

# **Enseignement de la plongée profonde aux mélanges ternaires**



**Serge Césarano**

**Septembre 2001**

**FEDERATION FRANÇAISE D'ÉTUDES ET DE SPORTS SOUS-MARINS**

**COMMISSION TECHNIQUE NATIONALE**

**Mémoire d'Instructeur National**

Septembre 2001

*Serge Césarano*

**Enseignement de la plongée  
profonde aux mélanges ternaires**

**Je remercie**

mes parrains

Alain GERMAIN et Philippe ROUSSEAU

pour leur aide éclairée

Monsieur Serge Ximénès  
pour le soutien qu'il m'a apporté

Monsieur Jean-Claude Le Péchon  
pour sa disponibilité et ses  
précieux conseils

Anne-Sophie Germain  
pour sa relecture attentive

# Table des matières

1.	Avant-propos.....	4
2.	Pourquoi plonger aux mélanges ternaires ?.....	5
2.1	Historique.....	6
2.2	Quelle est la demande aujourd'hui ?.....	8
3.	La plongée profonde.....	9
3.1	Les compétences des niveaux III.....	9
3.2	Vers une qualification de plongeur profond.....	10
3.2.1	La sécurité en plongée profonde.....	11
Règles de sécurité.....	11	
Etude des risques en plongée profonde :.....	12	
3.2.2	La décompression.....	18
Les procédures de décompression.....	18	
Les lignes de vie et de décompression.....	18	
Emmener ses blocs de décompression.....	19	
3.2.3	Compétences en plongée profonde.....	20
Compétence 1 : gérer et utiliser le matériel.....	20	
Compétence 2 : apprentissages des techniques de plongée profonde.....	20	
Compétence 3 : connaissances théoriques.....	21	
4.	La plongée aux mélanges ternaires.....	22
4.1	Analyse des risques en plongée aux mélanges ternaires.....	22
4.1.1	Risques liés à la nature des gaz utilisés.....	22
4.1.2	Risques liés aux procédures de décompression.....	25
4.1.3	Risques liés aux profondeurs d'intervention.....	26
4.2	Compétences en plongée trimix.....	27
4.2.1	Gérer et utiliser le matériel.....	28
4.2.2	Apprentissage des techniques de plongée Trimix.....	29
4.2.3	Connaissances théoriques.....	30
4.3	La formation trimix, présentation des modules.....	31
Premier module : découverte de la plongée Trimix.....	33	
Deuxième module : pratique de la plongée Trimix.....	38	
Troisième module : préparation à la plongée Trimix en autonomie.....	43	
Quatrième module : la plongée Trimix en autonomie.....	48	
4.4	La fabrication des mélanges.....	51
4.4.1	Quels mélanges utiliser ?.....	51
4.4.2	Comment fabriquer nos mélanges.....	52
4.5	La décompression.....	53
4.5.1	Les tables.....	53
4.5.2	Les logiciels de décompression.....	54
5.	Les plongeurs aux mélanges ternaires.....	58
5.1	Questionnaire destiné aux plongeurs aux mélanges.....	59
5.2	Questionnaire destiné aux personnes prévoyant prochainement une formation.....	64
6.	Conclusions.....	66

# 1. AVANT-PROPOS

L'objet de ce mémoire est de présenter un cursus de plongée technique aux mélanges ternaires. Je ne développerai pas cet enseignement de manière approfondie, mais j'apporterai une réflexion sur les méthodes employées et les choix retenus.

J'ai choisi ce thème car il me semble particulièrement d'actualité.

L'arrêté du 28 août 2000 fixe maintenant un cadre législatif en réponse à une situation où des plongeurs de plus en plus nombreux utilisent ces techniques. La fréquentation des listes de discussions sur l'Internet en donne un certain reflet et de nombreuses structures, essentiellement d'origine Outre-Atlantique, proposent des formations diverses et variées.

Voilà maintenant plus de quatre années qu'avec Alain Germain nous avons entrepris de concevoir un enseignement basé sur notre culture de plongée française.

Nous avons mis en place une formation de ce type à l'Ecole Européenne de Plongée aux Mélanges (EPPM), dirigée par Serge Ximénès, à l'anse du Pharo à Marseille. En tant que moniteurs de plongée souterraine, nous avons pu transférer les techniques spécifiques de la plongée sous plafond vers ce type de plongée profonde où les contraintes sont, somme toute, assez voisines.

C'est sur la base de cette expérience que nous avons été sollicités en 1999 par René Cavallo, DTN de la FFESSM pour proposer un cursus de formation à la plongée aux mélanges ternaires (trimix). Ce travail, supervisé par Jean-Louis Blanchard, a servi de support à la proposition de la FFESSM auprès de la CMAS.

J'ai été sensibilisé à ce type de plongée dans mon parcours de plongeur spéléologue. J'ai ainsi participé en 1994 au premier stage de plongée aux mélanges ternaires, destiné aux encadrants de plongée souterraine et organisé par Christian Thomas et Henri Juvenspan. J'y ai alors rencontré des gens passionnés par ces techniques, comme André Grousset, médecin fédéral, qui plonge maintenant régulièrement aux mélanges ternaires.

Grâce à l'Internet, j'ai pu esquisser un tour d'horizon des différentes structures commerciales proposant des formations à la plongée aux mélanges ternaires. Une étude comparée des différentes approches montre beaucoup plus les similitudes que les différences fondamentales.

J'ai aussi entrepris de diffuser un questionnaire auprès des plongeurs concernés par la plongée aux mélanges ternaires. Il m'a permis de cerner un peu mieux le profil de ces plongeurs d'un nouveau genre, de comprendre leurs motivations, de cerner leurs attentes.

## 2. POURQUOI PLONGER AUX MELANGES TERNAIRES ?

L'air que nous respirons en plongée est un mélange de ...

20,946 % d'oxygène  
78,084 % d'azote  
0,033 % de gaz carbonique  
0,934 % d'argon  
0,003 % de gaz rares (hélium...)

soit, en simplifiant : **21% d'oxygène (O<sub>2</sub>) et 79 % d'azote (N<sub>2</sub>)** .

Légalement, la plongée, professionnelle ou de loisirs, pratiquée à l'air, est limitée à la profondeur de 60 mètres. L'expérience dans tous ces domaines nous prouve que cette limite est parfaitement fondée.

