détournés.

### ■ Les blocs acier

Tout plongeur (en Europe) en ayant eu un sur le dos, inutile de trop s'étendre sur leur aspect.

### Quelques points particuliers tout de même:

En fonction de son mode de fabrication, embourbissage ou fluorotournage du fond, le poids d'une bouteille acier peut varier de plusieurs kilos (à taille, capacité et pression de service égales).

Le fluorotournage (formage de l'extrémité d'un tube chauffée au rouge) entraîne un surpasseur du fond (jusqu'à 50 %) et donc un poids supérieur.

Le fond étant le point faible d'un bloc (condensats et dépôts s'y accumulent), certains considèrent cette sur-

C'est rustique et pas très joli mais ça marche. On peut chiader le montage à loisir, avec un support d'ampoule, en utilisant des diodes électroluminescentes (quasi indestructible), un câble de décoration (tube contenant de petites ampoules et que l'on peut couper à la longueur souhaitée), un transformateur, etc. L'important étant d'obtenir un éclairage efficace et de préférence solide.

Pour observer l'état du col, l'idéal est un de ces petits miroirs utilisés par les dentistes. Certains sont grossissants et/ou montés sur rotules et/ou possèdent leur propre éclairage. On les trouve en fournitures médicales ou chez des spécialistes plongée tel que Bigata <http://www.bigata.fr> ou Under Water equipments <http://www.underwater-equipments.com>, j'en ai même vu récemment au rayon pièces auto d'un supermarché. Attention aux produits proposés par les boutiques « tek » nord-américaines, ils passent dans un filetage 3/4 (26,4 mm) mais pas toujours dans un filetage métrique (25 mm)... On peut aussi coller un morceau de miroir sur une brosse à dents dont la forme aura été adaptée à chaud. Là aussi, le principal est d'y voir clair.

Pour nettoyer un bloc neuf lessivé on peut procéder comme avec un bloc aluminium neuf. En soignant le séchage, car dès que la dernière eau de rinçage a quitté le bloc un phénomène se produit, appelé corrosion éclair ou flash rust, l'apparition sur le métal d'une fine couche couleur rouille. Selon certains auteurs, ce film ne présente aucun danger lors de l'introduction d'oxygène pur. C'est sûrement vrai, mais quoi qu'il en soit le flash rust n'est ni esthétique ni rassurant. Plusieurs méthodes (cumulables) permettent de l'éviter ou de le limiter.

Rincer avec l'eau très très chaude afin de faciliter son évaporation.

Mélanger à l'eau un produit inhibiteur de rouille, certains sont compatibles O<sub>2</sub>

d'autres non, ils ne sont pas toujours faciles à se procurer. Global en propose des deux types, n'étant pas une matière dangereuse le produit se transporte en avion. USF en propose également (notamment un additif nommé S70), compatible O<sub>2</sub> à vérifier: <http://www.traitementdesurface.com/indexm.htm>

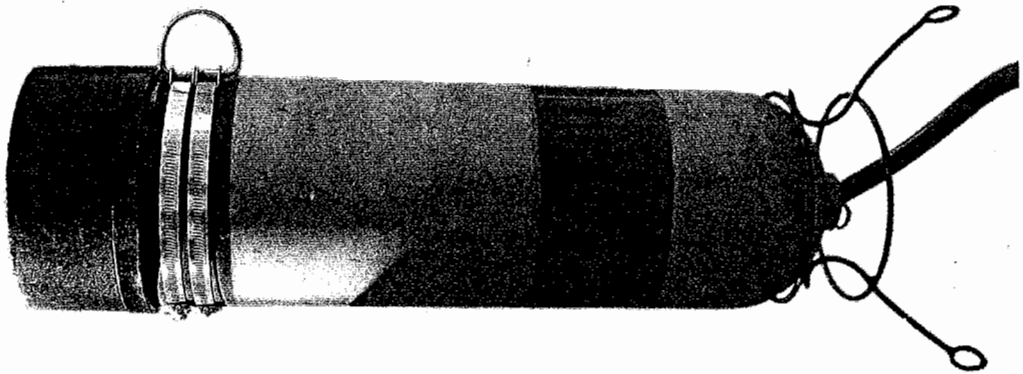
Sécher immédiatement à l'air chaud. Pour ce faire, on relie un décapeur thermique ou un sèche-cheveux à un tuyau introduit quasiment jusqu'au fond du bloc positionné tête en bas. Le tuyau ne doit pas bloquer le passage au niveau du filetage car l'air doit circuler et pour cela pouvoir sortir du bloc.

Lorsqu'on opère avec un décapeur thermique et un bloc alu, la chaleur est capable d'endommager la bouteille, on règle donc la puissance au mini et on effectue une liaison non étanche entre le décapeur et le tuyau. Avec un sèche-cheveux, réglage mini et liaison non étanche également, même avec un bloc acier, cette fois pour ne pas endommager le sèche-cheveux. Si malgré cela l'appareil s'arrête après quelques minutes, c'est qu'il faut ouvrir davantage la liaison (lorsque le bilame de sécurité a repris sa position le sèche cheveux peut redémarrer). Une circulation d'air chaud et le meilleur et le plus rapide moyen de sécher un bloc.

Moins de dix minutes suffisent, alors que simplement exposée au soleil (même caraïbe) une bouteille demandera plusieurs jours pour un séchage imparfait. Autre avantage, l'air ainsi utilisé est propre et sec, alors que celui d'une bouteille de plongée standard est susceptible de contenir des particules et de l'huile.

A ce propos, attention lorsqu'on utilise l'air comprimé d'un garage ou d'un atelier, outre que cet air est loin de la simple qualité « respirable », les circuits destinés aux outils pneumatiques disposent souvent d'un graisseur en ligne (goutte à goutte d'huile dans le flux d'air). Afin de

tenir le bloc tête en bas, on peut réaliser divers supports plus ou moins compliqués. Un moyen simple et peu onéreux consiste à se rendre dans une boutique de jardinage et d'acheter un support de pot de fleurs, ou mieux, à sourire à sa voisine passionnée de plantes-vertes. Ce même support et ce même tuyau, relié cette fois au robinet eau chaude de la cuisine (de la voisine!),



Ci-contre:  
Support  
rincage-séchage

permet d'effectuer des rinçages efficaces. Lorsque l'on a affaire à un bloc neuf gavé d'huile et/ou ne présentant que quelques points de rouille peu profonds, on peut encore procéder comme ci-dessus, en insistant avec un écouvillon abrasif, mais cela risque d'être long, fastidieux et surtout incertain.

Mais dès que la bouteille cumule dépôts variés, couche grasse et rouille étendue, la question ne se pose plus, il faut passer à la vitesse supérieure: la tonneuse.

Une tonneuse est un engin qui va faire lentement tourner sur eux-mêmes, comme s'ils roulaient, un ou deux blocs remplis d'abrasif additionné de détergeant. Son propre poids écrase l'abrasif contre la paroi de la bouteille, qui est peu à peu découpée, jusqu'à retrouver l'éclat du neuf.

Les tonneuses sont très efficaces, elles ont cependant deux défauts, leur coût, entre 600 et 700 euro, et le fait qu'elles ne permettent la rotation du bloc que sur lui-même.

Remplissages, rinçages et séchages imposent des manipulations lourdes, malcommodes, salissantes et épuisantes si l'on a plusieurs bouteilles à traiter. Fort heureusement, l'arme absolue existe: la bétonnière. Autrefois, les meccanos décappaient les pièces rouillées en les faisant tourner dans une bétonnière contenant du sable. On pratique de la même façon, à ceci près que le « sable » est dans les bouteilles. Les plus petits modèles de bétonnières électriques suffisent pour quatre blocs de 15 litres, neuves elles ne sont pas très onéreuses, et on en trouve à bon prix d'occasion dans les journaux d'annonces. Leur cuve pivote approximativement de 45° vers le haut à 45° vers le bas, on peut définir d'autres positions en taillant des encoches ou en perçant un support.

Une fois fixés dans la cuve, les blocs n'en bougeront plus. Remplissages, tonnellages, vidanges, rinçages et séchages s'effectueront en tournant un volant. Si les bétonnières n'existaient pas, il faudrait les inventer.

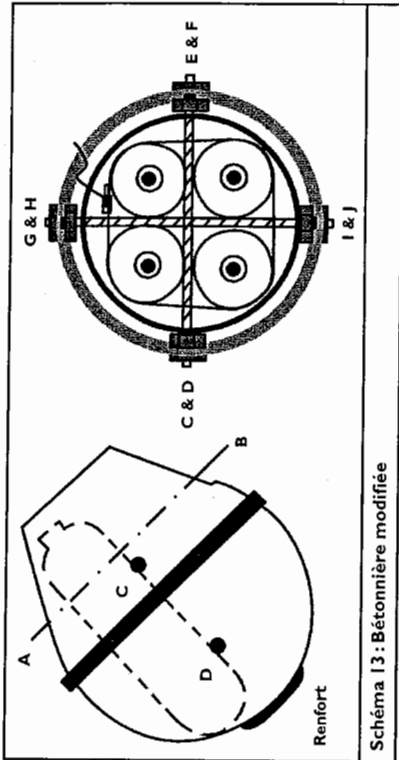


Schéma 13: Bétonnière modifiée

### Bien sûr, il faut un peu les modifier:

(voir schéma 13 ci-dessus)

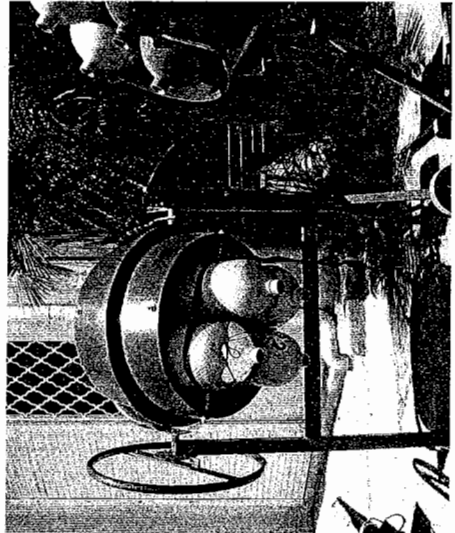
Oter les pales de malaxage (en général vissées). Couper la cuve selon A-B. Percer deux trous en C et D puis six autres à 90° les uns des autres (E, F, G, H, I, J), de manière à pouvoir enfilier quatre tiges filetées formant deux croix l'une au-dessus de l'autre. Un diamètre 12 mm est suffisant, on les bloque par écrou, contre-écrou et rondelles de chaque côté; afin de ne pas endommager les blocs on peut glisser une longueur de tuyau (d'arrosage par exemple) sur les tiges.

Il faut ensuite retoucher le crantage qui permet le réglage de la cuve, en général en réalisant une ou deux encoches supplémentaires sur la plaque située derrière le volant. On peut aussi percer afin de bloquer le pivotement par un axe ou une goupille rapide. L'important est d'avoir une position horizontale pour tonneler, une à 45° vers le haut pour le remplissage, une proche de 90° vers le bas pour vider, rincer et sécher. Des positions légèrement au-dessus et en dessous de l'horizontale permettront d'insister sur les fonds et les cols. Lorsque tout est serré, les blocs peuvent être installés. Pour les immobiliser, une ou deux sangles à cliquet font l'affaire.

Le point faible de la cuve est son fond, là où se trouve un axe ou un roulement selon les montages. On peut y souder une tôle en guise de renfort prévisionnel (notre cuve d'origine a

cédé à cet endroit après plus d'une dizaine de tonnellages de plusieurs heures chacun, il y a donc de la marge).

Ainsi modifiée, l'engin n'est plus guère utilisable pour le béton... Si l'on souhaite conserver cette possibilité, on peut démonter la partie haute de la cuve au lieu de la couper, puis réaliser des supports de blocs à visser dans la partie restante. C'est un peu plus long et demande plus de matériel. Il faut aussi s'assurer que la couronne dentée d'entraînement demeure sur la partie inférieure de la cuve - et que la bétonnière est bien un modèle à cuve démontable!



### Quel abrasif utiliser ?

Le plus simple et le moins cher reste... le gravier. Le choisir d'une taille de grain lui permettant d'entrer et sortir aisément de la brouille. Bien penser, quel que soit l'abrasif employé, à protéger le filetage durant le remplissage, le tonnage et la vidange. Lors du tonnage, on peut verser un vieux robinet ou un bouchon de liège adapté. Pour le remplissage et la vidange, un tuyau fait l'affaire, mais il réduit le diamètre de passage. Le gravier est un abrasif relativement efficace, bien que cette efficacité varie selon le type de pierre. Plus elle est dure, plus elle décape, et surtout plus elle décape longtemps.

Peu onéreux également, du moins si l'on opère à proximité d'une casse automobile, le verre de pare-brise - le sécure, celui qui se brise en petits morceaux. C'est un abrasif assez doux. On peut l'employer sur les blocs neufs ou peu rouillés, ou lorsqu'il s'agit de se débarrasser d'une odeur tenace (huile rance aromatisée aux condensats gâtés). Ou encore sur les blocs alu lorsqu'ils nécessitent un tonnage.

Le plus connu est le corindon. A l'état naturel roche venant immédiatement après le diamant en terme de dureté, c'est dans l'industrie le nom d'une famille d'aluminés électrofondus comprenant deux variétés principales, la brune et la blanche. Le corindon est un abrasif de haute qualité utilisé depuis longtemps dans de nombreux domaines (l'émeri de la toile émeri). A volume égal, il est plus lourd que les autres matériaux décrits ici, ce poids participe de son efficacité. Il existe en plusieurs duretés et granulométries, à choisir en fonction de l'état des brouilles à traiter. On le trouve chez les spécialistes tek (Under Water équipement, Bigata, Global) ou chez des fabricants comme USF ou AGP <http://www.agp-abrasifs.com>.

D'autres abrasifs existent, moins courants, comme les billes de verre (version civilisée du pare-brise cassé!) et peul abrasives et utilisables sur l'alu, ou

encore les céramiques. Ces dernières sont en général des particules de céramique agglomérées à de la résine qui se présentent sous forme de cylindres ou de cachets. Elles se déclinent en de nombreuses granulométries, là encore en fonction du résultat escompté ou du matériau des brouilles. On en trouve quelques-uns chez Global et toute une gamme chez USF.

La quantité d'abrasif nécessaire est d'environ la moitié du volume du bloc à traiter, entre 6 et 7 litres pour un bloc de 12. Tous les abrasifs cités sont réutilisables plusieurs fois (après lavage).

Le nombre de fois varie cependant, un corindon peut être employé durant près de trente tonnales, le verre de pare-brise perd beaucoup de son tranchant après quelques usages seulement. Cela dit, le verre n'étant pas spécialement destiné à ôter du métal, il peut rester efficace.

A de rares exceptions près, le tonnage ne s'effectue pas à sec. A l'abrasif on ajoute divers produits dilués, dans de l'eau chaude de préférence.

Soit des détergents, comme les liquides pour lave-vaisselle, le Teepol ou des dégraissants alcalins de l'industrie alimentaire.

Soit de l'acide phosphorique (employé en marine pour ôter les traces de rouille sur les bateaux ou dans l'industrie pour la préparation des surfaces avant peinture).

Soit un mélange d'acide et de détergent, mélange réalisé soi-même ou acheté tout prêt. On trouve de ces mélanges chez Global, chez les shipchangers sous le nom de Corobril, ou encore au rayon peinture de la plupart des magasins de bricolage (détouillage, préparation avant peinture).

Les acides ou mélanges contenant de l'acide ne sont à utiliser que dans les blocs acier, ils endommageraient une brouille aluminium.

A signaler que l'acide attaque le corindon (pas au point de le dissoudre complètement tout de même!) et peut réagir avec certain graviers. Outre les

dommages causés à l'abrasif, il y a production de gaz, attention à l'ouverture des bouchons des blocs s'ils sont étanchés. Le verre et la céramique ne réagissent pas avec l'acide.

Le volume total de liquide à ajouter à l'abrasif est d'environ 1,5 à 3 litres pour des blocs de 12 ou 15 litres. L'acide pur se dilue à 5 ou 10 %. Les mélanges et les détergents en fonction des indications des fabricants et de l'état des brouilles.

### Comment tonner ?

Les temps varient considérablement selon le travail à effectuer, mais la procédure reste peu ou prou la même. Bloc fixé dans la brouille, on le remplit à moitié d'abrasif auquel on ajoute la quantité de liquide adéquate. Après quoi on bouche le bloc, on le positionne à l'horizontale, on démarre la brouillère et on laisse tourner. 15 minutes s'il s'agit d'ôter l'huile d'un bloc neuf ou corindon, 2 heures ou plus s'il s'agit de décapager au gravier un vieux bloc rouillé. De temps en temps on stoppe les opérations pour jeter un coup d'œil dans la brouille.

Le temps nécessaire écoulé, on incline la cuve vers le bas et on vide le bloc dans un tamis (pour laver l'abrasif à grande eau et le récupérer). Selon l'état de la brouille, on renouvelle l'opération, éventuellement avec de l'eau pure, on insiste sur un fond ou un col, ou bien on rince directement, on laisse égoutter brièvement puis on sèche. La brouillère permet de se passer de support de séchage, on introduit directement le tuyau dans le bloc.

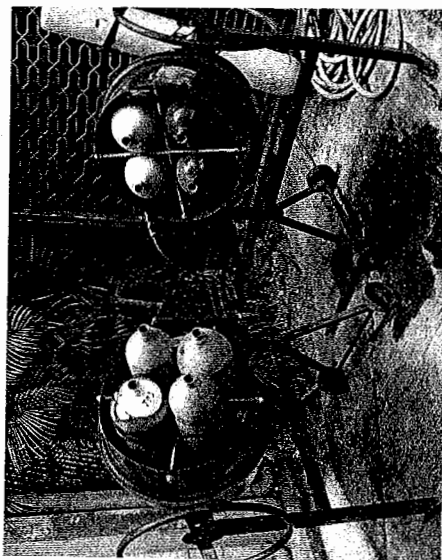
Les inhibiteurs de rouille s'emploient suivant les directives des fabricants. En général on les utilise après le premier décapage, diluée dans de l'eau pure, avec ou sans abrasifs.

A moins de travailler sur des blocs neufs n'ayant jamais vu de robinet, il y a de fortes (mal) chances que ceux-ci aient été montés avec de la graisse silicone. Outre qu'elle n'est pas compatible O<sub>2</sub>, cette graisse résiste aux déter-

gents simples et se trouve dans un endroit qui échappera au tonnage (le filetage). Comme on procèdera par la suite à de nombreux rinçages, on peut commencer les opérations de tonnage en nettoyant manuellement cette zone à l'aide de dégraissants plus performant dans ce domaine tels qu'acétone ou trichloréthylène. Si l'on répuque à employer ces produits (le trichloréthylène a été interdit dans l'industrie), il reste la patience et l'huile de coude - et l'eau bouillante.

Tonneleuses, abrasifs et détergents sont des outils très efficaces. On pourrait être amené à traiter des blocs qui à première vue semblaient promis à la poubelle et qui comme par magie donneront l'impression d'avoir retrouvé une nouvelle jeunesse. Un tonnage sérieux peut parfaitement dissimuler à un œil non exercé des atteintes profondes du métal. Il convient donc de savoir ce que l'on fait, et surtout pourquoi on le fait.

Autre point à considérer : le jus de tonnage qui sort des vieux blocs gras et rouillés tient du jus de tannage d'onc'Sagamore, il est capable de pourrir à peu près toutes les surfaces, béton, bitume ou gazon anglais. Mieux vaut bien réfléchir à cela avant d'installer sa bétonnière!



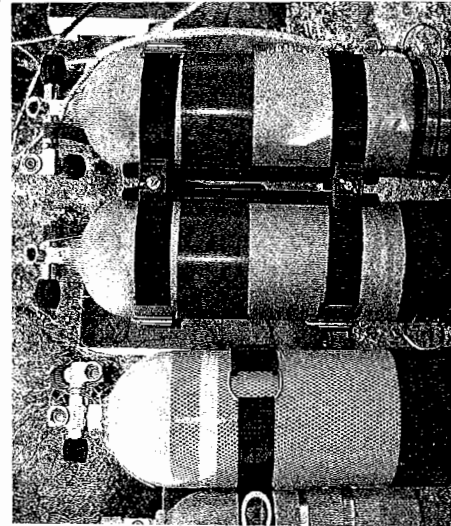


Une fois nettoyé, tonné, rincé, séché, un bloc est-il à coup sûr « compatible O<sub>2</sub> » ?

Difficile de l'affirmer. Nombre de professionnels du nettoyage hésitent à le garantir. Lorsque l'on travaille pour soi, à soi de se faire une opinion, de faire confiance ou non à son travail.

Tant que l'eau de rinçage présente des traces de détergent, c'est que de l'huile est également susceptible d'être présente, il faut continuer... Lorsque tout semble parfait, on peut encore inspecter l'intérieur de la bouteille à l'aide d'une lampe à lumière noire, ce type d'éclairage fait ressortir les matières organiques. On peut aussi frotter la paroi avec un tampon de tissu ou de papier et examiner le résultat, soit à la lumière noire (à condition que le matériau lui-même ne réagisse pas) soit en plongeant le tampon dans un bac d'eau chaude, l'huile remonte alors à la surface. En pratique, il est rare qu'un tampon blanc frotté contre un col de bouteille ressorte immaculé... Les blocs alu sont de ce point de vue plus rassurants, l'absence de rouille et des parois lisse qui ne retiennent pas les contaminants offrent des résultats plus nets.

Pour ma part, après avoir pratiqué plusieurs dégraissages, j'ai décidé pour les blocs appelés à ne contenir que de



**Ci-dessous :**  
Fixations.

l'O<sub>2</sub> pur à haute pression d'acheter des bouteilles alu neuves et de les dédier exclusivement à l'oxygène.

Autre question, quelle est la « durabilité » de la compatibilité O<sub>2</sub> ?

Là encore réponse difficile, cela dépend de la qualité du matériel de gonflage et du soin apporté aux opérations. Un seul gonflage malencontreux sur un compresseur douteux peut réduire à néant tout le travail de nettoyage. Lorsqu'on effectue soi-même ses gonflages avec du matériel dont on est sûr, inspecter ses blocs de temps en temps reste néanmoins une bonne idée. Tous les combien ? Aussi souvent que nécessaire ! (pour reprendre une terminologie en usage depuis 1943)

La question du maintien de la compatibilité O<sub>2</sub> se pose également à l'occasion des épreuves hydrostatiques.

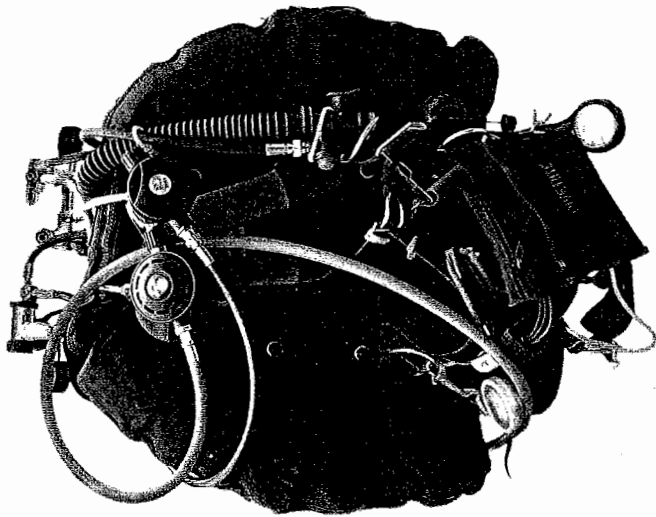
Certaines sociétés garantissent que les blocs O<sub>2</sub> sont traités dans les règles de l'art, l'épreuve coûtant alors un peu plus cher. Sans sombrer dans la paranoïa la plus totale, un petit coup d'œil à l'intérieur des blocs de retour d'épreuve est toujours intéressant. Et peut réserver de cruelles surprises. Coup d'œil à jeter même lorsqu'il s'agit de blocs ordinaires d'ailleurs.

### ■ L'agencement des blocs

Le mélange fond se porte en général sur le dos, sous forme de bi-bouteilles dans la plupart des cas ; bien qu'on puisse envisager de brèves incursions profondes avec un gromono, c'est un peu jouer avec le feu – ou plutôt avec la panne sèche (expérience vécue!).

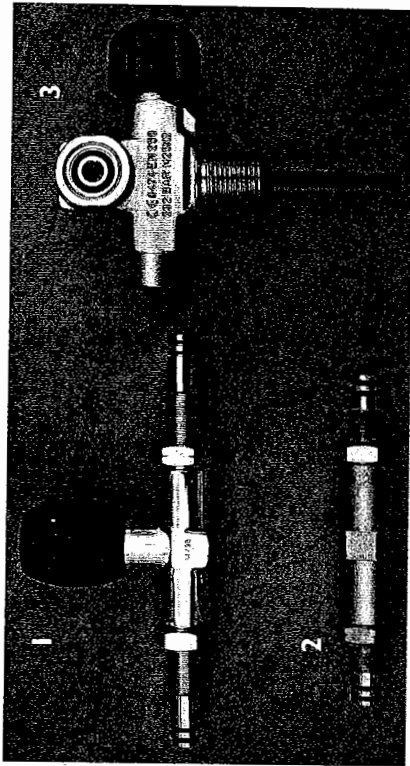
Les modes d'assemblage des bi sont multiples, mais ils doivent répondre en premier lieu à un critère : la solidité. Le volume de base est le bi 12 litres, c'est déjà un ensemble pesant. Une fixation mal fichue ou qui lâche au mauvais moment peut causer des dégâts au matériel, au plongeur lui-même ou aux personnes présentes. A plus forte raison lorsqu'il s'agit d'un bi 15.

Pour l'essentiel, les fixations du



**Ci-dessus :**  
bi indépendant  
et flexible long.

on dispose au final de plus de réserve qu'avec deux bouteilles indépendantes (lorsqu'une est fermée son gaz est inutilisable). Il n'est pas non plus nécessaire de respirer alternativement, ni d'être équipé de deux manomètres. En revanche, il est capital de s'entraîner à ouvrir et fermer les robinets de ses blocs. On peut



**Ci-contre :**

1. Liaison à isolateur.
2. barre de liaisons.
3. Robinet gauche.

commerce répondent à ce critère-là. Autre question, plus philosophique celle-ci mais qui participe également du type de fixation choisie : bouteilles indépendantes ou communicantes ?

Les plongeurs spéléo européens et les plongeurs mer qui en sont issus optent volontiers pour les blocs indépendants.

Ainsi, quel que soit le problème dont est victime une bouteille, l'autre reste immédiatement et totalement disponible. Cette méthode oblige à respirer alternativement sur les deux détendeurs, tous les 50 bars au maximum (les plongeurs spéléo alternent tous les 5 ou 10 bars), afin de ne pas se retrouver avec une bouteille vide alors qu'un problème survient sur l'autre (ce qui impose deux manomètres HP). On peut juger cela contraignant, on peut aussi se dire que cela entraîne à la manipulation des détendeurs, et qu'ainsi on est sûr d'avoir deux détendeurs qui fonctionnent.

D'autres plongeurs préfèrent les blocs communicants par une barre métallique. Les spéléo américains affectionnent les barres de communication munies d'un isolateur. En cas de problème, on ferme l'isolateur (qu'il n'est pas utile d'ouvrir sur toute sa course, un tour et demi suffit), on résout le problème (si rupture d'un premier étage on ferme le robinet de cet étage), et on rouvre l'isolateur. De cette manière on limite la perte de gaz et

objecter que barre de communication et isolateur créent une nouvelle source de problèmes potentiels, et qu'une fuite importante sur l'isolateur lui-même est sans solution et entraînera la perte de tout le gaz.

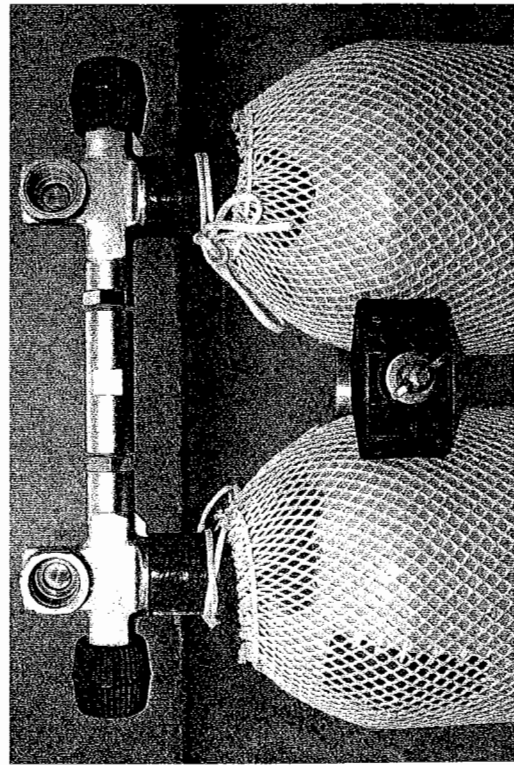
Si l'on choisit des blocs communicants, leurs fixations devront être rigides, les barres ne supportant guère les flexions répétées. Les culots doubles donnent satisfaction, mais au-delà des bi 12 il est rare d'en trouver. En général on utilise des cerclages inox, de largeur variable selon la taille des bouteilles et d'écartement adapté à la robinetterie (peu de standards dans ce domaine, donc à mesurer avec soin, idem avec les culots doubles). L'ensemble ainsi réalisé est compact, rigide et solide. Mais il n'est pas démontable sous pression et peut se révéler très lourd à transporter.

Au contraire, les blocs indépendants acceptent les fixations souples, à base de sangles, qui peuvent être montées et démontées instantanément. Cela facilite considérablement les manipulations, rien d'étonnant à ce que ce soit la méthode des spéléo européens qui pratiquent dans des

galeries étroites demandant parfois des marches d'approche considérables. Pour ma part, bien qu'effectuant peu de plongée spéléo, j'ai également adopté les blocs séparables au-delà du 2 x 10 litres.

Plongeant seul avec mon épouse d'un bateau à l'échelle peu commode, les transports, les chargements, les remontées des blocs à bord peuvent vite devenir un problème, voire une cause d'accidents. Un bloc peut se manier d'une main, un bi c'est une autre histoire, et la mer n'est pas l'en-droit le plus stable de la terre...

Un moyen terme existe, qui consiste à relier les premiers étages par la MP via des flexibles type direct-system montés sur une vanne quart de tour (jouant le rôle d'isolateur central) ou équipés de connexions rapides auto-obturantes côté mâle et femelle (disponibles dans l'industrie). Il n'est plus nécessaire d'alterner sa respiration et les bouteilles restent séparables à tout moment. Mais si un problème survient sur un premier étage et qu'on doit fermer la bouteille correspondante, le gaz qu'elle contient devient



Ci-contre :  
bi relié.

inaccessible. Ce montage suppose des MP égales ou proches, et impose des flexibles et des raccords supplémentaires, sources potentielles de faiblesses. On peut également grâce à lui alimenter le premier étage d'un autre plongeur via le direct-system de sa stab, il conserve ainsi l'usage son propre détendeur, ce qui est plus pratique et moins stressant. A l'origine, c'était la raison d'être du système, que j'avais remarqué chez un moniteur qui partageait ainsi l'air avec ses élèves.

Le ou les blocs de décompression peuvent se porter sous l'eau de diverses manières.

- Fixé au scaphandre dorsal, généralement entre les deux blocs. Plutôt envisageable pour une bouteille de taille raisonnable, faute de quoi l'ensemble devient lourd et volumineux. Tête en haut le robinet n'est pas toujours accessible, tête en bas il faut faire attention de ne pas cogner le premier étage ou le volant de conservation lors des manips et déplacements à bord du bateau ou à terre. Les mouvements d'un plongeur équipé à bord d'un bateau qui tangue n'ayant qu'un lointain rapport avec la grâce de la ballerine, un flexible peut se retrouver proprement sectionné. Si l'on s'en rend compte à bord, c'est juste très agaçant, si on le découvre aux paliers...

- En sautoir devant le plongeur ou en travers. Là aussi difficilement plus d'une seule bouteille, qui peut cependant être d'un volume convenable. Ce n'est pas idéal d'un point de vue hydrodynamique, et le bloc a tendance à heurter le fond, les tôles des épaves ou les jambes du plongeur.

- Sous les bras. Un montage devenu symbole de la plongée technique, pour de bonnes raisons. L'hydrodynamisme est correct, on peut emporter plusieurs blocs de bonne taille et les réparer de façons variées :

- Un seul bloc sous le bras gauche (si on est droitier) ne déséquilibre

pas du tout pour peu que la bouteille soit bien choisie, alu ou acier léger. Et l'on dispose de toute la mobilité de son bras droit ainsi que d'une place sur la ceinture pour un accu de lampe.

- Deux blocs un sous chaque bras assurent un bon équilibre quels que soient les blocs (à condition qu'ils aient une flottabilité proche, évidemment). On perd un peu en mobilité du bras droit, mais ce n'est pas dramatique. Un gros accu aura du mal à être positionné sur la ceinture.

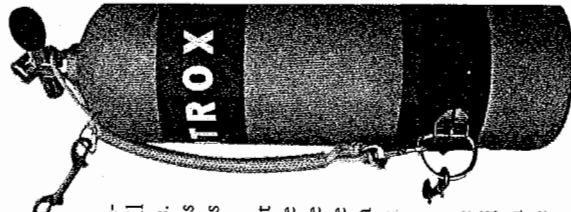
- Deux blocs d'un seul côté ne déséquilibrent pas de manière sensible si l'on utilise des blocs alu (ou des acier à flottabilité ajustée). On retrouve la mobilité complète du bras droit et la place pour la lampe.

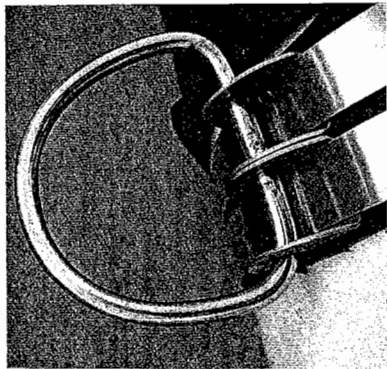
- Trois blocs, deux d'un côté un de l'autre, demandent un peu de méthode dans l'installation, par exemple deux alu à gauche un acier à droite, voire quelques essais préalables. Correctement réalisée, c'est une configuration gérable en mer, où, lors des plongées profondes, les temps fonds sont généralement brefs et les distances parcourues à la palme modestes. On dispose toujours d'une mobilité acceptable du bras droit.

Variante, le troisième bloc est fixé à l'anneau gauche de ceinture uniquement par son mousqueton de col, il dégage ainsi de l'espace pour le bras. Les deux autres blocs pouvant être fixés tous deux à gauche ou répartis un à droite un à gauche.

- Quatre blocs et plus demandent une sérieuse dose de pratique, de préférence un scooter, à tout le moins de gros mollets... Une méthode consiste à relier les blocs à un anneau de cordelette lui-même relié à l'anneau de ceinture gauche par un mousqueton. Lorsque l'on veut un bloc, on cueille l'ensemble par la cordelette, on prélève celui dont on a besoin et on l'installe à poste (flottabilité ajustée, marquage sérieux et expérience impératif).

Ci-dessous :  
Bloc déco/relais.





**Ci-contre:**  
D-ring sur bloc.

teille et maintenues par un collier ou de la chambre à air. On peut aussi utiliser une chambre à air (vélo, cyclo, moto) remplie de billes de plomb (chasse, pêche), les bananes obtenues sont élastiques et se fixent sur de nombreux supports (contre la plaque du harnais, autour des blocs, autour des chevilles).

La liaison blocs de déco/plongeur est réalisée à base d'anneaux en D (D-ring), de corde ou de sanglé, de colliers inox et de mousquetons. Plusieurs montages sont possibles:

- Une corde avec un mousqueton à un bout et une boucle à l'autre, un second mousqueton étant passé dans le nœud de la boucle.
- D-ring fixés aux extrémités du bloc.
- Variantes et panachages.

Si le bracelet de chambre à air est impératif sur un bloc alu brut, il est utile sur un bloc peint, alu ou acier, les colliers inox étant agressifs. On peut aussi protéger les blocs en glissant les colliers dans un tuyau ou une sanglé fourreau. Les vis des colliers sont également agressives et peuvent endommager la bouée ou la combinaison, un bracelet de chambre à air placé cette fois par-dessus le collier, ou un tuyau recouvrant les vis résout le problème.

Une sanglé rapide de type liaison stab/bloc peut remplacer les colliers, elle est plus volumineuse mais se démonte rapidement, ne crée pas d'électrolyse et n'endommage ni la peinture ni la combinaison.

Les mousquetons se déclinent en multiples modèles, fixes, tournants, simples, doubles, à doigt pivotant ou coulissant. Le choix est affaire de goût, de montage et de disponibilité, à un détail près: les doigts pivotants (appelés type mer ou marine clip) ont tendance à capturer tout seul les fils qui passent à leur portée puis à les retenir fermement. Cela peut ne pas sembler gênant en mer (d'où leur nom), ça peut pourtant le devenir

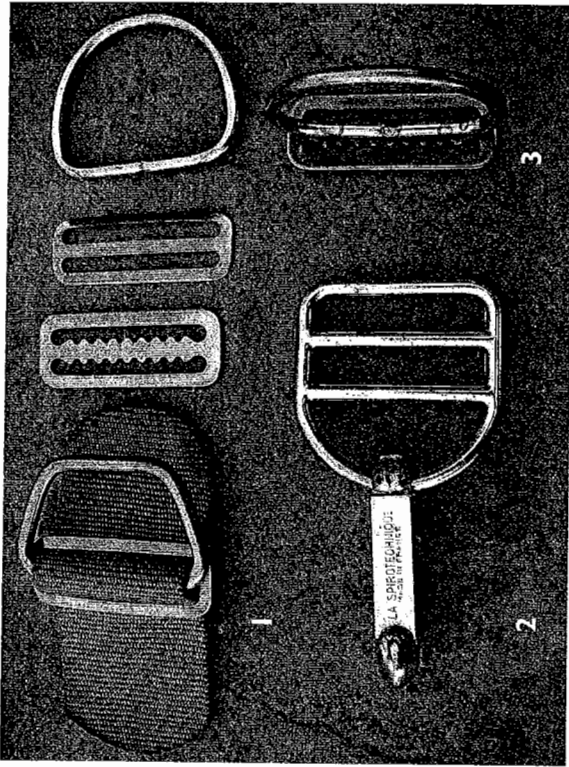
Les techniques peuvent bien entendu se panacher. Fixer une petite bouteille d'O<sub>2</sub> pur sur le scaphandre dorsal et un bloc intermédiaire sous un bras ou en sautoir. Reste que positionner ses blocs de déco devant soi permet de les avoir sous les yeux et à portée de main. Il est alors aisé de déployer et ranger les deuxièmes étages, de vérifier le gaz à respirer, d'ouvrir et fermer les blocs, de permuter un premier étage si nécessaire. C'est rassurant. Et très utile.

Dans tous les cas, la disposition du bloc - plomb et/ou accus de lampes - permet d'ajuster son équilibre (gauche droite) ou son assiette (tête pieds).

Ajuster la flottabilité négative d'un bloc (ou d'une masse quelconque) s'effectue à l'aide de mousses ou de liège. Selon les blocs et les matériaux utilisés, le volume peut devenir gênant.

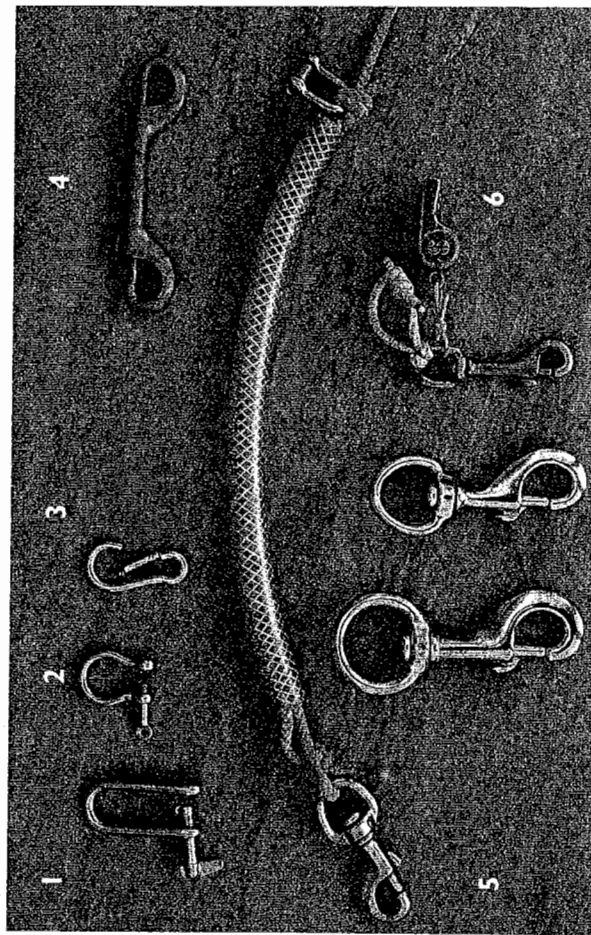
Par ailleurs, beaucoup de mousses s'écrasent avec la pression, on se retrouve dans le cas de la combinaison de néoprène, plus on descend, plus on a tendance à descendre. On trouve dans l'industrie des matériaux alvéolaires offrant de bons comportements à la pression, notamment chez Alcan Airex <http://www.alcanair.com/welcome.htm>.

Une flottabilité excessive peut elle se compenser à l'aide de feuilles de plomb entroulées autour de la bou-



**Ci-contre:**  
1. D-ring pivotant  
2. D-ring à mousqueton  
3. D-ring rigide (sou-

**Ci-dessous:**  
Manilles inox  
1. 1/4 tour.  
2. À vis.  
3. inox pivotant  
4. Coulissant double  
5. Support bloc déco  
6. Tournants coulissant déco.





dans une épave où traînent cordages, fils électriques et vieux filets. Les marine clips sont intéressants lorsqu'il s'agit d'accrocher un cordage à la volée (un peu comme en montagne).

Les doigts coulisants (appelés type spéléo ou cave clips) sont adaptés à davantage de cas de figure.

La taille des mousquetons sera dictée par la dextérité du plongeur. Les veinards qui plongent sans gants en eau tropicale pourront se contenter des plus petits modèles. Les porteurs de moufles auront intérêt à viser les grandes tailles. Dans tous les cas les doigts coulisants se révéleront plus facile à décrocher que les pivotants.

Dernier choix possible: inox ou laiton. L'inox est plus beau et plus solide, le laiton est beaucoup moins cher, demandera tout de même un bel effort pour être cassé et ne rouille pas non plus (tout au plus du vert-de-gris apparaît si on ne le nettoie jamais).

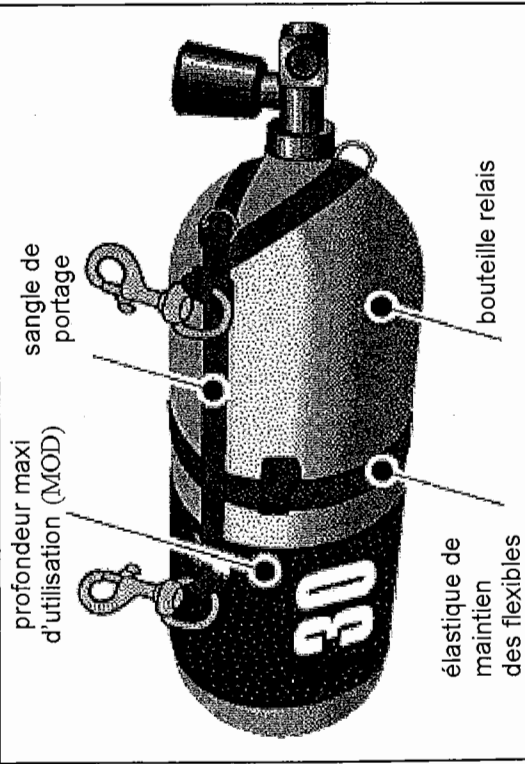
Tous ces accessoires, D-ring, support, mousquetons, manilles, etc. se trouvent en totalité dans les maga-

sins spécialisés en plongée technique et pour partie chez les shipchandlers, les magasins de bricolage ou les fournitures industrielles.

Une bonne part des - heureusement peu nombreux- accidents de plongée aux mélanges a pour origine la respiration d'un gaz inadapté à la profondeur à laquelle il a été respiré.

Cela peut paraître étonnant, mais c'est ainsi, et ce n'est pas le fait que de plongeurs débutants, bien au contraire. Avoir son bloc de décompression sous les yeux permet l'identification du gaz. À condition que quelque chose soit inscrit sur la bouteille. On peut y faire figurer de nombreux renseignements, mais la seule indication qui soit réellement importante sous l'eau reste la profondeur maximum d'utilisation (la MOD) (voir schéma 14). La méthode utilisée importe peu, feutre indélébile, peinture ou chiffres autocollants, tant que le résultat est et reste lisible pour le plongeur comme pour ses compagnons et ne prête pas à confusion. Rien ne ressemble plus à un 6 qu'un 9, c'est la base d'un gag

Schéma 14: Marquage d'un bloc déco/relais.



célebre, aussi est-il fréquent d'inscrire Oxygène sur le bloc d'O<sub>2</sub> pur (si on ignore que l'O<sub>2</sub> se prend à six mètres maxi, on ne devrait pas être là).

Les blocs relais portés sous les bras le sont parfois mousqueton supérieur clipé à l'anneau D de la bretelle du harnais et mousqueton inférieur clipé à un anneau D fixé sur la bouteille dorsale. Le poids des blocs additionnels est ainsi réparti sur le scaphandre, ce qui est surtout sensible hors de l'eau. En plongée, les blocs finissent inévitablement par s'entrechoquer, c'est agaçant pour le plongeur et dommageable pour les peintures. Par ailleurs, avec des blocs dorsaux volumineux et des robinets couplés dont l'entraxe est important, les blocs relais sont écartés du plongeur ce qui ne favorise pas la mobilité des bras. Peu commode également de fixer deux blocs du même côté de cette façon.

Quoi qu'en soit encore utilisé, ce montage a été supplanté par la variante mousqueton inférieur de la bouteille relais clipé à un anneau D situé sur la ceinture du harnais. La répartition du poids ne souffre finalement que peu de la modification, même hors de l'eau. En revanche, les anneaux D étant réglables, on peut ajuster rapidement et au mieux leurs positions en fonction de la taille des relais. Les blocs déco restent plus proches du plongeur et ne cognent pas les bouteilles dorsales, sur lesquelles on s'épargne l'installation de D-ring. Bref, si le montage tout harnais présente quelques défauts, ils ne sautent pas aux yeux. C'est sans doute ce qui explique son adoption quasi universelle.

Deux blocs portés du même côté peuvent être juxtaposés ou superposés. J'ai toujours pratiqué juxtaposés, parce que c'était simple à mettre en œuvre sur l'instant, les mousquetons déjà en place se clipent à deux autres eux-mêmes clipés au harnais (si la taille des blocs le permet on peut cliper directement les mousquetons

sur les anneaux du harnais). Superposer aurait demandé une petite modification des fixations. Reste que deux blocs côte à côte occupent un volume non négligeable qui entrave les mouvements du bras et présentent un effet de couple sensible s'ils sont très négatifs. Les placer l'un sur l'autre peut sans doute réduire ces problèmes. Encore une configuration à essayer!...

Une règle commune stipule que lors d'une plongée comptant plusieurs gaz de décompression embarqués, le plus riche en O<sub>2</sub> - ou l'O<sub>2</sub> lui-même - doit être porté sous le bras droit (pour les droitiers). Sa mise en œuvre est alors plus difficile, le risque de respiration accidentelle réduit. Pour ma part, pas plus que je ne crois (ni ne souhaite) qu'on puisse faire mon bonheur malgré moi, je ne crois aux sécurités automatiques. A force de compter sur les automatismes, on finit par comprendre trop tard qu'ils n'ont pas fonctionné. Lorsque je plonge avec deux gaz de déco un sous chaque bras, généralement oxygène et nitrox 40, je fixe en effet l'O<sub>2</sub> à droite parce que c'est le rx 40 que je vais avoir à manipuler le plus en profondeur (le déployer, le ranger, voire commencer par le ranger s'il sert de gaz de descente) et que je suis droitier. Mais lorsque je plonge avec trois gaz, je fixe à droite le bloc que l'équibre impose d'avoir là, sans regard pour sa fO<sub>2</sub>. Il se trouve que c'est souvent le nitrox intermédiaire car il sera le plus consommé et demande donc le plus gros bloc.

Les deux autres gaz nécessitant des blocs plus petits sont groupés à gauche, trmix intermédiaire et O<sub>2</sub> par exemple. On peut toujours disposer le bloc oxygène de manière à ce que son détendeur soit difficile d'accès, même avec la bonne main, en utilisant un détrompeur, sachet enveloppant le deuxième étage ou capuchon couvrant l'embout buccal.

En fait, il n'y a qu'une configuration à retenir: celle qui marche!

# L'Équipement

## La stab

Le terme lui-même n'est guère en usage en plongée technique, le matériel qu'il désigne non plus. Bien entendu, une stab classique reste parfaitement utilisable pour une plongée nitrox simple, que la bouteille contienne 32 % d'O<sub>2</sub> au lieu de 21 ne change rien à l'usage du gilet de stabilisation. Mais dès qu'il va s'agir d'une plongée trimix avec un bi 12 ou 15 et deux ou trois blocs de déco, un problème de résistance va rapidement se poser, ainsi que de possibilité de fixation des blocs.

En outre, lorsqu'on a deux ou trois blocs autour du ventre, on n'a pas besoin de la pression supplémentaire d'un gilet sur la poitrine.

La solution est issue en droite ligne de la plongée spéléo : le volume dorsal.

À l'origine de fabrication artisanale, à base de plaques métalliques formées au maillet et de Fenzy retournées, il est maintenant de production industrielle.

Ses principes restent les mêmes : solidité, poitrine dégagée, volume de stabilisation renvoyé dans le dos du plongeur

entre blocs et plaque. L'ère industrielle a développé l'offre, on trouve désormais plusieurs types de plaque, inox, alu, ABS, des dosserets souples pour un meilleur confort, des bouées spécialement conçues (rebaptisées *wings* ou *ailes*) de volumes et formes variés, à une, deux ou trois enveloppes. Corollaire, la multiplication des gadgets, élastiques, boucles, badges, zip, *fenstop*, poches, à l'utilité douteuse, avec parfois une résistance en baisse. Réaction, un genre de retour aux *vraies valeurs*, tel celui du GUE, école américaine à l'origine du DIR (*doing it right*, faites ça bien) « philosophie » globale de la plongée qui en matière d'équipement prône une approche minimaliste inspirée par un plongeur spéléo, William Hogarth Main, dite *méthode hogarthienne* <http://www.gue.com/>.

Si le côté intrinsèque du DIR peut parfois prêter à sourire (ou à hausser les épaules), une mousse de protection ne vaut pas qu'on fouette un chat, son principe « la simplicité est la meilleure des sécurités », qui se traduit également par « tout ce qui n'est pas indispensable à la

plongée reste à terre », mérite l'attention. Une épave sous cent mètres d'eau n'est pas le meilleur endroit pour découvrir que son gilet se déchire, que son fenstop a lâché et que son retractor est prisonnier d'un taquet. Plus un équipement est simple et solide moins il sera source d'ennuis, c'est lumineux.

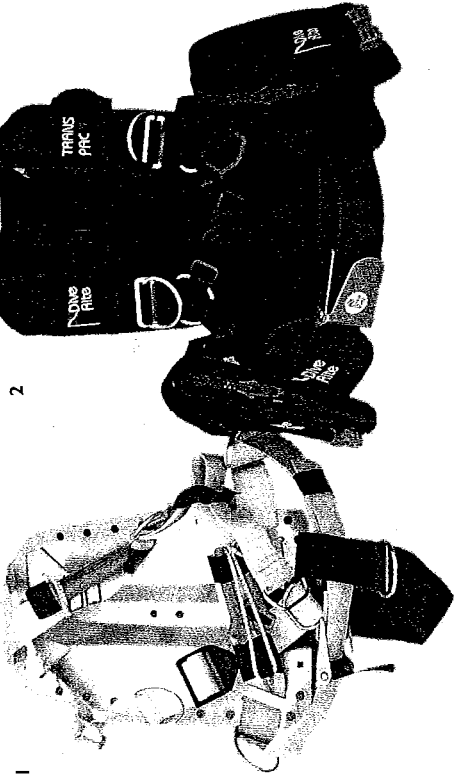
Reste qu'entre dénuement total et gadgets à outrance on peut trouver un moyen terme. Ne serait-ce que par l'adaptation de son équipement à ses conditions réelles de plongée. Un spéléo embarque rarement un tuba ou un parachute. De mon côté, j'utilise un harnais plaque inox avec un bi alu car c'est un lest (3 kg) tout trouvé et bien réparti. Avec un bi acier je me sens d'une plaque alu car j'ai peu besoin de lest.

Et j'emploie un harnais souple avec mon recyclier car une plaque l'éloignait de mes poutmons. De même, j'ai ajouté une boucle rapide à mes harnais « hogarthiens » car les portages que j'ai à effectuer scaphandre assemblé sont négligeables alors que pour se déséquiper dans deux mètres de creux ouvrir une bretelle est fort utile.

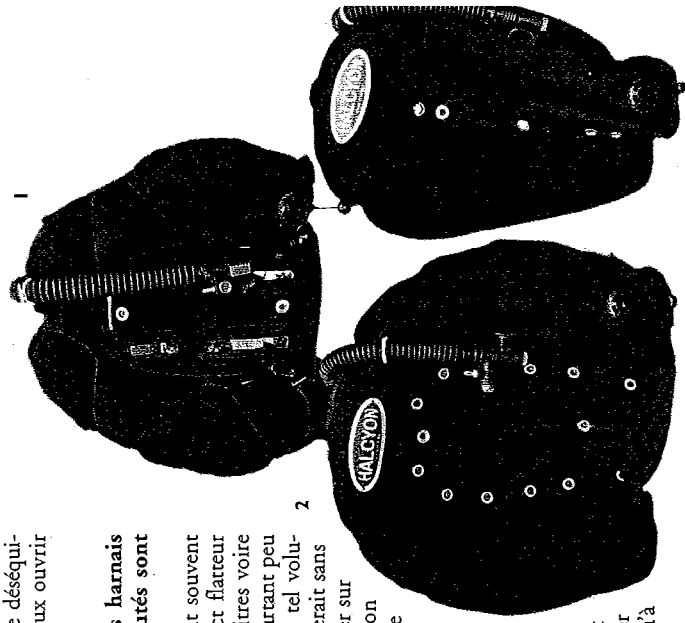
**Les points importants des harnais les plus couramment discutés sont les suivants :**

- La taille des wings. On voit souvent présenté des bouées à l'aspect flareur de dirigeables rebondis, 40 litres voire 60 litres. Sous l'eau, il est pourtant peu probable d'avoir besoin d'un tel volume. Et si on en a besoin, il serait sans doute judicieux de s'interroger sur pourquoi et de repenser son équipement, car ce volume c'est à la palme qu'il va falloir le traîner. En pratique, dans la plupart des cas une aile de 25 litres (25 kg ou 60 livres) est suffisante pour un plongeur multibloc correctement équilibré. Sur des mono bouteilles ou des petits bi 2 x 9 litres, il est possible d'utiliser moins, de 15 à 20 litres (jusqu'à 8 litres sur un mono alu).

**Ci-contre :**  
1. Harnais plaqué inox.  
2. Harnais souple.



**Ci-dessous :**  
1. 18 L à cord  
rétractation (r)  
2. 26 L (bi).  
3. 8 L (mono).



2



son dégonflage. Une solution moyenne existe, le cordon de rétraction, qui torture moins la boutée qu'un saucissonnage élastique et qui peut voir sa tension facilement libérée (une ou deux agrafes à décrocher). Monté sur des wings de taille raisonnable, le cordon de rétraction permet de les utiliser sur des mono et des bi (dans certaines limites).

- Le tuyau annelé. Trop long (c'est-à-dire de la taille de ceux fournis avec la plupart des wing et des stab), ils pendouillaient où bon leur semble, risquent de se coincer

ici ou là et/ou d'être hors de portée au moment où on en aura besoin. Muni d'un *ferstop*, cela signifie tirer dessus pour purger; est-il vraiment raisonnable de tirer sur le caoutchouc qui assure l'étranchéité de sa boutée? Par ailleurs, cet accessoire nécessite ressort, joint et clapet, source potentielle d'ennuis. La bonne longueur pour un tuyau annelé, c'est lorsque qu'il parvient à se rendre de la wing aux lèvres, et qu'on peut l'actionner en même temps et avec la même main que l'inflateur de la combinaison

Ci-contre: ais souple sur bi réel et wing 18 litres.



sèche; un peu plus de 30 centimètres font en général l'affaire. Quant aux purges, celles de base suffisent, à moins qu'on soit trop plombé et qu'on utilise une mongolfière en guise d'aile. Les choses ont une logique cruelle...

Les boutées à deux vessies indépendantes. Une seule est utilisée au cours de la plongée, si elle vient à être crevée ou rendue inutilisable on se rabat sur l'autre. L'idée d'un volume de secours est séduisante et sécurisante, reste que ces boutées sont onéreuses, souvent volumineuses, bardées d'élastiques, et nécessitent deux tuyaux annelés et deux direct-system (Bill Hogarth Main frise l'apoplexie!). Quelques boutées ont une paroi commune aux deux poches, si cette paroi lâche, le secours lâche avec. On peut également objecter qu'un secours existe ailleurs, dans un parachute adapté ou dans la combinaison étanche, encore que dans ce dernier cas certains estiment que le « bon » fonctionnellement est plutôt l'inverse: la combinaison sèche assure l'équilibre, la boutée reste dégonflée et n'intervient qu'en cas de défaillance de la combinaison. Une fois de plus, cela suppose un lestage correct qui n'impose pas une inflation excessive de la combinaison, sinon la gestion de la flottabilité et de l'assiette peut devenir délicate, une purge de combinaison étant moins fine dans ce domaine qu'un direct-system. Des plongeurs emploient une autre méthode: fixer deux wings l'une sur l'autre. Cela permet d'étaler ses achats dans le temps, de conserver un volume minimum, de se dispenser d'élastiques, de couvrir plusieurs combinaisons de blocs (wings de tailles différentes) et plusieurs gammes de plongées et assurer une totale indépendance des volumes. Bref, un domaine où les arguments ne manquent pas, de part et d'autre. J'ai toujours utilisé une aile simple et un parachute fermé pour volume de secours (moins souvent une combinaison sèche), mais les conditions de plongée n'étaient pas extrêmes, dans d'autres conditions peut-être ferai-je un choix différent.

L'importance d'une flottabilité le plus neutre possible en profondeur (tout en permettant bien sûr d'assurer ses paliers) apparaît cependant capitale. Ce n'est pas quelque chose qui s'obtient du premier coup, et qui de plus peut changer lors d'une modification de la configuration, mais qui vaut qu'on prenne la peine d'y consacrer du temps. Lors de l'utilisation d'une wing à deux vessies, on trouve parfois comme conseil de ne pas brancher le flexible de moyenne pression sur l'inflateur de secours, afin d'éviter un gonflage rapide en cas de défaillance brutale ou, en cas de fuite légère, l'inflation sournoise d'un volume qu'on ne pensera pas toujours à purger. On peut alors s'intéresser sur l'utilité d'un secours non branché, et de l'angoisse qu'occasionnera sa connexion dans l'urgence. En fait, c'est qu'entre deux maux possibles il convient de décider quel est le plus probable et le moins dangereux, exercice fréquent en plongée tek...

- Le direct-system. Certains estiment qu'il doit être à haut débit, afin que lors d'une descente rapide la pression n'écrase pas la boutée plus vite que l'inflateur ne la remplit, rendant difficile l'arrêt de la descente. D'autres pensent qu'au contraire le débit doit être modéré car l'inflation se contrôlant dès le début de la descente il n'y a pas lieu d'être « embarqué » par la profondeur, alors qu'un inflateur haut débit coïncide en position ouverte (défaillance moins rare qu'on croit) à contrôler. J'ai tendance à suivre la deuxième option, sans doute parce que je crains davantage une remontée ballon qu'une dégringolade sans fin; à chacun ses terreurs... (et une fois de plus, neutralité bien ordonnée... évite de se planter dans la vase!) Mais il est vrai qu'au cours de plongées le long de murs spectaculaires (tels ceux de *Tongue of the Ocean* aux Bahamas) se faire prendre par la profondeur est un risque à ne pas négliger. Il est important que l'inflateur soit là où on le cherche au moment où on le cherche, pour cela une méthode consiste à solidariser flexible MP et tuyau annelé (à l'aide

de bracelets élastiques) et à lier l'ensemble à la bretelle du harnais par l'intermédiaire d'un anneau en cordon élastique (ou tuyau chirurgical).

## Les détendeurs

### ■ Premiers étages

Sans entrer dans le détail précis de leur fonctionnement, quelques généralités les concernant :

Deux grandes familles de détendeurs, les compensés et les non compensés. Les seconds voient leur moyenne pression changer avec la baisse de pression à l'intérieur du bloc. Les premiers gardent une moyenne pression constante. Cette MP régulière permet d'ajuster au mieux les éléments du détendeur et d'obtenir à la fois des performances élevées et un fonctionnement doux.

Ils sont aussi nettement plus cher que les seconds.

Chaque famille de détendeurs se décline elle-même en deux types : à membrane ou à piston.

Les détendeurs à piston comptent moins de pièces en mouvement, les détendeurs à membrane gardent leurs pièces isolées du milieu ambiant et offrent un réglage de la moyenne pression précis et sans démontage (des modèles atypiques existent : les Poséidon, les membranes compensés, ont une MP qui varie avec la HP, tandis que les Scubapro Mk 25, pistons compensés, ont un réglage externe de MP). Membrane ou piston n'a pas grande influence sur le prix du détendeur.

Quelle est l'importance de tout cela pour le plongeur ?

Moins de pièces en mouvement signifient démontage plus simple, entretien moins onéreux et sources de panne réduites. Ainsi que dégraissage O<sub>2</sub> facilité.

Pièces isolées du milieu ambiant signifient fonctionnement plus stable en eaux très chargées et meilleure

résistance au givrage en eaux froides. Bien que cela soit très théorique. La qualité des matériaux employés comme les soins apportés à la fabrication par les marques sérieuses font qu'actuellement les différences entre pistons et membranes ne sont plus aussi tranchées qu'elles ont pu l'être.

Reste la possibilité de réglage de la MP. L'argument intéresse surtout les plongeurs disposant de quelques connaissances du fonctionnement des détendeurs. Cela s'apprend, et ensuite, en jouant sur la moyenne pression on peut ajuster les performances au plus fin, marier des premiers et deuxième étages d'origines différentes, tenter de réduire le risque de givrage, limiter la mise en débit continu, adapter des premiers étages à des objectifs particuliers (recycleurs, masques faciaux, narguilés, bloc argon).

Avec ou sans intention de toucher à ses détendeurs, un manomètre de contrôle de la MP est un outil intéressant, on trouve pour une vingtaine d'Euro des modèles connectables au direct-system. La moyenne pression reflète l'état du détendeur, trop basse, trop haute, chahote ou impossible à stabiliser elle est signe d'un problème à résoudre au plus vite (sous l'eau il sera trop tard). La littérature technique concernant ses détendeurs est elle aussi intéressante à se procurer, on peut demander aux revendeurs des marques concernés, certains la fournissent volontiers, d'autres... moins.

On trouve sur le Net les manuels d'attention de quelques marques. Il n'existe malheureusement pas (à ma connaissance) d'ouvrages en français allant au-delà du simple exposé des grands principes. Le seul livre disponible (toujours à ma connaissance) est en anglais, il s'agit du Scuba Regulator Maintenance and Repair de Vance Harlow aux éditions Airspeed Press <http://www.airspeedpress.com/>. Disponible en ligne et très complet, l'ouvrage est intéressant même sans maîtrise approfondie de l'anglais.

Un ouvrage en français serait sur la voie d'une possible réédition *Les détendeurs de*

plongée par Henri Le Bris, à suivre sur <http://hblmatos.free.fr/>, site où l'on trouve déjà de nombreux renseignements sur le matériel en général et les détendeurs en particulier.

### ■ Deuxièmes étages

On retrouve les différences de compensation et non-compensation avec des résultats similaires, les deuxième-étages compensés ont un fonctionnement plus régulier plus harmonieux et en même temps sont plus performant que les non compensés. Si l'écart de prix est au moins aussi important qu'entre les premiers étages, l'écart d'efficacité est sans doute moins marqué, du moins peut-il être atténué par une mise au point soignée.

Beaucoup de deuxième-étages offrent des possibilités d'ajustements en cours de plongée, à l'aide de leviers ou de molettes ou des deux.

Les leviers agissent en général sur l'effet venturi, un volet qui bascule devant le flux de gaz, avec deux positions, ouvert ou fermé. La position fermée s'utilise avant ou immédiatement au début de la plongée afin d'éviter la mise en débit continu. Ensuite on ouvre.

Les molettes agissent sur la précontrainte d'un ressort, lequel durcit l'ouverture du clapet (et donc augmente l'effort nécessaire à l'inspiration).

Ce réglage est souvent mal compris, son intérêt n'est pas tant d'assouplir le détendeur au fond que de le durcir en surface. Difficile en effet d'obtenir un détendeur à la souplesse identique de 0 à 60 mètres. Si on le règle pour qu'il soit très souple au fond, il a toutes les chances de fuir près de la surface (et le réglage de venturi n'y changera rien), la précontrainte du ressort permet de concilier souplesse au fond et étanchéité en surface, avec ajustement possible de la limite à chaque profondeur. Dans certains cas, comme l'usage de masques faciaux, ce réglage permet d'obtenir un léger débit continu en plongée. Sur un détendeur de secours, ou lors de respirations alternées, cela permet de durcir le détendeur qu'on

n'utilise pas afin d'éviter sa mise en débit continu.

Selon la place du clapet par rapport au siège, un deuxième-étage est dit à clapet amont ou à clapet aval. Une image souvent employée résume la différence : pour quitter une pièce des gens se pressent contre une porte close, si la porte pivote vers l'extérieur (aval) elle sera facile à ouvrir mais difficile à refermer, si la porte pivote vers l'intérieur (amont) elle sera difficile à ouvrir mais facile à refermer. Quand tout fonctionne bien, on note peu d'écart d'usage entre clapets amonts et avals.

La principale différence apparaît lors d'une augmentation anormale de la MP (fuite de l'ensemble siège clapet HP), au-delà d'une certaine valeur un clapet aval s'ouvrira tout seul, jouant le rôle de soupape de sécurité, le deuxième étage fuira et la pression cessera d'augmenter. Un clapet amont ne s'ouvrira pas, au contraire, plus la MP augmentera plus il sera étanché, le risque est alors l'éclatement du flexible.

Les premiers étages ou les flexibles appelés à travailler avec des clapets amont disposent de système de sécurité, mais lorsqu'on intervertit des étages on peut se trouver dans le cas d'un clapet amont non protégé. Bien que les clapets amont ne soient plus très courants, c'est tout de même un point à vérifier lorsqu'on effectue des panachages. Il existe de petites soupapes de sécurité qui se vissent sur une sortie MP et qui résolvent ce problème.

En théorie, un clapet parfaitement compensé se comportera comme un clapet amont (pression équivalente des deux côtés donc pas d'ouverture automatique), dans la pratique les fabricants font en sorte qu'il y ait bien ouverture automatique (si la pression est équivalente de part et d'autre, les surfaces sur lesquelles s'exerce cette pression sont différentes).

Certains deuxième-étages permettent de positionner le flexible indifféremment à droite ou à gauche du plongeur, d'autres offrent cette possibilité après

une petite opération technique, la plume part n'autorisent que la position standard (flexible à droite). Bien que ce ne soit pas indispensable, il est parfois intéressant en plongée multibloc de pouvoir alimenter un détendeur « de l'autre côté ».

### ■ Quels détendeurs pour quelles profondeurs ?

Dans un monde parfait, tous les blocs du mélange fond à la déco finale seraient équipés des détendeurs les plus performants du moment. Comme cela peut représenter cinq appareils ou plus, le coût global de l'opération ou la réalité d'achats successifs tend parfois à faire préférer d'autres options.

Il est souvent avancé que la fluidité des mélanges riches en hélium dispensent d'utiliser des détendeurs hautes performances. L'affirmation est exacte si on la prend pour ce qu'elle veut dire. Un détendeur confortable à l'air à 50 mètres sera confortable au trimix 10/70 à 100 mètres. Mais il est peu probable qu'un détendeur calamiteux à 40 devienne une merveille d'efficacité à 90 par la simple grâce du trimix. Un plongeur profond doit déplacer un volume de matériel bien plus considérable qu'un plongeur ordinaire tout en ayant une efficacité ventilatoire encore réduite, la dernière chose dont il a

besoin est de démarrer un essoufflement, le détendeur doit fournir un débit suffisant en toutes circonstances. Les modèles compensés des marques reconnues en sont capables, point n'est besoin pour cela d'aller chercher la bête rare au tarif prohibitif, mais employer un détendeur non compensé ou en provenance d'une marque de bazar serait une erreur. Une mise au point soignée est également primordiale, un débit suffisant ne doit pas s'obtenir au prix d'un effort inspiratoire important.

Par ailleurs, moyenne pression constante ne signifie pas débit constant, les documentations commerciales des détendeurs mettent surtout en avant le débit à HP 200 bars. Il est intéressant de connaître également le débit à HP 30 ou 40 bars. De 5000 litres/minute on tombe en général à 1000 litres/minute. Mille litres/minute suffisent, mais sont à prendre comme un minimum.

Le cas des blocs de décompression est plus discutable. Pour l'oxygène ou les nitrox à très haute  $fO_2$ , je me sens volontiers de détendeurs non compensés, leur simplicité biblique les rend faciles à démonter, à dégraisser et à maintenir compatible  $O_2$ . Utilisés au repos entre 9 et 3 mètres où le risque d'essoufflement est quasi nul, leurs performances sont à mon avis suffisantes



Ci-contre :  
s deuxième étage.

pour autant qu'il s'agisse de modèles éprouvés réglés au mieux. Détendeur  $O_2$  est un bon moyen de reclasser un détendeur de secours, on trouve facilement des appareils de ce type d'occasion, et neuf leurs tarifs sont corrects.

Pour les nitrox et les trimix intermédiaires utilisés en profondeur sans ou avec peu d'hélium pour tempérer, je préfère un premier étage compensé mais cette fois associé à un deuxième-étage plus simple que pour le mélange fond, non compensé et avec un seul volet déflecteur par exemple. Un ensemble de ce type reste d'un prix supportable, et, convenablement ajusté assure un excellent confort même avec un mélange déco pris à 60 mètres.

D'autres plongeurs préférèrent eux dédier leurs premiers-étages non compensés aux blocs de déco intermédiaire (respiré plus profond mais moins longtemps) et réserver les compensés à la respiration de l' $O_2$  (qui peut être longue). Tout cela se défend, et on retrouve ici l'influence du type de décompression choisie. Un profil à paliers profonds peut engendrer des temps de déco trimix/nitrox intermédiaire très supérieurs aux temps de déco oxygène.

Le choix d'une marque et d'un modèle peut aussi dépendre de facteurs extérieurs à leur technologie. Tant que l'on reste dans des gammes réputées, le risque d'être déçu est négligeable, mais le meilleur détendeur du monde ne sert plus à grand chose lorsque sa membrane est percée ou que son siège fuit. Les détendeurs obéissant comme le reste de l'équipement à la Loi de l'Emmerdement Maximum, ce n'est pas un mois avant la plongée que le joint fatal va lâcher... La proximité d'un revendeur compétent disposant sur stock du matériel nécessaire aux réparations est souvent un argument de première valeur.

Où alors il faut stocker soi-même. Une bonne idée pour s'épargner pléthore de pièces et d'outils spéciaux

consiste à standardiser le plus possible ses détendeurs, et à retenir de préférence une marque qui ne change pas l'intérieur de ses modèles à chaque salon.

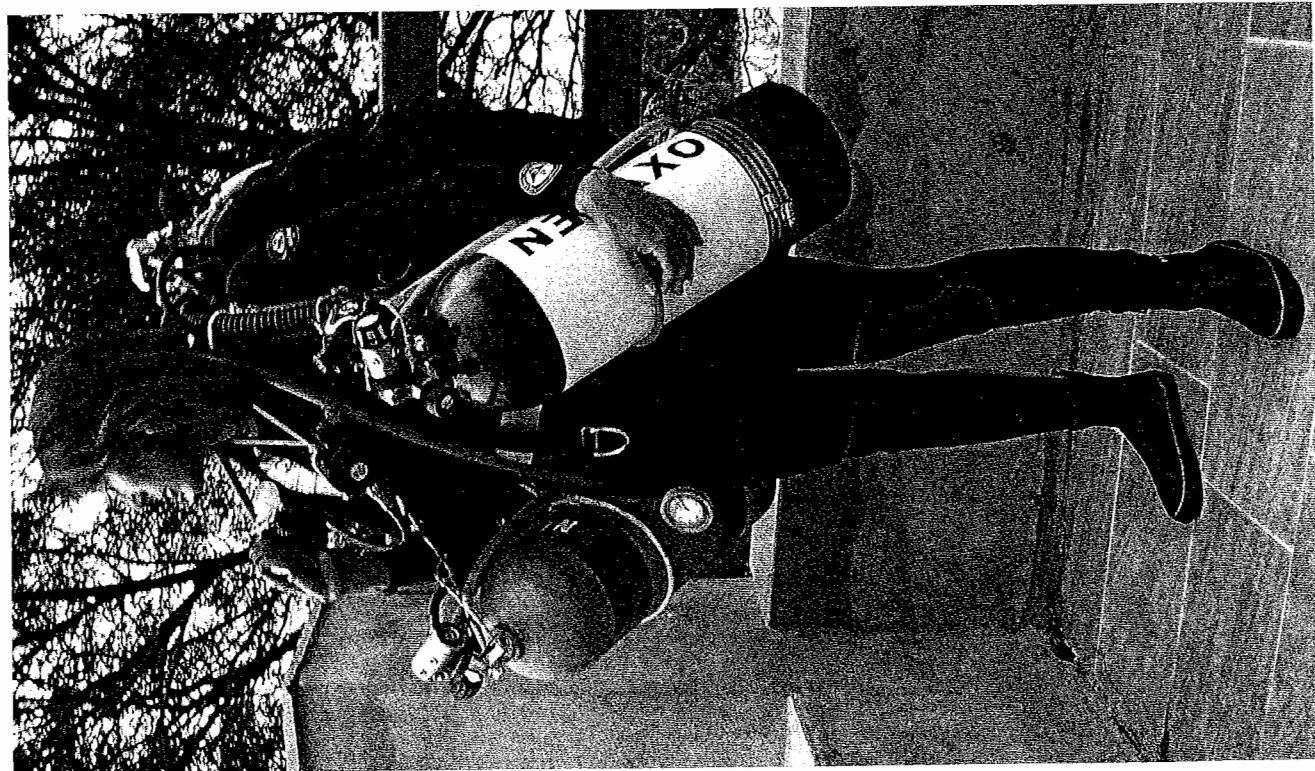
### ■ La configuration des détendeurs

#### Blocs principaux

La fixation semble une cause entendue, plongée technique rime avec DIN, en mer comme en spéléo. Il est vrai qu'il présente des avantages sur l'étrier: gain de volume et de poids (non négligeable lors du transport de cinq ou six détendeurs), joint captif à l'extrusion quasi impossible, absence de parties saillantes qu'un choc peut casser ou déplacer (en grotte, en épave ou même sur le bateau) et ne demandant qu'à capriurer fils d'Ariane, câbles électriques et filers, possibilité d'être monté directement sur les robinets  $O_2$ , résistance supérieure (300 bars). Quelques précautions d'emploi cependant: c'est un filerage, il faut l'engager correctement puis le visser et le ser- rer - modérément - à la main, jamais à l'aide d'un outil. De même faut-il le protéger des chocs lors du transport et le nettoyer régulièrement (ainsi que la partie femelle du robinet), le vinaigre d'alcool dissout très bien les dépôts calcaires qui s'accumulent dans les filers.

Bien que le DIN ait gagné du terrain, certains parties de la planète, principalement la zone américaine pour tout ce qui n'est pas tek ou spéléo, utilisent des robinetteries qui n'acceptent que les étriers. Des adaptateurs DIN/Int existent, dont il est prudent de se munir lorsqu'on voyage dans ces régions - même si l'argument gain de poids et de volume en prend un sérieux coup.

L'agencement des étages et des flexibles offre plus de variétés. Celui qui plonge seul en bi indépendant a moins de questions à se poser, il respire alternativement ses deux détendeurs et n'a personne avec qui partager de l'air. Il en va autrement des plongeurs en binôme. Issue de la



**Ci-contre :**  
tuyau long coincé par le  
bloc de déco.

spéléo (encore!), une technique s'est étendue à la mer: l'usage d'un détendeur monté sur un flexible d'environ deux mètres de long (souvent 2,10 mètres car cela correspond à 7 pieds).