Rappelons brièvement les facteurs limitatifs de la plongée à l'air :

- La narcose à l'azote apparaît vers 40 mètres provoquant une diminution des capacités intellectuelles et physiques. Le mécanisme de cette toxicité n'a pas encore été élucidé. Cependant, le facteur à retenir dans le caractère narcotique d'un gaz neutre serait sa solubilité plus ou moins élevée dans l'eau et dans les graisses, facteur qui déterminerait l'action du gaz considéré sur les tissus nerveux. On a constaté, en effet, que l'action narcotique des gaz neutres, comparable à celle des anesthésiques, était proportionnelle à leur solubilité dans les graisses (en fait, à leur « coefficient de partage » : rapport entre la solubilité dans les graisses et la solubilité dans l'eau)
- Le risque d'essoufflement est dû entre autres à la densité de l'air respiré.
- L'hyperoxie : l'oxygène devient toxique lorsqu'il est respiré à des pressions supérieures à 0,16 MPa (1,6 bar), correspondant à une profondeur de 6 mètres. C'est ce qu'on appelle « l'effet Paul Bert » qui menace le plongeur au-delà de 65 mètres.
- L'hypoxie : la pression partielle minimale retenue pour les risques d'hypoxie est de 0,17 bar.

Aujourd'hui, de nombreux plongeurs s'aventurent à l'air au-delà de ces limites, voire dans la zone à trois chiffres... Des accidents mortels viennent nous rappeler que l'organisme humain n'est pas fait pour résister à une telle agression.

La sécurité en plongée profonde nous impose donc d'utiliser un mélange de gaz autre que l'air. Les mélanges binaires à deux composants comme l'héliox (hélium et oxygène) sont utilisés essentiellement en plongée professionnelle. En outre le prix élevé de l'hélium nous fait préférer des mélanges à trois composants que l'on appelle mélanges ternaires en français et trimix en anglais. Les mélanges ternaires sont composés d'oxygène (O<sub>2</sub>) d'azote (N<sub>2</sub>) et d'hélium (He).

Un mélange composé de : **18% d'O<sub>2</sub>, 42% d'N<sub>2</sub>, et 40% d'He** est noté : **18 / 42 / 40**

L'identification des mélanges se fera toujours dans cet ordre.

Ces pourcentages sont établis en tenant compte de la profondeur maximale d'utilisation que les anglophones appellent MOD, pour Maximum Operating Depth .

Il est bon de noter que la notation américaine des mélanges ne mentionne que l'oxygène et l'hélium, l'azote étant déduit par soustraction ; on parle parfois de notation « mer du nord ». Ainsi, le même mélange que nous indiquons 18/42/40 sera noté **18/40** par les Américains.

Si nous remplaçons l'azote contenu dans 1 litre d'air par la même quantité d'hélium, la masse de ce mélange serait de 0,420 grammes, environ trois fois moins. Ceci présente l'avantage de diminuer très notablement les efforts respiratoires, à l'origine de la plupart des essoufflements.

Par exemple, un mélange ternaire oxygène/azote/hélium à 90 m contenant seulement 42% d'azote a le même pouvoir narcotique que de l'air à 43m, on dit qu'il a une profondeur équivalente à l'air de 43m. Un héliox (oxygène/hélium) dans les mêmes conditions peut avoir une profondeur équivalente de 17 m seulement. Les Anglo-saxons utilisent le terme de EAD : Equivalent Air Depth.

## 2.1 HISTORIQUE

Pour pallier ces problèmes, l'idée de remplacer l'azote par un autre gaz neutre est apparue dès 1924. L'argon, le krypton, le xénon sont trop lourds. L'hydrogène est le plus léger, mais il peut détonner spontanément lorsqu'il est mélangé à de l'oxygène sous certaines conditions. On ne parlera donc plus de l'hydrogène jusqu'en 1945.

Le premier homme qui eut le courage d'expérimenter l'hydrogène sur lui-même est l'ingénieur suédois Arne Zetterström, lors de tests réalisés entre 1943 et 1945 par la Marine royale suédoise. Ces plongées se sont malheureusement terminées sur des problèmes matériels ayant entraîné la mort de Zetterström.

Reste alors l'hélium. C'est en 1925 que la marine américaine pense remplacer l'azote par l'hélium afin de raccourcir les temps de paliers sans augmenter les risques de la décompression.

Leurs espoirs sont rapidement déçus car l'hélium est moins soluble que l'azote dans les tissus et il diffuse plus vite. La décompression est alors plus longue.

Par contre, très vite apparaissent les avantages de l'hélium en ce qui concerne la narcose. En 1930, la profondeur de 100 mètres est atteinte sans que le plongeur soit narcosé, en 1937 cette limite est repoussée à 126 mètres.

Jean-Claude Le Péchon, dans une conférence au DIVE TEK 95 à Birmingham, nous rappelle que :

« La plupart des entreprises de travaux subaquatiques qui prennent des contrats de travaux plus profonds que 50 m utilisent de l'héliox comme mélange fond et suivent des procédures de décompression qui sont issues de la Marine US. La plus grande part des opérations de plongée profonde utilisent les techniques de plongée à saturation avec de l'héliox. Dans le golfe du Mexique il y a encore assez fréquemment besoin de plongées de courte durée en intervention plus profonde que 50 m et qui sont faites avec de l'héliox.

La décompression est parfois effectuée dans l'eau ou avec la technique de décompression de surface à l'oxygène, quelques fois avec un transfert sous pression à partir d'une tourelle.

Le fait d'ajouter de l'azote dans des mélanges de plongée très profonde pour réduire les effets aigus de l'hélium, syndrome nerveux des hautes pressions, ou des vitesses de compression dans la tranche des 40 bars ou 400 m, ou plus profond, ne fait pas partie de cette série de travaux. Les mélanges ternaires de plongée à grande profondeur n'ont rien à voir avec ceux respirés pendant des plongées d'intervention entre 50 et 180m.