A l'origine ce montage était destiné à partager l'air dans les galeries étroites où les plongeurs ne peuvent se tenir côte à côte. En mer cela permet de partager l'air dans un confort incomparable, même en présence de houle et de courant. A tel point que je l'utilise pour la décompression lors de plongées où une seule bouteille de déco suffit pour deux plongeurs. Sur le principe, l'intérêt du long tuyau est incontestable, il suffit d'essayer une fois pour être convaincu. Quelques divergences apparaissent sur les moyens de stocker le flexible et de partager l'air. Très souvent le tuyau est lové le long d'un bloc ou de la barre d'accouplement des robinets et maintenu en place à l'aide de bracers élastiques, son détendeur servant de secours. En cas de besoin, on tire sur le flexible pour le déployer et on donne le détendeur. Après cela, il est difficile de le ranger de nouveau. Le DIR prône une autre méthode: le flexible descend derrière l'épaule droite du plongeur entre son dos et la wing, longe sa hanche droite, croise sur sa poitrine en direction de son épaule gauche, passe derrière sa nuque et arrive à droite de ses lèvres en position standard. La boucle sur la hanche se bloque sous la ceinture du harnais ou s'accroche sous l'accu de la lampe, une poche ou la gaine du couteau. Le détendeur du long tuyau sera le principal, celui que le plongeur va respirer en permanence, et celui qu'il donnera en cas de besoin. Le détendeur de secours monté sur un flexible standard (ou plus court -de direct system) est porté sous le menton maintenu par un cordon élastique passé autour du cou. Cet agencement est moins encombrant et compliqué à mettre en oeuvre qu'il y paraît et fait preuve d'une efficacité remarquable. Quelqu'un en manque d'air, réel pas en exercice, va focaliser sur le détendeur

qu'il voit fonctionner, autant le lui donner. Pour cela, prendre son détendeur en main et incliner la tête permet de disposer de près d'un mètre cinquante de tuyau, le décrocher de la ceinture octroie une longueur supplémentaire. Pendant ce temps, il a suffi de mettre en bouche le détendeur porté sous le menton (et qu'on est certain de trouver là). Rapide, sûr et confortable. Bien entendu, le tuyau long est la dernière pièce d'équipement à installer -coincé sous le flexible de la combinaison sèche il ne serait d'aucune utilité (et lors de la fixation d'un bloc déco sous le bras droit, il peut facilement se retrouver prisonnier - cf. photo). Un mousqueton fixé au deuxième étage permet de l'accrocher à un anneau lorsqu'on doit le quitter - respiration alternée et/ou prise des gaz de déco. Le flexible long peut être déployé puis rangé, ce qui évite de passer sa déco avec un détendeur dans les palmes. Des plongeurs reprochent à la longueur du tuyau de durcir l'inspiration. Il est incontestable qu'une grande longueur induit un freinage des gaz, mais un détendeur de qualité s'en absout facilement. Certains modèles présentent des sorties MP « boostées », un flexible long est à brancher en priorité sur celles-ci. On peut encore objecter que plus un tuyau est long plus il présente de risques de se rompre ou de s'accrocher quelque part. Une fois de plus, il faut choisir...

Quelques divergences encore sur la position des premiers-étages, le principal (celui qu'on respire) à droite ou à gauche (gauche = côté cœur du plongeur)? Les discussions sont après et les arguments rarement éblouissants. Un cependant: sur les bi accouplés, le volant de conservation du robinet gauche peut être fermé par une succession de contacts contre une paroi lors du déplacement (grotte ou épave). Si le détendeur de secours est monté sur ce bloc, on peut le trouver fermé au moment où on en a besoin. Si au contraire le principal est monté à gauche, on s'apercevra de cette fermeture et



on pourra y remédier (le cas de figure peut se présenter sur un bi indépendant équipé d'un robinet « gauche », mais comme on respire alternativement on s'en rend compte). A quoi d'autres répondent qu'un bon plongeur s'astreint à manipuler fréquemment les robinets de ses blocs, ne serait-ce que pour être sûr de pouvoir les fermer en cas de fuite, et qu'ainsi il s'apercevra de la fermeture de l'un d'eux. Bon... Pour ma part, je dois dire que je ne fais pas tellement attention à la position des étages même en bi relié, mais que je m'attache à rouler les flexibles de manière à ce qu'ils dégagent les volants de conservation – même en mono bouteille. Les arceaux de protection en usage en spéléo, s'ils protègent efficacement la robinetterie des heurts contre la roche ou la tôle, gênent parfois l'accès aux volants de conservation.

Le matériau des volants a également une importance, les plastiques souples résistent mieux que les durs qui peuvent se briser lors d'un choc (sous l'eau comme hors de l'eau). Malheureusement, le choix des volants est rarement très étoffé...

### Blocs de déco

Là encore triomphe du DIN. Un étrier peu bien entendu être utilisé, mais lorsqu'on embarque plusieurs blocs de déco, il est préférable que les fixations soient identiques sur tous les blocs afin de pouvoir intervenir un détendeur sous l'eau. Tout DIN, ou tout étrier. De même, rien n'interdit de monter deux premiers-étages et deux deuxièmes-étages sur chaque bouteille, nul doute que la gestion de tout ce bazar serait intéressante à suivre... de loin!

**Dernière minute:** une nouvelle norme vient d'entrer en vigueur, nommée EN144-3, qui prévoit l'impossibilité de monter un détendeur air sur une bouteille nitrox et inversement. Cela pour notre plus grande sécurité, bien sûr, et non, comme pourrait l'imaginer les esprits chagrins, pour ouvrir un marché juteux à quelques fabricants.

de trouver la plus confortable en fonction de sa taille, du nombre et du type de bouteilles embarquées.

Pour maintenir le flexible rangé contre son bloc, on utilise de la chambre à air, du tube chirurgical ou du cordon élastique. La chambre à air est inépuisable et gratuite mais vieillit assez vite et, parce qu'elle est fine, devient agaçante à saisir lorsque le flexible ne l'écarte plus du bloc (même à main nue!). Une boucle nouée aide à la tirer (pour ranger un détendeur après emploi). Le tube chirurgical est moins abondant que la chambre à air, (un peu) plus onéreux et ne vieillit guère mieux. Lorsque la pression ne l'écrase pas il a tendance à rouler le long du bloc, et lorsqu'elle l'écrase il devient difficile à saisir. Un nœud volumineux aide à sa préhension et freine sa rotation. Le cordon élastique n'est pas toujours aisé à trouver dans les tailles qui nous intéressent, il ne mettra cependant pas le budget en péril, d'autant qu'il supporte légèrement l'eau de mer et les UV. La pression ne le déforme pas, il reste facile à saisir mais garde sa tendance à rouler. Là encore, un nœud de pêcheur limite sa rotation. En dehors de quelques magasins spécialisés dans la plongée tek, on trouve du cordon élastique (bungee ou elastic shock cord) chez les shipchangers, les selleries marine, les fabricants de bâches (bateau, camion ou industrie), les magasins de bricolage.

Inutile de bloquer la liaison flexible/deuxième étage à la pince ou à la torche ne s'en trouvera pas améliorée. En revanche, serrée à la main elle peut être desserrée à la main, et un deuxième étage défectueux peut être remplacé par un autre en plongée. La plupart des détendeurs ont des liaisons identiques, mais certaines marques emploient des montages qui leur sont propres. Là encore, une standardisation bien pensée épargne quelques crises de nerfs. Dans le

même ordre d'idée, un deuxième étage obstrué par de la vase ou du sable peut se nettoyer sous l'eau s'il se démonte sans outil (lorsqu'on porte des gants trois doigts, démonter un détendeur, même une « grosse gamelle », demande tout de même une certaine dextérité).

Un mousqueton lié au deuxième-étage permet de l'accrocher près de la robinetterie, cette liaison peut être fixe (collier plastique) ou amovible (anneau de cordon élastique). J'utilise également des fixations destinées aux octopus et qui couvrent l'embout buccal. Ces capuchons restent sur le

Ci-contre :  
Agencement d'ur  
déco/réalis.





bloc, ils peuvent en outre limiter l'entrée de sable et la mise en débit continu, mais repositionner le détendeur est plus difficile et certains embouts buccaux s'y adaptent mal.

Des plongeurs emballent leur détendeur O<sub>2</sub> dans une pochette pour être sûr de ne pas respirer de l'oxygène par inadvertance.

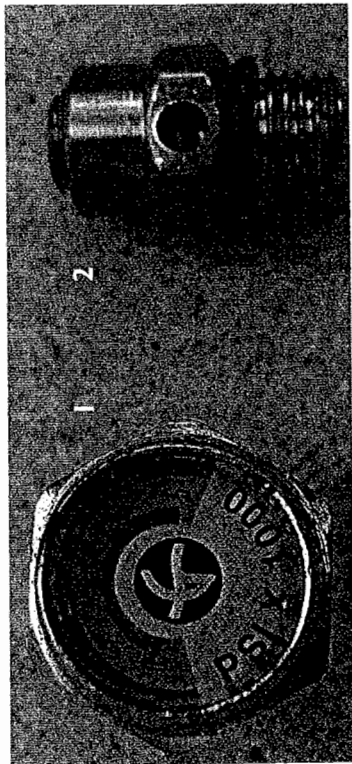
Équiper les détendeurs déco de manomètres classiques est possible bien que cela ajoute une longueur de flexible encombrante. Des tuyaux haute-pression long d'une quinzaine de centimètres permettent un montage plus discret. On peut laisser le flexible positionner naturellement le manomètre contre le bloc, la lecture se fait à l'envers, on peut courber le tuyau en U et fixer le mano près du robinet, il est alors plus lisible. Mais j'avoue que ce flexible cintré qui encaisse 200 bars me fait toujours un peu mal au coeur...

L'utilité même du manomètre est sujette à discussion. Si l'on n'a pas embarqué assez de gaz pour achever sa déco, ce n'est pas le manomètre qui va en ajouter. L'essentiel est de contrôler avant l'immersion que la pression prévue est bien là, ensuite, avec les blocs sous les yeux une fuite importante nécessitant d'interrompre la plongée ne pourrait passer inaperçue. Les mano boutons (port gauges) constituent une solution intermédiaire. Ces petits manomètres de

la taille d'un écrou de 14 se vissent directement sur la sortie HP du premier-étage. Leur encombrement est insignifiant et on parvient à les lire sous l'eau (parfois au prix de quelques acrobaties et avec une précision relative). Ils sont un peu moins cher que des mano classiques mais ne peuvent guère être employés qu'en déco (dans le dos il ne sont pas d'une grande utilité). J'utilise les trois méthodes, et j'avoue que je n'ai toujours pas réussi à me décider... Souvent j'emploie lors de la même plongée un mano bouton sur l'O<sub>2</sub>, un mano classique sur le nitrox et rien sur le trimix intermédiaire.

### Les blocs argon

Ils peuvent contenir de l'air, qui sera toujours plus isolant que le trimix, mais on entend par là blocs dédiés aux combinaisons sèches. N'alimentant qu'un inflateur, le premier-étage se trouve dans le cas d'un clapet amont, une augmentation de pression provoquera l'éclatement du flexible. On peut équiper ces blocs d'un premier-étage disposant d'un système de sécurité, mais ce sont souvent des détendeurs de haut de gamme, onéreux et aux performances sans rapport avec ce que l'on va leur demander. Une soupape de sécurité vissée sur une sortie MP d'un premier-étage non compensé est une solution plus logique, en tout cas plus économique.



entre :  
1° bouton.  
2° pape de sécurité  
(glabie).

La longueur du flexible sera fonction de la position du bloc, certaines marques (Scubapro) proposent des embouts direct-system pouvant équiper tous leurs flexibles MP (deuxième étage et direct-system), cela facilite la recherche de la longueur idéale. Le bloc lui-même peut se fixer sur une des bouteilles dorsales, le long de la plaque du harnais, à la ceinture ou dans une poche prévue à cet effet sur la cuisse de la combinaison.

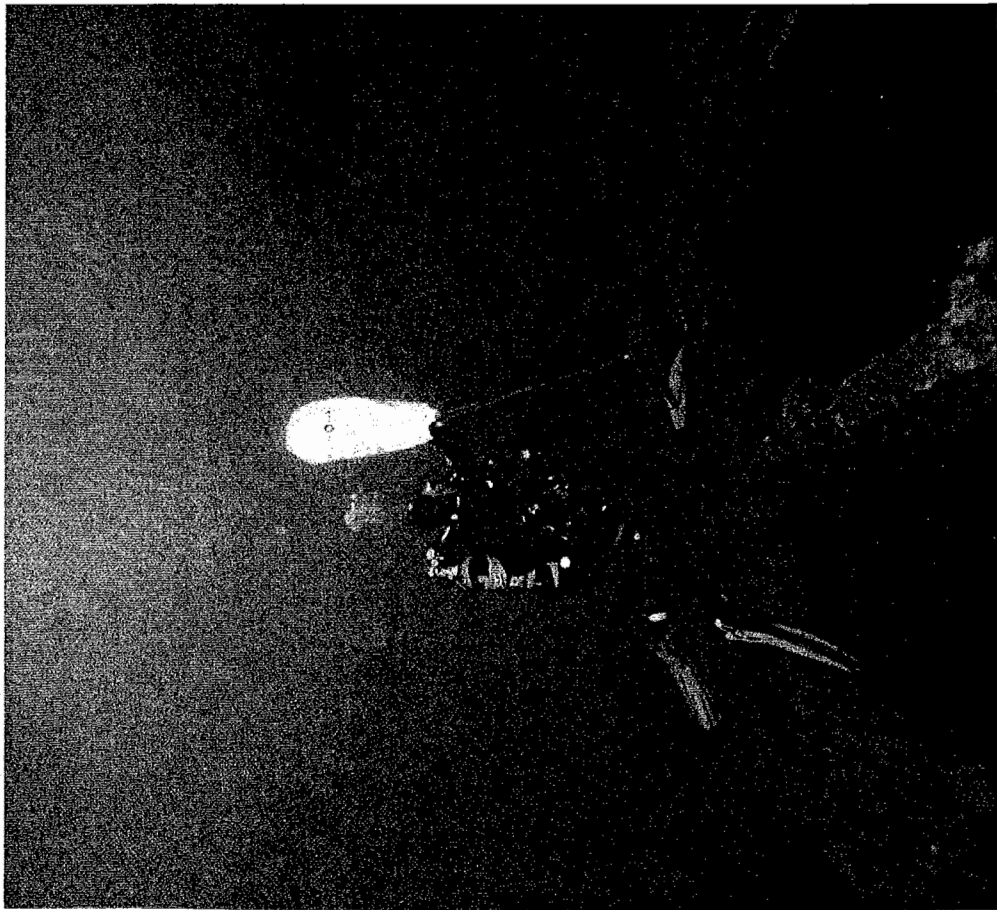
Bien sûr, mieux vaut soigneusement marquer un bloc argon contenant réellement de l'argon, sa confusion avec une bouteille contenant un gaz respirable pourrait être lourde de conséquence.

### Le marguilé

La bouteille reste sur le bateau ou la berge et le ou les deuxième-étages sont sous l'eau. La bouteille typique de ce montage est une B50 d'oxygène, bien qu'on puisse procéder de cette manière avec d'autres gaz. Le premier étage peut être un détendeur de plongée ou un manodétendeur de chalumeau. Il travaille à une pression ambiante inférieure à celle du deuxième-étage, et la longueur de la tuyauterie freine le flux, augmenter la moyenne pression pour conserver un confort respiratoire peut être intéressant. Si le deuxième étage travaille à 6 mètres l'augmentation théorique à apporter est de 0,6 bar, un peu plus pour compenser la tuyauterie. La plupart des détendeurs fonctionnent entre 9 et 10 bars, cela donne une nouvelle

MP de 10 à 11 bars. Avec un détendeur à membrane cela ne pose aucun problème à réaliser. Avec un détendeur à piston cela demande un démontage (et de vérifier que la fourchette de réglage autorisée permet la pression voulue). Avec un manodétendeur de chalumeau c'est très facile, s'il est d'un modèle capable de fournir une MP suffisante (ce ne le sont pas). Lorsque plusieurs plongeurs sont appelés à décompresser ensemble, le débit doit être adapté à cela et le premier étage choisi en conséquence. La tuyauterie et les raccords nécessaires au montage se trouvent chez les mêmes fournisseurs que pour la fabrication des lyres. Certains plongeurs utilisent la tuyauterie oxygène destinée aux chalumeaux, il est toutefois peu probable qu'elle soit homologuée « respirable ». La mise en débit continu d'un deuxième-étage est susceptible d'entraîner sérieusement la réserve de gaz, voire de la vider, surtout si personne ne reste à proximité de la bouteille durant la plongée. Une vanne montée sur le tuyau principal et actionnable sous l'eau résout ce problème, mais ne doit pas restreindre le flux de manière notable. Il existe des bagues anti débit continu qui s'intercalent entre le flexible et le deuxième-étage.

Vannes ou bagues placent de nouveau le flexible en situation de clapet amont, soupapes à prévoir (certaines bagues anti débit continu sont livrées avec).



**Ci-dessus :**  
parachutage  
de l'ancre

# Parachutes et moulinets

Outil indissociable du spéléo, le moulinet est un accessoire à peu près absent des bateaux de plongée, sauf des bateaux de plongée tek, où il rend tellement de services que le baptiser accessoire est lui rendre mauvaise justice.

Son rôle principal est l'envoi du parachute à grande profondeur. Les remontées dans le bleu sans point de repère sont aussi désagréables que difficiles à contrôler, or un mouillage ou un pendeur n'est pas toujours disponible, et quand il l'est on peut fort bien ne pas le retrouver; grâce au moulinet le parachutiste se lance de 60 mètres ou plus, un fil gradué permet de caler sa vitesse ascensionnelle, voire de parer à la défaillance des instruments, et le parachute signale très tôt la position du plongeur au bateau.

Rien que pour cela il est déjà indispensable, et on lui trouve d'autres usages.

Quand les conditions le permettent (courant), il peut jouer le rôle de pendeur: on fixe un parachute gonflé (ou une bouée), on détroule la longueur de fil nécessaire et on envoie tout par-dessus bord au point considéré (éventuellement

avec un plomb clipé au moulinet). Il ne reste plus qu'à descendre le long du fil. Et pourquoi pas à tracter l'ensemble derrière soi, c'est pratique lors des explorations où, faute de connaître l'aspect du fond, prévoir le chemin à suivre est difficile; le bateau sait ainsi toujours où sont les plongeurs.

Lors de plongées en visibilité réduite et/ou dans une zone que l'on ne connaît pas et/ou présentant des difficultés particulières le moulinet relié au mouillage, au pendeur ou à un point remarquable permet d'y revenir sans coups férir.

En cas de pénétration d'une épave, il retrouve son identité originelle: dévidoir du fil d'Ariane.

Lorsqu'une forte houle agite le mouillage ou le pendeur, le moulinet peut se transformer en Jon-line et assurer un palier plus confortable.

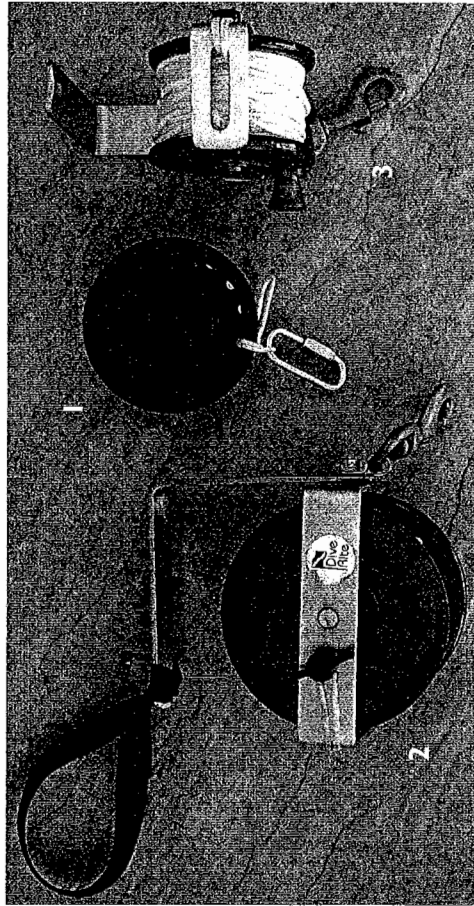
Quand un objet de valeur tombe à l'eau (l'ordinateur de plongée!) un moulinet permet une recherche intelligente (en effectuant un cerclage).

Si la situation l'impose, il permet de se longer à son compagnon de plongée.

Et enfin, il peut servir à tracter un

## Ci-dessous:

1. bobine.
2. primaire.
3. sécu.



Rapala entre Antigue et Barbude, au grand dam des barracudas — ou d'un marlin, on peut toujours y croire!

Avec la démocratisation de la plongée tek, de nombreux modèles sont apparus. Ceux que l'on déforme avec deux doigts peuvent rester sur l'égal du vendeur, ils sont à leur place. Un moulinet est un appareil à qui l'on demande un fonctionnement sans faille et que l'on traite en général fort mal, jeté dans l'eau de mer, traîné au fond, cogné contre les blocs, abandonné sur le pont du bateau, il doit être solide. Ses matériaux de base sont l'inox, l'aluminium anodisé, les polymères comme le Delrin.

Les contenances vont d'une quinzaine de mètres à plusieurs centaines de mètres. Et la capacité d'un moulinet doit bien sûr être... suffisante! Ce qui est affaire de compromis. Tracter un ensemble moulinet-parachute est envisageable jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 70 mètres, pour autant que le parachute ne soit pas trop volumineux (on se souvient de Moby Dick et des barils) et le fil pas trop épais. Au contraire, la pénétration d'une épave ou les remontées dans le bleu sont plus sûres et plus agréables avec un fil de diamètre supérieur. Quant aux coraux, ils tranchent aussi bien qu'une tôle aiguisée.

Gratuer rapidement un fil s'effectue à l'aide de deux perches (ou deux piquets ou deux arbres) distantes de la longueur voulues (3 m, 5 m, 10 m). Le fil est déroulé tendu d'une perche à l'autre, il suffit de passer un coup de feutre de chaque côté.

A bobine égale, plus un fil sera épais, moins il sera long... La plupart des moulinets sont proposés en plusieurs diamètres de fil, environ 1,8 mm, 2 mm, plus rarement 2,5 et 3. Une bobine qui contient environ 250 mètres de 1,8 mm contiendra environ 170 mètres de 2 mm, 130 de 2,5 et 80 de 3. Les modèles *explo spéléo* sont volumineux, mais pas à dédaigner lorsqu'on a besoin à la fois d'une

grande longueur et d'un gros diamètre. Sinon, une bobine contenant une centaine de mètres de 1,8 mm (moulinet primaire) est capable de faire face à beaucoup de situations. Il est bien sûr possible d'emporter plusieurs moulinets.

Afin de ne pas libérer son fil sans y être invitée, la bobine doit être équipée d'un système de verrouillage, si elle dispose également d'un frein, c'est parfait. Un parachute, surtout un grand parachute saucisse remonte irrégulièrement et stoppe brutalement en atteignant la surface (à moins qu'avec beaucoup d'hélium...), c'est au cours de ces changements de régime que risque de s'échapper la spire fatale, celle qui va embarquer le moulinet (et le plongeur qui aura eu l'idée idiote de s'y attacher). Lorsqu'on déroule le fil derrière soi on peut contrôler la rotation de la bobine avec le doigt, lorsqu'on envoie un parachute on peut faire de même, mais c'est tenir son doigt sur une pièce dont on ne maîtrise pas la rotation et qui va tourner très vite. Un frein épargne cette manœuvre, il évite également l'embrouille au moment de l'installation du parachute, quand il faut une main pour le moulinet, une pour le mousqueton et une pour le parachute, mais il doit offrir un réglage précis et surtout régulier, si c'est un modèle *un tour je lâche deux tours je coince*, mieux vaut encore risquer son index. Autre formule proposée en remplacement ou addition du frein pour éviter les perruques : le capotage de la bobine. Nul doute que cela limite le foisonnement des spires, mais si une boucle capture la bobine, nul doute que cela compliquera grandement sa libération (qui suppose d'avoir encore le moulinet en main). J'avais un moulinet capoté qui donnait satisfaction, puis j'ai dû ôter le capotage qui se fendillait au niveau des fixations, le moulinet a continué de fonctionner la même satisfaction. Si c'était à

refaire, je choiserais un modèle dont la bobine est démontable sous l'eau — sans outils s'entend. Faute de pouvoir la désassembler, il est douteux de venir à bout d'une bonne perruque en plongée autrement qu'au couteau.

La majorité des moulinets sont conçus pour les droitiers, quelques marques offrent cependant une disposition de poignée ambidextre ou une possibilité de réglage.

Les manivelles sont souvent posées en deux tailles, eau chaude eau froide, selon qu'elles sont destinées à être actionnées à main nue ou avec des gants épais.

Il n'est pas impératif de vider et sécher le fil après chaque utilisation, mais il est en revanche déconseillé de laisser sécher sur le moulinet un fil dont une grande longueur a été rembobinée tendue, surtout lorsqu'il s'agit d'un fil neuf. Le rétreint dû au séchage exerce une force considérable; pour l'avoir négligé deux de mes bobines présentées comme *virtuellement incassables* ont bel et bien cassé.

Mieux vaut garnir les moulinets à spires croisées, lorsqu'on s'échine à un bobinage parallèle une spire risque de glisser sous une autre, qui aura toutes les chances de coincer lorsqu'on enverra le parachute, entraînant le moulinet à sa suite. Mieux vaut également ne pas les remplir à ras-bord, sinon, tout pêcheur au lancer en a fait l'expérience, c'est la perruque automatique, avant même que la cuiller ait touché l'eau.

Un arêteoir à l'extrémité du fil aide à sa préhension et permet de rembobiner sans crainte qu'elle sorte du guide.

On trouve de petites bobines simples (*spool* ou *finger-spool*) sans poignée ni manivelle. Pour les dérouler il suffit de les maintenir entre le pouce et l'index, l'absence d'accessoires rend les bobines (presque) impossibles. Leurs capacités (30/40 m maxi) limitent les profondeurs d'utilisation, mais elles restent un excellent moyen

de secours en toutes circonstances. Nombre de plongeurs ont d'ailleurs utilisé des bobines avant qu'elles s'appellent *finger-spool*, en récupérant celles des fusils de chasse sous-marine par exemple.

Tous les moulinets étant équipés d'un mousqueton, il est aisé de les fixer à un D-ring de ceinture ou de bretelle ou à un anneau monté sur un bloc. L'essentiel est qu'ils soient accessibles sans risquer d'accrocher quelque chose (épave).

Une dragonne découpée dans une chambre à air et nouée à la poignée permet de lâcher le moulinet sans le perdre (mieux vaut ne pas y passer la main lors du lancement du parachute).

A l'autre bout du moulinet on trouve le parachute, il en existe de nombreux modèles, levage, paliers (poître), signalisation (tube). Les parachutes de levage peuvent être utilisés, mais ils sont lourds, encombrants et pas réellement adaptés. Ceux de paliers et de signalisation sont de plus en plus fréquemment proposés en version fermée. Dans ces modèles, l'air qui est introduit ne peut ressortir qu'en cas de surpression et par une soupape de sécurité du type purge de stab. Ainsi, on peut insuffler un minimum d'air dans le parachute, son ascension sera moins foudroyante, il ne perdra pas de gaz en route (sauf celui nécessaire), arrivera gonflé en surface et y demeurera malgré la houle et le vent. Une fois expédié, on ne s'en occupe plus, et c'est ma foi bien confortable.

Les anti-retours sont réalisés à l'aide de becs de canard ou de systèmes de contre-cône et de clapet. On trouve aussi des enveloppes entièrement soudées alimentées par des valves pneumatiques une voie. La plupart se gonflent de manière classique par le détendeur, d'autres ont une prise mâle de direct-system (non verrouillable bien sûr), d'autres encore intègrent une toute petite bouteille. L'inflation

par flexible de direct-system peut sembler curieuse, elle est en fait très pratique: on tient la connexion et le parachute de la même main et l'injection de l'air est plus facile à doser qu'avec un détendeur.

La contrainte est de devoir débrancher son direct system ou de monter un autre flexible pour cet usage. Les vannes une voie sont en outre à surveiller, surtout en mer où les dépôts de sel finissent par nuire à l'étanchéité (rinçage eau douce par bouteille séparée est également très pratique, la contrainte est là le remplissage de la bouteille, et son entretien (les blocs des Fenzy ont laissé des souvenirs...).

Lorsque l'on va passer une heure ou deux suspendu à un fil, il est agréable de pouvoir s'y suspendre vraiment. Bien qu'un plongeur s'attache à « peser » le moins possible, le parachute doit offrir une résistance suffisante, d'autant que le plongeur peut subir une perte de flottabilité accidentelle. Les parachutes de forme poire opposent le plus de résistance à

l'enfoncement, en revanche, bas sur l'eau, ils sont moins visibles que les saucisses d'un mètre cinquante à deux mètres. Les poires offrent aussi des volumes plus importants, 120 litres ou plus, mais les saucisses deviennent maintenant disponibles dans des volumes sérieux de l'ordre de 50 litres. Les tubes ont toutefois tendance à remonter en feuille morte (une feuille morte qui remonterait...) et cela de manière d'autant plus marquée qu'ils sont longs, une raison supplémentaire de les choisir fermés et de contrôler son moulinet.

Il existe de petits parachutes fermés, de forme saucisse long d'un mètre environ. Ce sont d'excellents moyens de signalisation, pliés ils n'occupent pas de place et gonflés ils n'opposent qu'une surface modérée à la traction ou ne tirent pas trop lors des dérivantes, en revanche, inutile d'espérer s'appuyer sur eux lors des papiers, leurs volumes de quelques litres ne le permettent pas. De même, remorqués à contre-courant ils disparaissent facilement sous la surface, et à l'œil du bateau.

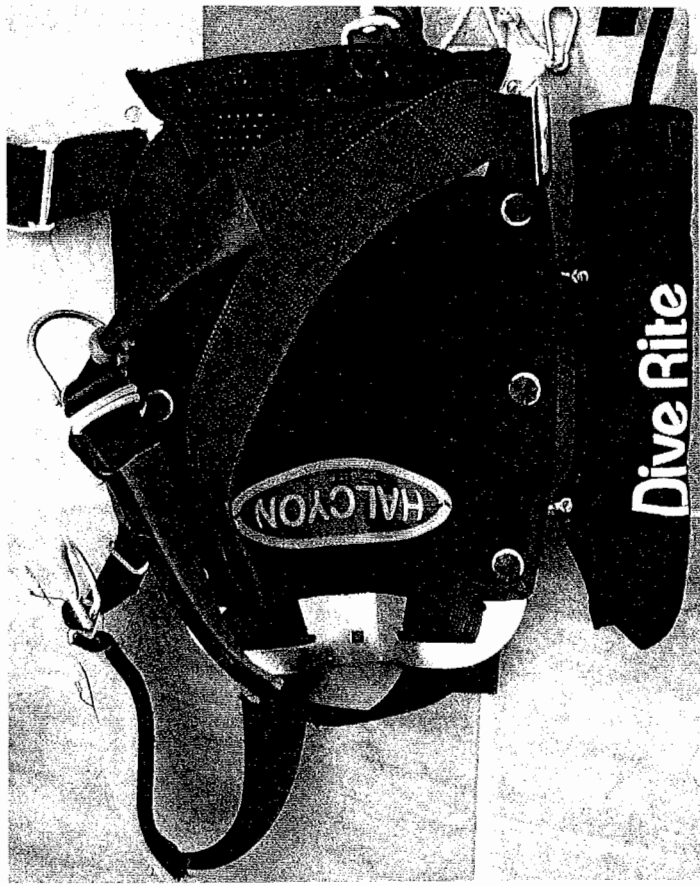
Sous l'eau, on peut embarquer le parachute en le fixant sur un bloc à l'aide de bracelets élastiques. Quelques marques (Halcyon, Dive System) proposent un montage astucieux, une pochette occupant l'espace inutilisé entre le dos du plongeur et la plaque. D'autres livrent leurs parachutes dans un fourreau qui se clipse au harnais. On peut aussi dédier une poche au parachute. Des plongeurs relient à l'avance moulinet et parachute et fixent l'ensemble sur un bloc relais ou dorsal, cela épargne une manœuvre lors du lancement.

Lorsqu'on perd en partie ou en totalité son moyen d'équilibrage, on peut se tracter sur le parachute, un fil de bon diamètre et pas trop élastique est alors appréciable et les fortes poires sont meilleures à ce jeu-là que les tubes. Un parachute fermé

à la moindre créte. Le choix d'un modèle ou d'un autre s'effectue en fonction des risques des plongés pratiqués, mais il n'est pas inconcevable d'emporter deux parachutes, un de chaque type, cela répond également à la principale critique opposée aux parachutes fermés: si la source de surpression ne fonctionne pas, le parachute peut exploser à la remontée.

Pour la petite histoire, je n'ai eu qu'une fois besoin d'envoyer mon second parachute, c'était après que le premier avait été... happé par l'hélice du bateau de sécu! Avant que le fil soit coupé la traction m'avait fait exécuter une pirouette du plus bel effet. Depuis, je ne tiens plus le moulinet que du bout des doigts et ne passe la main dans la dragonne qu'en quelques occasions particulières.

Ci-dessous  
Support par





# Ordinateurs Tables et Couteaux

## Ordinateurs immergeables

Voici quelques années, le paragraphe n'aurait occupé qu'une ligne, voire qu'un mot :

*néant*

Alors que l'on compte désormais une dizaine d'appareils capables de gérer plusieurs mélanges composés d'azote et d'oxygène. Trois modèles, le Nitrek He de Dive Rite, l'Explorer d'HydroSpace Engineering (ainsi que son homologue de chez Abyssal Diving) et le VR3 de Delta P Technology gèrent en outre l'hélium. Ces derniers prennent en compte sept à dix mélanges différents par plongée, et peuvent proposer jusqu'à dix algorithmes au choix et une option circuit fermé (recycleur) avec ou sans sonde oxygène. L'Explorer est pour l'instant le seul à offrir un algorithme dynamique, le RGBM de Bruce Wienke.

Leur fonctionnement est simple, similaire aux logiciels de déco. On entre dans la mémoire de l'appareil tous les gaz que l'on va utiliser au cours de la plongée, puis on sélectionne le gaz que l'on s'apprête à respirer et on se met à l'eau, au fur et à mesure que l'on change de mélange,

à la descente, au fond ou à la remontée, on l'indique à l'ordinateur qui recalcule la décompression en fonction du nouveau gaz. Certains ordinateurs proposent même une détection automatique du gaz respiré à l'aide d'un émetteur fixé sur les blocs.

Si les modèles hélium restent encore très onéreux, entre 1100 et 1500 Euro, l'arrivée sur le marché des ordinateurs multigaz d'une marque « grand public » comme Suunto montre l'intérêt des fabricants et surtout annonce la baisse des tarifs. Le Suunto Vtyec (trois gaz composés d'azote et d'oxygène allant de l'air à l'O<sub>2</sub>) est proposé à environ 580 euro.

Uwatec propose un modèle original, l'AirZ O<sub>2</sub>, qui, couplé par liaison sans fil à un analyseur d'O<sub>2</sub> immergeable nommé Oxy<sub>2</sub>, suit la pO<sub>2</sub> effectivement respirée dans un recycleur fermé et adapte son calcul en conséquence. Non couplé à l'Oxy<sub>2</sub>, l'AirZ O<sub>2</sub> est un ordinateur air/nitrox classique.

Peut-on faire confiance à ces appareils? Ils ne sont pas encore employés à grande échelle, alors comment répondre à cela sinon en disant que... les plongeurs qui les utilisent leur font confiance! Les

ou de l'O<sub>2</sub>. Lorsque rien d'extérieur n'interfère, froid ou autonomie, les immersions peuvent dépasser 90 minutes suivant des profils irréalistes autrement - du moins sans paliers fixes interminables. Sur ce genre de plongées, les différences entre un ordinateur multigaz et un ordinateur air sont impressionnantes, et elles impressionnent vraiment, au sens propre, comme pouvaient impressionner les premiers ordinateurs air lorsqu'ils n'indiquaient aucun palier alors que les « bonnes vieilles » tables donnaient plus de trente minutes.

Bien entendu, toutes les réserves applicables aux ordinateurs immergeables air sont applicable aux ordinateurs multigaz, et ce d'autant que les immersions sont plus profondes et/ou plus longues. Un ordinateur ne dispense pas de se servir sa tête, bien au contraire.

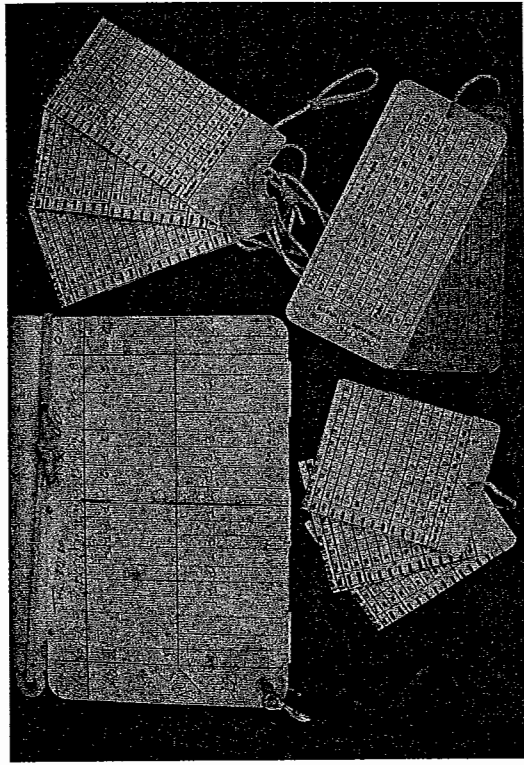
## Les tables

Les tables éditées à l'écran peuvent être reproduites à la main sur une ardoise, certaines disposent de plusieurs « feuillets » à cet effet, mais c'est un peu fastidieux et encombrant. On peut les

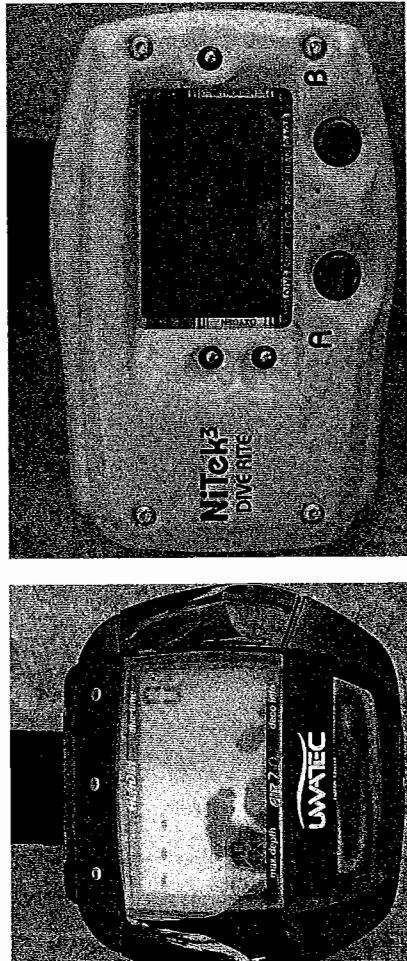
algorithmes sont pour la plupart identiques ou très proches de ceux que l'on peut faire tourner sur un ordinateur de bureau. Si l'on effectue sous l'eau le même profil qu'à l'écran, une plongée carrée sur épave par exemple, les différences de paliers seront très faibles - à ceci près que peu d'ordinateurs immergeables intègrent les paliers profonds mais que leur possibilité de changer de mélange sous l'eau offre plus de souplesse face aux imprévus. La question est plutôt de savoir si l'on veut (peut) dépenser plus de 1000 Euro pour obtenir à peu de chose près ce que l'on obtient gratuitement sur l'Internet. La réponse dépend de ses moyens, et du type de plongée que l'on pratique.

Pour ma part, j'emploie des tables tirées de logiciels tournant sur PC lors des plongées profondes trimix qui sont en général des plongées carrées (on dirait plutôt dire triangulaire). Et un ordinateur trois mélanges (O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>) pour les plongées à niveaux multiples. L'archétype en étant le récif tropical s'étagant de quelques mètres sous la surface à plusieurs dizaines voire centaines de mètres de fond et parcouru avec de l'air, puis du nitrox 40, puis du nitrox 70

Ci-contre: Tables et plaquet



Ci-dessous: ordinateurs multigaz





imprimer sur papier, les découper à la bonne mesure et les faire plastifier. On peut également imprimer sur des plastiques teintés et/ou autocollants directement utilisables, il faut les trouver.

J'imprime les miennes sur des feuilles plastiques transparentes, colle au verso du Vénilia blanc, jaune ou bleu puis découpe à la taille voulue. Les matériaux sont disponibles partout, les opérations sont réduites et l'impression résiste à de multiples immersions (du moins les impressions laser, je n'ai jamais essayé le jet d'encre).

La taille modeste des tables obtenues permet de ne pas hésiter à en emporter deux jeux couvrant un maximum de situations, plus fond, plus long, perte de mélanges, etc.

## Couteaux

« L'expérience d'un plongeur est inversement proportionnelle à la longueur de son couteau. »

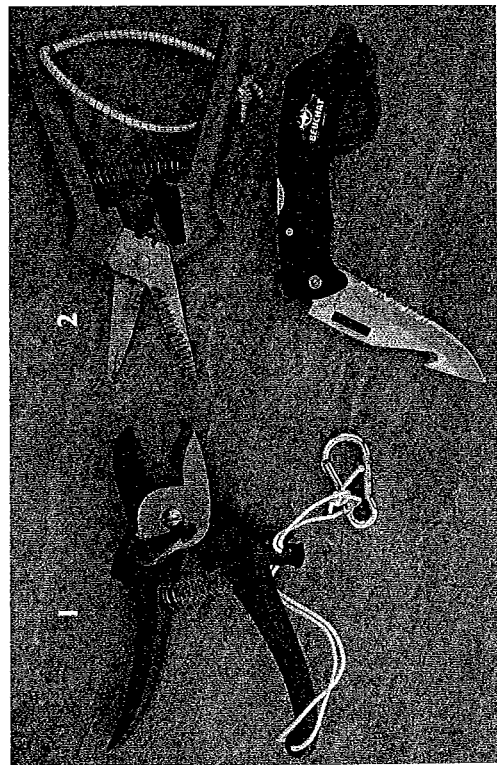
Forts de ce principe, nombre de bébés plongeurs clament à tout vent qu'il y a longtemps qu'ils n'emportent plus de couteaux. Grand bien leur fasse. Mais pour ceux qui, ni Rambo ni naïfs, tiennent

avant tout à ne pas finir prisonniers d'un filet ou d'un câble électrique, un instrument de coupe est indispensable.

Certes, une machette est inutile. Les sécateurs eux font leurs preuves en spéléo. Rien de mieux pour couper d'une seule main un fil détendu. Les modèles à enclume (une lame est aiguisée et tranchante, l'autre qui lui est opposée est plate et sert d'appui) sont les plus efficaces, un sécateur à lames croisées (type ciseau) laisse souvent passer le fil entre les deux lames sans le couper. Les fils métalliques émoussent rapidement les tranchants, un petit coup de pierre à eau leur redonne une nouvelle jeunesse. On trouve des sécateurs en acier inox (et des pierres à aiguiser) dans les rayons jardinage et de bricolage.

Si l'on doit couper des orins de forts diamètres, un sécateur n'est pas l'outil idéal (à moins d'être de taille adaptée). Un couteau à lame crantée lui est supérieur, qui, s'il dispose d'une extrémité plate et d'un démanilleur, peut rendre de nombreux services, notamment lors de l'installation ou de la récupération un mouillage immergé.

Faut-il emmener un couteau et un sécateur? Pourquoi pas, les couteaux à



Ci-contre :  
1. Lame enclume.  
2. Lames croisées

lame repliable occupent peu place, mais une fois de plus ce sont les réalités des plongées qui dictent l'outil à privilégier.

Un autre appareil est parfois proposé, le *z-knife*, inspiré des instruments en forme de crochet qu'utilisent les parachutistes pour se dégager des suspentes. Un *z-knife* n'a pas son pareil pour trancher des fils à la volée, en dehors de cet usage il n'a guère d'emplois.

L'intérêt d'un instrument de coupe est d'être facilement accessible, une gaine de mollet ne l'est pas, surtout lorsqu'on évolue avec des blocs de déco. On peut fixer un couteau ou un sécateur sur l'avant bras, aux bretelles ou à la ceinture du harnais à l'aide de bracelets de chambre à air et/ou de cordon élastique. Certains modèles sont livrés avec des gaines bien fichues qui peuvent également s'adapter au harnais.

Tous les couteaux, les sécateurs et les pièces inox en général rouillent plus ou moins en usage marin, c'est une oxydation de surface, un trempage dans un bain à base d'acide phosphorique (les dérouilleurs qu'on trouve en marine) leur rend très vite l'éclat du neuf.

Lorsqu'on plonge en eau douce, on ne pense pas ou on ne prend pas toujours au sérieux la menace que constituent les filets de pêche, pourtant, un *grand pic* du Léman mesure « légalement » jusqu'à 120 mètres de long sur 20 mètres de haut. Belle toile d'araignée!

## Les combinaisons sèches

Les temps d'expositions et la température des eaux profondes en été comme en hiver (et pour certains plongeurs frileux de retour des tropiques l'hiver en Méditerranée commence le 16 août) imposent souvent l'emploi de combinaisons étanches.

Les principaux matériaux utilisés pour leur fabrication sont le néoprène et les toiles tri-laminées, plus rarement le caoutchouc vulcanisé et le nylon enduit. Néoprène et toiles ont chacun leurs partisans farouches – et leurs

détracteurs non moins farouches.

Facile à assembler, le néoprène épais (7 mm) permet des tarifs plus avantageux que les autres matériaux. Parce qu'il est élastique et naturellement isolant, il dispense de sous-vêtements coûteux, du moins dans les eaux raisonnablement froides, et autorise une coupe près du corps favorable à l'hydrodynamisme. En revanche, c'est un matériau qui travaille à la pression, comme dans le cas d'une combinaison humide pour ne pas flotter aux paliers il faut se plomber et la perte de volume en gonflant davantage. Le phénomène est d'autant plus sensible que les profondeurs sont grandes, le néoprène épais et sa surface importante. L'écrasement du néoprène lui fait également perdre de son pouvoir isolant. Par ailleurs, les cellules du matériau finissent par se rompre, principalement aux articulations, et laissent passer de l'humidité. Lorsqu'il est très longue à évacuer. Lorsqu'il est humide, le néoprène est quasiment impossible à réparer.

Les toiles tri-laminées (tri parce que trois couches, en général une feuille de butyle prise en sandwich entre deux couches de nylon) ont à l'origine été développées pour l'OTAN comme protection contre les substances chimiques. Le résultat est un produit léger, solide, peu sensible à l'environnement et facilement réparable. Il n'a par contre aucune élasticité et aucune qualité d'isolation, ce sont les sous-vêtements qui assurent la protection thermique. Le fait de devoir accepter ces sous-vêtements impose une coupe plus large, moins hydrodynamique. On peut adapter les sous vêtements aux températures rencontrées, et le vêtement ne subit pas de changement de volume quelle que soit la profondeur atteinte.

Un compromis entre les deux existe: le néoprène précomprimé. C'est un néoprène standard qui est artificiellement écrasé jusqu'à ne plus mesurer qu'environ 4 mm. Le résultat est un matériau plus souple que le tri-laminé, presque aussi solide lorsqu'il

est revêtu d'une couche protectrice efficace, plus isolant et plus lourd. Il est aussi beaucoup plus difficile à assembler que le néoprène ordinaire, les prix sont donc supérieurs aux toiles. Lorsque les sous-vêtements sont nécessaires, ils sont moins épais qu'avec une tri-laminée, la coupe peut-être plus hydrodynamique. Les changements de volume en profondeur sont faibles. Sa réparation impose également qu'il soit parfaitement sec.

Bien entendu, des variations sur le thème des matériaux sont possibles. Par exemple, une combinaison dont le bas est en néoprène et le haut en tri-laminée, ou bien à deux enveloppes : une intérieure en néoprène et une extérieure en lycra.

Personnellement, j'ai choisi une tri-laminée, en grande partie pour porter un sous-vêtement disposant d'un revêtement coupe-vent afin d'éviter sur le bateau la phase « petite tenue dans le blizzard ». C'est efficace, mais sous le soleil de midi mieux vaut ne pas trop s'agiter pour s'épargner un sauna...

Selon la combinaison et la température des eaux plongées, les types de sous-vêtements utilisables sont différents. Les matériaux et épaisseurs disponibles sont nombreux, du simple pyjama « triboélectrique » à la fourrure polaire multicouche la plus sophistiquée avec revêtement métallisé radiant. Certains, comme le *Thinsulate*, présentent l'avantage d'être hydrophobes, ils repoussent l'eau et même en cas d'inondation de la combinaison gardent une part d'isolation (mais ils aiment l'huile, que véhicule la transpiration, et demandent à être nettoyés régulièrement suivant la méthode préconisée par leur fabricant). Les tarifs varient eux aussi considérablement, les hauts de gamme dépassent le prix d'une combinaison humide de bonne qualité. D'une manière générale, les vêtements d'une pièce avec élastiques de reprise sous les talons et les poignes sont préférables,

ils restent en place lorsqu'on enfle la combinaison et ne tirebouffonnent pas durant le palmage. Il est bien sûr possible de porter plusieurs sous-vêtements l'un sur l'autre, c'est le principe du multicouche utilisé en montagne (on retrouve d'ailleurs les mêmes matériaux). Mais contrairement à la montagne la dernière couche n'est pas respirante, c'est la combinaison, contre laquelle la transpiration du corps condense, il importe de choisir des matériaux qui la garderont aussi éloignée que possible de la peau. Les fibres naturelles ne sont pas les meilleures à ce jeu-là, le cocon par exemple peut devenir une véritable horreur.

Les fermetures Éclair sont les pièces maîtresses des combinaisons. Il existe des modèles *travers de poitrine* ou *tour de cou* qui permettent à un plongeur de s'équiper seul. La majorité reste cependant située dans le dos d'une épaule à l'autre et nécessite l'aide d'un tiers pour être manœuvrée. A moins d'utiliser la méthode du clou planté à la bonne hauteur, mais en prenant garde de ne pas coincer les sous-vêtements dans la fermeture...

Pour demeurer étanches les fermetures doivent être l'objet de toutes les attentions : ne pas les plier, les protéger du sable, les rincer soigneusement, les enduire régulièrement de paraffine, de cire ou de la graisse adaptée (selon les préconisations du fabricant). Une fermeture étanche coûte cher et son échange demande l'intervention d'un professionnel, raisons supplémentaires de la soigner.

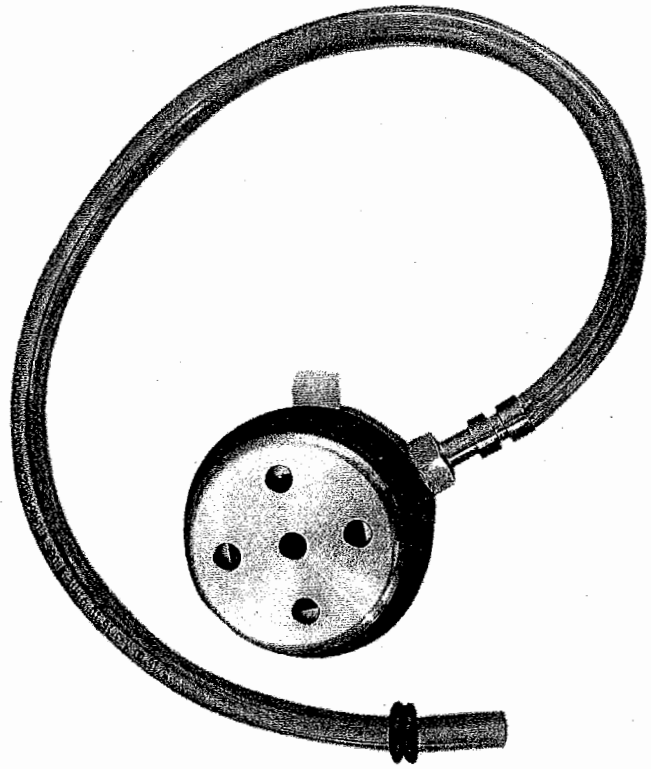
Le confort thermique qu'apportent les combinaisons sèches ne supprime pas la diurèse, qui est également une réaction du corps à l'augmentation de pression. Et là, quand il faut y aller... on ne peut pas y aller ! Lors de longues immersions c'est un problème qui peut devenir pénible. Quelques solutions existent pour y remédier. Ne pas boire avant la plongée est la plus mauvaise, la déshydratation est un facteur d'accidents de

personnes immobilisées sur un lit, peu probable que cela puisse résister au palmage.

L'utilisation d'une combinaison sèche n'est pas une science spatiale mais nécessite tout de même un apprentissage, contrairement à une combinaison humide qui s'enfile et puis s'oublie, c'est un équipement qui va requérir attention et manipulations. On peut apprendre seul (en évitant peut-être un premier essai par 90 mètres de fond et trois blocs autour du ventre !) ou suivre une formation, la plupart des centres en proposent désormais. Deux ouvrages sont en outre consacrés aux combinaisons sèches et à leur usage :

*Costumes secs, une autre manière de plonger*, de Jean-Claude Taymans aux éditions Fun

*Dry Suit Diving - a guide to diving dry*, de Steve Barsky, Dick Long et Bob Stinton aux éditions Hammerhead Press



Ci-contre :  
L'Urnator.

Ci-contre :  
Poignée main-libre



## Les Lampes

Elles ne sont pas absolument indispensables, évoluer en éclairage naturel dans la zone crépusculaire a même beaucoup de charme. Mais tout le monde ne le goûte pas, et puis, dès que l'on veut observer le détail d'une faille, d'un poisson ou d'une gorgone il faut une lampe. Sans parler des épaves, où la question est de savoir s'il en faut deux ou trois.

Quelques petites lampes à piles encassent remarquablement la pression (celles actionnées par rotation de l'optique sont préférables, un interrupteur à axe traversant est source d'entrées d'eau), mais dans l'ambiance entre chien et loup des profondeurs leur lumière est insignifiante. Elles restent de remarquables lampes de secours lors des pénétrations d'épaves.

Pour être d'une quelconque utilité, la lampe principale doit être puissante -

50 W- et disposer d'environ une heure d'autonomie, elle a de fortes chances d'être encombrante. La solution vient (pour changer!) de la spéléo, avec des éclairages où ampoule et batterie rechargeable sont dissociées. L'une est tenue en main, l'autre accrochée aux blocs, à la plaque du harnais ou à la ceinture (où elle sert à retenir le flexible long). Des *poignées main libre* permettent même de disposer de ses doigts, la tête éclairante étant fixée sur le dos de la main (un bracelet de chambre à air peut faire office de poignée main libre du pauvre).

Voici plusieurs années sont apparues des ampoules à arc, dites HMI ou HID, qui n'ont pas de filament et offrent une lumière remarquable, proche de celle du soleil, tout en consommant beaucoup moins que les meilleures lampes halogènes. Inconvénient, un prix prohibitif qui réservait leur usage à quelques privilégiés ou aux professionnels (photo, vidéo).

Mais depuis environ deux ans, des constructeurs ont mis sur le marché des ensembles HID 10 W équivalent en prix à leur modèle halogène 20 W. Si le tarif est équivalent, les performances sont bien supérieures, une HID 10 W offre un éclairage plus efficace et de meilleures couleurs qu'une halogène de 50, et consomme comme une 10 W. Une batterie de 3 Ah procurera une autonomie utile de plus de deux heures, c'est presque la quadrature du cercle.

Quelques précautions d'emploi tout de même: les ampoules HID chauffent énormément, il est impératif de ne les allumer que sous l'eau et de faire en sorte qu'elles ne puissent être actionnées par inadvertance sur le bateau (ou dans la voiture), les risques d'incendie sont réels. Le mieux reste de les déconnecter dès la sortie de l'eau. Dépourvues de filament, elles sont plus résistantes aux chocs et durent plus longtemps que les halogènes, près de 1.100 heures, mais ne supportent pas les marches/arrêts successifs car elles ont besoin d'un temps de chauffe et d'un temps de refroidissement. Les fabricants préconisent un intervalle de cinq minutes entre une mise en route et une coupure et d'une minute entre un arrêt et une remise en route. J'ai pris l'habitude d'allumer la mienne au cours de la descente et de ne la couper qu'à la remontée. Etant donnée l'autonomie de ces lampes, ce n'est pas un problème (et c'est bien de cette manière que l'on procède en grotte).

Les HID émettent des rayons ultraviolets en quantité, diriger le faisceau lumineux sur l'œil de son compagnon de plongée peut lui occasionner de sérieux dégâts.

Certaines ampoules ne se détaillent pas de leur ballast (qui produit la haute tension nécessaire à l'arc) et leur remplacement impose de renvoyer la tête de lampe chez le fabricant, l'opération est alors très coûteuse. Les ampoules 10 W peuvent pour la plupart être remplacées par l'utilisateur.

Contrairement aux halogènes dont la lumière vire au jaune lorsque la tension

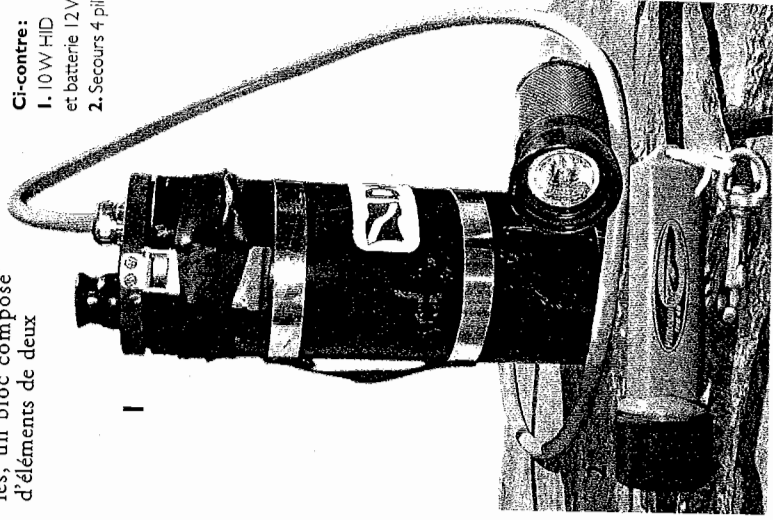
de la batterie arrive à la limite supportable, les HID conservent jusqu'au bout leur lumière blanche, elles peuvent donc essorer les batteries complètement et sans avertissement.

La batterie est sans doute l'élément le plus contraignant d'une lampe. Une ampoule fonctionnelle ou ne fonctionne pas, mais en dehors de ces deux états ne nécessite pas d'intervention. Au contraire, les batteries doivent être rechargées régulièrement, de ces opérations dépendent leurs performances et leur espérance de vie, une seule charge ou décharge manquée peut leur être fatale.

Deux grandes familles d'accumulateurs équipent principalement les lampes de plongée: les accus au plomb et les accus au nickel.

Les accus au plomb sont semblables aux batteries automobiles, un bloc composé d'éléments de deux

Ci-contre :  
1. 10 W HID  
et batterie 12 V 3  
2. Secours 4 piles



volts scellés et contenant de l'acide « gélifiée » pour accepter toutes les positions. Ils sont volumineux et lourds mais peu onéreux, facilement disponibles, peuvent faire office de lest, existent en de multiples formes et capacités et ne connaissent pas « d'effet mémoire ». Ils se chargent à tension constante, l'intensité diminuant au fur et à mesure de la charge (d'autres méthodes existent, rarement employées dans la gamme batterie plongée). Une batterie de 12V reçoit une tension de charge de 13,8 à 14,5 volts. Rechargée, sa tension s'établira aux environs de 12,8 à 13 volts (chargeur débranché). Le courant de charge moyen sera lui de 1/10 de la capacité de la batterie sans dépasser 0,3 fois cette capacité. Soit 1,4 ampères pour une batterie de 14 Ah sans dépasser 4,2 A. Une charge est terminée lorsqu'elle a restitué environ 110 % des ampères consommés. Cette surcharge est nécessaire pour retrouver (quasiement) la capacité nominale, les batteries au plomb l'encassent relativement bien, mais au-delà de 140 % l'acide peut être endommagé. En principe, les chargeurs détectent la pleine charge et adaptent leur courant en conséquence, en interrompant la charge ou en maintenant un très faible courant d'entretien. Une batterie qui chauffe est soit en surcharge soit endommagée (soit les deux). N'ayant à redouter aucun effet mémoire, il est inutile de décharger un accu au plomb avant de le recharger, au contraire, une décharge profonde le détruirait. La décharge profonde commence lorsque la tension de la batterie chute en dessous de 10,5 volts (soit un peu plus de 80 % de décharge), les dégâts sont irréversibles. Avec une ampoule halogène cette tension critique peut être appréciée car la lumière produite devient jaune et baisse d'intensité. Avec une ampoule HID rien n'indique que la tension critique est atteinte. Il faut donc connaître l'autonomie de sa batterie et rester en deçà. L'autonomie

de traction, les premières sont conçues pour délivrer une intensité importante sur une courte durée (actionner le démarreur), les secondes pour délivrer une intensité moindre sur un longue période (alimenter un appareillage) et supporter de nombreux cycles de charge et décharge (elles sont également appelées batteries de cyclages). Les batteries de traction seraient adaptées à l'alimentation d'une ampoule, mais sont inexistantes dans les faibles capacités qui nous occupent, celles qui s'en rapprochent le plus sont les batteries dites *stationnaires* (alimentation de blocs de secours). Les différences ne sont pas toujours claires dans les catalogues non spécialisés, cependant, lorsque sur la batterie figurent deux indications, une de capacité en Ah et une d'intensité en ampères, il s'agit d'une batterie de démarrage (le deuxième chiffre indique le courant instantané délivrable). Les capacités des divers types de batteries ne sont pas directement comparables, celles de démarrage sont données pour une décharge en 20 heures (C20), celles de traction pour une décharge en 5 heures (C5); une capacité à C5 est toujours plus faible qu'à C20. Les batteries stationnaires sont données à C10, sinon ce serait trop simple...

Les premiers accus au nickel disponibles furent les nickel cadmium ou Ni-Cd. D'une technologie complètement différente, l'électrolyte n'est plus acide, ce sont des éléments de 1,2 volts, il en faut donc 10 pour une batterie de 12V contre 6 pour une Ni-Cd 12 V sera pourtant plus léger qu'un au plomb, même à capacité supérieure. La plus petite taille des éléments autorisant un meilleur rangement, il sera aussi moins volumineux. Et il encassera un nombre de cycles supérieur. Son auto décharge sera également moindre. En revanche, il sera beaucoup plus cher. Les accus Ni-Cd sont en outre accusés de souffrir de *l'effet mémoire*: lorsque l'on utilise une

batterie, elle finit par « mémoriser » un seuil de décharge et refusera de délivrer plus d'énergie même si elle en contient encore. Pour palier à cela, il faut la décharger complètement avant chaque recharge. Il semble en fait qu'il y ait eu confusion de genre à propos de l'effet mémoire. Le phénomène a été relevé sur des satellites en orbite où les cycles de charge et de décharge étaient de durées parfaitement identiques car liées aux périodes de lumière et d'obscurité, les accumulateurs devenant impossibles à utiliser au-delà du seuil où ils avaient l'habitude d'être déchargés. Pour être confronté à ce type d'effet mémoire, il faudrait utiliser sa lampe toujours de la même manière, c'est peu probable. Mais un autre effet mémoire peut apparaître, lié cette fois à une modification de la structure de l'alliage Ni-Cd. Cela se produit lorsque l'accu reste connecté au chargeur, la charge terminée il reçoit un courant d'entretien qui dégrade peu à peu l'alliage. Le processus est lent, mais inévitable, ce nouvel alliage dégradé possède une tension inférieure à l'alliage d'origine, environ 1,07 volts/élément au lieu de 1,2 volts/élément. Tout se passe alors comme s'il y avait deux accumulateurs en un, chacun ayant une tension différente, la capacité totale de l'accu étant conservée. Lorsque l'accumulateur est mis en service, l'appareil connecté utilise d'abord la capacité à 1,2 volts, puis, lorsqu'elle est épuisée, utilise celle à 1,07 volts. Cette chute brutale de tension peut provoquer une modification du fonctionnement de certains appareils ou, comme elle est proche de la tension limite, entraîner rapidement l'intervention des systèmes anti-décharges qui coupent l'alimentation. Lorsqu'on remet la batterie en charge, on ne restitue que la capacité que l'on a ôtée et le problème perdure et s'amplifie. Heureusement, on peut inverser le processus et restituer une





capacité totale à 1,2 volts/élément en connectant l'accu à un système de décharge permettant d'atteindre sa tension limite, soit 1 volt/élément. Il n'est donc pas nécessaire de décharger systématiquement les packs Ni-Cd avant chaque charge. Suivant les fabricants, il est préconisé une à deux décharges totales ou profondes (jamais moins de 1 volt/élément) par an. La décharge profonde s'effectue à 1 volt/élément, mais dans les montages en série comprenant plus de 7 éléments, les recommandations constructeurs sont une valeur égale à  $(nb. d'éléments - 1) \times 1,2V$  soit pour un pack de 12 V :  $10 - 1 \times 1,2 = 10,8 volts$ . Un chiffre proche des batteries au plomb. Contrairement à ces dernières, il n'y a pas de dommages irréversibles systématiques. Un accu Ni-Cd peut encaisser moins de 1V, mais à partir de là sa tension va chuter rapidement à 0, or, dans un montage en série il y aura toujours un élément plus faible que les autres qui atteindra 0 avant les autres, sa polarité peut alors s'inverser, ce qui le détruirait (certains packs possèdent des diodes inter-éléments afin d'éviter l'inversion de polarité).

A l'inverse des batteries au plomb, la charge des Ni-Cd se fait à courant constant, c'est la tension qui va changer. Elle augmente, jusqu'à atteindre 1,4 volts/éléments, signe que la charge est terminée, si elle persiste, la tension chute. La fin de charge peut être déterminée par la mesure du seuil de tension maxi ou du basculement de tension. Si la charge est maintenue au même rythme, l'accu commence par chauffer, puis, si on insiste vraiment (plusieurs heures), à se détruire.

Différents types de charge sont utilisés, sous une tension minimum disponible de 1,45 volts/élément :

La charge lente, s'effectue à 1/20 du courant nominal. Elle peut être maintenue sans risque de chauffe ou de destruction des éléments.

La charge normale, s'effectue à 1/10 du courant nominal durant

14 heures environ pour une batterie vidée. Une surcharge de quelques heures est tolérable, au-delà d'une douzaine d'heures les éléments sont endommagés.

La charge accélérée, s'effectue à 1/5 du courant nominal pendant 6 à 7 heures maxi, une surcharge de plus de 3/4 d'heure cause des dégâts aux éléments.

La charge rapide, s'effectue au courant nominal pendant une heure maximum, la moindre surcharge détruit les éléments. Des accus spécifiques existent pour ce type de charge.

En dehors des charges lentes et à la rigueur des charges normales qui peuvent se contrôler « à la main », il est préférable d'employer des chargeurs dit intelligents qui vont mesurer les variations de tension et s'y adapter.

Plus récemment sont apparus des accumulateurs au nickel hydrure métallique ou Ni-MH. Éléments de 1,2 volts comme les Ni-Cd, leurs avantages sont une absence de cadmium qui est une matière extrêmement polluante, une capacité supérieure de près de 40 % à taille égale et une quasi-absence de réaction type effet mémoire. Leurs inconvénients sont d'être un peu plus chers, de mal supporter les surcharges, de présenter une auto-décharge plus importante et de ne pas pouvoir délivrer d'aussi fortes pointes de courants que le Ni-Cd (ce qui n'est pas gênant pour l'alimentation d'une ampoule).

A l'instar du Ni-Cd, le Ni-MH se charge à courant constant, mais une chute de tension infime en fin de charge rend sa détection difficile. Cela joint à l'intolérance à la surcharge requiert l'emploi de chargeurs intelligents spécifiques. Les chargeurs « intelligents » pour Ni-Cd ne le sont pas assez. Il existe des chargeurs capables de travailler sur les deux types d'éléments (voire les trois) et d'effectuer toute décharge nécessaire, c'est rarement le cas des appareils livrés avec les lampes de plongée. Bien souvent, lorsque qu'on utilise trois types d'accus différents, on a trois chargeurs différents ; à ne pas intervertir.

# Bateaux, mouillages et plongées

## Mouillage

Le bateau idéal est bien connu, c'est celui que l'on possède, plus un mètre.

Quant à choisir celui du départ... Il doit tout à tour être petit au port, vaste en mer, confortable au mouillage, imperturbable dans la houle, rapide en croisière, sobre à la pompe. Or les pneumatiques sont stables à l'arrêt mais cognent dans les vagues, les open en V profond fendent la mer mais engloutissent le super et les somptueuses vedettes à fly bi-diesel réclament un portefeuille de ministre.

Un bateau est au mieux un compromis satisfaisant, définir le meilleur serait une gageure.

Reste que, en raison de conditions de plongée se prêtant mal aux réalités commerciales des centres, de nombreux plongeurs profonds en viennent à se procurer leurs propres embarcations, et parce qu'ils plongent fréquemment seuls ou en petit groupe, il arrive que personne ne soit sur le bateau durant la plongée. Cela impose des préoccupations qui ne font pas partie des « cursus plongée » habituels (ce qui est logique, l'absence de sécurité surface n'est pas à conseiller). Parmi celles-ci, la bonne tenue du mouillage est sans doute la plus importante. Si l'on est incapable de lire une carte, de manœuvrer un bateau, d'utiliser un GPS et un sondeur on risque de ne jamais trouver le site, c'est ennuyeux. Si le mouillage lâche durant la plongée, on ne retrouvera pas de bateau, c'est autrement plus ennuyeux. Sur dix mètres d'eau n'importe qui est capable de mouiller un bateau de plongée correctement (enfin, presque!). Sur cinquante mètres et plus c'est une autre affaire. Les solutions entièrement satisfaisantes sont rares, celle qui cumule le plus d'avantages est

la pose d'un mouillage fixe, une chaîne attachée au fond reliée par une corde à une bouée de surface. Les opérations de mouillage sont réduites au minimum: le GPS ou les amers conduisent à la bouée, on la gaffe, on passe dans sa bouée un bout en double qu'on tourne au taquet, et voilà. Une personne seule s'en sort. On fixe le mouillage sur le site même ou on choisit un point d'attache remarquable, faille, roche, langue de sable pour faciliter l'orientation. Le mouillage ne risque pas de déraiper durant la plongée. Les paliers s'effectuent sans que la moindre opération sur l'ancre soit nécessaire. On dispose d'un pendeur solide pour la remontée auquel on peut fixer des blocs de secours, voire, lorsque les conditions s'y prêtent, des blocs de déco. Pour quitter le site il suffit de mettre le moteur en route et de détacher le bout du taquet. Pas de mouillage à relever dans la houle, pas de scaphandre à renfler parce que tout est coincé au fond. Pas de dérive hasardeuse. En zone corallienne, on évite également d'endommager les coraux avec les ancres. Un confort royal.

Bien sûr, avec quelques inconvénients. La pose d'un mouillage fixe temporaire peut être soumise à autorisation (en France elle dépend des Affaires Maritimes). Installer un mouillage en profondeur demande quelques efforts, chaîne et cordage sont lourds et encombrants et ne facilitent pas les déplacements sous l'eau. Pour peu que le courant s'en mêle et que la visibilité soit mauvaise, l'opération risque même d'être épuisante. Dans bien des cas c'est une plongée consacrée uniquement à cela. Mais le jeu en vaut la chandelle, lorsqu'on plonge sur un plateau profond à dix milles au large, être certain de retrouver son bateau offre une incomparable sérénité. Bien que ce



type de mouillage soit sûr, cela ne dispense pas de l'inspecter à chaque descente; sournises aux vents, à la houle, aux marées et aux tractions du bateau, cordes et chaînes s'usent à une vitesse stupéfiante (c'est pour cela qu'il est préférable de ne pas nouer directement un cordage au fond). Dans certaines zones, une bouée de surface peut constituer un danger pour la navigation - un fil de pêche d'un millimètre est capable d'immobiliser une hélice, à plus forte raison un orin de douze millimètres. Si l'on décide de laisser une bouée en surface, mieux vaut alors la choisir très visible - ce n'est pas la bouée qui est dangereuse c'est la corde qui se trouve dessous. Dans d'autres secteurs, les bouées et parfois les mouillages complets disparaissent mystérieusement... La meilleure solution à ces problèmes reste de tenir une bouée de petite taille quelques mètres sous la surface, six ou huit sont suffisants (si des bateaux d'un tel tirant d'eau passent sur le site, il est plus prudent d'en changer). Quoi que plus compliquée, un plongeur doit se mettre à l'eau, la récupération de ces mouillages n'est pas insurmontable (sauf pour une personne seule...). Voici comment nous procédions pour un mouillage immergé à proximité d'une passe sur un fond d'une cinquantaine de mètres: lorsque le bateau atteint le point où se situe la bouée (estimé grâce au GPS et au sondeur), on jette à l'eau le cordage qui servira à amarrer le bateau au mouillage (un orin muni d'un plomb ou d'un petit grappin à un bout et d'un flotteur à l'autre). Le point étant marqué, un plongeur peut s'équiper tranquillement (sous le soleil tropical on attend le dernier moment!). Il est ensuite lâché près du flotteur, s'il voit la bouée ou la corde du mouillage il se dirige vers elle, sinon il descend le long du câble en le tenant à la main jusqu'à trouver le repère remarquable sur le fond et pouvoir s'orienter. La corde du mouillage localisée, le plongeur remonte, passe le bout d'amarrage dans sa boucle (de

taille adaptée) et poursuit vers la surface. Le bateau récupère flotteur et plomb et le mouillage est terminé. Bien rodée, la manœuvre ne prend guère plus de cinq minutes. La précision des GPS et des sondeurs est telle que lorsque la visibilité est correcte le plongeur a rarement besoin de descendre jusqu'au fond.

Passer un bout en double dans la boucle présente deux avantages: un orin doublé est plus résistant, il peut être d'un diamètre plus faible, plus facile à tracter. Pour larguer, il suffit de détourner l'orin d'un raquet et de le ramener, pas de nœud à défaire sous tension, inutile de se rapprocher du mouillage contre le vent et la houle. Pour maintenir la bouée immergée, on peut déployer une longueur de mouillage inférieure à la hauteur d'eau, on peut aussi utiliser une chaîne d'une longueur suffisante pour rejoindre la surface en position tendue mais dont le poids coulera le flotteur, on peut encore fixer un lest dans la partie basse d'un mouillage plus grand que la hauteur d'eau. Dans ces deux derniers cas, le plongeur peut se mettre à l'eau sans câble et remonter le mouillage en surface. Il doit alors être le plus léger possible. Souvent utilisés, les cordages en polypropylène sont peu onéreux et naturellement flottants, on n'hésite donc pas à en mettre une bonne longueur et à les changer souvent, de plus, les flotteurs destinés à les relever peuvent être réduits au minimum. Ils sont cependant moins résistants à diamètre égal que le nylon ou le polyester, vieillissent plus vite, glissent aux nœuds et n'ont quasiment aucune élasticité. Il est préférable d'interposer un cordage nylon entre un mouillage polypropylène et le bateau afin d'amortir les chocs. Méthode moins propre: un vieux pneu entre chaîne et bout.

Lorsque la pose d'un mouillage fixe est impossible, il faut parfois se résoudre à jeter l'ancre... Une règle commune en plaisance est d'établir un mouillage d'une longueur égale à trois fois la hauteur d'eau. Pour un fond de soixante

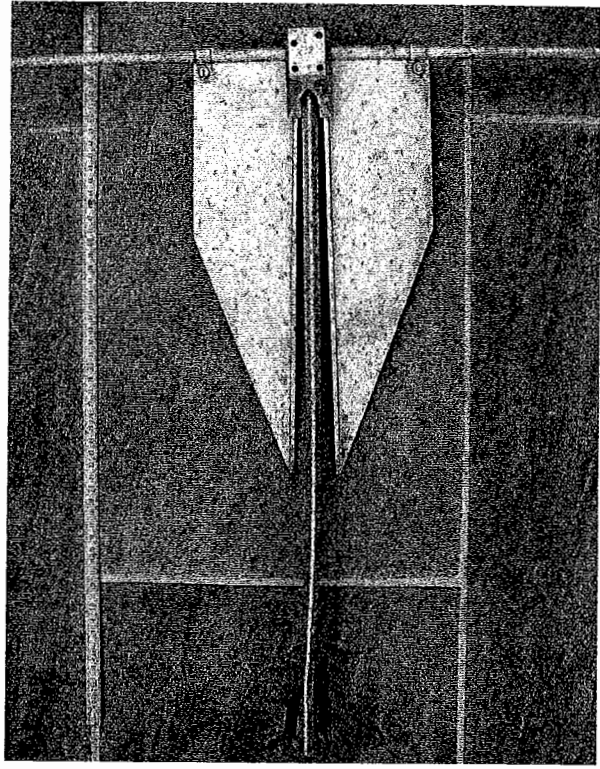
une chaîne trop épaisse, 6 mm suffisent, la longueur a plus d'importance que le poids, le but est de transformer la traction verticale du bateau qui soulèverait la plus lourde des ancrés en une traction horizontale qui enfonce davantage ses socs dans le sol. Il existe des cordages plombés, qui permettent de limiter la chaîne ou de renforcer son effet. Pour compenser le poids et faciliter les manipulations, une *ancrer légère* est intéressante.

Démontrables et trois fois moins lourdes que les aciers, ces ancrés en alliage d'aluminium et magnésium offrent une excellente tenue dans le sable ou la vase (régler possible de l'inclinaison des patres), pour autant qu'une chaîne les aide à pénétrer. Dans les rochers, elles dérapent ou se coincent tout aussi bien qu'une ancre classique. Et dans les herbiers type posidonies, elles ont tendance à glisser sans prendre en raison de leur faible poids. Toujours en raison d'un poids modeste, elles descendent en feuille-morte et parviennent à s'em mêler dans la chaîne ou la corde, il est nécessaire de

mètres cela représente tout de même cent quatre-vingt mètres de mouillage. Une distance considérable à parcourir pour le plongeur. Un sacré volume à caser sur le bateau. Et une épreuve à retirer de l'eau à la main - contre vents et marées. Un guindeau électrique devient un équipement de choix, rarement présent sur les petites unités - à plus forte raison les pneumatiques.

Reste la possibilité d'adapter à la plongée la règle de la plaisance. Puisqu'on n'effectue qu'un mouillage de courte durée, on peut se satisfaire d'une longueur égale à 2 fois la hauteur d'eau, voire à 1,5 lorsque les conditions sont bonnes: petit bateau, mer plate, pas de vent, pas de courant, fond accrocheur.

Afin de ne pas (trop) pénaliser l'efficacité du mouillage, on peut augmenter la longueur de chaîne. 15 ou 20 mètres ne sont pas de trop. Bien sûr, lorsque le mouillage viendra à pic il sera plus lourd à remonter, mais la tenue de l'ancre en sera considérablement améliorée. Inutile d'employer



Ci-contre:  
Ancre légère :  
bateau < 8 m  
homologué Fr



vérifier en début de plongée que le mouillage est correctement étalé, même s'il a donné l'impression d'avoir pris. Les grappins à pattes repliables ont eux comme principal avantage de se loger facilement à bord, pour le reste, ils tiennent mal dans le sable et les herbiers et dérapent ou s'énragent dans les rochers, les épaves ou les coraux. A limiter au maximum d'un petit pneumatique par mètre d'huile ou lorsqu'il est possible d'assurer et de désassurer le mouillage au départ et au retour de plongée.