Cependant beaucoup de plongeurs techniques de loisir essayent d'utiliser de l'air en ajoutant de l'hélium pour réduire la résistance respiratoire et même l'effet narcotique des plongées à l'air à grande profondeur. En France, dès l'année 1963, la marine nationale a commencé des essais avec des mélanges ternaires pour des plongées en appareils semi-fermés en grande profondeur, et, un peu plus tard, pour des interventions unitaires en tourelle. A partir de cette expérience préliminaire, plusieurs familles de tables ou de procédures de plongée aux mélanges ternaires se sont développées en France et aux Etats-Unis. »

Ce développement date maintenant d'une vingtaine d'années. En Europe, les plongeurs spéléo ont commencé à plonger au trimix dès les années 80. On peut noter les noms de Claude Touloumdjian, Olivier Isler, Rob Palmer et Jochen Hassemeyer. L'utilisation de Trimix est liée à la profondeur croissante des explorations en France. Le nombre de nouvelles cavités abordables à l'air est en diminution et impose l'usage de mélanges permettant de continuer les progressions. Beaucoup d'explorations d'importance aujourd'hui ont un « terminus » dans la zone des 100 à 150m. Au-delà de ces profondeurs, la logistique à mettre en œuvre limite notablement ce type d'expédition.

Les espoirs se tournent actuellement vers l'usage de recycleurs au trimix. J'ai participé, l'année dernière, à une étude des recycleurs existant sur le marché ou à l'état de prototypes, dans l'optique de les utiliser en plongée souterraine. Les essais que nous avons faits nous ont amenés à conclure que les différents modèles testés ne pouvaient convenir complètement à notre demande, en particulier sur le problème de la redondance et de la sécurité en cas de panne en plongée sous plafond.

Les modèles testés nous ont, en revanche, semblé intéressants pour un usage en eau libre, offrant une grande autonomie et une sensation de grande liberté en produisant très peu de bulles, ce qui permet d'approcher facilement la faune. Le confort respiratoire est cependant très variable d'un modèle à l'autre et la décompression peut être approximative sur certains modèles dont la composition du gaz respiré fluctue beaucoup. On peut de même s'interroger sur la procédure à adopter en cas de panne et de recours à une utilisation en circuit ouvert lors de plongées nécessitant de longs paliers.

## 2.2 QUELLE EST LA DEMANDE AUJOURD'HUI ?

Le trimix présente donc un certain nombre d'avantages. D'une part, c'est un mélange moins dense que l'air, ce qui a pour effet de faciliter la respiration et donc de diminuer le risque d'essoufflement, offrant ainsi des avantages certains en terme de confort respiratoire. D'autre part ce mélange contenant une part importante d'hélium est beaucoup moins « narcotique » que l'air.

La demande de plongée aux mélanges ternaires vient maintenant des « plongeurs loisir » à la recherche de sensations nouvelles, de profondeurs plus importantes, d'épaves à découvrir. Il semble que les motivations évoquées par la plupart des plongeurs soient cette recherche de la profondeur et, à une moindre part, la recherche de la sécurité par la diminution de la narcose.

Il y a, par contre, un revers à la médaille, la décompression à trois gaz n'est pas bien maîtrisée et les paliers sont généralement plus longs que pour une plongée équivalente à l'air. De plus, le trimix, beaucoup plus conducteur de la chaleur que l'air, du fait de la présence d'hélium, provoque une déperdition de chaleur importante et aggrave les effets du froid en plongée.

## 3. LA PLONGEE PROFONDE

### 3.1 LES COMPETENCES DES NIVEAUX III

Les plongeurs intéressés par la plongée aux mélanges ternaires sont la plupart du temps des plongeurs expérimentés, ayant une expérience certaine dans l'espace lointain, et une formation à la plongée au Nitrox.

Cependant, le niveau minimum d'accès exigé par l'arrêté du 28 août 2000 est le niveau III de la FFESSM. J'ai relevé dans le tableau suivant les compétences des plongeurs niveau III sur lesquelles nous allons plus particulièrement nous appuyer pour la formation des plongeurs profonds au trimix.

Compétences	Connaissances, savoir-faire et savoir-être
GERER ET UTILISER LE MATERIEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identiques à ceux du niveau II, mais la gamme des matériels maîtrisés inclura obligatoirement:</li> <li>- L'ordinateur de plongée du point de vue de l'utilisation.</li> <li>- Le matériel utilisé par les autres plongeurs de la palanquée.</li> <li>- Le parachute de palier.</li> <li>- La mise en place du bloc de paliers (air ou O<sub>2</sub> ou narghilé).</li> <li>- La mise en place de pendeurs, lignes dérivantes...</li> </ul>
IMMERSIONS ET RETOUR EN SURFACE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Techniques d'immersion et descente sur un fond de l'espace lointain.</li> <li>Adaptation à la plongée profonde des techniques acquises au niveau 2.</li> <li>- Maîtrise des vitesses de remontée et adaptabilité de celles-ci à celle des partenaires de la palanquée.</li> <li>- Maîtrise d'un palier dans toutes les circonstances.</li> </ul>
MAITRISE DE LA VENTILATION DANS L'ESPACE LOINTAIN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maîtrise de l'équilibre, de la ventilation et de la propulsion dans l'espace lointain.</li> <li>- Maîtrise de l'équilibre par gilet et poumon-ballast à 40 mètres.</li> </ul>
DANS L'ESPACE LOINTAIN, REACTION AUX SITUATIONS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaction à l'essoufflement, et à toute situation nécessitant une assistance ou un sauvetage à 40 mètres.</li> </ul>
AUTONOMIE DANS L'ESPACE LOINTAIN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifications et contrôles avant la plongée; logistique en l'absence d'encadrement.</li> <li>- Organisation et conduite dans la palanquée, gestion du profil de plongée, de l'air, du retour, de la successive ou consécutive éventuelle.</li> </ul>
CONNAISSANCES THEORIQUES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Symptômes, prévention, conduite à tenir pour l'ensemble des accidents pouvant survenir dans le cadre des activités de plongée.</li> <li>- Gestion de l'air</li> <li>- Planification de la plongée lorsque coexistent plusieurs méthodes de décompression.</li> </ul>

Une analyse de ces compétences montre que toutes les notions de base nécessaires à la plongée profonde sont bien présentes dans la formation. Un niveau III est bien sensibilisé au matériel spécifique : pendeur, blocs de palier, parachutes. De même, il possède les notions de base pour gérer une plongée profonde : maîtrise de l'équilibre au gilet, gestion de la vitesse de remontée, réaction à l'essoufflement, gestion du profil de plongée et des gaz utilisés. Il s'agit cependant essentiellement d'une première approche, un approfondissement est donc nécessaire.