## Relevage

Vient un moment où un mouillage doit être relevé... Faute de guindeau électrique ou de bras d'athlète, quelques méthodes existent pour faciliter l'opération. Certaines sont plus commodes à mettre en œuvre dans un livre que dans la houle, le vent et les embruns; d'autres, communes en plongée loisir, ne sont pas toujours très adaptées aux contraintes de la plongée profonde. Dans ce domaine, la méthode idéale et polyvalente reste à inventer. Comme toujours, les conditions réelles de plongées dicteront la voie à suivre — et celles à ne pas suivre.

- Le parachute. Accroché à l'ancre au cours de la descente et juste assez gonflé pour tenir droit, il permet de repérer le mouillage. C'est génial lorsqu'on se balade à 20 mètres et que quelqu'un reste dans le bateau et/ou que le dernier à remonter parachute l'ancre. Mais lorsque le mouillage est sur 40 pendant qu'on évolue à 80 et que personne ne trouve dans le bateau, on ne verra pas le parachute alors qu'un courant imprévu ou un gonflage mal apprécié pourra très bien décrocher l'ancre et le bateau avec. Si vraiment on tient à utiliser cette méthode en plongée profonde, mieux vaut garder le parachute avec soi et le fixer au retour. Les opérations d'attache et de gonflage vont prendre du temps, lequel n'est pas forcément compatible avec le profil de décom-

pression — il est possible d'intégrer le temps de travail à la profondeur du mouillage dans le profil de plongée. Le gonflage du parachute demande du doigté, pas question d'envoyer l'ancre en surface lorsqu'on a une heure de palier à effectuer. En théorie, le parachute doit soulager sans décrocher; plus tard, lorsqu'on remontera le mouillage, l'augmentation de volume du parachute participera à l'effort.

- Le mouillage à casser. Surtout utile dans les rochers, les épaves et toute zone où l'ancre risque de se coincer. Cela consiste en fin de plongée à décrocher l'ancre après avoir relié la chaîne ou l'ancre elle-même à un rocher ou à l'épave à l'aide d'un cordage de faible diamètre qu'on aura plus qu'à casser d'un coup de moreau. Pour peu qu'on ait accroché un parachute gonflé à l'ancre, le mouillage remontera même tout seul. Là, mieux vaut installer le bout à casser en début de plongée, durant la déco on n'a pas toujours le temps de chercher l'amarrage idéal. Mais la vraie difficulté de cette méthode reste de déterminer la taille du cordage. Trop fort il sera difficile voire impossible à rompre, trop faible il pourrait lâcher avant la fin des paliers.

- Le renvoi en surface. Consiste à relier la tête de l'ancre à un flotteur de surface par l'intermédiaire d'une cordelette. Particulièrement utile en zone rocheuse ou corallienne car, grâce à la cordelette, on peut tirer l'ancre par la tête, à l'inverse de la traction qui a provoqué son blocage. De plus, lorsqu'on est deux, cela permet de remonter le mouillage à deux. Le problème tient là aussi à la taille de la cordelette, trop faible elle sciera les mains et empêchera une traction efficace, trop grosse elle pourrait offrir une prise importante au courant et faire déraiper l'ancre. Cette méthode reste pourtant l'une des plus efficaces et des moins risquées. Très connue en plaisance, elle y est peu employée car sa mise en œuvre est délicate depuis un bateau. Faute de connaître à l'avance la hauteur d'eau, la longueur de cordelette est souvent surestimée ce qui, vent,

difficile à imaginer tant qu'on n'y a pas été confronté. Une ancre peut décrocher brutalement, surtout lors du gonflage d'un parachute, causer de sévères blessures et filer très rapidement hors de portée du meilleur palmeur. A manier avec précaution, donc. Pour ma part, si la quasi-totalité de mes opérations ancre/parachute se sont déroulées sans anicroches, quelques « chaleurs » récentes heureusement sans gravité font que j'ai de plus en plus tendance à ne pas réveiller une ancre qui dort. Au pire, si à grand renfort de moreau déloger un mouillage enragé se révèle impossible, il reste la solution de l'abandonner muni d'une bouée de marquage et de revenir le chercher plus tard (désaturé et avec des blocs pleins). Si quel qu'un est passé avant, c'est dommage (risque canotonné aux sites fréquentés, sinon rares sont les gens qui descendent à 60 mètres récupérer une ancre), mais entre ça et se retrouver blessé à dériver en mer, le choix est simple.

## Déco en dérive

Certains plongeurs effectuent de longues décompressions dans des mers formées en restant suspendus sous un bateau qui dérive. Ils sont entraînés à cela et pratiquent rarement sans un équipier à bord. Il est vrai que lorsque les conditions sont bonnes, vent nul ou faible, courant modéré régulier, ce peut être une méthode très agréable, qui parfois permet de découvrir de nouveaux sites. Mais c'est une technique qui demande une parfaite connaissance de la zone où l'on évolue. Les combinaisons vents/courants sont nombreuses et surtout changeantes. Un vent et un courant opposés, ou des courants inversés entre le fond et la surface peuvent mettre le plongeur dans une situation fâcheuse: irrémédiablement aspiré vers le haut, il n'a d'autre choix pour maintenir sa profondeur de déco que de palmer comme une brute vers le fond, de renvoyer l'ancre en espérant qu'elle accroche ou de lâcher la corde



et perdre le bateau. Par ailleurs, cela suppose l'absence d'obstacle dans un rayon suffisant, un bateau poussé par le vent peut couvrir une distance importante, c'est particulièrement vrai des pneumatiques et de toutes les embarcations offrant peu de surface mouillée (en revanche ils sont moins sensibles aux courants). À éviter au vent d'une barrière de corail...

Lorsque personne ne se trouve à bord du bateau, revenir au mouillage est impératif. Lorsque quelqu'un s'y tient, c'est tout de même préférable. La ligne de mouillage reste l'un des meilleurs endroits pour effectuer sa déco.

## Retrouver le mouillage

En plongée profonde, le chemin parcouru au fond est rarement important, l'orientation ne présente donc pas de grosses difficultés tant que la visibilité est bonne. Toutefois, la faible luminosité de la zone crépusculaire peut se trouver brusquement réduite par l'arrivée à mi-profondeur de nappes d'eau chargées (jusqu'à provoquer une quasi-obscureté). D'autres zones offrent « naturellement » une visibilité déplorable. Un mouillage proche risque de demeurer invisible. On peut faire confiance à son sens de l'orientation et à son compas. On peut aussi fixer un feu à éclat ou un bâtonnet luminescent type *Cyalume* à quelques mètres au-dessus du fond. Le moyen le plus simple et le plus sûr reste de clipper son moulinet au mouillage et de dérouler sa ligne de vie.

Certains sites aux profondeurs moyennes, entre 40 et 50 mètres, peuvent être parcourus sur de bonnes distances lorsqu'ils sont plongés en multimélange avec des ordinateurs adaptés. Dérouler un fil d'Ariane devient difficile voire impossible (en particulier dans certaines zones coralliennes « labyrinthiques » et/ou lorsqu'on effectue des boucles). Pour retrouver le mouillage, on ne peut

guère compter que sur son sens de l'observation et son compas (dont on sait bien entendu se servir !). Fixer le mouillage sur un point remarquable est un plus. On peut également installer un fil d'Ariane partiel à partir ou à proximité du mouillage, de telle manière qu'on le croisera inmanquablement au retour. « Immanquablement » est toujours relatif... Quelques sites cumulent profondeur et distance. C'est le cas de certains tombants de plateaux où le bateau est mouillé sur 40 mètres pendant que la plongée s'effectue à 80 ou plus. On peut nouer le fil au mouillage et tracer le moulinet durant la plongée, mais le risque existe que le fil soit piégé par une roche, un corail ou une gorgone. Le plus souvent, on déroule le moulinet à la descente, sur un plan vertical, on l'abandonne à la profondeur maxi, on effectue sa plongée sur un plan proche de l'horizontale et au retour on retrouve le moulinet ou le fil (à condition de ne pas le chercher plus bas qu'où on l'a laissé). Lorsqu'on fréquente souvent un site de ce type, on peut l'aménager avec un mouillage fixe et un fil d'Ariane solide posé à demeure. La déco peut alors se pratiquer « façon spéléo », avec les blocs déposés aux profondeurs adéquates. Et on redécouvre le plaisir de la plongée « reins libres » ! Certains murs bahamiens sont équipés ainsi.

Malgré les efforts déployés pour ne pas louper le mouillage, il peut arriver de le manquer. C'est toujours un grand moment d'adrénaline... Pourtant, à moins d'une colossale erreur d'orientation – et encore, il faudrait en plus se tromper longtemps – il est peu probable qu'on se trouve très éloigné du mouillage et donc du bateau. Rien qui ne serait insurmontable à la palme en surface. En revanche, si à ce moment-là on entame une longue déco sous parachute dans le courant, il est certain qu'on va sortir à plusieurs kilomètres du bateau et que cette fois la situation sera catastrophique. La solution consiste à effectuer ses paliers sous parachute sans dériver le

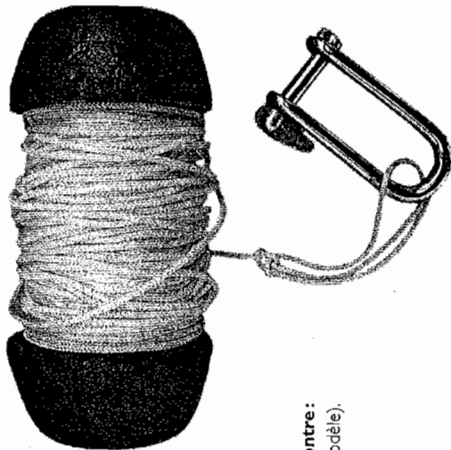
Nos éternels problèmes d'orientation sous-marine sont peut-être en passe d'être résolus par l'électronique. En tout cas, des engins semblent prometteurs, comme les émetteurs/récepteurs Xios Eye-Sea <http://www.xiosusa.com/index.htm>. L'émetteur est fixé à la ligne de mouillage, le récepteur porté au poignet (ou ailleurs) indique dans quelle direction et à quelle distance se trouve le bateau. La portée utile est de mille mètres et la profondeur tolérée de 100 à 140 mètres suivant les modèles. Les quelques essais que j'ai pu effectuer sont concluants. Reste à déterminer la fiabilité de ces appareils dans le temps, mais il est probable qu'il en ira comme des ordinateurs immergeables. Pour l'instant, leur principal défaut reste leur prix, environ 700 euros, là encore il est probable que les choses iront en s'améliorant. On peut aussi objecter qu'à force de compter sur l'électronique, plongeurs et marins finiront par ne plus savoir s'en passer. On a sûrement raison, d'ailleurs on disait la même chose des radars, des Lorans, des Decca, des GPS, des ordinateurs de plongée, des manomètres immergeables. On est un visionnaire.

## Sans mouillage

Parfois, les mouillages fixes ou temporaires ne sont pas réalisables ou pas souhaités, soit que les plongées ont lieu directement sur des profondeurs importantes, soit qu'elles s'effectuent en dérive. La plupart de mes plongées réalisées au-delà de 80 mètres (autres que celles au départ de la côte) l'ont été avec un bateau qui tournait en surface. En grande partie parce qu'il s'agissait de plongées d'exploration dont nous ne connaissions du fond que l'image imprécise du sondeur et que nous voulions garder une certaine liberté de manœuvre.

Plusieurs façons de procéder sont possibles, en fonction des souhaits et des conditions de plongée.

On dispose déjà d'un parachute et d'un moulinet, il suffit de se munir en plus d'une cordelette d'un mètre cinquante à deux mètres et d'une manille inox. Un bout de la cordelette est attaché au fond, la manille à l'autre. On passe le fil du moulinet dans la manille et on lance le parachute (on peut lancer le parachute et passer ensuite le fil dans la manille !). Il ne reste plus qu'à remonter en déroulant le moulinet. La manœuvre demande un peu de pratique, le point de tire étant au fond, le courant a tendance à pousser le plongeur vers le bas, un courant violent peut même sérieusement contrarier sa remontée, il déroulera du fil et s'éloignera du point d'attache sans beaucoup s'élever. Gonfler sa wing est la dernière des choses à faire, une rupture du fil ou la perte du moulinet se solderait par une remontée foudroyante. Mieux vaut agripper le fil relié au parachute, on peut même s'y mousquetonner ; les moulinets de grande capacité munis de fils épais ainsi que les parachutes de fort volume sont alors appréciés. En théorie, il faut disposer de deux fois la hauteur d'eau en fil. En pratique, on remonte rarement à la verticale, mieux vaut compter 2,5 fois la hauteur, et beaucoup plus dans les zones à fort courant. Si toutefois on vient à manquer, ce n'est pas dramatique, on attache le moulinet vide au fil du parachute et on poursuit la remontée « en simple ». Si l'on dispose d'un second moulinet, ce peut être l'occasion de l'utiliser, quoique le montage commence à devenir compliqué. Parvenu en surface, on décroche le parachute et on rebobine le fil, ne laissant au fond qu'une cordelette et une manille. On peut se passer de la manille, mais le fil coulissera beaucoup mieux avec. On peut utiliser une manille ordinaire, mais elle finit par rouiller et salir tout ce qu'elle touche et scier le fil. Lorsqu'on a été contraint d'attacher le moulinet au cours de la remontée, il est toujours temps de redescendre le récupérer quand la situation s'est décanitée – en terme de bateau, de météo, de palmage et d'adrénaline.



Ci-contre :  
le (petit modèle).

parachute et décompresser. Durant un certain temps plongeur et bateau sont coupés l'un de l'autre, le bateau ne sait pas où se situe son (ses) plongeur. Il peut bien sûr chercher les bulles, mais ce n'est pas toujours facile à repérer dans une mer formée et se perd vite de vue. Il peut aussi utiliser le GPS ou les amers pour retrouver le point de largage. C'est tout de même bien compliqué, et stressant pour celui qui demeure en surface. En outre, descendre dans le bleu (ou le gris ou le vert) peut fausser les repères du plongeur, l'amener à sous-estimer l'importance d'une dérive et au final lui faire manquer le site. En moyenne, descendre à 100 mètres demande près de quatre minutes, de quoi se tromper sérieusement.

Il est plus confortable d'utiliser un pendeur. Qui n'est somme toute qu'un mouillage relié à une bouée au lieu de l'être à un bateau. N'ayant pas la traction d'une embarcation à supporter, il peut être considérablement allégé. Là encore, le poids du corps mort, le diamètre de l'orin et la taille de la bouée seront dictés par les conditions locales et resteront un compromis entre solidité, facilité de manœuvre et surfaces exposées aux courants. Soumises à une action proche de la verticale, les ancrs ne font pas de bons corps morts (à moins de leur ajouter une longueur de chaîne). Une pièce métallique ou un récipient dans lequel on a coulé du béton est préférable. A poids égal, une forme galère tient mieux qu'un sol et parce qu'elle se renverse plus difficilement. Les disques d'haltère sont parfaits, certains revêtus de plastique épargnent les ponts (mais demandent un rinçage sérieux). Un pendeur se met en œuvre de diverses manières : la plus simple consiste à attacher la bouée, à ranger le cordage dans une bassine (en croisant les spires en pétales plutôt qu'en chant à les enrouler) puis à fixer le corps mort. Lorsque le bateau est au-dessus du point, il stoppe et on envoie le corps mort par-dessus bord, le reste suit en bon ordre si le cordage a été convenablement

Dans la plupart des cas les plongées profondes ont lieu sur un *spot* précis. L'épave en est l'archétype, mais d'autres sites méritent le détour : vaste plateau profond, tête de roche, replis volcanique, faille.

Le plongeur peut descendre sur le site, effectuer sa plongée, envoyer son

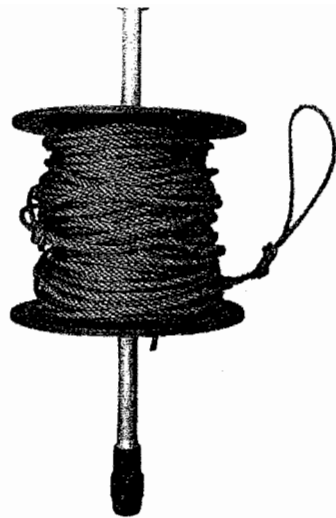
rangé. On peut également employer une version vitaminée de la « bonne vieille » grenade : une grosse bobine taillée dans un bloc de polystyrène ou construite à base de rubes PVC et de bombes de mousse, sur laquelle on enroule le cordage. Le lest est fixé à la corde et lorsque le bateau passe au-dessus du point on envoie l'ensemble à la mer. Le poids détouille le cordage et le dispositif se met en place tout seul, le bateau n'a pas besoin de stopper. Les bobines se revêtent souvent un peu faibles pour soutenir les plongeurs ou les blocs de déco, il suffit de leur adjoindre une vraie bouée au moment de la descente. Quelle que soit la méthode, il est préférable dans les profondeurs qui nous concernent d'utiliser des lests assez lourds afin que leur immersion soit rapide et qu'ils ne loupent pas leur cible.

Avec de l'expérience et un bon sondeur on arrive à des largages précis, mais il est toujours possible que le pendeur tombe un peu à côté du but. Le déplacer à la main sous l'eau est illusoire, c'est une dépense de temps et d'énergie alors qu'on ne dispose ni de l'un ni de l'autre. Par ailleurs, partir d'un pendeur et y revenir divise en deux la distance possible à parcourir. Lorsqu'on effectue une plongée de 20 minutes à 100 mètres (qui représente environ deux heures de déco), si quatre minutes sont occupées par la descente il reste huit minutes aller et huit minutes retour. Pas de quoi explorer le Titanic. Il peut être plus intéressant d'utiliser le pendeur pour la descente et de remonter au parachute de l'endroit où l'on se trouve à la fin de son temps fond. Le bateau aura la bouée du pendeur pour situer approximativement les plongeurs, qui ne remonteront pas très loin de lui. L'apparition des parachutes les situera définitivement. Cela ôte la possibilité d'utiliser le pendeur comme support des blocs de déco. Ce n'est gênant que si on affectionne cette technique ; je préfère de beaucoup emmener ma déco avec moi, le plongeur est plus lourd mais son cœur plus léger ! Un pendeur uniquement de descente peut lui aussi être plus léger.

Les Américains font cas de *uplines*, ou lignes de remontée, surtout lors des plongées épaves. Il s'agit d'une grosse bobine traversée d'un axe (un dévidoir parisien géant) sur laquelle est enroulée une corde et un parachute. L'ensemble se loge entre les blocs dorsaux de manière à pouvoir être facilement accessible. Pour remonter, on envoie le parachute et on attache la corde à l'épave ou au fond. On dispose ainsi d'une fixation et d'un cordage solide, agréable et sécurisant lorsque le courant est fort et la mer mauvaise. Ses inconvénients sont un volume supplémentaire à transporter et un temps d'installation qui sera pris sur le temps fond. Et aussi qu'un cordage reste en mer ce qui n'est pas très propre, pour pallier à cela les Américains emploient des cordés en fibres naturelles, chanvre ou sisal, qui sont biodégradables (mais à résistance égale plus épaisses que les synthétiques). Une *upline* déployée peut cependant être utilisée durant plusieurs plongées et/ou par plusieurs palanqués. Elle peut également être envoyée en douille (à la manière du moulinet sur manille) afin d'être récupérée au terme des opérations de plongée – l'encombrement augmente sérieusement.

En principe, on connaît avant la plongée sa profondeur approximative, on peut donc monter un pendeur de longueur adaptée. Néanmoins, soit que l'on opère sur des sites aux profondeurs variées soit que l'on répugne à couper un cordage (ce qui se comprend), on peut se

Ci-dessous :  
Up line (gros m)



trouver avec un pendeur occupant une position très en biais dans l'eau qui imposera aux plongeurs une descente fastidieuse. On peut y remédier en passant l'orin dans l'anneau de la bouée au lieu de le nouer autour (un nœud en 8 ou une boucle l'empêche de ressortir). Le premier plongeur qui descend emmène avec lui le brin libre et le noue plus bas, réduisant la distance. Outre que cela se révèle souvent épuisant, ce n'est guère utile au plongeur solitaire. On peut relier le brin libre à un lest qui jouera le rôle du plongeur, plus lentement mais sans effort. La difficulté consiste à trouver le bon lest, trop lourd il risque de soulager le corps mort, trop léger la corde pourrait flotter dans le courant, particulièrement si elle est en polypropylène. Méfiance avec les bouts qui flottent sous le vent des bouées, les hélices en sont friandes! Attaché à une grosse manille coulissant sur le brin fixe, le brin libre ne peut s'en écarter, supprimant le problème.

Les techniques décrites ne représentent qu'un aperçu des manières de poser et reléver un mouillage ou un pendeur, il en existe d'autres. Toutefois, comme pour l'équipement, le plus simple est souvent le meilleur. Les montages à base de balanciers, de contre-poids et de renvois ont tendance à mieux fonctionner à terre dans l'imagination de leur concepteur qu'en mer où vents et courants s'ingénient à transformer la plus savante installation en un sac d'embrouille inextricable et inutile, voir dangereux.

Le fait de pratiquer avec un pendeur ne dispense pas le bateau d'assistance d'avoir à bord un mouillage adapté aux profondeurs plongées. Une anecdote pour illustrer le propos:

Alors que nous remonitions d'une colline sous-marine située à - 90 mètres, le bruit du moteur du bateau qui cerclait en surface cessa soudain. Il restait encore plus de 45 minutes de paliers, qui passèrent en échange de signes du genre: *Tu entends le moteur? Non. Tu sais ce qui se passe? Ben non. Tu crois que c'est normal? Je sais pas...*

L'arrivée en surface fut un soulagement, le bateau était stoppé à seulement 150 ou 200 mètres du pendeur. L'épouse de mon compagnon de plongée qui le pilota nous indiqua du geste et de la voix que le moteur était en panne et qu'elle avait jeté l'ancre. Après avoir accroché tous nos blocs à la bouée du pendeur, nous rejoignîmes le bateau à la palme. Un nouveau tour de clef lança le moteur avant que nous l'ayons atteint... L'histoire se terminait donc au mieux. Parce que le pilote du bateau avait eu le réflexe de jeter l'ancre à l'instant où le moteur avait stoppé et que le mouillage comportait 100 mètres de corde et 20 de chaîne. Et aussi que nous bénéficions de bonnes conditions, le vent était modéré ce jour-là et un léger courant lui était opposé, le bateau dérivait peu et ne tirait guère sur l'ancre. Par ailleurs, si le sommet de la colline était à 90 mètres, la pente descendait assez vite à 100 puis dégringolait à 130/140. Une dérive plus rapide, un instant d'hésitation et l'ancre ne trouvait que le vide...

(Pour la petite histoire, il restait encore le moteur de secours... que bien entendu nous avions mis à poste et essayé au préalable!)

## Fin de plongée

La déco terminée, encore faut-il remonter à bord. Sur un vrai bateau de plongée équipé de l'échelle ad hoc, il n'est déjà pas facile de se hisser avec tous les blocs en place, pour peu qu'une houle sévère s'en mêle, cela peut même devenir dangereux. Et pas seulement parce que les efforts post plongée sont à proscrire.

Lorsqu'on ne dispose que d'une échelle « plaisance » ou d'un pneumatique, il est inutile d'espérer grimper à bord équipé. Quelle que soit l'embarcation, se déséquiper dans l'eau est de loin préférable. Une ligne flottante nouée à l'arrière du bateau permet d'y accrocher blocs et scaphandres. Faute de cordage en polypropylène, un pare-barrage ou des flotteurs de filets relèvent très bien une corde

pendant les fixer à une ligne indépendante (la ligne de traîne détournée pour l'occasion), sinon ils vont augmenter la surface exposée sans alourdir la barre. Un système de traînée peut également s'imaginer entre deux bouées, reliées au pendeur ou au bateau. Dans ce dernier cas, le système peut être largué (plongeur à la dérive) puis récupéré par la suite.

Globalement, pour un groupe réduit opérant d'une embarcation de taille modeste les barres de paliers amènent plus de complications que d'avantages. Même dans une mer formée la déco peut s'effectuer dans un - relatif - confort en utilisant une longe, ou *Jon-line*, c'est-à-dire une sangle ou une cordelette d'environ deux mètres reliée par un mouqueton ou une manille à la ligne de mouillage. Se retenant sur un plan horizontal, le plongeur n'est plus soumis aux mouvements verticaux du bateau (ou de la bouée). Il existe des *Jon-line* spécifiques, mais on dispose déjà de la cordelette et de la manille de remontée en double et/ou du moulinet lui-même.

## Être retrouvé

Malgré toutes les précautions prises, être séparé du bateau est un cas de figure à envisager. Le moteur qui cale, un mouillage trop court... Dans l'exemple évoqué plus haut, si le bateau était parti à la dérive le plus logique pour les plongeurs aurait été de rester accrochés au pendeur. Même si le moteur n'avait pas redémarré, un bateau est plus repérable qu'un plongeur, par ailleurs il dispose (en principe) d'un moyen de communication et sait où se trouvent les plongeurs (en tout cas c'est à souhaiter). Même sur un bateau vide, un GPS peut fournir une précieuse indication aux secours. Lorsque les plongeurs dérivent, ils peuvent croiser des zones de pêche où les engins sont marqués par des bouées ou des perches. Parvenir à s'y

trouver. Se déséquiper dans l'eau présente aussi l'avantage d'éviter un effort immédiatement après la plongée. Si le temps le permet, il n'est pas interdit de faire la planche. Même avec un « léger clapot ». Dans les zones à courant, la ligne de traîne peut mesurer plusieurs dizaines de mètres, ainsi, un plongeur « embarqué » a plus de chance de la crocheter au passage. De même, un cordage peut relier cette ligne au mouillage à l'avant, qui servira à se déhaler le long du bateau lors de la mise à l'eau et épargnera un essoufflement.

Pour leurs derniers paliers, certains plongeurs préfèrent la *barre de palier* qui est il est vrai plus confortable que le mouillage. Une barre de palier peut être plus ou moins sophistiquée et donc occuper plus ou moins de place sur les bateaux qui souvent en manquent. Le modèle de base consiste en un tube enfilé sur un cordage dont on noue les extrémités de part et d'autre de la poupe. Déployé, l'ensemble se présente sous la forme d'un trapèze sous-marin. Si l'on veut effectuer à la barre les paliers de 3 et 6 mètres, on peut imaginer un système d'attaches coulissantes permettant le relevage, ou installer deux « trapèzes » l'un sous l'autre. Une barre de palier est plus confortable qu'un mouillage car elle bouge moins (les mouvements d'un bateau sont de plus faible amplitude à l'arrière), offre une meilleure préhension, on peut même s'y accouder, et d'avantage de place. En revanche, lorsque le courant prend appui sur les plongeurs la barre a tendance à remonter, avec d'autant plus de force qu'ils sont nombreux et « larges ». Un lestage de chaque côté de la barre limite cet effet. Il ne faut pas hésiter à charger en poids (les disques d'halète se prêtent bien à cela aussi). On peut également relier les extrémités de la barre au mouillage. Les blocs de déco inutiles trouvent une bonne place clipsés de part et d'autre du trapèze. Dans le courant mieux vaut

accrocher est une chance, les engins appartiennent à quelqu'un qui viendra les relever, à tout le moins, dans un secteur de pêche un bateau est susceptible de passer. Pour se signaler aux bateaux, un grand parachute saucisse est efficace, le plus grand est le meilleur, certains disposent de plaques réfléchissantes qui améliorent leur visibilité ou d'un fanion à fixer au sommet. Un miroir solaire est également efficace (pour autant qu'il fasse soleil et qu'on l'actionne au bon moment). Les moyens pyrotechniques, fumigène, feu à main, fusée parachute, ont l'avantage de se signaler aux bateaux comme aux avions et d'être une marque reconnue de détresse, mais ils ne servent qu'une fois et ne doivent pas être tirés à mauvais escient. De plus, certains feux n'étant pas étanches, ils demandent un récipient adapté à la pression prévue – une vieille torche, et ils nécessitent une inspection régulière – les durées de validité sont longues (+ de 3 ans) mais on n'espère pas les tirer tous les jours. Un site à consulter : Dauriac Nautic Sécurité <http://www.ifrance.com/dauriac/> qui propose entre autres un *signal jour et nuit* (lumineux/fumigène) étanche à 80 mètres ainsi que... des sachets anti-requins.

Un autre système destiné à attirer l'attention des avions semble intéressant : un ruban orange de 15 cm de large sur plus de sept mètres de long qui, roulé sur lui-même, occupe la place d'un parachute. Déroulé et relié au plongeur, il flotte en surface près de lui et augmente ses chances d'être repéré <http://www.rescuerealm.com/>.

Le même système peut être employé en montagne. Il reste encore le sifflet, dont la portée dépend beaucoup de la force et de la direction du vent – mais qui sera toujours supérieure à celle de la voix. Et les feux à éclats et bâtonnets luminescents pour la nuit.

Bien sûr, tout cet équipement occupe de la place... Encore que le parachute on l'a déjà avec soi, qu'un sifflet et un miroir ne sont pas très encombrants et que certaines petites lampes de secours offrent une fonction « éclats ». Pour le reste, c'est un calcul de probabilité à effectuer. Il faut pourtant savoir que les cas de plongeurs perdus en mer et non retrouvés malgré des recherches actives sont réels, ce n'est pas que de la littérature.

Quelle que soit l'option retenue, deux plongeurs en dérive ont intérêt à rester groupés, outre l'aide psychologique que peut apporter l'autre, deux personnes ont plus de chance d'être repérées qu'une seule (bien qu'apercevoir une ou deux têtes sans autre moyen de signalisation dans une mer formée relève du coup de chance – et on ne parle ni de tempêtes ni de grains). Pour demeurer unis, les plongeurs peuvent se longer les uns aux autres en utilisant les cordelettes et manilles de remontée ou les moulinets.

## Les épaves, un cas particulier

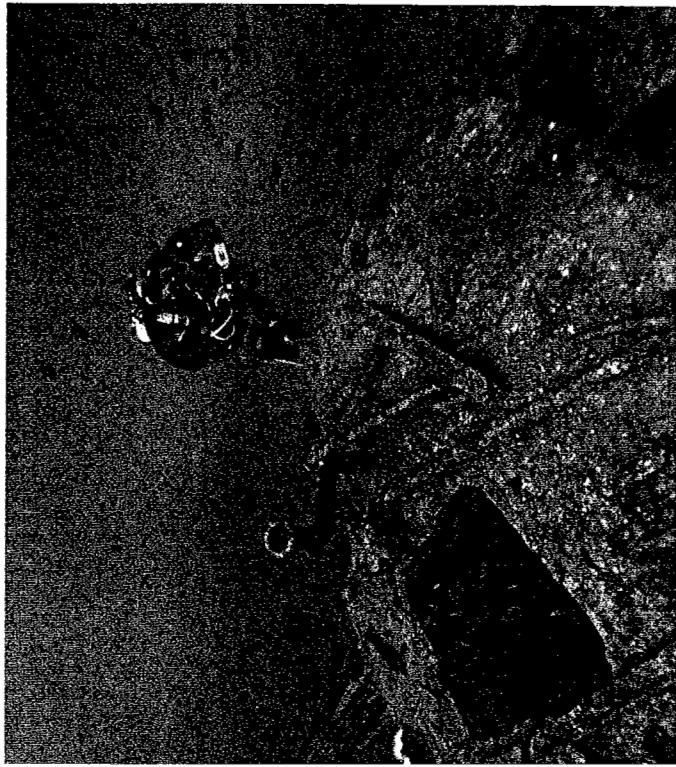
Si l'on compte pénétrer à l'intérieur, bien sûr, car lorsqu'il ne s'agit que de tourner autour la plongée n'est pas très différente d'une autre. Sauf l'ambiance peut-être. Selon Patrice Strazzera, auteur de très beaux ouvrages qui leur sont consacrés, *les épaves ont une âme*. Et en tout cas, une plongée épave n'est jamais anodine. Elles sont souvent plus *narcotantes* que les autres. La charge émotionnelle sans doute. Les formes étranges, déplacées. Les relents de drames. Les mélanges de genres. Qui sait...

Mets de choix pour les plongeurs profonds, les grandes épaves présentent des analogies avec la spéléo, manque de lumière, espace confiné. Les techniques de pénétration en sont donc inspirées.

labyrinthe ne permet pas toujours d'en sortir. Rien ne ressemble plus à une course qu'une autre course, une cale qu'une autre cale, et les épaves en comptent beaucoup. Un tourbé par les masses métalliques, n'est pas non plus d'un grand secours, il indiquera certes la direction à suivre, mais pas quel couloir choisir entre celui du haut, du bas ou du milieu. L'outil d'orientation privilégié reste le même qu'en grotte, le moulinet. *Les moulinets*, car un de secours est utile. Et comme les épaves fourmillent d'angles et d'arêtes aiguisés, un fil solide est primordial. Il n'a pas besoin d'être très long (en regard des normes spéléo), cinquante à quatre-vingts mètres sont largement suffisants (et représentent une belle progression). On trouve dans les magasins de bricolage des câbles en acier inox multibrin de 2 mm ou

**Les principaux risques encourus sont :**

- **La perte de visibilité.** Normale lorsqu'on s'enfonce au plus profond du ventre de la baleine, ou inattendue en raison de coups de palmes malheureux. Il est important d'adopter une technique de palmage adaptée, en grenouille si la largeur du passage le permet, ou genoux cassés en ne bougeant que les mollets ou les chevilles. Quelle que soit la qualité du palmage, la visibilité sera toujours troublée au retour, ne serait-ce que par l'action des bulles sur le plafond qui décrochent débris et dépôts. Une lampe principale est nécessaire mais pas suffisante, sa panne pourrait avoir de graves conséquences, une, voire deux lampes de secours sont impératives. De plus petite taille pour ne pas encombrer, mais immédiatement accessible pour limiter le « trou noir ». Y voir clair dans un





plus qui sont souples et d'une solidité à toute épreuve. A l'usage, des brins arrivent cependant à céder et dépassent, blessant cruellement les doigts qui les serrent de trop près, à surveiller. Les câbles inox monobrin ne présentent pas cet inconvénient mais supportent mal le vrillage, ils coquent et finissent par casser. La maîtrise du fil d'Ariane est une technique qui ne s'improvise pas. Elle requiert un minimum d'entraînement, lequel peut commencer à l'extérieur, entre des arbres, les yeux bandés pour simuler le manque de lumière, puis se poursuivre sur une épave peu profonde. Les principes de base sont de débiter la pose du fil par deux attaches situées à peu de

distance l'une de l'autre, si la première lâche, reste la seconde. Puis de dérouler le fil en le gardant toujours tendu. Un frein progressif est utile. Sinon, c'est l'index sur la bobine qui assure le contrôle. Les câbles acier ont une moindre tendance à l'embrouille que les fils synthétiques, mais plus raides ils se soumettent moins volontiers au travail et pliés à angle droit ils « mémorisent » le pli. Lorsqu'on perd la ligne, le mieux est de ne pas bouger — ce qui pourrait soulever des débris — et de balayer le secteur avec sa lampe. Il est possible de fixer au préalable des morceaux d'adhésif blancs ou réfléchissants de loin en loin sur le fil, qui accrocheront la lumière tout en se bobinant

bouger, les mouvements inconsiderés n'aboutissent qu'à resserrer l'étau. Et avant de cisailer tout ce qui se présente, un minimum de réflexion s'impose : un fil électrique engagé sous un volant de conservation s'en dégage du bout de l'index — ce peut être le fil d'Ariane, et s'il s'agit du flexible HP retenu dans un crochet, ce serait dommage de le couper. En dernier recours, c'est bien entendu le sécateur qui a le dernier mot.

- **Les chocs.** Même en l'absence de filets où de câbles, le milieu reste confiné et agressif. Les moyens de crever sa combinaison ou sa bouée, d'endommager un détendeur ou un flexible, ou tout simplement de se blesser sont innombrables. La seule parade est de maîtriser sa flottabilité, d'évaluer son volume, de se déplacer avec prudence, comme on traverse un grenier de nuit les pieds nus. Certains plongeurs portent des casques, qui peuvent servir de support aux lampes de secours (les maintenir allumées durant le parcours évite le « trou noir » en cas de panne de l'éclairage principal).

- **Le temps.** On en manque toujours, en épave profonde où l'on a mille raisons de ne pas regarder sa montre il file encore plus vite qu'ailleurs. Faire demi-tour rogne la moitié de la visite, il est tentant de poursuivre ; avant de foncer tête baissée mieux vaut s'assurer qu'une sortie existe. Un métro passe à travers une écouteille, un plongeur pas toujours. Lorsque plusieurs plongées sont pratiquées sur une même épave, il est possible de laisser un fil d'Ariane en place, puis de tenter de rejoindre son terminus par une autre entrée, qui la jonction faite deviendra une sortie, et ainsi de suite. Les plongeurs en cenotes pratiquent ainsi.

sans problème. Taillés en biseau pointant la sortie, ils indiquent le sens de cheminement en cas de perte d'orientation. Si la ligne demeure introuvable, il reste à fixer son moulinet de secours à la paroi et à cercler dans la zone où elle doit se trouver, jusqu'à tomber dessus.

Il ne s'agit là que des méthodes de base. Dans le chapitre *Spéléo*, Frank Vasseur développera davantage, mais les plongeurs souterains ont coutume de dire que le fil d'Ariane est le meilleur des amis et le pire des ennemis. Son maniement ne saurait s'apprendre dans les livres, un stage d'initiation à la plongée spéléo peut apporter beaucoup, les fédérations et les clubs en organisent régulièrement.

- **Les pièges à plongeurs.** Par construction, les épaves foisonnent de cordages, de drisses, de fils et de câbles électriques. Parce qu'elles se trouvent sur leur chemin, des filets s'y accrochent. Et parce qu'elles constituent un formidable réservoir de poissons, les pêcheurs à la ligne ne peuvent s'empêcher d'y perdre du fil. L'ensemble constitue de remarquables pièges à plongeurs. S'engager dans une épave demande de soigner sa fluidité, mano, détendeurs, lampes doivent être maintenus aussi près du corps que possible. Les sangliers des palmes sont liés avec de la chambre à air ou du scotch amérain. Quant aux blocs de déco, on peut les déposer à l'entrée... si l'on est sûr de les retrouver. Cisailles ou z-knife doivent être à portée de main, et la progression s'effectuer de manière intelligente, lentement et en inspectant les lieux (tout en déroulant le fil d'Ariane, ça fait beaucoup de choses à la fois...). Lorsqu'on se sent pris, là encore mieux vaut ne pas



# Les recycleurs

Quel plongeur courbé sous le poids d'un bi 20 plus blocs relais ne s'est pris à lorgner du côté des recycleurs, engins merveilleux parés de qualités aussi fabuleuses qu'antinomiques : taille modeste, poids réduit, autonomie gigantesque, décompression accélérée ?

Les recycleurs méritent un livre pour eux seuls, il ne sera donc ici question que de leurs grands principes, de diverses conceptions existantes et de quelques notions intéressantes de connaître avant de tenter l'aventure.