De plus, lors de sa formation, le futur plongeur niveau III n'a pas plongé au-delà de 40m. Ses prérogatives l'autorisent cependant à évoluer dans l'espace lointain, sans que ce soit une obligation. Si l'on observe un parallèle avec la formation des scaphandriers professionnels que j'ai déjà eu l'occasion de pratiquer, les profondeurs d'intervention pour un classe II sont bien identiques entre l'enseignement et la pratique.

Au moment d'aborder une formation à la plongée profonde aux mélanges ternaires, il est donc indispensable de vérifier ces acquis et de s'assurer qu'ils s'appuient sur une réelle expérience dans l'espace lointain. Dans la définition des contenus de formation à la plongée trimix, nous avons précisé d'ailleurs que les plongeurs niveau III devaient en plus « présenter un carnet de plongée attestant une pratique effective et récente dans l'espace lointain. »

De ce fait, une bonne partie de la formation d'un plongeur trimix est destinée à lui assurer des compétences de plongeur profond.

Nous pourrions établir un parallèle avec l'usage du vêtement sec, car il existe dans le cursus fédéral une qualification à l'usage de ce type de vêtements sur laquelle nous pouvons nous appuyer. Un plongeur possédant cette qualification verra sa formation trimix allégée, pourquoi ne pas imaginer une qualification similaire pour la plongée profonde ?

## **3.2 VERS UNE QUALIFICATION DE PLONGEUR PROFOND**

Si l'on aborde un tour d'horizon des propositions de formations étrangères sur la plongée technique, on peut noter que dans tous les cursus figure cette notion de plongeur profond (extended range). On peut observer que la notion anglo-saxonne de la profondeur commence à 30m !

Une telle qualification n'existe pas encore dans notre cursus fédéral, mais nous pouvons tenter maintenant une étude prospective de la question. Cette qualification pourrait s'adresser à des plongeurs niveau III minimum, ayant si possible la qualification Nitrox. Le domaine d'intervention de ces plongeurs serait typiquement la zone des 40 à 60m.

Cette démarche s'inscrit bien dans le cadre général de la plongée trimix. Les compétences de plongée trimix intègrent bien l'ensemble des compétences de plongée profonde.

La limite technique entre la plongée profonde et la plongée trimix est parfois bien mince. Un plongeur profond, qualifié nitrox, emmènera la plupart du temps une bouteille de palier d'oxygène pur. Nous verrons plus loin que certains préfèrent utiliser un nitrox à 80% d'O<sub>2</sub> plutôt que de l'oxygène pur en décompression. Il aura donc à gérer cette bouteille au long de sa plongée, diminuant ainsi son aquaticité et limitant ses capacités d'intervention sur son coéquipier. Certaines plongées profondes sur épave nécessiteront même le transport d'une deuxième bouteille de décompression contenant un nitrox.

Je prendrai donc comme définition d'un plongeur profond un plongeur équipé d'un bi-bouteille au minimum 2x12l, associé à une bouteille de palier de 7l environ (voire deux) et évoluant dans la zone des 40 à 60m pour une durée de plongée lui imposant généralement plus d'une demi-heure de paliers. Son équipement comprendra entre autres deux dérouleurs de fil (30m et 60m), deux parachutes, deux sécateurs, deux profondimètres ou ordinateurs, un jeu de tables de secours, plusieurs éclairages, si nécessaire ; il portera enfin le plus souvent un vêtement étanche. La différence avec un plongeur trimix se limitera en fait à la nature des gaz dans le scaphandre dorsal, à la profondeur d'intervention et aux tables utilisées.

La démarche que j'ai adoptée est basée sur une évaluation des dangers objectifs et des risques de ce type de plongée pour aboutir à des compétences à développer. Cetype de démarche est d'ailleurs assez classique lors de la mise en place de procédures de sécurité en milieu professionnel et en plongée souterraine.

Je n'aborderai pas ici la formation à mettre en œuvre, qui pourrait faire d'ailleurs l'objet d'un travail ultérieur.

Pour l'instant, cette qualification n'existant pas, la formation spécifique sera traitée dans la formation trimix proposée.

### **3.2.1 LA SECURITE EN PLONGEE PROFONDE**

Les plongées profondes sont rarement réalisées sans un but précis, épave ou tombant, qui justifie un certain nombre d'inconvénients : le froid, le temps, les paliers.

Les dangers objectifs et les risques potentiels seront en général acceptés, mais il faut nécessairement les prendre en compte dans la préparation de la plongée.

#### **Règles de sécurité**

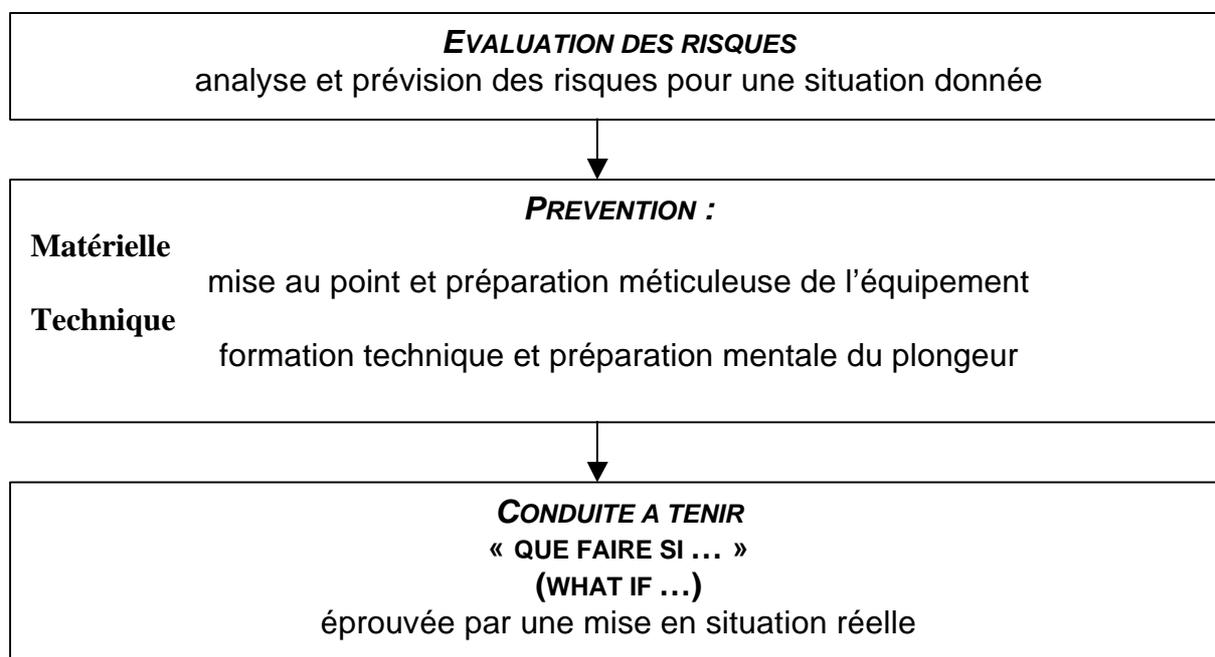
Du fait de la longueur des paliers imposés par les plongées profondes et de la nécessité de retrouver l'embarcation de départ, les règles de sécurité sont directement inspirées des règles en plongée souterraine ou sous-plafond :

##### **Règles générales de sécurité**

- redondance du matériel de sécurité : deux blocs indépendants, ou avec séparateurs, détendeurs, flottabilité, éclairage, instruments, fil, sécateur
- règle de consommation aux tiers : un tiers à l'aller, un tiers pour le retour, un tiers pour gérer les problèmes
- trilogie de sécurité : fil de secours, sécateur, compas
- zone de sécurité sur la poitrine où l'on doit trouver rapidement tous les appareils et instruments essentiels
- l'équipement du plongeur doit lui permettre d'être lisse et fluide dans l'eau : pas de risque de s'accrocher dans un fil ou un filet, pas de bloc-relais mal placé et gênant le palmage
- liaison systématique surface-fond
- dispositif d'alerte et procédure adaptée : deux parachutes signalent un danger
- les plongées sont programmées avec un seul dépassement en profondeur ou en temps
- l'effectif des palanquées doit être limité si possible à deux plongeurs

## Etude des risques en plongée profonde :

En partant du principe que le bon plongeur profond est celui qui sait anticiper les situations critiques afin de les éviter, les risques ciblés en plongée profonde seront traités selon le schéma suivant :



Les différents risques liés à la plongée profonde sont catégorisés en trois types, le milieu, le matériel et la nature même de la plongée.

### **Risques liés au milieu**

Les risques liés au milieu sont innombrables mais parmi les risques déjà présents en plongée classique, j'ai privilégié les risques présentant une importance et un aspect particuliers en plongée profonde.

#### **Le courant**

- Le courant entraîne un risque de dérive en surface et d'essoufflement. Au fond, il y a un risque de dériver du site de plongée et de ne pouvoir y retourner sans essoufflement, voire pas du tout et de perdre sa ligne de décompression.
- Une ligne flottant en surface, associée à une ligne de liaison surface-fond pallie ces problèmes. Une longe permet d'effectuer en sécurité ses paliers sur la ligne de vie. Un fil d'Ariane posé au fond permet de retrouver facilement la ligne de vie.
- Si la dérive est inéluctable, un parachute simple signale la palanquée pour les paliers dérivants, associé à un second parachute largué sur le même fil en cas d'incident nécessitant une intervention de la surface, comme la mise à l'eau d'une ligne de décompression de secours.

## **Le froid**

- La longueur de la plongée, associée à une longue décompression peut entraîner une perte de chaleur très importante.
- L'emploi du vêtement sec est fortement conseillé. En cas d'utilisation de trimix, il faudra prévoir l'injection d'un autre gaz (air ou argon) pour augmenter l'isolation. Dans le cadre de la sécurité, certains s'équipent d'un vêtement humide sous le vêtement sec en cas d'entrées d'eau ou de rupture de la fermeture étanche.
- Si le plongeur a froid durant sa plongée, il est impossible d'intervenir avant la sortie de l'eau. Par contre il faut prévoir à bord boissons chaudes et vêtements de rechange secs.

## **La visibilité**

- Avec la profondeur, la luminosité diminue, entraînant une perte du contraste. La lecture des instruments devient hasardeuse. Si la turbidité de l'eau est forte ou le plancton abondant, la nuit peut être totale bien avant 60m en Méditerranée. Le plongeur risque alors de se prendre dans un filet ou de se fourvoyer dans une épave.
- Il est alors possible de repérer le parcours au fond avec un fil, mais le retour dans une obscurité totale demande un grand entraînement et de bonnes qualités mentales. Il est aussi fortement recommandé de munir les membres de la palanquée de lampes puissantes et de systèmes de repérages comme les lampes à éclats ou des systèmes « neverlost » ou similaires. Bien entendu, la règle de redondance s'applique aussi à l'éclairage.
- Si vous vous retrouvez seul, et que la perte de visibilité est due à des sédiments soulevés, sachez attendre qu'ils retombent ou que le courant les emporte. Il est aussi possible de remonter légèrement pour être au-dessus du nuage. Si vous cherchez votre coéquipier, des systèmes à base de billes choquées dans un tube ou bien une boule fixée par un élastique au bloc permettent de produire un son qui attirera l'attention. Si enfin vous devez commencer seul la remontée, attention à la vitesse de remontée, difficile à maintenir sans visibilité. Le parachute sera largué dès que possible pour alerter la surface.

## **Les obstacles : filet, épaves**

- La peur du filet n'est certes pas un mythe. Qui a jamais vu un mur quasi invisible se dresser devant soi comprendra la menace redoutable d'un filet tendu, associé souvent à du courant. Se démêler d'un filet est déjà laborieux, voire impossible, mais dans le cadre d'une plongée programmée, la perte de temps peut être gravissime. Dans une épave, les sédiments peuvent tout obscurcir instantanément, le plongeur peut être immobilisé par une pièce d'équipement coincé, des tôles peuvent s'abattre, bloquant la sortie.
- La prévention passe par une vigilance de tout instant du plongeur. Une bonne technique d'équilibrage au gilet permettra d'utiliser efficacement des instruments coupants d'une seule main comme un sécateur (impérativement à enclume) ou des ciseaux de chirurgiens pour se dégager d'un filet. La pénétration dans une épave nécessite

systématiquement la pose d'un fil d'Ariane et la capacité, technique et psychologique, de le suivre dans le noir pour retrouver la sortie.