## Avant, déjà...

Parce qu'il n'est vraiment question de recycler en plongée loisir que depuis dix à quinze ans (selon les pays), on peut croire qu'il s'agit des dernières innovations de la technologie de pointe. En réalité, les recycleurs sont de loin antérieurs aux scaphandres autonomes. Le premier à avoir été utilisé sous l'eau fut un appareil développé par un ingénieur anglais, Henry Fleuss, en 1880. Bien que fonctionnant sous l'eau, le *Masque Fleuss* fut essentiellement un appareil de secours dans les mines de charbons. Au cours de la deuxième guerre mondiale, les plongeurs de combat italiens équipés de recycleurs à oxygène pur s'illustrèrent aux dépens des navires anglais, tandis que Lotte et Hans Hass tournaient de merveilleux films sous-marins dans les lagons tropicaux, eux aussi à l'aide de recycleur à oxygène.

Nombre d'appareils à O<sub>2</sub> pur que l'on peut trouver aujourd'hui sont quasiment identiques à ceux des années quarante. La technique n'est donc pas nouvelle, ce qui est nouveau, ce sont les utilisateurs. Le *marché*, pour tout dire.

La base des recycleurs, du plus simple au plus sophistiqué, est un

produit un peu magique, la *chaux sodée*, contenue dans un filtre. Lorsque le plongeur souffle à travers ce filtre, la chaux fixe le CO<sub>2</sub>. Sans elle, pas de recyclage possible.

Bien que l'on emploie couramment le mot filtre, le terme est impropre, la chaux sodée fixe le dioxyde de carbone par réaction chimique et non par filtration (la réaction génère une élévation de température et une transformation - de la chaux en craie).

## Sobre, mais de bon goût

Le recycleur à O<sub>2</sub> pur (voir schéma 15) est d'une simplicité biblique, on aspire de l'oxygène pur en provenance d'un sac, on en consomme un peu et on fabrique du CO<sub>2</sub>, on rejette de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub> à travers le filtre, la chaux retient le CO<sub>2</sub>, et on recommence. Lorsque le volume d'oxygène diminue dans le sac, on en injecte en pressant un bouton situé sur la bouteille d'O<sub>2</sub>. La quantité d'oxygène métabolisée étant indépendante de la profondeur, avec une consommation d'oxygène d'1 litre/minute (plongeur en activité modérée), une bouteille de 2 l à 200 bars assurerait une autonomie théorique de 400 minutes, soit plus de six heures. C'est bien souvent la chaux qui va « limiter » l'autonomie, deux kilos offrant plus de trois heures d'activité.

Les modèles originels sont les pendulaires, simples parmi les simples : un seul tuyau respiratoire, on souffle dans le sac à travers le filtre et on aspire le sac de nouveau à travers le filtre. Le gaz expiré traverse deux fois la chaux, sauf une petite partie située dans l'espace qui va de l'embout buccal au filtre. Ce sont des recycleurs pendulaires qu'utilisait le Groupe Gamma, l'unité des plongeurs de combat italiens.



### Ci-dessus :

Tortue Ninja ?  
Non, recycleur  
Soviétique modifié !

Afin d'éliminer la partie non filtrée de l'expiration (et contenant du  $\text{CO}_2$ ), les modèles cycliques ont été développés. Les gaz expirés font un tour complet, rien qui n'ait été en contact avec la chaux n'est réaspiré. Il est pour cela nécessaire d'utiliser deux tuyaux et un embout buccal plus complexe qui n'autorise qu'un seul sens de circulation (deux clapets anti-retour en ligne). On souffle dans le filtre par l'intermédiaire du tuyau expiratoire, le mélange oxygène/dioxyde de carbone traverse le filtre, la chaux garde le  $\text{CO}_2$ , l'oxygène entre dans le sac d'où il est aspiré grâce au tuyau inspiratoire (le montage inverse existe, on souffle dans le sac et on aspire le filtre, le principe n'en est pas modifié).

A l'usage, on ne se pose guère de questions: tant que la chaux fait son travail on respire de l'oxygène. Les limites sont celles de l'hyperoxie et de la toxicité pulmonaire, recyclé ou non l'oxygène reste l'oxygène. En plongée sportive la profondeur maximum est de 6 mètres. Les militaires ont des limites qui leur appartiennent. Bien sûr,

lorsque la chaux est saturée elle n'absorbe plus le  $\text{CO}_2$  qui se retrouve dans le circuit, le plongeur risque l'hypercapnie. Les filtres ont une durée d'usage donnée, qui comprend une marge de sécurité car l'efficacité de la chaux varie en fonction de paramètres comme la température, la profondeur, la quantité de  $\text{CO}_2$  produite par le plongeur (laquelle varie selon son activité) ou même la granulométrie du produit.

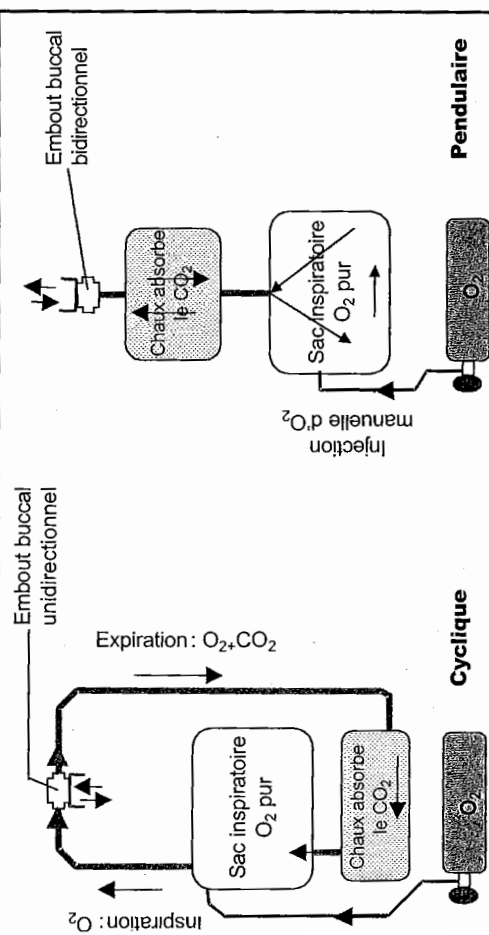
Certains recycleurs  $\text{O}_2$  ne possèdent pas de soupape de surpression sur le sac, pour compenser l'expansion du gaz lors de la remontée le plongeur expire par le nez. Pour compenser l'écrasement lors de la descente, il injecte de l'oxygène.

Aucun gaz ne quittant le circuit (hormis durant la remontée), ces appareils sont dits *circuits fermés*.

Sobres et efficaces, des machines de ce type sont commercialisées en Italie par OMG, usine installée à La Spezia, la ville où était basé le Groupe Gamma. Pourquoi changer une technique qui gagne?

<http://www.omg-italy.it> les modèles *Casiro*

ma 15 : Recycleur à  $\text{O}_2$  pur.



## Un pas en avant

Ou plutôt, en dessous. Descendre au-delà de 6 mètres implique de diminuer la fraction d'oxygène dans le sac, de « diluer » l' $\text{O}_2$ , d'où le nom de *diluant* attribué dans les recycleurs à tout gaz autre que l'oxygène et qui n'est là que pour en réduire le taux.

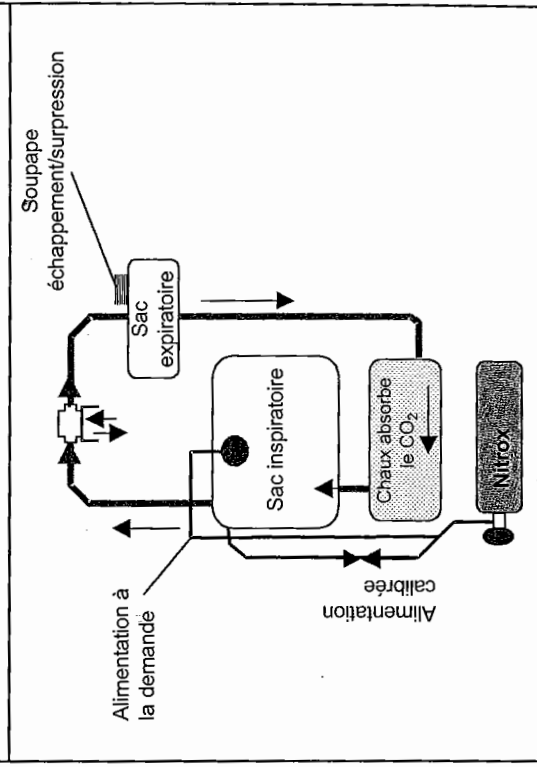
Une méthode de *dilution* consiste à tout simplement remplacer la bouteille d'oxygène par un mélange contenant moins d' $\text{O}_2$ . De l'air pourrait faire l'affaire, mais on verra que le *nitrox du bon Dieu* n'est pas le plus adapté, on emploie plus volontiers des nitrox 60, 50 ou 40 %.

Si dans un circuit fermé  $\text{O}_2$  on se concentrait de remplacer l'oxygène par du nitrox, que se passerait-il? Au cours de la respiration le  $\text{CO}_2$  serait absorbé par la chaux, un peu d'oxygène serait consommé et l'azote ne serait ni absorbé ni métabolisé. Le taux d'azote augmenterait dans le sac jusqu'à rendre le mélange hypoxique. Une adjonction régulière de nitrox réduirait la vitesse d'augmentation de la  $\text{fn}_2$ , mais ne l'empêcherait pas. Sauf

si à cette adjonction régulière de nitrox était liée une vidange tout aussi régulière du sac (par une soupape automatique ou par le nez). La  $\text{fO}_2$  du sac serait alors inférieure à celle de la bouteille de nitrox mais finirait par se stabiliser. On vient d'inventer le *circuit semi-fermé à injection manuelle*. Avec un tel système, se garantir de l'hyperoxie est facile, il suffit de prendre comme limite celle du nitrox embarqué, c'est la  $\text{fO}_2$  maxi respirable (dans la pratique jamais atteinte). La maîtrise de l'hypoxie est plus aléatoire car elle est liée à la fréquence et à l'intensité des injections et des purges. A l'usage cela se révèle contraignant et laisse le plongeur dans le flou concernant sa  $\text{ppO}_2$  réellement respirée et la décompression à suivre. Le principe à donc été amélioré. L'injection manuelle de nitrox est remplacée par une alimentation plus faible mais constante, et la purge est réalisée automatiquement grâce à une soupape de surpression réglable (voir schéma 16). La consommation d' $\text{O}_2$  moyenne d'un individu étant connue,

on peut déterminer le débit de nitrox

Schéma 16 : Circuit semi-fermé



nécessaire à maintenir la  $fO_2$  dans une fourchette donnée. Ce débit est assuré par un orifice calibré que l'on change en fonction des nitrox employés, ou par une vanne à aiguille que l'on pré règle. Afin d'éviter l'écrasement du sac au cours de la descente, une vanne à la demande est installée (sorte de deuxième étage sans soupape d'échappement). Pour plus de confort respiratoire et pour limiter les possibilités d'entrée d'eau, un sac expiratoire et parfois ajouté.

Le débit de nitrox étant connu, la  $fO_2$  finale dans le sac peut être calculée en fonction de la consommation d'oxygène du plongeur, la  $VO_2$ . En moyenne, celle-ci oscille entre 0,3 litre minute au repos et 1 litre minute en activité modérée (palmage mesuré) et peut monter jusqu'à 2,5 litres minutes en pointe durant quelques instants au cours d'un exercice particulièrement violent.

**Pour calculer la  $fO_2$  respirée on emploie la formule suivante :**

$$\frac{(fO_2 \text{ du bloc} \times \text{débit de l'orifice}) - VO_2}{(\text{débit orifice} - VO_2)} = fO_2 \text{ respirée}$$

**Pour un nitrox 50 % injecté à 8 litres minute cela donne :**

$$\frac{(0,5 \times 8) - 0,3}{8 - 0,3} = 0,48 = 48\% \text{ au repos (0,3 L/min)}$$

42 % en activité modérée (1 L/min) et 27 % lors d'un effort intense (2,5 L/min) (ce qui explique que l'air ne soit pas un mélange intéressant, il peut rapidement devenir très hypoxique).

Bien que cela ne représente pas l'idéal en matière de gestion de la décompression, la  $fO_2$  respirée se situant dans une fourchette estimable il est possible d'utiliser les recycleurs semi-fermés nitrox sans dispositif de contrôle de la  $ppO_2$ , en se basant sur la plus faible  $fO_2$  prévue. Des appareils ne proposent d'ailleurs ces dispositifs de contrôle

qu'en option - et certaines législations imposent un dispositif de contrôle de la  $ppO_2$ .

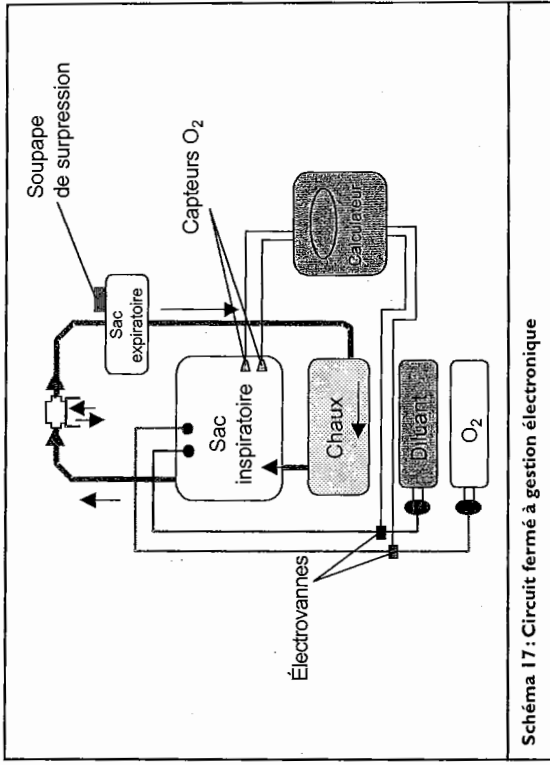
Avec une bouteille de 4 L à 200 bars de nitrox 50 % et un débit de 8 L/min l'autonomie théorique serait de 100 minutes, quelle que soit la profondeur. La performance est moindre qu'en fermé  $O_2$  pur, et elle diminue encore lorsqu'on utilise un nitrox moins riche en  $O_2$  car le débit doit être plus élevé, mais elle reste acceptable en regard d'un circuit ouvert (une autonomie équivalente à 18 mètres demanderait un bi 2 x 9 litres). Parce qu'ils sont relativement simples d'usage et d'entretien, les semi-fermés nitrox sont les recycleurs les plus employés en plongée loisir. On peut même dire que ce sont eux qui sont à l'origine de l'émergence (encore modeste) de la plongée loisir recycleur.

Des machines de ce type sont commercialisées par Dräger (les modèles

*Ray* et *Dolphin*) <http://www.draeger.com/ST/Prod/DD/ddl.jsp> et *OMG* (les modèles *Azimuth*)

## Quand ça change, ça change

Et pour profiter au maximum des possibilités d'un recycleur, ça va changer souvent ! Afin de conserver à toute profondeur la meilleure  $ppO_2$  possible ou maintenir une  $ppO_2$  constante au cours de la plongée, la



**Schéma 17 : Circuit fermé à gestion électronique**

$fO_2$  va devoir être constamment ajustée. Un sac rempli de 40 % d' $O_2$  en surface ne devra plus contenir que du 22 % à 60 mètres ( $ppO_2$  1,6) mais devra se rapprocher de 100 % lors du retour à 6 mètres ( $ppO_2$  1,6). Un seul gaz « pré-dilué » ne le permettrait pas. Deux gaz distincts sont nécessaires, de l' $O_2$  pur et un diluant, couramment de l'air mais qui peut être un nitrox, un héliox ou un trimix (et même un gaz inerte pur, hélium ou azote, bien que ce soit se priver d'un gaz respirable en secours). Renseignés par des capteurs  $O_2$  (identiques aux sondes des analyseurs de surface), un calculateur électronique va actionner des électrovannes qui injecteront de l'oxygène de manière à tenir la  $ppO_2$  aux valeurs qui lui auront été imposées.

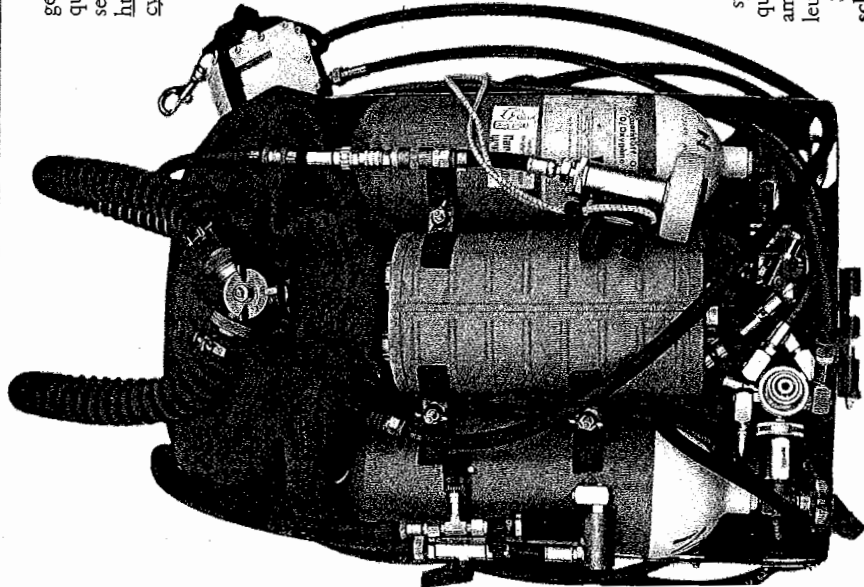
Le circuit fermé à gestion électronique (voir schéma 17) représente le summum de la technologie recycleur. Electronique et eau de mer faisant mauvais ménage, les dispositifs de contrôle et de gestion sont doublés voir triplés. Les performances sont au rendez-vous, mais l'appareil devient exigeant. A un coût d'achat élevé s'ajoute

une maintenance qui ne l'est guère moins. En outre, si un semi-fermé nitrox dispose d'un principe de fonctionnement sécuritaire (tant qu'on l'emploie à bon escient), un fermé électronique est destiné par essence à jouer avec les limites. Le moindre dysfonctionnement appelle une réponse immédiate et adaptée, réflexes qui ne s'acquiescent pas en un jour. Par ailleurs, utiliser à plein les avantages d'une  $ppO_2$  optimisée suppose un moyen de calcul de la décompression ad hoc. Idéalement, un ordinateur à capteur de  $ppO_2$ , engin qui n'est pas réputé bon marché. Bref, le recycleur circuit fermé à gestion électronique, c'est pas la machine de tout le monde !

Encore que la très relative et récente démocratisation des recycleurs engendre une certaine baisse des tarifs. On est encore dans l'excès, mais la direction prise semble la bonne.

Le plus diffusé des fermés électronique est une machine produite en Angleterre par Ambient Pressure, l'*Inspiration* (anciennement *Buddy Inspiration*). <http://www.ambientpressurediving.com/>





**Ci-dessus :**  
système à gaz...  
base IDA 71  
d'ours russe).

## Et les autres ?

Les trois appareils schématisés ci-dessus ne sont qu'un aperçu des machines existantes, trois thèmes aux nombreuses variantes. Les énumérer toutes serait fastidieux. Deux modèles méritent cependant le détour, parce qu'ils sont astucieux et performants sans faire appel à l'électronique (hormis pour le contrôle de la  $ppO_2$ ).

Le système KISS (voir schéma 18) de Gordon Smith, plongeur canadien. Kiss pour *keep it simple stupid*, ce qu'on peut traduire librement par *restons simples* : <http://www.jetsam.ca/index.php>  
Et le modèle développé par un artisan

genevois, Swiss Custom Rebreather's, qui autorise plusieurs modes, fermé et semi-fermé, multigaz ou prémélangé : [http://home.worldcom.ch/intruder/RecycleursR % E2alisations. htm](http://home.worldcom.ch/intruder/RecycleursR%20alisations.htm)

Le Kiss est le résultat d'une idée géniale : puisque l'on peut estimer la consommation d' $O_2$  d'un plongeur, on peut lui fournir la quantité dont il a besoin par un débit faible mais constant d'oxygène. Afin de conserver une marge de sécurité, ce débit constant sera inférieur à la consommation d' $O_2$ , environ 0,5 L/min délivré par un orifice calibré, un by-pass manuel permettant d'injecter la quantité nécessaire au maintien de la  $ppO_2$  voulue. Ainsi, plus besoin de cerveau électronique compliqué, cher et capricieux. Un coup d'œil régulier à l'oxymètre, éventuellement suivi d'une pression du pouce sur le by-pass, et c'est tout. Une vanne à la demande actionnable également à la main permet le cas échéant de faire chuter la  $ppO_2$ . Ce système fonctionne tellement bien qu'il a été adopté par de nombreux amateurs construisant ou modifiant leurs recycleurs.

Swiss Custom Rebreather's (voir schéma 19) réalise lui un système un peu plus sophistiqué, mais toujours sans gestion électronique. A la place du boîtier Kiss on trouve une vanne à aiguille réglable sous l'eau et une vanne d'arrêt. La ligne de diluant est elle aussi équipée d'une vanne à aiguille réglable et d'une vanne d'arrêt. Lorsque les deux lignes sont en fonction, le recycleur est en circuit semi-fermé, avec un faible débit d' $O_2$  et un débit de diluant plus fort. Si l'on ferme la ligne de diluant et qu'on ajuste la vanne à aiguille oxygène, la machine passe en circuit fermé. On peut également n'utiliser que la ligne diluant avec un nitrox. Ou que l' $O_2$  pour la décompression. Tous les modes sont sélectionnables sous l'eau. C'est le recycleur adaptatif. Là aussi des réalisations amateurs s'en inspirent.

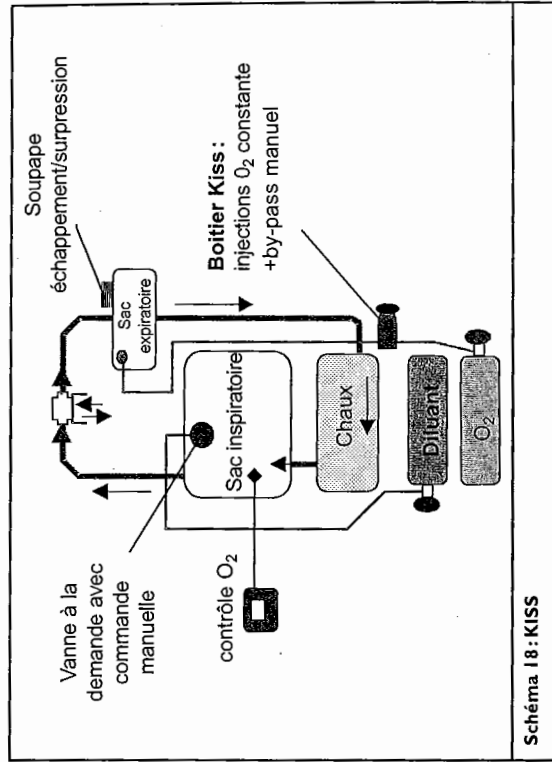


Schéma 18 : KISS

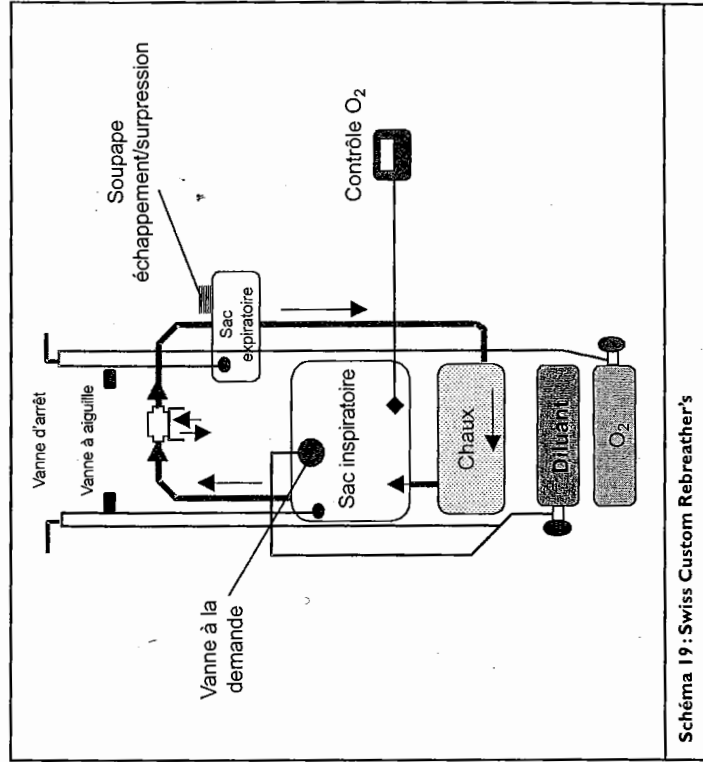
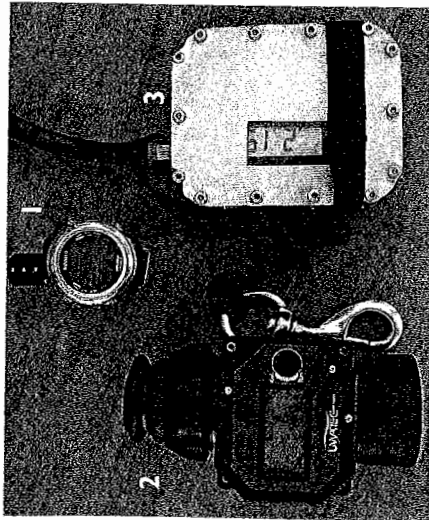


Schéma 19 : Swiss Custom Rebreather's



### Ci-dessus :

1. Suunto Spyster (pour l'échelle).
2. Oxy 2.
3. Oxygène maison.

## La ppO<sub>2</sub>

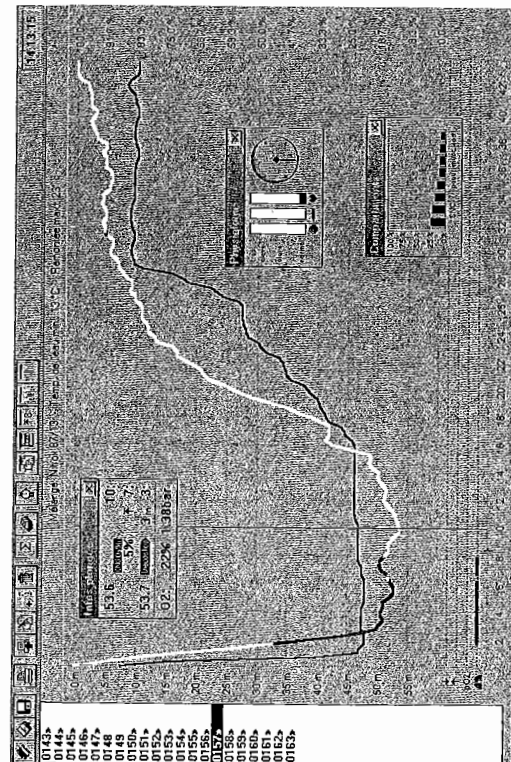
Hormis le circuit fermé à oxygène pur où la question ne se pose pas (du moins où la réponse est évidente), la connaissance de la ppO<sub>2</sub> respirée est vitale lorsqu'on utilise un recycleur. Contrairement au circuit ouvert où elle ne dépend que du gaz embarqué et de la profondeur atteinte, elle est dans les circuits fermés et dans une moindre mesure les semi-fermés susceptible de changement rapides, importants et surtout imprévisibles. Un système de contrôle de

la ppO<sub>2</sub> est donc impératif. Ce n'est finalement qu'un analyseur d'oxygène rendu étanche pour pouvoir être immergé. Deux modèles sont commercialisés en série : l'Oxygauge de Dräger et l'Oxy 2 d'Uwatec. Depuis peu un 3<sup>ème</sup> par HydroSpace : l'Explorer ppO<sub>2</sub> meter.

L'Oxygauge ressemble à un manomètre, n'utilise qu'une cellule O<sub>2</sub> pour effectuer sa mesure et donne la ppO<sub>2</sub>. Elle se monte sur le sac inspiratoire et coûte environ 700 euros.

L'Oxy 2 utilise deux cellules intégrées, et grâce à un capteur de pression convertit la ppO<sub>2</sub> en fO<sub>2</sub>. Il se monte sur le tuyau inspiratoire, ce qui le rend soit encombrant soit difficilement lisible. Employé seul, il n'indique que la fO<sub>2</sub>; couplé à un ordinateur AirZ O<sub>2</sub> il indique ppO<sub>2</sub> et fO<sub>2</sub>. L'ordinateur adapte son calcul en fonction de l'oxygène respiré. Un tel ensemble vaut près de 2000 Euro et ne donne sa pleine mesure qu'avec les circuits semi-fermés (sur un circuit fermé l'ordinateur analyse la chute de fO<sub>2</sub> comme un travail et durcit son calcul, en outre, il entre en alarme lorsque la fO<sub>2</sub> est inférieure à 19 %).

De nombreux plongeurs ont réalisé des oxymètres sur le principe et avec les composants des analyseurs O<sub>2</sub> de surface,



### Ci-contre :

- Profil recycleur
- CCR relevé par Air Z O<sub>2</sub> + Oxy 2
- La courbe claire illustre la profondeur, la courbe foncée la fO<sub>2</sub> u mélange respiré.

la plupart utilisent deux voire trois cellules O<sub>2</sub> et autant d'afficheurs en parallèle pour plus de sécurité. La construction ne souffre bien entendu aucune approximation, cela posé, les appareils maison semblent fonctionner plutôt bien. Le mien n'a pas encore un grand nombre d'heures d'usage, mais il donne pour l'instant satisfaction.

## Ah les belles machines !

Oui, les recycleurs ont d'extraordinaires capacités. A l'autonomie importante et à la décompression optimisée on peut ajouter la respiration d'un gaz chaud et humide plus agréable et moins réfrigérant qu'un circuit ouvert, l'absence de bulle qui favorise l'approche de la vie marine, un encombrement et un hydrodynamisme avantageux, une économie de gaz importante.

Certes... Encore que l'absence de bulle n'a pas toujours et partout l'effet escompté sur la gent aquatique, dans certains coins les poissons ont appris à se méfier de ce qui porte des palmes et ne fait pas de bulles, même non équipé d'un fusil. Hydrodynamisme et encombrement sont parfois tempérés par la nécessité d'emporter des blocs de secours en circuit ouvert ou un deuxième recycleur. Quant à l'économie réalisée sur le gaz, compte tenu du coût d'un recycleur, de son entretien, d'un oxymètre, d'un ordinateur à gestion de ppO<sub>2</sub>, de la chaux, des « formations » que certains fabricants imposent comme préalable à la fourniture d'appareil, etc., ce n'est qu'une douce plaisanterie. Il faudrait plonger à l'hélium huit heures par jour sept jours sur sept pour compenser, et encore. L'argument n'a d'utilité qu'à convaincre un conjoint de l'urgence nécessaire d'acquiescer un recycleur, c'est vil et fourbe mais parfois efficace !

En outre, beaucoup de réflexes circuit-ouvert sont à oublier. Le poumon ballast n'est plus d'aucune utilité, quand on vide ses poumons c'est pour gonfler ceux du recycleur et inversement. Une difficulté

respiratoire peut s'accroître en remontant, un gaz hypoxique en profondeur le sera davantage en surface. La composition du gaz inscrite sur la bouteille n'offre guère de garantie, on respirera à peu près tous les mélanges sauf celui-là. Jusqu'à l'équilibrage qui est à revoir, la présence de sacs respiratoires modifie la position du centre de gravité. Un deuxième étage défectueux n'envoie que de l'air, de l'eau ou rien; un embout buccal peut également envoyer un mélange d'eau et de chaux appelé *cocktail caustique*. Un cocktail caustique n'est vraiment pas bon, et peut occasionner de sérieuses brûlures aux muqueuses, voire pire en cas d'ingestion.

Évoluer en silence avec une machine fluide et légère reste cependant très agréable. Et lorsqu'on a goûté au recycleur, il est difficile de revenir « en arrière », aux circuits ouverts. Cependant, avant de pouvoir en profiter pleinement, la plongée recycleur demande un investissement important, en monnaie sonnante et trébuchante mais aussi personnel, compréhension des systèmes, temps d'apprentissage, maintenance pré et post plongée. Les bricoleurs y trouveront leur compte, la conception ou la transformation d'un recycleur fournit de quoi occuper les longues soirées d'hiver. De plusieurs hivers. Après la plongée recycleur, la plongée recycleur continue !

Un ouvrage consacré aux recycleurs a été publié récemment :

*Mastering Rebreathers*, par Jeff Bozanic, aux éditions Best Publishing Company. <http://www.bestpub.com/>

Sans oublier la référence, le site de Dave Sutton : <http://www.nobubblediving.com>

La plupart des recycleurs du monde, américains, français, russes, anglais, allemands, italiens, photographiés, auscultés, décortiqués, commentés, modifiés. De quoi alimenter les imaginations les moins fertiles.

Autre importante source d'informations, *The Rebreather Web Site* : <http://www.metacur.com/rebreathers/Default.htm>

# A cent mètres de la plage

- Tu sais pas la dernière ? s'exclame Rémy.

- Les bananiers barrent à Capes-terre..., complète Sandrine, son épouse.

- C'est de saison ! Je ricane, du ton de n'importe qui ayant vécu plus de dix minutes en Guadeloupe, département réputé pour sa population chaleureuse et accueillante. D'ordinaire, l'annonce du énième barrage, grève, ou mouvement de la semaine ne nous émeut guère. Ce matin, ça fait suer. Parce que ce matin, justement, nous avons décidé d'aller plonger sur le tombant Delgres à Basse-Terre. Entre nous et le tombant, il y a Capesterre (belle eau !) et ses planteurs de bananes. L'échappatoire existe, la route de la traversée, puis Bouillante et Baillif.

Une heure de trajet supplémentaire... Excellente raison de ne pas traîner à charger le fourgon.

Dont acte.

Si la route paraît sans fin, si à partir de Bouillante la plus longue ligne droite frise les trois mètres cinquante, le paysage est en revanche superbe. Forêt tropicale sur mer des Caraïbes. Vert sur bleu, avec déjà les premiers éclats rouges des flamboyants. Presque de quoi rendre sympathiques les subventionnés de la banane. Presque.

La mer tient du lac, rien d'exceptionnel en côte-sous-le-vent. Mais plus on se rapproche du but, plus l'océan se couvre de blanc. Arrivé sur la plage bordant la digue de Basse-Terre, ce sont de bonnes vagues qui roulent entre sable et galets. Poussée par un alizé sud-est, la houle du canal des Saintes passe la Pointe Vieux-fort et se fait sentir jusqu'ici. Rien de dramatique cependant, la mise à l'eau sera juste un peu plus animée que prévue.

Une fois le matériel monté, j'y vais

le premier, un bloc sous chaque bras, deux dans le dos, tous en alu. J'avance avec prudence, histoire de ne pas me répandre lamentablement sur les cailloux, guette une accalmie entre deux rouleaux, et hop ! Le fond descend vite, l'eau me libère rapidement du poids. Rémy me passe mes palmes, puis le dernier bloc, que j'accroche à gauche. Cinq bouteilles au total, pour quatre gaz. Trimix 10/70, trimix 22/30, nitrox 40, O<sub>2</sub>. Pendant que Rémy procède de la même manière aidé par Sandrine, je m'éloigne gentiment de la plage. C'est l'occasion de mesurer le courant, faible. Et la visi, pas terrible, sans doute à cause du sable que remue la houle. Sable volcanique, gris et noir, qui réfléchit peu la lumière.

Rémy me rejoint, on s'éloigne vers l'ouest et le large en palmant sur le dos. Durant une brève minute on peut apercevoir le sommet de la Soufrière, entre deux nuages.

Environ à cent cinquante mètres du bord, on estime venu le temps de descendre. Pure estimation, nous n'avons des lieux qu'une connaissance parcelle, acquise au grès des plongées effectuées de loin en loin le long de cette côte. La seule carte existante est à grande échelle (toute la côte sous le vent), avec des relevés datant d'un siècle. Quant à nos bateaux respectifs et leurs sondeurs, les amener ici prendrait trop de temps et de carburant. On sait néanmoins que le fond tombe très vite, qu'il est à dominante sableuse, avec de jolies zones rocheuses, qu'on y trouve beaucoup d'arbres morts lorsqu'on est dans l'axe du torrent du Galion, et du béton aussi, infrastructures démolies par les ouragans. Selon nos informations, il devrait y avoir des épaves, mais pour l'instant nous ne sommes jamais tombés dessus.



Après un signe à Sandrine qui reste sur la plage -alors qu'elle aimerait participer- on entame la descente, sur trimix 22/30.

Contrairement à ce qui se produit souvent, la visi ne s'améliore pas avec la profondeur, l'eau reste chargée de particules. La luminosité baisse donc très vite. A 55 c'est le passage sur mélange fond, je trouve un détenteur (celui que je porte attaché autour du cou), mais pas le deuxième... Je cherche, tâtonne de droite et de gauche. Rien n'y fait. Pourtant je l'avais là ! Et comme ce sont deux blocs indépendants... Je fais signe à Rémy, qui s'approche, suit le tuyau du doigt... jusqu'à la bouteille relais ! Le détenteur est coincé entre le robinet et le premier étage du relais. Je l'avais sous le nez et je ne le voyais pas ! Après m'être traité de crétin, je reprends la descente.

La luminosité ne s'arrange pas... L'eau est limpide maintenant, mais la lumière reste bloquée par les coquilles des étages supérieurs. A chaque passage d'un nuage on a l'impression que quelqu'un éteint. C'est presque angoissant. On gonfle les wings. Pas si pressé que ça de trouver le fond !

A soixante-quinze mètres on ne le devine toujours pas... La carte du secteur manque de détails, mais une ligne de sonde proche de la plage affiche tout de même 200 mètres. Si on s'est loupé, on est bon pour palmer dans le vide à la boussole. Vers quatre-vingt, on distingue une traînée sombre, mais impossible de dire à quelle profondeur. Vu la clarté, ça ne peut de toute façon pas être très loin. Les choses se précipitent, la trace sombre est une marche rocheuse qui dépasse du sable, perpendiculaire au tombant. Je gonfle encore ma wing pour ralentir la chute. La marche débute vers 90 mètres. On avait prévu 110 maxi. On s'arrêtera à 107, à la limite du sable et de la roche. C'est ce qui s'appelle viser juste.

Ou avoir de la chance. En face, à une trentaine de mètres, le même genre de relief émerge du sable, on se trouve dans une sorte

de canyon, de ravine plurôt, dont le fond sablo vaseux continue de dégringoler à quarante-cinq degrés. Des coraux fil de fer démesurés pointent leurs longues spirales vers nous. Calme. Sobriété. Volupté ?

Rémy me fait signe que le paysage est impressionnant. Bien d'accord ! Ailleurs en Guadeloupe il nous est arrivé d'apercevoir les vagues de surface par quatre-vingts mètres de fond. Ici, au-delà des crêtes sombres du tombant, c'est une aube improbable, un crépuscule maladif, dans les tons gris jaune. Et puis la quasi-absence d'azote nous rend pleinement conscient d'être loin, très loin. Mille cinq cent soixante-sept mètres sous le panache de vapeur de la Soufrière...