- Si vous êtes malgré tout pris dans un filet, il faudra compter avant tout sur votre coéquipier en évitant tout mouvement inutile, prévenir la surface, éviter le suraccident pour le camarade de palanquée.

## ***Risques liés au matériel***

### **Panne d'air**

- La panne d'air est un risque accidentel qui peut mettre sérieusement en difficulté un plongeur profond. Elle interviendra sur une fuite importante, liée la plupart du temps à une rupture de matériel ou à un détendeur en débit continu, sur givrage ou défaut. La plongée sera avortée, mais des problèmes annexes liés au défaut peuvent apparaître : impossibilité de gonfler un élément de flottabilité, gilet ou vêtement.
- La prévention passe par un entretien sérieux du matériel, un séchage de l'air pour éviter le givrage en eau froide, l'usage d'arceaux de protections de robinetteries qui protègent aussi les tuyaux, de même que l'utilisation systématique de protections de tuyaux en plastique. La sécurité est surtout assurée par la redondance de bouteilles présentes sur le plongeur ou sur la ligne de vie. L'équipement avec deux bouteilles physiquement indépendantes, associé à une consommation aux tiers comme nous l'avons vu dans les règles générales de sécurité, doit éviter au maximum ce risque. Je ne crois pas personnellement à la sécurité de la vanne d'isolation des deux blocs. En cas de débit continu d'un deuxième étage de détendeur, la pression va gravement chuter dans les deux blocs avant isolation et, de toute façon, la bouteille du détendeur incriminé sera vidée. La règle des tiers sera alors complètement faussée.
- Si la panne devait survenir, le plongeur devra compter sur son coéquipier et se réfugier rapidement sur sa ligne de vie, éventuellement grâce à son fil d'Ariane, là où il sait trouver ses bouteilles de secours. Si d'aventure il était en pleine eau, il devra signaler rapidement l'incident à la surface par les deux parachutes pour qu'on lui envoie rapidement la ligne de décompression de secours.

### **Panne de flottabilité**

- La perte de flottabilité est aussi une cause importante d'accidents. L'accident mortel qui a eu lieu en 2000 au lac du Bourget n'a pas d'autre cause. Le plongeur profond est lourd, il n'emporte généralement pas de plombs et n'a donc rien à larguer. Une panne de son gilet de stabilisation est donc gravissime car il risque de ne pouvoir remonter sans se tracter sur la ligne de vie ni sans s'essouffler. L'assistance du coéquipier est parfois laborieuse du fait des faibles débits des inflateurs du commerce.
- La solution passe toujours par l'entretien du matériel bien sûr, mais surtout par la redondance. Une stab ou une wings à double vessie est nécessaire. Il faut rappeler que le vêtement sec ne doit pas être considéré comme une flottabilité, à la rigueur comme un secours. Une modification intelligente des inflateurs de bouée pour en augmenter le débit au fond est parfois utile. L'équipement peut aussi comporter un parachute de levage d'une trentaine de litres.

- Si une panne survient à la flottabilité principale, il doit toujours être possible de gonfler un parachute ou une flottabilité de secours. Même une fermeture de vêtement sec ouverte peut se gérer avec de l'entraînement, la posture n'est pas académique, mais on peut toujours gonfler une jambe ou un bras !

## **Perte de lestage**

- Une perte de lestage ou bien un lest mal adapté peuvent devenir très critiques à l'heure des paliers, et mettre le plongeur dans une situation très périlleuse.
- La perte de lestage, comme nous venons de le voir, ne devrait pas poser de problème au plongeur profond. Par contre, l'usage de gros blocs entraîne des variations très importantes de lestage. Dans un bi 2x20l, il y a près de 10 Kg d'air ! malgré la règle des tiers, cela correspond à une différence énorme de lestage entre le début et la fin de la plongée. La prévention passe par des essais systématiques, à faible profondeur et bouteille presque vide, chaque fois que l'on modifie son équipement. Si on doit utiliser une ceinture de plombs, la fermeture sera assurée par un mousqueton à vis ou un système ne permettant pas une ouverture intempestive. La ceinture « marseillaise » reste une valeur sûre en ce domaine.
- Si le lestage devient problématique, en cas de perte ou de mauvaise gestion, il reste toujours les cailloux du fond, et le lest de la ligne de vie sera le bienvenu ! Attention à ne pas utiliser le fil d'Ariane pour pêcher tête en bas, sa rupture provoquerait d'autres désagréments !

## **Erreur de gaz**

Ce risque est déjà présent en plongée nitrox et a déjà été considéré si le plongeur profond possède la qualification nitrox.

- L'usage d'oxygène pur ou de nitrox très riche en oxygène présente le risque d'être respiré au fond, entraînant une hyperoxie foudroyante. Le risque est d'autant plus grand que l'on change régulièrement de détendeur dans la configuration à blocs séparés.
- La prévention passe par un repérage systématique des blocs présentant le plus grand risque. L'oxygène est muni d'un capuchon en toile verte évitant toute confusion au fond. De plus une convention généralement admise consiste à placer toujours le mélange le plus riche à droite et le moins riche à gauche. Par exemple oxygène pur à droite et nitrox à gauche. On ne touchera jamais la bouteille de droite avant les 6m du palier !
- Si une confusion se produisait ou si un doute devait s'installer par un manque de repérage des blocs, la seule solution est de continuer la décompression à l'air ou au mélange-fond et de demander à la surface l'envoi de la ligne de décompression de secours. Un essai raté à grande profondeur peut être fatal !