Le mieux est d'agir, je dégrafe ma petite Princeton. Comme toujours en profondeur, j'ai l'impression que l'optique est bloquée, effet des 11 bars de pression sur le filetage. Dans le noir d'une grotte ou d'une épave, le faisceau de cette lampe est d'un joli blanc, ici il ne parvient qu'à une tache rougeâtre, qui suffit pourtant à aveugler des bancs de cardinaux tassés dans les recoins de la roche volcanique. Une petite langouste reste elle aussi tétanisée au fond d'un trou. Les plongeurs ne font pas partie de leurs fréquentations, ça se sent.

Treize minutes. Il est temps de penser à filer.

Rémy en profite pour me montrer sa Spyder, qui n'affiche plus que trois traits, et son timer, arrêté sur 94 mètres. Seul son vieil Aladin donne bravement la profondeur maxi de 107 mètres. Les fonctions temps, et paliers pour ceux qui en disposent, semblent néanmoins continuer de marcher.

Mon Nitrek3 est en mode profondimètre-timer. Nos tables ont été calculées avec Decoplan, à qui on a décidé d'ajouter un zest de VPM en effectuant de brefs arrêts à partir de 80 mètres.

C'est parti pour pas loin de deux heures de remontée.

Jusqu'à 75, le tombant est essentiellement sableux, longue cascade grise entrecoupée par quelques rochers venus d'en haut, et par des casiers achèvent de pourrir ici. Certaines zones sableuses sont noir profond, preuve d'éboulements récents, causés sans doute par les secousses sismiques. Tout ça ne donne pas une grande impression de stabilité...

Ensuite la roche est plus fréquente, avec chaque fois une explosion de vie fixée, éponges, gorgones, coraux fil de fer, et de plus en plus de poissons. De place en place le sable est taché d'ocre. Je pense à des sources d'eau chaude, fréquentes dans le secteur, mais on ne sent aucune différence de température. Ce qui ne signifie pas grand chose, l'activité des sources est liée à celle du volcan, lui aussi instable.

A partir de soixante et jusqu'à quinze on évoluera dans un chaos de roches et de parois verticales, fantomatiques dans le contre-jour. Tous les poissons caribbes sont là : platax, anges, pagres, vieilles, thazards, bar-racudas et pisquettes. Demoiselles et sergent-majors. Ne manque qu'une tortue pour que le tableau soit complet. Il y a tellement à voir qu'on prolonge un peu les paliers... On

pense tout de même à envoyer un parachute, comme convenu, pour que Sandrine ne s'inquiète pas.

Dans la zone des vingt mètres les ordinateurs de Remy entrèrent en mode erreur et nous poursuivrons de leurs bip agaçants.

De quinze à trois, c'est une pente douce et sableuse, avec quelques cailloux pour abriter de petits poissons. On y trouve souvent des hippocampes, pas cette fois malheureusement. En revanche on retrouve la houle pour les derniers paliers...

Et enfin on émerge, après 124 minutes.

Cinquante mètre à gauche du fourgon et de notre point de départ. Décidément, on avait le compas dans l'œil ce matin.

Sandrine qui nous suivait grâce au parachute vient vers nous. Dès qu'on prend pied sur le fond, les vagues qui nous portaient nous rendent brusquement au poids réel des blocs. On se penche pour compenser, un rouleau nous scie les pattes, un autre nous expédie sur la plage. Allongés dans les galets on a tout de deux yeux marins, et on rigole tellement qu'on ne parvient même pas à décrocher nos blocs. Sandrine nous aide.

Heureusement, ça l'empêche de photographier cette minure navrante !



# La plongée souterraine

par Frank Vasseur

On plonge sous le « vieux continent » depuis l'entre-deux guerres.

C'est peut-être pour cela que les plongeurs souterrains sont considérés comme les ancêtres de la plongée Tek. Non par goût prononcé pour les gadgets et autres frivolités dont ils sont affrétés, ni par souci d'encorement ou collection de distinctions, mais bien par souci de survie et d'adaptation (matériel et techniques) aux spécificités d'un milieu particulier.

Il n'y a pas de plongée « facile » en souterrain. Le karst (montagne calcaire avec ses caractéristiques morphologiques typiques où plus de 90 % des grottes se développent) est un milieu spécifique, fondamentalement différent de la surface libre et des autres plongées sous plafond (glace, carrières, épaves... etc.).

Les profils sont imposés, les conditions peuvent se dégrader entre le début et la fin de la plongée, il faut refaire dans l'autre sens tout le chemin parcouru à l'aller pour retrouver l'extérieur, des pièges introuvables ailleurs et intuitivement indécélables y foisonnent.

Aussi, il a fallu oublier les techniques de plongée « libre » pour développer des logiques de sécurité adaptées, inventer du matériel approprié.

Enfin, si les cavernes noyées sont, à quelques exceptions près, plutôt répugnantes pour des amateurs de « grand bleu », il convient de garder à l'esprit les motivations profondes de « spéléonautes ».

## 1 Le milieu souterrain

### ■ la caverne

La plongée se fait sous plafond, en « surface non libre », faut-il le préciser. Mais en milieu naturel, pas dans une structure façonnée par l'homme.

Cet environnement résulte d'une logique naturelle, où les actions de l'eau et de la roche se sont combinées lors de sa genèse. Les processus érosifs, les dynamiques de transport de sédiments y sont encore et toujours actifs.

La connaissance préalable d'un minimum de notions dans ce domaine est conseillée, afin de « lire » la cavité, interpréter les indices, éviter les pièges et faire face aux imprévus.

Dès lors qu'on s'aventure sous terre, la remontée rapide ou assistée en cas de problème devient incontournable. Il faudra refaire en sens inverse tout le chemin parcouru à l'aller pour rallier la sortie. En cas de narcose ou d'essoufflement, il est impossible de remonter pour atténuer le phénomène.

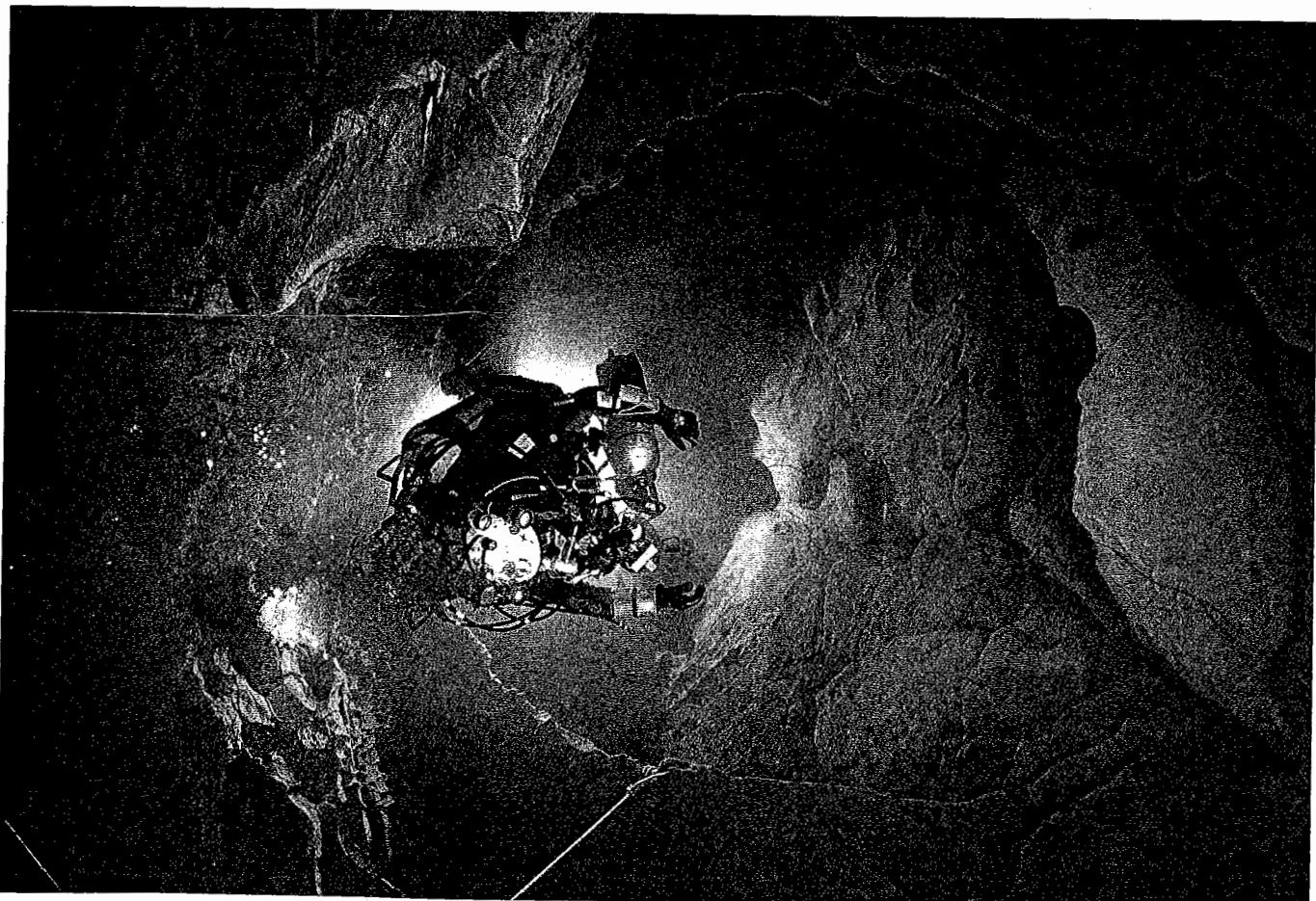
C'est pourquoi la barre des 30 mètres est considérée comme le début de la « profonde » en souterrain.

Sous terre, le soleil ne brille pas. Il faut prévoir de l'éclairage en quantité suffisante, avec l'autonomie nécessaire.

À de très rares exceptions de grottes sous-marines, on plonge en eau douce dans les arcanes. Il faut revoir à la baisse son lestage et se méfier des effets congestionnants de l'eau douce.

L'eau est froide, sa qualité peut être douteuse. Elle se déplace parfois avec force, et cette puissance varie en fonction des changements de section et d'orientation de la galerie.

À gauche  
Le Goul du  
Photo de R.  
assisté de R.  
Sujet: X.Mé



L'univers tellurique n'est pas toujours des plus stable : des blocs peuvent se détacher, la couleur des parois réfléchit différemment la lumière.

La morphologie de la cavité est souvent riche en « réjouissances » combinées : multiplication de galeries labyrinthiques, profil accidenté (yo-yo). La configuration des galeries oppose parfois de curieux obstacles : les laminoirs (galerie plus large que haute), les fractures (galerie plus haute que large),

**Ci-dessous :**  
L'Event du Rodel.  
Photo R. Huttler  
assisté de J-M Belin.  
Sujet: F.Vasseur.



les trémies (effondrement de blocs rocheux entre lesquels il faut se faufiler), les étroitures (rétrécissement de la section du conduit) qui peuvent se passer aisément à l'aller et plus difficilement au retour.

Le sol des galeries est souvent occupé par des sédiments (galets, graviers, sable, argile), qui peuvent se mettre en suspension et troubler l'eau derrière les plongeurs, former des monticules que les crues déplacent et obstruent totalement le conduit, se déstabiliser et glisser dans une pente au passage d'un troglodyte.

Parfois le siphon émerge dans des galeries exondées, ou simplement dans des cloches. L'atmosphère souterraine peut devenir dangereuse, voir même irrespirable (CO<sub>2</sub>, CO, méthane, vapeurs sulfurées... etc.).

En conséquence, c'est à l'aller que l'on observe le siphon et qu'on repère les problèmes potentiels.

Ces particularités induisent pour le plongeur habitué à la mer, au lac, des modifications importantes de son équipement, dans la programmation de sa plongée et des techniques utilisées.

Plonger c'est s'adapter au milieu, lequel n'est par définition pas uniforme.

A ce titre, la plongée souterraine offre un large panel de progressions :

la plongée en résurgence, où l'on est souvent immergé durant toute la durée du séjour souterrain  
le multi-siphon, avec progressions exondées intermédiaires

le fond de trou, avec progression spéléologique préalable et post-plongée

Notre bonne vieille terre est riche de sa diversité. Le milieu souterrain n'y déroge guère et chaque plongée souterraine est un cas particulier. Certains paramètres peuvent évoluer (débit, courant, visibilité... etc.) et sont à reconsidérer systématiquement une fois sur site en fonction des conditions au jour de la plongée. Et si le fil d'Ariane est nécessaire pour regagner la sortie quelles que soient les conditions lors du retour, il est également à l'origine de bien des accidents en plongée souterraine (40 % environ).

## ■ 1.2 Le fil d'Ariane

On progresse en siphon en suivant un fil d'Ariane. Même si l'eau est claire, la galerie large et non labyrinthique.

Sous terre, une eau très claire peut se troubler en quelques secondes, rendant l'orientation lors du retour impossible sans le fil guide.

Il faut s'astreindre à le tenir constamment. Une fraction de seconde d'inattention peut suffire à le perdre ou à en suivre un autre, qui ne rejoindra pas nécessairement la sortie.

Mais si ce fil est un guide incontournable, ce soutien impératif est susceptible de se transformer en piège mortel (rupture, emmêlement, mauvaise orientation, passage dans des sections infranchissables).

Ce n'est pas parce qu'un siphon est équipé en fil d'Ariane :

- qu'il a été correctement équipé (respect de l'espace d'évolution, pas de section-piège)
- que son équipement est toujours en état (les crues, des plongeurs peuvent avoir fait sauter des amarrages, déplacé des points d'ancrage)
- qu'il est toujours fiable (les crues peuvent l'avoir fragilisé ou rompu)

### ● 1.2.1 Quel fil ?

La drisse nylon (non flottante) de 3 mm donne généralement satisfaction. Parfois les plongeurs utilisent plus

fin (économie de place sur le dévidoir pour des explorations) ou au contraire plus gros, voire de la corde ou du câble. (voir schéma 20)

Il est d'usage de décamétrer le fil avec des étiquettes. L'adhésif plastique utilisé par les électriciens est plus durable que l'adhésif à trame textile fortement biodégradable. Sur ces étiquettes, on indique la distance et si possible le sens de sortie en biseau tant un coin. Ce repère tactile sera apprécié lors d'un retour dans la purée d'argile. Des nœuds judicieusement placés peuvent compléter le marquage, ainsi qu'une trace au feutre tous les 5 m.

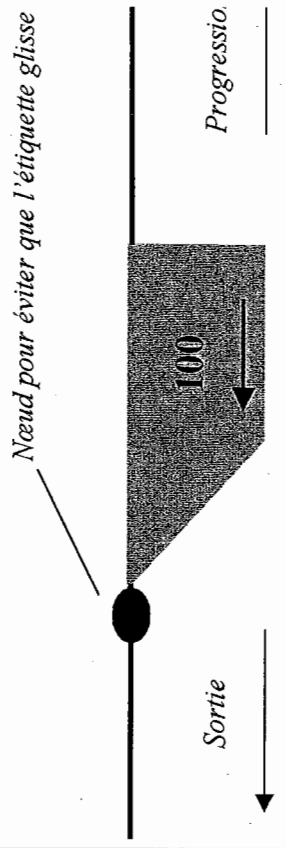
### ● 1.2.2 Progression en suivant un fil équipé

On tient le fil dans un cercle fermé formé par le pouce et l'index, les deux doigts toujours en contact (d'aucuns, à la sensibilité exacerbée, parlent de carresse).

Attention, le fil est là pour indiquer le cheminement à suivre. Ce n'est en aucun cas un dispositif de progression. En l'occurrence on ne se tracte pas dessus pour avancer, on ne tire pas dessus pour aller voir ou ramasser quelque chose hors de l'espace d'évolution.

Le fil est tenu bras tendu, le plus éloigné possible du corps, afin d'éviter tout accrochage sur le plongeur.

Schéma 20 : Marquage du Fil d'Ariane.



n, lorsqu'on regarde vers le côté de la galerie, en tournant le corps se décale de la tête au fil d'Ariane. Le risque est de se faire piéger par l'autre main.

### Évolutions sur le fil

**Se retourner :** Pour faire demi-tour, pour communiquer avec un coéquipier, toujours se retourner face au fil. En lui tournant le dos on s'expose à se piéger (robinetteries, palmes).

**Passer dessous :** Soit on se retourne face au fil, bras tendu pour l'éloigner, soit le bras qui le tient décrit un large quart de cercle au-dessus de sa tête. Le fil est repris par l'autre main qui décrit à son tour un autre quart de cercle bras tendu pour le ramener du côté opposé.

**Passer un fractionnement :** la main sur le fil reste dessus avant l'amarage. L'autre main saisit le fil de l'autre côté du fractionnement, puis on remplace la première main pour poursuivre la progression.

Suivre le fil des yeux est réservé, pour des pratiquants très expérimentés et connaissant la cavité, à certains types de siphons et certaines conditions de visibilité exceptionnelles. A noter que lorsqu'on regarde le fil, on ne peut observer tout le reste en même temps (galerie, orientation, instruments, équipement).

Un plongeur est responsable du fil qu'il suit. On ne coupe jamais de fil sans le raccorder surtout s'il y a des plongeurs dans le siphon.

### ● 1.2.3 Équipement du siphon

On n'équipe pas un siphon en déroulant simplement un fil derrière soi, à la manière d'un certain personnage de la mythologie grecque chargé d'en découdre avec une moitié de bovin dans un célèbre labyrinthe.

Les pionniers de la plongée souterraine se faisaient « assurer » depuis la surface par une équipe de soutien qui laissait filer à l'aller puis ravalait

au retour une corde amarrée au plongeur. Cette technique a été très rapidement abandonnée, pour avoir été fatale suite au coincement de la corde.

### Principes

En installant un fil d'Ariane dans une galerie, on s'efforce de respecter un « espace d'évolution ».

Pour un équipement idéal, quand la morphologie du siphon s'y prête, c'est le « champ » dans lequel le plongeur doit pouvoir progresser autour du fil d'Ariane (dans un rayon équivalent à la longueur de son bras) sans heurter d'obstacle ni se coincer, même sans visibilité.

Le fractionnement régulier (sous les dix mètres environ) et judicieux (localisation des amarages) doit éviter que le fil n'aille glisser ou se tendre, derrière le plongeur, dans une portion de la galerie trop étroite pour qu'il puisse la franchir au retour (section piège). On évite aussi, si le fil est rompu, qu'il y ait une trop grande longueur de fil libre dans la galerie.

Cependant, dame nature est pourvue d'une imagination fertile lorsqu'il s'agit de sculpter les arêtes telluriques. Les plongeurs souterrains, passionnés par l'étude et l'exploration de ce milieu, s'engagent dans toutes les voies, même les plus étroites où la théorie n'est pas toujours applicable stricto sensu.

### Amarages

#### Fixer le fil

L'amarage initial du fil est hors de l'eau, bien au-dessus du niveau de la vasque. Il doit être « béton », constitué d'un noeud solide (noeud de chaise, noeud en huit) autour d'un arbre, d'un rocher, sur un piton, quelque chose de sûr qui ne plie ni ne rompt.

En aucun cas on ne confiera sa vie à un anneau de chambre à air vêtuste autour d'un gros galet, ou un noeud « incertain » sur un arbrisseau.

### Le fractionner

A l'aide d'anneaux de caoutchouc découpés dans des chambres à air réformées (les « caouèches »). L'avènement du « tubelless » dans l'industrie pneumatique en fait une denrée rare.

On réalise une « tête d'alouette » (en aplatisant l'anneau, on le pose autour du fil avant de passer la boucle d'une extrémité du caouèche dans celle de l'autre extrémité, puis on serre, comme une cravate autour du cou).

L'unique boucle est alors passée autour de saillies des parois, de blocs rochers qui jonchent le sol. Ils constituent autant d'amarages providentiels.

### Si la roche est lisse?

Des plombs largables, auxquels le fil sera accroché, remplaceront avantageusement les amarages naturels.

Si le sol est recouvert de sable ou d'argile?

Des tuteurs agricoles, des piquets de tente peuvent être plantés dans les sédiments.

### Bifurcations

Il est judicieux, lorsque qu'il existe un carrefour de fil, de marquer l'embranchement en apposant un élastique de chambre à air, une étiquette rigide, une flèche en plastique sur le fil qui rejoint la sortie. Le principe en vigueur consiste à signaler uniquement la sortie et rien d'autre.

### Il en ressort:

- que l'équipement d'un siphon nécessite expérience et pratique
- que l'utilisation d'un dévidoir n'est pas innée et requiert un apprentissage

### ■ 1.3 Le dévidoir

Il sert à l'équipement de la galerie, mais aussi au déséquipement, au nettoyage de vieux fils vêtustes, ainsi qu'aux manœuvres de démêlage et de recherche de fil perdu en cas de problème sur un fil déjà en place.

Les dévidoirs doivent permettre de dérouler, mais aussi de rembobiner le fil. Pour cela, il est avantageux qu'ils correspondent au « cahier des charges » suivant :

- compact et relativement peu volumineux

- permet de dévider et rembobiner rapidement et sans difficulté

- empêche le fil de sortir inopinément - ne se bloque pas par bourrage ou coincement de graviers à l'intérieur (proscrire les modèles carénés)

- les étiquettes de marquage doivent passer sans se bloquer (au dévidage comme au rembobinage)

- contient 150 à 300 m de fil d'environ 3 mm de diamètre

- muni d'une dragonne pour l'assurer au poignet (et pouvoir le lâcher sans le perdre)

- et d'un système de blocage de la manivelle (pour parer à tout débordement intempestif)

Il faut éviter de le remplir au maximum et de serrer les spires, afin qu'en cas de rembobinage le fil occupe le même volume dans le dévidoir.

Un dévidoir trop plein est dangereux, des spires risquent de s'échapper, de le bloquer et de le rendre inutilisable.

Au vu du panel de tâches à effectuer, il est convenu que plusieurs modèles soient mis en œuvre.

### On peut identifier trois types de dévidoir:

#### 1. Dévidoir de secours

Avec quelques anneaux de chambre à air. En toute circonstance, le plongeur est muni d'un minimum de fil (de 50 à 100 m), pour lui permettre une recherche rationnelle et méthodique en cas de perte ou de rupture du fil principal.

#### 2. Dévidoir de progression

Il sert à l'équipement du siphon et au déséquipement lorsque c'est nécessaire. Il contient environ 150 m de fil décarné avec des repères tactiles

indiquant la sortie. Il fait partie du matériel personnel, toujours accroché au plongeur. Avec une vingtaine d'anneaux de chambre à air.

### 3. Dévidoir de travail

De grande capacité (environ 500 mètres). Il sert à rééquiper ou à nettoyer le siphon et doit pouvoir « engloutir » plusieurs fils de diamètres variés, des nœuds, des étiquettes souples ou rigides, des élastiques.

### Autour du dévidoir, deux « écoles » cohabitent :

- ceux qui préconisent un petit dévidoir de secours personnel, en complément du dévidoir de progression;
- ceux qui considèrent que les petits dévidoirs personnels ne sont pas opérationnels en situation de stress et qui conservent une marge de fil disponible sur le dévidoir de progression.

Chacun fera son choix en fonction de sa pratique et de sa sensibilité.

## 2 Logiques de sécurité

Sous la surface du globe, on peut grossièrement distinguer deux grandes zones de pratique de la plongée souterraine :

- La zone caraïbe (certaines régions des États-Unis d'Amérique, Mexique, Bahamas... etc.) où les grottes ont été formées à l'air libre puis ennoyées par l'océan. L'eau y est claire, chaude, les galeries parfois multiples au sein d'une même cavité.
- L'Europe où les siphons sont plus frais, très différents les uns des autres, plus « jeunes » et caractérisés par leur étroitesse et la turbidité, à quelques exceptions près.

Ces deux types de milieux souterrains ont conduit les explorateurs à adapter des approches distinctes de chaque côté de l'Atlantique.

Tous les plongeurs souterrains s'accordent sur l'importance de la préparation

préalable (étude de la topographie, définition des limites en distance et en profondeur, évaluation des besoins en gaz et en éclairage, estimation du temps de décompression... etc.) afin de laisser le moins de place possible à l'improvisation. La facilité de concertation avec laquelle on peut pénétrer dans un siphon est proportionnelle à la difficulté à s'en extraire.

Ainsi, l'usage de bouteilles-relais équilibrées, de propulseurs, du nitrox et du trimix, de cloches de décompression, de système-pipi, de gilets chauffants... etc. s'est répandu plus tôt sous de sécurité et de vecteur d'exploration.

### ■ 2.1 la logique du binôme

Si j'ai bien tout suivi, les plongeurs de Floride, qui bénéficient d'une concentration exceptionnelle de sources chaudes, larges, claires (plus de 1400 parat-il) ont conservé le principe du binôme. C'est à dire qu'ils plongent au minimum en couple, ne se séparent jamais et comptent sur leur partenaire pour les aider en cas de problème, les suppléer en cas de panne (éclairage, gaz, instruments...).

Leur matériel a été adapté et simplifié. Les bi-bouteilles sont reliés et isolés uniquement en cas d'avarie, l'un des deux détendeurs est monté sur un flexible de plus d'1,5 m enroulé autour du torse afin d'être rapidement donné au collègue. Le phare est porté à la main afin de ne pas éblouir, les instruments sont limités au strict minimum.

Tous les détails spécifiques de cette logique ont été étudiés et des techniques appropriées élaborées.

### ■ 2.2. La logique de l'autonomie, de la redondance et de l'adaptation

En Europe, les plongeurs souterrains ont développé une approche qui soit compatible avec leurs siphons, certes, mais aussi dans tous les cas de figures. Tant dans les résurgences larges et

claires que dans les boyaux argileux, en fond de gouffre ou en multi-siphon, en distance ou en profondeur.

Le premier de ces concepts est l'autonomie. Le salut ne vient que de soi-même, pas du copain qui accompagne, dont l'assistance sera illusoire dans certaines conditions. Le plongeur doit être capable d'assurer seul sa propre sécurité et de se sortir d'un mauvais pas. Dans certains cas, la plongée solo est un gage de sécurité en plongée souterraine. Ceci ne signifie pas que la plongée en binôme soit à exclure.

En découle le principe de **redondance** : tous les éléments vitaux du système (réserves de gaz, éclairage, instruments... etc.) sont au minimum doublés.

Les accidents en plongée souterraine précèdent toujours d'une accumulation d'événements, de détails, qui, cumulés, dégénèrent.

Aussi, on se limite à un seul et unique paramètre (cavité, coéquipier, matériel... etc) peu, pas ou mal maîtrisé lors d'une immersion souterraine.

Concrètement, lorsqu'on plonge dans une cavité inconnue - notre paramètre « incertain » - on s'engage avec une bonne condition physique, du matériel à soi et en état de marche, une configuration pratiquée et maîtrisée, accompagné d'un coéquipier coureur. Si on s'immerge avec un plongeur pour la première fois - le maillon faible - même chose que précédemment pour le matériel, la configuration, les techniques et la condition physique mais dans un siphon connu et convenablement équipé.

Les apprentissages sont préalablement abordés en eau libre (matériel, techniques), en situation moins punitive qu'en cavité noyée.

Ensuite, les paramètres et objectifs sont évalués durant la préparation, puis révisés à l'arrivée sur site en fonction des conditions et enfin gérés durant l'immersion. L'application de ce principe conduit le plongeur cavernicole au repli vers la sor-

tie au moindre incident, s'il rajoute un nouveau paramètre mal maîtrisé dans la plongée.

Lorsqu'on se trouve en situation critique, il convient de **gérer les priorités** lorsque plusieurs incidents se produisent en même temps, afin de ne traiter qu'un seul problème à la fois.

L'expérience a démontré qu'utiliser deux bouteilles séparées ne suffisait pas à assurer l'autonomie en gaz. Le plongeur hypogée fait demi-tour après avoir consommé alternativement (en changeant de détendeur environ tous les 5 bars) 20 % de la réserve totale de chaque bouteille.

C'est la **règle des cinquinièmes**. Elle autorise une marge de manœuvre confortable en cas de problème.

Chaque plongée souterraine est considérée comme un cas particulier auquel il faut s'adapter en revoyant sa configuration, en adaptant le matériel et les techniques.

Ceci implique une remise en cause et une adaptation permanente du pratiquant, un stock de matériel disponible et une lourdeur tant matérielle que financière. On peut légitimement s'interroger sur les (saines) motivations de ces plongeurs de l'ombre!

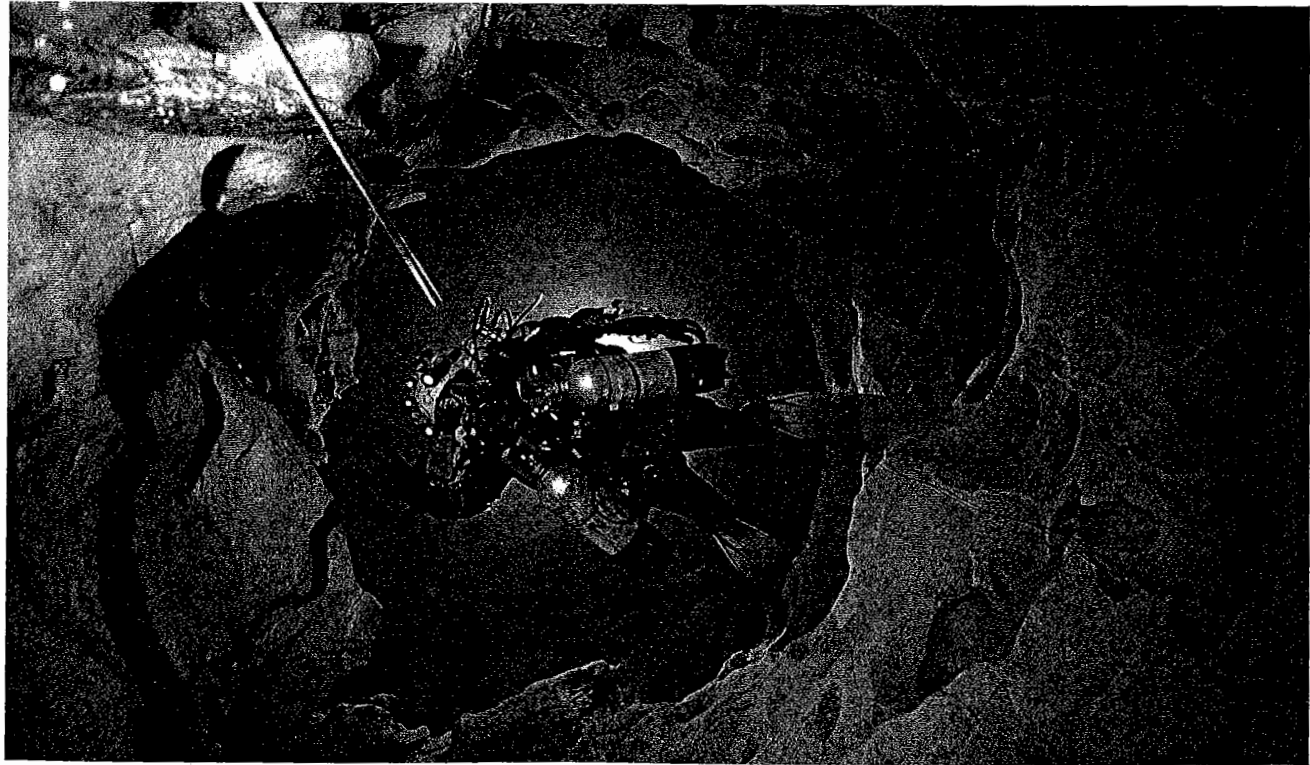
## 3 Finalité et organisation d'une activité

### ■ 3.1 Finalité

Même si aujourd'hui la « balade », la plongée récréative en milieu souterrain tend à se développer, la finalité de l'activité est tout autre.

Il s'agit d'**étudier et d'explorer un milieu naturel** avant tout. Si tous les sommets de la planète ont été gravés par toutes les faces, si toute la surface du globe est cartographiée, si on a marché sur la Lune, il demeure sur terre deux domaines où tout n'est pas encore connu : les fonds marins et les cavernes.





**Ci-contre :**  
Le Goul du Pont.  
Photo de R. Huttler  
assisté de R. Brahic.  
Sujet: X. Méhiscus.

Des équipes plongent à longueur d'année dans les arcanes, consacrent de longues et fastidieuses immersions à sécuriser préalablement, à topographier (cartographie souterraine), à photographier, à prélever des échantillons de faune et de roche avant de poursuivre l'exploration, de découvrir un secteur vierge de présence et de connaissance humaine.

Ainsi, si sa place est prépondérante, la technique n'est qu'un moyen, un outil et non une finalité en soi.

Pour couper court aux élucubrations sur les « records » en plongée souterraine, cette notion est inapplicable en milieu souterrain dans la mesure où chaque cavité est différente d'une autre, donc incomparable. Chaque siphon est unique et constitue un « record » potentiel.

### ■ 3.2 Comment s'y mettre ?

En France, deux fédérations pratiquent cette activité.

- La F.F.E.S.S.M. (Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous Marins) et sa commission souterraine (C.N.P.S.), laquelle réorganise actuellement son système
- La F.F.S. (Fédération Française de Spéléologie) et sa commission plongée

**Trois types de stages sont proposés :**

- Stages d'initiation
- Stages de perfectionnement
- Stages spécialisés

En France, il n'existe pas de diplôme sanctionnant ces stages. Il n'y a pas de brevet de plongeur souterrain, même si de nombreuses fédérations et écoles de plongées étrangères pratiquent leur écolage et délivrent leurs diplômes sous le terroir français.

Contrairement à la plongée mer où il existe des qualifications en fonction des capacités, en plongée souterraine tous les siphons sont différents, de part leur topographie, profondeur, visibilité, etc. On ne peut s'assurer

qu'un plongeur à l'aise dans un siphon le sera dans tous les autres.

Certaines plongées dans 3 mètres de profondeur sont plus engagées que d'autres à 30 mètres.

Les stages d'initiation ou de découverte sont destinés à introduire la plongée souterraine pour des plongeurs préalablement formés (niveau 2). Il comprend une présentation des principes élémentaires de sécurité, du milieu, du matériel utilisé, la gestion de l'air puis deux plongées de progression dans une galerie noyée présentant toutes les conditions de sécurité. Chaque stagiaire est accompagné par un cadre (initiateur ou moniteur).

Ensuite les stagiaires pourront acquérir de l'expérience par la mise en pratique de ce qu'ils ont abordé. Seul le vécu permet de progresser.

Les stages de perfectionnement visent à l'acquisition, par le stagiaire, d'un niveau d'autonomie suffisant pour aborder un siphon non équipé. Le stagiaire possède son matériel personnel et a déjà une expérience de l'activité. Les cours théoriques alternent avec les plongées techniques. Les thèmes abordés sont les techniques de progression, d'équipement et de déséquipement de fil-guide, de recherche de fil perdu, de desemmêlage, etc.

Les acquis de stage sont utilement complétés, pour les plus motivés, par la participation aux expéditions organisées par les Commissions Régionales et Nationales de la F.F.E.S.S.M. où l'on pratique le compagnonnage.

Les stages spécialisés s'adressent aux plongeurs souterrains déjà autonomes qui souhaitent approfondir un aspect technique de l'activité: topographie, plongée en fond de gouffre ou de grotte, photographie... etc.

La formation des cadres de plongée souterraine est en cours de structuration. Actuellement, elle est assurée sur le terrain par la participation progressive à l'encadrement de stages.

Un plongeur souterrain ne peut s'estimer « formé » qu'après plusieurs années de pratique régulière et des expériences nombreuses et variées.

Les stages d'initiation à la plongée souterraine ne sont pas des actions de formation, mais plutôt de prévention des accidents.

Actuellement, l'organisation des stages est en cours de restructuration.

#### En guise de conclusion

On l'aura compris, le milieu souterrain est un domaine particulier. Y pratiquer la plongée est envisageable, mais demande une réflexion préalable, une information détaillée sur les risques potentiels et une remise en cause de sa pratique, des techniques appliquées en eau libre. Lorsqu'on est sous plafond, à fortiori sous terre, la moindre erreur, le moindre incident peut tragiquement dégrader.

La logique de sécurité (palanquée, remontée assistée... etc.) et la configu-

ration matérielle (mono bouteille, éclairage unique) de la plongée subaquatique ont trop souvent été fatales en plongée souterraine.

Et si la clarté magique de certaines vasques est un supplice de Tantale, elle ne doit pas occulter l'essentiel :

Pour avoir l'ivresse, autant avoir les bons flacons.

Pour plonger en siphon, autant avoir les bons tuyaux.

La plongée souterraine n'est pas concernée par les arrêtés de 1998 et 2000 qui régissent la plongée organisée en France. Ce n'est pas pour autant qu'une puissante motivation et quelques saines lectures suffisent pour s'y essayer en sécurité.

Rappelons également qu'il n'existe pas, en France, de corps constitué chargé des opérations de sauvetage en milieu souterrain. Ce sont les pratiquants bénévoles et amateurs qui réalisent ces délicates opérations, bien souvent à leur frais.

# La recompression sous l'eau

Malgré toutes les précautions prises pour l'éviter, l'accident de décompression est une probabilité avec laquelle il faut compter.

Lorsque survient un accident de décompression, le protocole est connu de tout plongeur, qui prévoit en premier lieu de ne jamais ré-immérer la personne souffrant d'un syndrome d'ADD.

Néanmoins, certains plongeurs, particulièrement des plongeurs profonds et/ou aux mélanges, choisissent une autre option. La plupart du temps parce qu'ils se trouvent dans un lieu isolé en mer ou en souterrain et que l'accès à un centre hyperbare se mesure en heures voire en jours, car si l'unanimité existe sur un point, c'est sur le fait que plus un traitement hyperbare est appliqué rapidement, plus ses chances de succès sont importantes. La recompression sous l'eau est bien évidemment la méthode la plus rapide à mettre en œuvre, si elle est déconseillée, c'est en raison d'un risque d'aggravation de l'état de la victime.

Voici quelques années, Richard Pyle et David Youngblood ont publié un article intitulé « *In-water Recompression as an Emergency Field Treatment of Decompression Illness* ». Paru tout d'abord dans la revue *Universal Diver*, il fut ensuite repris dans le magazine *AquaCorps*, puis diffusé un peu partout sur le Net, à l'image de beaucoup d'articles de R. Pyle. Il suffit de taper *In Water Recompression*, voire son acronyme *IWR* dans un moteur de recherche pour s'en convaincre. Toutes les versions du texte proposées ne sont pas d'égal valeur, celle disponible à cette adresse <http://www.saudidiving.com/inwater-recomp.htm> est

quasiment complète, ainsi que celle que l'on trouve dans le manuel du logiciel Abyss.

Le propos de Pyle et Youngblood était de faire le point sur la théorie, la pratique et l'efficacité de la recompression sous l'eau. Pour cela ils se sont basés -entres autres- sur les travaux d'Edmonds et d'Hamilton, ainsi que sur une étude menée en 1986 par Farm, Hayashi et Beckman sur les plongeurs-pêcheurs professionnels hawaïens. Par plongeurs-pêcheurs il faut entendre des plongés en scaphandre autonome à plus de 60 mètres plusieurs fois par jour. Ces conditions sévères ayant amené les Hawaïens à développer leur propre méthode de recompression, baptisée *Méthode hawaïenne*.

La conclusion de l'article est que si la recompression sous l'eau possède de nombreux succès à son actif, il ne faut cependant pas considérer qu'elle est systématiquement préférable à un traitement hyperbare adapté. Pour efficace qu'elle soit, la recompression sous l'eau a des limites.

Le texte de Pyle et Youngblood ayant été maintes fois copié, il est inutile d'ajouter une copie supplémentaire, mais sa lecture reste plus que conseillée. Une autre adresse pour se le procurer : [http://geocities.yahoo.com.br/med\\_dive/artigos/iwr.html](http://geocities.yahoo.com.br/med_dive/artigos/iwr.html)

Les informations qui suivent sont les trois appendices figurant dans l'article, elles se trouvent ici dans un but d'illustration. Pratiquer une recompression sous l'eau n'est pas une décision qui se prend à la légère. Cela suppose des connaissances, de l'expérience, du matériel (ne serait-ce qu'une considérable quantité d'oxygène ou un recycleur) et peut se révéler lourd de conséquence.

### Appendice A : la « Méthode australienne » de recompression d'urgence sous l'eau.

#### ■ RAN 82

#### Notes :

1. Cette méthode peut être utilisée dans le traitement de maladies de la décompression survenant dans un lieu éloigné de tout centre hyperbare. Elle peut également être employée en attendant que le transport vers un centre soit organisé.
2. Au moment de prendre la décision de traitement, il faut bien se souvenir que la thérapie peut demander jusqu'à trois heures.
3. Le froid, l'immersion et tous les risques liés à l'environnement sont à mettre dans la balance face à l'amélioration de santé attendue. Le plongeur traité doit être accompagné sous l'eau.

#### ■ Equipement :

- Nota :** les équipements suivants sont essentiels à la réalisation du traitement.
1. Un masque facial avec vanne à la demande ou un casque à débit continu.
  2. Une réserve suffisante d'oxygène pour le patient et d'air pour l'accompagnateur.
  3. Une protection thermique adaptée aux circonstances (combinaison humide ou sèche).

4. Une corde lestée d'au moins dix mètres (un siège ou un harnais peut être monté sur le lest).
5. Un moyen de communication entre le patient, l'accompagnateur et la surface.

#### ■ Méthode :

(voir tab.13)

1. Le patient descend à 9 mètres le long de la corde et respire de l'oxygène pur.
2. Si une amélioration se produit, l'ascension peut commencer après 30 minutes dans les cas moyens ou 60 minutes dans les cas graves. Si aucune amélioration n'est constatée, ces temps peuvent être portés respectivement à 60 et 90 minutes.
3. La remontée s'effectue à la vitesse de 1 mètre en 12 minutes.
4. Si des symptômes réapparaissent, rester à la profondeur de soulagement 30 minutes avant de poursuivre l'ascension.
5. Si la réserve d'oxygène vient à s'épuiser, regagner la surface plutôt que de respirer de l'air en profondeur.
6. Après son retour en surface, le patient doit respirer alternativement une heure de l'oxygène une heure de l'air durant douze heures.

### Appendice B : la méthode de l'US Navy

Extrait du U.S. Navy Diving Manual, Vol. 1, Section 8.11.2, D :

1. Si des recycleurs à oxygène pur sont disponibles et si les personnes sur site sont formées à leur emploi, la méthode qui suit peut être utilisée à la place de la Table 1A.
2. Le plongeur atteint s'équipe d'un recycleur et purge la boucle respiratoire au moins trois fois à l'oxygène.
3. Accompagné d'un plongeur d'assistance, il descend à 9 mètres
4. Pour des symptômes de type 1, le plongeur reste à 9 mètres durant 30 minutes, et 60 minutes pour des symptômes de type 2. Remonter à 6

Tab. 13: Aust 9 (RAN 82), Short Oxygen Table

Profondeur (Mètres)	Temps écoulé	Atteinte moyenne	Atteinte grave
9	00:30 - 01:00	01:00 - 01:30	
8	00:42 - 01:12	01:12 - 01:42	
7	00:54 - 01:24	01:24 - 01:54	
6	01:06 - 01:36	01:36 - 02:06	
5	01:18 - 01:48	01:48 - 02:18	
4	01:30 - 02:00	02:00 - 02:30	
3	01:42 - 02:12	02:12 - 02:42	
2	01:54 - 02:24	02:24 - 02:54	
1	02:06 - 02:36	02:36 - 03:06	

esse de remontée : 12 minutes pour 1 mètre

mètres après 90 minutes même si des symptômes sont toujours présents.

5. Le retour en surface d'effectue par l'intermédiaire d'un palier de 60 minutes à 6 mètres puis de 60 minutes à 3 mètres.
6. En surface, le plongeur continue de respirer de l'oxygène pur durant trois heures.

En 1993, Gilliam ajouta cette note : *la méthode peut facilement être adaptée à l'usage d'un masque facial ou d'oxygène délivré de la surface. Toutefois, la quantité d'oxygène nécessaire devient importante, tant pour le traitement en immersion que pour la période de surface qui lui fait suite.*

### Appendice C : la méthode hawaïenne

#### Notes :

Ce traitement de la maladie de décompression a été mis au point par les plongeurs-pêcheurs d'Hawaï pour des accidents survenant à plus de trente minutes d'un centre hyperbare. Dans ce cas, la mise en œuvre du traitement doit être effectuée dès la reconnaissance des premiers symptômes. L'urgence de l'intervention est justifiée par le fait que les tissus du cerveau et de la moelle épinière ne peuvent supporter plus de 7 ou 8 minutes sans dommages la privation d'oxygène due aux bulles intra-vasculaires générées par l'accident de décompression.

**Observation :** bien que l'emploi de cette méthode par des plongeurs récréatifs soit généralement découragé, elle est présentée ici dans le but de fournir au lecteur des informations sur ces pratiques. Il est fortement conseillé au lecteur de se procurer une copie des travaux de Farm et associés (1986) afin d'obtenir de plus amples renseignements concernant ce traitement. Des commentaires et des suggestions ont été ajoutés, pour tenter d'élargir le champ d'application de cette méthode.

#### ■ Equipement :

1. Une réserve d'oxygène suffisante et le matériel adapté à son usage : bouteille de 20 litres ou plus, flexible oxygène d'au moins 12 mètres, premier et deuxième étage compatible oxygène. Note : un masque facial est fortement conseillé pour la respiration de l'oxygène durant le traitement en immersion.
2. Un cordage permettant d'immerger à 9 mètres sous la surface un siège sur lequel la victime peut s'asseoir durant le traitement (le siège doit être lesté afin d'éviter toute flottabilité positive).
3. Des bouteilles d'air en réserve pour la victime et l'accompagnateur (au moins deux).
4. Une ligne de mouillage ou un pendeur capable d'atteindre 50 mètres de profondeur.
5. Une montre et un profondimètre pour l'accompagnateur.
6. Une protection thermique adaptée (combinaison humide ou sèche) ainsi que le lestage adéquat pour la victime.

#### ■ Méthode :

Dès la reconnaissance des symptômes de l'accident de décompression :

1. Stopper les moteurs du bateau.
2. Sortir 50 mètres de mouillage ou toucher le fond (ou déployer le pendeur).
3. Equiper la victime et l'accompagnateur d'une bouteille d'air (chacun).
4. Mettre la victime à l'eau avec un (ou plusieurs) plongeur(s) d'accompagnement et la faire descendre le long de la ligne de mouillage.
5. Descendre jusqu'à la profondeur de soulagement plus 9 mètres, sans dépasser 50 mètres.
6. Maintenir la victime 10 minutes à cette profondeur.
7. La victime et le plongeur d'accompagnement entament une remontée lente (9 m/min maximum), en marquant des arrêts toutes les minutes pour surveiller l'évolution de l'état de la victime.
8. La remontée de la profondeur maxi jusqu'au point de prise d'oxygène (9

mètres) ne doit pas occuper moins de 10 minutes. Vitesses suggérées à partir de 50 mètres : 9 m/min x 2 minutes; 4,5 m/min x 2 minutes; 3 m/min x 3 minutes; 1,5 m/min x 3 minutes.

9. Si un quelconque symptôme réapparaît, redescendre de 3 mètres et attendre 5 minutes avant de poursuivre l'ascension.

10. Durant le temps nécessaire à la respiration d'air en profondeur, l'équipage du bateau grée le matériel oxygène et le fixe le long de la corde jusqu'au siège à 9 mètres.

11. Lorsqu'elle atteint 9 mètres, la victime commence à respirer de l'oxygène.

12. Elle respire l'oxygène à 9 mètres durant au moins une heure.

13. Lorsque les symptômes initiaux étaient de type 1 (douleurs uniquement) et s'ils ont disparu après une heure de respiration oxygène, une remontée lente peut débuter. Si la victime montre des symptômes de type 2 (atteinte du système nerveux), la maintenir à 9 mètres à l'oxygène pour une ou deux périodes supplémentaires de 30 minutes. Lorsque la victime est complètement soulagée (ou que les secours sont arrivés, ou que la réserve d'O<sub>2</sub> est épuisée), entamer une remontée lente vers la surface en respirant de l'oxygène (ou de l'air si l'O<sub>2</sub> est épuisé).

15. Si la recompression sous l'eau est inefficace et si la réserve d'oxygène est apparemment insuffisante, un transport d'urgence vers un centre hyperbare doit être organisé (les plongeurs techniques loisir sont fortement encouragés à préparer l'évacuation vers un centre hyperbare dès la reconnaissance de symptômes d'accident de décompression). La recompression à l'oxygène à 9 mètres doit être poursuivie jusqu'à ce que la réserve d'oxygène soit épuisée ou jusqu'à ce que les transports d'urgence soient sur zone.

16. Même si la victime émerge asymptomatique, elle doit continuer à respirer de l'oxygène en surface jusqu'à épuisement de la réserve. Un

médecin est à consulter aussitôt la côte rejointe.

**Note:** La plus grande prudence doit présider au choix du plongeur d'accompagnement, en effet, le risque d'un accident de décompression survenant au cours de la recompression sous l'eau est à envisager sérieusement.

## La recompression près de l'eau

Bénéficier des avantages de la recompression sous l'eau (rapidité de mise en œuvre) sans en supporter les inconvénients (ré-immersion hasardeuse) ressemble à la quadrature du cercle. Pourtant cela existe, sous la forme de caissons de recompression portables. Diverses conceptions sont utilisées à cette fin, l'une de plus pratique est le caisson gonflable.

Tecno Sub Service, un fabricant italien, propose des chambres de recompression portables nommées FlexiDec dont les caractéristiques figurent sur son site Internet: <http://www.tecnosubservice.com/flexidec.htm>.

La taille (une soixantaine de centimètres plié) et le poids (environ 70 kg) des caissons portables permet de les loger facilement à bord d'un bateau ou de les amener au plus près d'une cavité. De plus, peu de personnes sont nécessaires à leur mise en service.

Le coût de ces équipements, plus de dix-huit mille Euro, les place hors de portée de la plupart des plongeurs « ordinaires », mais lors d'opérations importantes menées par des équipes nombreuses, exploration d'épaves profondes ou pointes spéléo, c'est sans doute une option à envisager. Outre la possibilité de recompression immédiate sur les lieux même d'un accident, les chambres portables permettent l'évacuation d'une victime par la route, les airs ou la mer sans interruption de traitement (l'usage de caissons monoplaces peut toutefois être déconseillé voire interdit par certaines législations).

# Fabricants et constructeurs

## Harnais, moulinets, lampes et équipements du plongeur:

### AP Valves

(stab, parachutes, robinetterie)  
Water-ma-Trout Industrial Estate  
Helston, Cornwall, TR13 0LW  
Grande Bretagne  
Tel 44 01326 561040  
<http://www.apvalves.com/>

### Halcyon

(généraliste tek)  
1110 S. Main  
High Springs, FL 32643  
USA  
Tel 386.454.0811  
<http://www.halcyon.net/>

### OMS

(généraliste tek)  
23 Factory Street  
P.O. Box 146  
Montgomery, NY 12549  
USA  
Tel (845) 457-1617  
Fax: (845) 457-9497  
<http://www.omsdive.com/index.html>

### Highland Millwork

(harnais, fixations blocs)  
648 Highland Street,  
Holliston MA 01746  
USA  
Tel 508-429-4509  
Fax 508-429-9047  
<http://www.highland-millwork.com/index.html>

### Lampesdepoeche.com

(Site de vente en ligne où l'on trouve entre autres les superbes lampes à LED Tekrite)  
La Distribution Professionnelle  
Les Plantier 3  
13510 Eguilles  
France  
Tel: 06 63 90 98 84  
<http://www.lampesdepoeche.com/index1.htm>

### Airtess

(Bernard Glon est un artisan qui fabrique sur mesure lampes - halogène, HID, LED, caissons, raccords et toute pièce spéciale destinée à la plongée.)  
42, rue Danton  
92500 Rueil Malmaison  
Tél.: 01 47 51 55 59  
Fax: 01 39 57 91 48  
<http://perso.wanadoo.fr/airtess/index.htm>

### Outsider Diving

(harnais et wings)  
Espace plongée  
55, avenue du Petit-Port  
74940 Anney le Vieux  
Tél.: 04 50 66 50 11  
Fax: 04 50 09 83 33  
<http://www.espace-plongee.com/>

### Custom Divers

(harnais, wings, lampes, moulinets)  
36 Holmethorpe Avenue, Redhill,  
Surrey, RH1 2NL - Grande Bretagne  
Tel 44 (0) 1737 773000  
Fax 44 (0) 1737 773100  
<http://www.customdivers.com/>

### Dive Rite

(généraliste tek)  
175 NW Washington Street  
Lake City, Florida 32055 - USA  
Tel (386) 752-1087  
Fax (386) 755-0613  
<http://divertite.com/>

### Dive System

(harnais, wings, combinaisons)  
via Piémonte, 32  
58022 Follonica (GR) - Italie  
Tel 0566 57278  
<http://www.divesystem.com/>



**Princeton Tec**

(lampes)  
Po Box 8057  
Trenton, NJ 08650  
USA  
Tel 609 298 933  
Fax 609 298 9601  
<http://www.princetonotec.com/>

**Blocs de plongée:****Luxfer**

(blocs alu)  
<http://www.luxfercylinders.com/>  
**Luxfer Gas Cylinders, Europe**  
Colwick, Nottingham, NG4 2BH  
Grande Bretagne  
Tel: +44 (0) 115 980 3800  
Fax: +44 (0) 115 980 3899  
**Luxfer Gas Cylinders, Gerzat, France**  
Rue De L'Industrie, BP 7  
63360 Gerzat  
France  
Tel: 04 73 23 64 00

**Catalina Cylinders**

(blocs alu)  
7300 Anaconda Avenue  
Garden Grove, California 92841  
USA  
Tel (714) 890-0999  
Fax (714) 890-1744  
<http://www.catalinacylinders.com/index.html>

**Faber**

(blocs acier)  
Faber Industrie SpA  
Zona Industriale  
33043 Cividale del Friuli (Udine)  
Italie  
Fax 39 0432 700332  
<http://www.divefaber.com/>

**Matériel spécifique à la plongée technique:****Lawrence Factor**

(filtres, surfiltres, pièces détachées)  
4740 North West 157th Street  
Miami Lakes, Florida 33014  
USA  
Tel: 305-430-0550,  
Fax: 305-430-0864  
<http://www.lawrence-factor.com/>

**Global Manufacturing**

(raccords, flexibles, adaptateurs, outillage...)  
1829 S. 68 th street  
West Allis, WI 53214 - USA  
<http://www.gmcsusa.com/index.html>

**Coltri**

(compresseurs, séparateurs moléculaires)  
Via Colli Stortici 177  
San Martino della Bataglia (BS)  
Italie  
Tel 39 030 9910 297  
Fax 39 030 9910 283  
<http://www.coltrisub.it/catalogo/index.htm>

**UBS International**

(séparateurs moléculaires)  
California Office  
2949 W. 5th  
Oxnard, CA 93030 - USA  
Tel 805-984-8881  
Fax 805-984-9672  
<http://www.dnax.com/index1.html>

**KompTec GmbH**

(compresseurs, filtres, adaptateurs)  
Vertriebszentrale  
Erbacher Str. 45  
64756 Mossautal  
Deutschland  
<http://www.komptec.de/>

**Ordinateurs, déco, système de repérage:****HydroSpace Engineering**

(ordinateur HS Explorer et simulateur)  
6920 Cypress Lake Ct.  
St. Augustine, FL 320866  
USA  
Tel: 904 794 7896  
Fax: 904 794 1529  
<http://www.hs-eng.com/>

**Abysmal Diving**

(ordinateur Abyss Explorer et logiciel de déco)  
2099 West Acoma Boulevard, Suite C  
Lake Havasu City  
Arizona 86403  
USA  
Tel (928) 854 9470  
<http://www.abysmal.com/pages/index.html>

**Delta P Technology**

(ordinateur VR3)  
PO Box 5088  
Poole  
Dorset BH16 6WJ  
Grande Bretagne  
Tel: 00 44 (0) 1202 624 478  
Fax: 00 44 (0) 1202 625 308  
<http://www.vr3.co.uk/index.shtml>

**Cochran Undersea Technologie**

(ordinateurs Commander et Gemini)  
1758 Firman Drive  
Richardson TX 75081  
USA  
Tel 972 644 6284  
Fax 972 644 6286  
<http://mcochran.com/main.html>

**Le site du RGBM de Bruce Wienke**

<http://www.rgbmdiving.com/index.htm>

**XIOS**

(systèmes EyeSea)  
Site Dubied 12  
CH-2108 Couvet - Suisse  
Tel.: 41 32 863 37 57  
Fax.: 41 32 863 37 58  
<http://www.xiosusa.com/index.htm>

**Analyseurs O2, cellules et kits:****OxyCheq**

(cellules, kit, ordinateur Explorer)  
HydroSpace, pièces détachées diverses)  
34929 Sweetwater Drive  
Agua Dulce, CA, 91390 - USA  
Tel 661 268 0182  
Fax 661 268 0172  
<http://oxycheq.com/main.html>

**RC Dive**

(cellules et kit)  
422 Salem St Suite 144  
Medford - Massachusetts 02155 - USA  
Tel.: 781-367-5515  
<http://www.oxygenalyzer.com/index.htm>

**VTI**

(analyseurs et cellules)  
175 Cabot Street, Lowell,  
MA 01854 - USA  
Tel.: 978-453-1055  
Fax.: 978-453-1206  
<http://www.vti-online.com/index1.htm>

**Vandagraph**

(analyseurs et cellules)  
15 Station Road,  
Crosshills, Keighley  
W. Yorkshire  
BD20 7DT - Grande Bretagne  
Tel 44 (0) 1535 634900  
<http://www.vandagraph.co.uk/>

## Matériels destinés à l'industrie (flexibles, raccords, manomètres, joints, abrasifs, etc.):

### Swagelok

(raccords, adaptateurs, flexibles, anti-retour, vannes...)  
Lyon Vannes et Raccords  
ZAC du Chêne - Activillage  
Bd des Droits de l'Homme  
69500 Bron  
Tél.: 04 72 37 05 70  
Fax: 04 78 26 23 58  
<http://www.swagelok.com.fr/>

### Seal France

(joints)  
67, rue Errore Bugatti - Espace Polygone  
66000 Perpignan  
Tél.: 04 68 52 91 91, fax: 04 68 52 91 90  
<http://www.sealfrance.com/>

### Alcan Airex AG

(Matériaux Alvéolaires Spéciaux)  
CH-5643 Sins - Suisse  
Tél.: 41 41 789 66 00  
Fax: 41 41 789 66 60  
<http://www.alcanairex.com/welcomef.htm>

### Kelatron France

(manomètres digitaux)  
BP 122  
84204 Carpentras Cedex  
Tél.: 04 90 63 07 16  
Fax: 04 90 60 16 74  
<http://www.kelatron.fr/index.htm>

### Ets. Mesureur

(manomètres analogiques)  
72-76, rue de Château des Rentiers  
75013 Paris  
Tél.: 01 45 83 66 41  
<http://www.mesureur.com/manometres.html>

### Norgren Herion France

(vannes, séparateurs...)  
Zone Industrielle de Noisiel 1  
77422 Marne la Vallée Cedex 2  
Tél.: 01 60 05 92 12  
Fax: 01 60 06 08 52  
<http://www.fr.norgren.com/>

### Oetiker France

(raccords, serrissages rapides)  
9, rue Jean Moulin  
ZI 4-F  
77342 Pontault-Combault Cedex  
Tél.: 01 60 29 90 39  
Fax: 01 64 40 90 23  
[http://www.oetiker.com/fr/start\\_unternehmen\\_f.htm](http://www.oetiker.com/fr/start_unternehmen_f.htm)

### Prévost

(raccords rapides, filtres, séparateurs)  
15, rue du pré Faucon  
Parc d'activité des Glaisins  
BP 208  
74 942 Annecy le vieux  
Tél. 04 50 64 04 45  
Fax 04 50 64 00 10  
[http://www.prevost-ltd.com/prevost-ltd\\_fr/index.htm](http://www.prevost-ltd.com/prevost-ltd_fr/index.htm)

### USF Traitement de surface

(abrasifs, additifs)  
8-30 rue de Tournemfils, BP 45  
91542 Mennecy Cedex  
Tél 01-64 57 07 91  
Fax 01-64 57 12 60  
<http://www.traitementdesurface.com/indexm.htm>

## Revendeurs spécialisés dans la plongée tek:

### TEK-Plongée

31, Quai des Antilles  
44200 NANTES  
Tél: (33) 02 40 35 24 65  
Fax: (33) 02 40 35 27 75  
<http://www.tek-plongee.com/>

## Les recycleurs:

### OMG

(Castoro et Azimuth)  
19037 Santo Stefano di Magra (SP)  
Italie  
Tél 39 0187 632128  
Fax 39 0187 632192  
<http://www.omg-italy.it/>

### Intruder - Swiss Custom Rebreather's

(SMG, EDO 04 et d'autres...)  
Po-box 263  
1211 Genève  
Suisse  
<http://home.worldcom.ch/intruder/>

### Ambient Pressure Diving

(Inspiration)  
Water-ma-Trou Industrial Estate  
Helston, Cornwall. U.K.  
TR13 0LW  
Tél 44 1326 563834  
Fax 44 (0) 1326 573605  
<http://www.ambientpressurediving.com>

### KISS rebreather

Jetsam Technologies Ltd  
2817 Murray-St.  
Port Moody BC  
Canada V3H 1X3  
Tél: 604-469-9176,  
fax: 604-469-9974  
<http://www.jetsam.ca/index.php>

### Halcyon (RB 80)

1110 S. Main  
High Springs, FL 32643  
USA  
Tél 386 454 0811  
<http://www.halcyon.net/rebreather/index.shtml>

## Under Water équipements

8, route de Nadon  
33640 Castres - Gironde  
Tél 05 56 67 38 08  
Fax 05 56 67 38 08  
<http://www.underwaterequipements.com/>

### Bigata Air Comprimé

96, rue du Montaliou  
33320 Eysines  
Tél 05 56 28 01 21  
<http://www.bigata.fr>

### Reef Scuba Accessories

905 Shillelagh Road  
Chesapeake, VA 23323  
USA  
Tél 011-757-436-7664  
Fax 011 757-547-2100  
<http://www.reefscuba.com/>

## Revendeurs hors plongée:

### Accastillage Diffusion

Réseau national de shipchandlers  
<http://www.accastillage-diffusion.com>

### Filières & Tarauds. com

(tous les filetages impossibles, NPT, UNE, BSP... à des prix humains)  
Patrice Rodriguez  
Landine  
42114 Chirassimont - France  
Tél. & fax 04 77 62 42 36  
<http://filetages.free.fr/sommaire.htm>

### Radiospares

la caverne d'Ali Baba, de la résistance au débitmètre en passant par la clef de 14 et l'accu Ni MH  
Rue Norman King  
BP 453  
60031 Beauvais Cedex  
Tél 03 44 10 16 30,  
Fax 03 44 10 16 12  
<http://www.radiospares.fr/>

## Associations et organisations

### IANTD

(international association of nitrox and technical divers)  
<http://www.iantd.com>

### IANTD France

Jean Pierre Imbert  
 les Nymphéas bar A  
 55 av. de Cannes  
 06160 Juan les Pins  
 Tel/Fax: 04-93-61-71-50  
 E-mail: [iantdfrance@wanadoo.fr](mailto:iantdfrance@wanadoo.fr)

### TDI

(Technical diving international)  
<http://www.tdisdi.com/tdi/tdihome.html>

### Affiliations Europe:

<http://www.tdisdi.com/tdi/affiliate/europe.html>

### Représentant en France:

Didier Lefevre  
 3 Rue d'Anjou  
 Paris 75008  
 Tel 01 40 17 06 21  
 Fax 01 48 93 48 83  
[didierlefevre@freesurf.fr](mailto:didierlefevre@freesurf.fr)

### ANMP

(Association nationale des moniteurs de plongée)  
 Euro 92 Bat F  
 Z.I. les trois moulins  
 Rue des Cistes  
 06600 Antibes  
 Tel 04 93 33 22 00  
 Fax 04 93 74 32 28  
<http://www.anmp-plongee.com/index.cfm>

### SNMP

(Syndicat national des moniteurs de plongée)  
 c/o Tech Océan  
 Port de Socoa  
 64500 Ciboure  
 Tel / Fax 05 59 47 96 75  
<http://www.snmp-plongee.com/>

### FFESSM

(Fédération française d'étude et de sports sous-marins)  
 24, quai de Rive-Neuve  
 13284 Marseille Cedex 7  
 Tél.: 04 91 33 99 31  
 Fax.: 04 91 54 77 43  
<http://www.ffessm.fr/>

### FSGT

(Fédération sportive et gymnique du travail)  
 14, rue Scandicci  
 93508 Pantin Cedex  
 Tél.: 01 49 42 23 19  
 Fax.: 01 49 42 23 60  
<http://www.fsgt.org/>

### GUE

Global Underwater Explorers  
 1110 South Main Street  
 High Springs, FL 32643  
 USA  
<http://www.gue.com/>

## Sites internet

### Des sites de référence et/ou de détente (et des tas de liens à suivre...)

#### ■ En français :

La plongée souterraine  
<http://plongeesout.free.fr/>

La plongée comme on l'aime, ou : une Chartrreuse noyée dans le Jura  
<http://claoli.free.fr/html/index.html>

Quelques récits de Francis Le Guen  
<http://francis.leguen.free.fr/carnets/REPORTAGES%20PRESSE/reportagesf6.html>

Le web de Kiki, ou la plongée technique en français  
<http://kikittech.ouvaton.org/index.htm>

Le site du magazine Octopus  
<http://www.octopus-fr.com/>

Un magazine en ligne et des listes de discussion dont *AquaTek*  
<http://www.aquanaute.com/>

Le matériel de plongée, par Henri Le Bris  
<http://hlbmatos.free.fr/>

#### ■ En anglais :

Sur ce site, une collection d'ouvrages disponibles au téléchargement, manuels de plongée (GUE Tech 1 et Cave 1, US Navy), de réparation de détendeur (Poséidon, Apeks, Mares, Aqualung), ou d'appareil photo (Nikonos).  
<http://wetlands.simplifyaquatics.com/manuals/>  
 (téléchargements parfois laborieux)

### WKPP

Woodville Karst Plain Project  
<http://www.wkpp.org/Default.htm>

Images et récits d'explorations spéléo profondes en France, par Jérôme Meynie (versions françaises et allemandes en cours)  
<http://www.snoopyloop.com/>

Un magazine en ligne  
<http://www.divernet.com/index.html>

Expédition Palau « Twilight Zone » menée par Richard Pyle  
<http://www.bishopmuseum.org/research/trks/palaurz97/index.html>

Le site de Jim Cobb consacré au trimix  
<http://www.cisatlantic.com/trimix/trimix.html>

Des U-boat, des U-boat...  
<http://www.uboat.net/>

Un site consacré aux recycleurs  
<http://www.metacut.com/rebreathers/Default.htm> \*

Un autre (plus orienté fabrication)  
<http://www.mike50.freehosting.net/>

Des recycleurs mis à nu, puis rhabillés, par Dave Surton  
<http://www.nobubblediving.com>

Des tas de chose dans le site de Dale Blesto (notamment sous la rubrique *technical diving*)  
<http://www.airheadsscuba.com/>

Fabriquer son analyseur d'O<sub>2</sub>  
<http://www.dcordes.freeuk.com/analyser.htm>

### ■ En italien

Le site de la SNS  
Scuola Nazionale di Speleologia  
Subacquea  
<http://www.ssi.speleo.it/subacquea/subacquea.shtml>

### ■ En espagnol

Le site de la BUEX  
Sociedad de Buco Tecnico y de  
Exploracion  
<http://www.buex.org/>

## Bibliographie

### Ouvrages en français :

*Plonger aux mélanges*, Christian Thomas et Henri Juvespan, éditions Ulmer - 1997

*Plongée profonde et plongée technique*, Cédric Verdier, éditions Amphora - 2001

*Costumes secs, une autre manière de plonger*, Jean-Claude Taymans, éditions Fun (Bruxelles)  
<http://www.jct.be.tfl>

*Plongée sur épaves : guide technique*, François Brun et Patrice Strazzera, éditions Tech-Epaves BP 612 11106 Narbonne Cedex - 1999  
<http://www.sommeildesepaves.com/index.html>

*Les épaves de la Côte Vermeille*, Hervé Levano, auto-édition - 1998

*La plongée « fond de trou »*, Jean-François Manil, édition Librairie Spéléo (Bruxelles) - 2001

*Plongeurs de l'ombre - histoires d'eau, de roches et de glaise*, Jean-François Manil 2003 disponible auprès de l'auteur : [jf.manil@caramail.com](mailto:jf.manil@caramail.com)

*Effervescence - compression et traitement de l'air appliqués à la plongée*, Philippe Martinod, Historique éditions - 1998

*Les scaphandriers du désert - la face cachée de la Terre*, Francis Le Guen, éditions Albin Michel - 1986

### Ouvrages en anglais :

*Oxygen Hacker's Companion*, Vance Harlow, Airspeed Press 2001 (4<sup>e</sup> édition)

*Scuba Regulator Maintenance and Repair*, Vance Harlow, Airspeed Press  
*The Divelight Companion*, (fabrication de lampes de plongée) Vance Harlow, Airspeed Press

*US Navy Diving Manual* livrable sur CD-Rom pour 10 \$ moyennant commande d'un des titres précédents disponibles sur :  
<http://www.airspeedpress.com/>

*The Technical Diving Handbook*, Gary Gentile, Gary Gentile Production - 1998

*Ultimate Wreck Diving Guide*, Gary Gentile, Gary Gentile Production disponibles sur <http://www.amazon.com/>

*Diving Physiology In Plain English*, Dr. Jolie Bookspan, Undersea and Hyperbaric Medical Society - 1999 (3<sup>e</sup> édition)

*Hyperbaric Medical Review For Board Certification Exams*, Dr Jolie Bookspan, Undersea and Hyperbaric Medical Society - 2000 disponibles sur <http://www.amazon.com/>

*Dry Suit Diving - a guide to diving dry*, Barsky, Long & Stinton, éditions Hamerhead Press - 1999 (3<sup>e</sup> édition) disponible sur :  
<http://www.hammerheadpress.com/> ou <http://www.amazon.com/>

*The Simple Guide to Rebreather Diving*, Barsky, Thurlow & Ward, éditions Best Publishing Company - 1998 (épuisé, donc à chercher dans les stocks des librairies)

*Mastering Rebreathers*, Jeff Bozanic, Best Publishing Company - 2002

*Beating The Bends*, Alex Brylske, Best Publishing Company - 1995  
*Basic Diving Physics & Applications*, Bruce R. Wienke, Best Publishing Company - 1995



*Technical Diving in Depth*, Bruce R. Wienke, Best Publishing Company - 2002

*The Practice of Oxygen Measurement for Divers*, J.S. Lamb, Best Publishing Company - 1999

*International Textbook of Mixed Gas Diving*, Heinz K.J. Lettnin, Best Publishing Company - 1999

*NOAA Diving Manual*, Jim Joiner, Best Publishing Company - 2001 (4<sup>e</sup> édition) disponibles sur <http://www.bestpub.com/> ou <http://www.amazon.com/>

*Deep Into Blue Holes*, Rob Palmer, Média Publishing - 1997 (2<sup>e</sup> édition) disponible sur <http://www.amazon.com/>

*Deep Descent - adventure and death diving the Andrea Doria*, Kevin McMurray, Pocket Book - 2001 disponible sur <http://www.amazon.com/>

*The Cave Divers*, Robert F. Burgess, Aqua Quest Publications - 1999

*Complete Wreck Diving Guide*, Hank Keats & Brian Skerry, Aqua Quest Publication - 2002 disponibles sur: <http://www.aquaquest.com> ou sur <http://www.amazon.com/>

*The Darkness Beckons*, Martyn Farr, Diadem Books (UK) et Cave Books (USA) - 1991 + appendice en 2000. disponible sur <http://www.amazon.com/> ou auprès de Martyn Farr: <http://www.farrworld.co.uk/>

## Bibliographie de l'auteur

*Toutes les îles sont bleues*, Editions Zulma, collection Quatre Bis, 2002. **Prix Synopsys - Aquitaine 2003**

*La Langue de l'océan*, in *Privés de futur*, collectif de nouvelles SF/Polar, Editions Bifrost/Etoile Vive, 2000

*Plongée fatale*, Editions Albin-Michel, collection Le Furet enquête, 2000

*Andros Bahamas, l'envers du Trou bleu* in *Quand on aime...*, Editions Métallé, collectif de nouvelles « 20 ans d'édition », 1999

*Avès Sotavento*, recueil de nouvelles noir carabe, Editions Largo Edition, 1999, réédition Baléine 2001.

*Nécropresseurs*, Editions Métallé, collection Métallé Noir, 1999.

**Prix Sang d'encre Vienne 99.** Réédition France Loisir 2000.

*Sous les nuées vertes*, Edition Baléine, collection Macno, 1999

*La petite marchande de doses*, Editions Baléine, collection Le Poule, 1998

*Le rendez-vous de Barbuda*, Editions Métallé, collection Troubles, 1997

*Tueuse sans gages*, Editions Métallé, collection Troubles, 1996

*Juge et partie*, Editions Métallé, collection Troubles 1994, collection Métallé Policier 1998. **Adapté à l'écran sous le même titre**

### Chez d'autres éditeurs :

*Les feux de l'amour*, in *Du lit au ciel* collectif de nouvelles, Editions Luce Wilquin (Belgique) collection Noir pastel, 1997.

*Avere un buon lavoro in Cuore nero*, *geografie del noir* collectif de nouvelles Editions Fernandel (Italie) 1998.

## Index

- A**  
 Abaque (de calcul de mélanges) 30  
 Abrasif (de tonnelage) 94  
 Abyss ADPS (logiciel) 58  
 Accus (types, charges, décharges, test d'autonomie) 132  
 Air compatible oxygène 40  
 Air respirable 40  
 Altitude (dans les logiciels) 73  
 Analyseur d'O<sub>2</sub> 48  
 Analyseur d'O<sub>2</sub> (Fabrication) 49  
 Argon 23, 116  
 Argox 15
- B**  
 Barre de paliers 147  
 Bert Paul 53  
 Blocs  
 - acier 90  
 - agencement 96, 103  
 - aluminium 87  
 - argon 116  
 - marquage 102  
 - relais/déco 115  
 Bühlmann Albert 57
- C**  
 Chaux sodée 153  
 Clapet anti-retour 35  
 CNS clock (horloge du système nerveux central) 20  
 Combinaisons sèches 127  
 Contre-diffusion isobare 75  
 Corrosion éclair (flash rust) 91
- D**  
 Decoplaner (logiciel) 60  
 Dégrossage 36  
 Détendeurs  
 - premier étage 108  
 - deuxième étage 109  
 - pour quelles profondeurs 110  
 - configurations 111  
 Détente recompression (de l'hélium) 43  
 DIS - do it simple - (secte anglaise dirigée par Stuart Morrison) 61  
 Donald Kenneth 18  
 D-ring 100
- E**  
 EAD (Equivalent Air Depth - profondeur équivalente air) 16  
 EANx - Enriched Air Nitrox 16  
 Effer Lorrain Smith (toxicité pulmonaire de l'O<sub>2</sub>) 20  
 Effet Paul Bert (toxicité neurologique de l'O<sub>2</sub>) 17  
 Effet mémoire (NiCd) 133  
 Electrolyse 88  
 EN 144-3 nouvelle norme nitrox 114  
 END (Equivalent Narcotic Depth - profondeur narcotique équivalente) 25  
 Epaves 148  
 Exposition oxygène - table NOAA 19  
 Exposition oxygène - table REPEX 21
- F**  
 Fabrication au mélangeur (ou en débit continu) 45  
 Facteur de gradient (GF - Gradient Factor) 69  
 Fenêtre oxygène (oxygen window) 77  
 Fil d'Ariane  
 - en épave 149  
 - en spéléo 169  
 Filetage du gaz 37  
 Filetage O<sub>2</sub> 38  
 Filetages DIN 35  
 Flash rust (corrosion éclair) 91  
 Flexible positionnement 113
- G**  
 GAP (logiciel) 59  
 GF - Gradient Factor (facteur de gradient) 69  
 Grenade 144
- H**  
 Haldane John Scott 54  
 Harnais 104, 105  
 HID - HMI (lampes) 130  
 Horloge du système nerveux central (CNS clock) 20  
 Hyperoxie - toxicité neurologique de l'O<sub>2</sub> (effet Paul Bert) 17  
 Hypoxie 24

- J**  
Jon-line 147
- K**  
Kiss 158
- L**  
Lampes 130  
Logiciels de déco - utilisation 62  
Logiciels de déco 58  
Lyre de transvasement (et composants) 33
- M**  
Manomètres digitaux et analogiques 34  
Mélanges de décompression (choix) 75  
Mélangeur - ou stick 31  
- fabrication au mélangeur (ou en débit continu) 45  
- sur base de décanteur 48  
- à spirale 46  
MOD - Maximum Operating Depth (profondeur maximum d'utilisation) 19  
Mousquetons 100
- N**  
Narguilé 117  
Néox 15  
Nitrox 15, 16  
Norme nitrox EN144-3 (nouvelle) 114  
Normoxique (trimix) 25
- O**  
Orifice 35  
OTU - Oxygen Toxicity Unit (unité de toxicité oxygène) 20  
Oxygen Window (fenêtre oxygène) 77
- P**  
Paliers profonds (deep stops) 65  
Pendeur 144  
Pressions partielles 33  
Profondeur équivalente air (EAD - Equivalent Air Depth) 16  
Profondeur maximum d'utilisation - MOD (Maximum Operating Depth) 19  
Profondeur narcotique équivalente (END - Equivalent Narcotic Depth) 25
- R**  
Recyclage d'un mélange 28, 29  
RGBM 57, 60  
Run Time 79
- S**  
SNHP - Syndrome nerveux des hautes pressions (HPNS) 15, 23  
Stab (aile, wing) 104  
Stick - mélangeur 31  
Surfiltre, surfiltration 40  
Surox 16
- T**  
Tables de secours  
- éditions 81,  
- transport 125  
Tonnelage tonneuse 92  
Toxicité pulmonaire de l'O<sub>2</sub> (effet Lorrain Smith) 20  
Trimix 15, 22
- U**  
Up line 145
- V**  
Vanne de laminage 34  
V-Planner (logiciel) 61  
VPM (modèle) 57, 70  
VPM-B 71
- W**  
Wienke Bruce 57, 60  
Wing (aile, stab) 104  
Workman Robert 55
- X**  
XS-Gf (logiciel) 61
- Y**  
Yount David 57
- Z**  
Z-Plan (logiciel) 61