## **Emmêlement dans le fil d'Ariane**

- Le fil d'Ariane est souvent un allié lors de la pénétration d'épaves ou si la visibilité le nécessite, mais il peut devenir un piège infernal s'il s'accroche à l'équipement, principalement dans la robinetterie.
- La solution pour éviter ce problème passe par un apprentissage de la pose et du suivi de fil. Celui-ci doit toujours être tendu. Les élastiques de chambre à air font ici merveille. Une attention particulière à l'équipement évite bien des tracas, un simple élastique tendu entre les deux robinets élimine ce « piège à fil ». Des techniques particulières de dégagement sont enseignées. Elles nécessitent beaucoup d'essais à terre. La trilogie de sécurité : fil de secours, ciseaux, compas intervient alors. Les ciseaux et le fil pour se dégager, le compas pour être sûr après de repartir dans le bon sens.
- Si un emmêlement devait survenir, il est nécessaire d'arrêter tout mouvement, de s'équilibrer et soit de compter sur son équipier, ce qui est le plus commode, soit de commencer seul une procédure de dégagement, longue et très dispendieuse en air, du fait des contorsions demandées. Dans tous les cas, cela marque la fin de la plongée.

## ***Risques liés à la nature de la plongée***

### **La narcose**

- Lors de plongées profondes à l'air, la narcose provoque les effets que l'on connaît bien. L'attention se relâche, les gestes sont moins précis, les réactions aux situations d'urgence sont retardées. Les autres risques sont largement augmentés.
- On ne peut pas réellement prévenir les effets de la narcose. À la rigueur l'entraînement associé à des vitesses assez lentes de descente permet d'effectuer des tâches apparemment sans problème au-delà de 40m. La fameuse opération des 50m au MF2 n'est pas, à elle seule, un critère suffisant. Sans en être réellement conscient, tout le monde est narcosé à 60m. On ne peut s'en rendre vraiment compte qu'à partir du moment où l'on refait au trimix une plongée profonde que l'on connaissait à l'air. La seule manière d'éviter la narcose reste donc le trimix qui ne peut qu'augmenter la sécurité avec des profondeurs équivalentes largement inférieures à la profondeur réelle.
- Si la narcose apparaît, seule l'expérience permet de s'en rendre compte et de remonter immédiatement. La prudence recommande donc de bien choisir son coéquipier et de bien se connaître soi-même pour que le plus conscient puisse intervenir rapidement et assister l'autre.

### **L'essoufflement**

- La lourdeur du matériel mis en œuvre dans une plongée profonde favorise grandement l'essoufflement. Celui-ci peut apparaître dès la surface et s'aggraver au fond, si l'immersion est trop rapide. Les risques de panique, de remontée catastrophe, de surpression pulmonaire sont importants. La mise en danger du coéquipier est flagrante sur une intervention d'assistance profonde, très difficile à gérer.

- La prévention passe par un matériel adapté, aussi bien en termes de souplesse de détenteur, que d'équipement. Le point de départ d'un essoufflement est d'abord une fatigue des muscles respiratoires, le cycle infernal du gaz carbonique ne s'amorcera qu'après. Si ces muscles ont été sollicités sur le bateau par une combinaison épaisse, puis dans l'eau par des blocs mal placés, la dette de fatigue va se payer au fond. Le manque de fluidité dans l'eau du plongeur va aggraver les efforts inutiles issus d'un manque d'entraînement ou d'un équipement mal réglé. L'usage de trimix augmentera ici aussi la sécurité par une notable diminution des efforts ventilatoires. Par contre l'usage d'un trimix hypoxique pourra déclencher un essoufflement de surface réglé paradoxalement par une immersion rapide.
- La conduite à tenir en cas d'essoufflement est classique, la remontée s'impose, l'usage des gilets est impératif. Cet accident doit être pris très au sérieux en plongée profonde, ceci marque bien évidemment la fin de la plongée.

## **La pression du temps**

- La pression psychologique reste particulièrement forte tout au long des « plongées programmées ». Le risque alors est de céder à ce stress et de provoquer une panique au fond, entraînant des confusions et des erreurs majeures, le tout aggravé par la narcose. Des utilisations dangereuses de mélanges suroxygénés en profondeur, des erreurs de paliers, des remontées trop rapides sont alors à craindre.
- La prévention passe par le respect de procédures préalablement écrites sur les tablettes immergeables, sans ambiguïté, nettes et lisibles au fond. Un tableau du déroulement chronologique de la plongée est clairement établi, (le « run-time » des anglo-saxons) et les dépassements éventuels en profondeur ou en temps sont programmés. Il ne faut laisser aucune place à l'improvisation. Un entraînement régulier à des profondeurs croissantes est nécessaire en formation.
- La surveillance mutuelle des équipiers doit permettre de calmer rapidement un début de panique. La remontée immédiate limitera la narcose et fera cesser cet état.

## **Gestion de la consommation**

- En plongée profonde, le temps de remontée, décompression incluse, sera souvent plus long que la plongée elle-même. Les règles habituelles de gestion de l'air ne sont plus valables. La panne d'air guette l'imprudent qui commencerait sa remontée sur la « réserve » classique. Des incidents peuvent aussi se produire au fond, faisant perdre un temps précieux et nécessitant un repli sur des lignes plus pénalisantes des tables.
- Une bonne connaissance de sa consommation normale est donc primordiale. À chaque plongée, un calcul de consommation normobare est fait. Il faudra le majorer en cas d'incident, d'où la règle, légitimement acceptée, du tiers des bouteilles. Cette règle, directement inspirée de la plongée souterraine est maintenant remplacée en plongée sous-plafond par la règle, beaucoup plus draconienne, des cinquièmes. Le principe, énoncé dans les règles de sécurité, est de consommer un tiers du volume total de gaz emporté à l'aller, c'est-à-dire jusqu'au point de demi-tour de la plongée. Il restera donc pour le retour deux tiers du volume total. Ceci n'est valable que si l'on dispose d'autres bouteilles pour la décompression et si celles-ci sont elles-mêmes doublées par sécurité.

Une plongée profonde doit être planifiée en fonction de la consommation de chaque individu. En ce cas seulement les deux tiers restant peuvent pallier un incident au retour, en sachant que, dans ce cas, la consommation augmente très rapidement.

- En cas de surconsommation, la procédure est la même qu'en cas de panne d'air. Le coéquipier est là pour pallier ce mauvais pas jusqu'à ce que l'on puisse rejoindre la ligne de vie principale ou obtenir une ligne de décompression de la surface.

### **3.2.2 LA DECOMPRESSION**

#### **Les procédures de décompression**

La plongée profonde doit être une plongée programmée. Le site, la profondeur maximale et la plupart des paramètres sont connus pour préparer la plongée. De ce fait, lors de plongées à l'air, deux possibilités sont offertes : utiliser des ordinateurs de plongée ou les tables.

- Les ordinateurs facilitent la vie, mais le choix du bon modèle est un peu fonction de ses préférences personnelles. Un modèle permettant de fonctionner en simple « timer » est plus souple d'emploi.
- Les tables utilisées doivent permettre des temps assez longs de plongée, ce que les modèles immergeables n'offrent pas, il faut recopier sur les tablettes la partie intéressante des tables complètes.

Il est toujours bon de rappeler que le respect de la vitesse de remontée est déjà le premier palier et ceci est encore plus vrai en plongée profonde.

Dans tous les cas, la préparation de la plongée ne se limite pas à cela. Une programmation minutieuse des temps doit être réalisée, aussi bien pour les plongeurs que pour l'assistance de surface. C'est ce que les anglo-saxons appellent les « run-time » et qui n'a pas de terme équivalent en français, on parle généralement de programme de plongée ou de plan de plongée.

Cette programmation permet d'un coup d'œil de savoir où l'on en est exactement des prévisions. Il s'agit d'un tableau où le temps zéro est le début de la plongée et qui se termine à la sortie de l'eau. À tout instant il est facile de vérifier les paramètres.

Le chrono semble alors défiler à une vitesse infernale et c'est là que la « pression du temps » se fait le plus sentir.

Ce tableau est reporté sur les tablettes immergeables où l'on prévoit systématiquement un « glissement » en temps et en profondeur. On n'a généralement pas le droit de « glisser » sur les deux ! Les calculs de consommations sont faits sur cette base.

L'assistance de surface possède les mêmes paramètres et peut intervenir en fonction de cela, en particulier pour préparer les lignes de décompression de secours.

Des tablettes immergeables sont prévues pour assurer une communication fiable en cas d'incident.

#### **Les lignes de vie et de décompression**

La plupart du temps, on a intérêt, pour des raisons de sécurité et de confort psychologique, à installer une liaison surface-fond. Cette « ligne de vie » est en fait un mouillage relié à une grosse bouée. Nous utilisons fréquemment une barre métallique pour relier la bouée du

mouillage à une autre bouée qui soutient la ligne de décompression proprement dite. La barre est là pour éviter les emmêlements de la ligne de vie et de la ligne de décompression dus à la houle. Le bateau de soutien est ainsi libéré pour assurer la sécurité. Un second bateau peut parfois s'avérer nécessaire.

Cette ligne de décompression comporte, aux profondeurs des paliers, les blocs prévus pour la décompression, dûment étiquetés en fonction des gaz utilisés et de la profondeur maximale d'utilisation. De plus, ils sont personnalisés pour éviter toute confusion.

La plongée commence au fer du mouillage, éventuellement par la pose du fil d'Ariane.

Au moins une ligne de décompression de secours est à bord, prête à être larguée sur les parachutes.

Le retour de plongée devra, sauf incident, se dérouler sur la ligne de vie. Si les plongeurs sont trop nombreux, l'usage d'une longe individuelle permettra de dégager la ligne.

## **Emmener ses blocs de décompression**

Certaines plongées ne se prêtent pas à la pose d'une ligne de vie, lors d'un parcours au fond ou bien si courant rend aléatoire le retour au mouillage. Les plongeurs devront dans ce cas emmener toutes leurs bouteilles de décompression sur eux.

La configuration devient lourde : un gros bi dorsal plus une ou deux bouteilles de décompression sous les bras.

Le retour s'effectuera en pleine eau avec utilisation d'un parachute de palier de volume conséquent, largué le plus profond possible : au moins une trentaine de litres et, si possible, de type étanche pour éviter tout retournement en surface.

### 3.2.3 COMPETENCES EN PLONGEE PROFONDE

Les compétences requises pour un plongeur profond sont directement issues de l'analyse des risques possibles pour des plongées de ce type, ainsi que des procédures de décompression et de la logistique particulière de plongée à mettre en place.

La sécurité passant par une bonne formation sur les aspects pratiques et théoriques, nous avons relevé les compétences suivantes :

#### Compétence 1 : gérer et utiliser le matériel

<i>Connaissances, savoir-faire et savoir-être.</i>	<i>Commentaires et limites</i>	<i>Critères de réalisation</i>
Préparation du matériel spécifique et identification	Les éléments essentiels seront le marquage et le positionnement du matériel	Le matériel de sécurité devra être placé afin d'éviter toute erreur de manipulation
Préparation et mise en place des lignes de vie et de décompression	La préparation est réalisée à terre	Les lignes devront être immergées facilement et les profondeurs des bouteilles aux paliers respectées
Le vêtement sec : équipement et entretien		Aisance et rapidité d'équipement, entretien.
Choisir le lestage adapté au matériel utilisé	Le lestage doit correspondre au nouveau matériel	Évaluation pratique dans l'eau à des profondeurs croissantes
Préparation des tablettes immergeables de décompression	On prévoira la programmation précise de la plongée, plus deux lignes de « secours » sur un dépassement de profondeur ou de temps	On contrôlera la lisibilité des tablettes. Elles ne devront pas permettre d'erreur de lecture. Le déroulement programmé dans le temps sera net et précis
Préparation du fil d'Ariane et méthodes de pose	L'initiation sera réalisée à terre	Évaluation pratique à terre et dans l'eau à des profondeurs croissantes

#### Compétence 2 : apprentissages des techniques de plongée profonde

<i>Connaissances, savoir-faire et savoir-être.</i>	<i>Commentaires et limites</i>	<i>Critères de réalisation</i>
- Maîtrise de la stabilisation en immersion à l'aide d'un gilet ou d'une bouée et du vêtement sec, avec essais à différentes profondeurs - Maîtrise du lestage.	Le niveau de stabilisation est maintenu pendant un temps raisonnable en position statique et en déplacement.  Le lestage sera testé bouteilles presque vides	Le poumon-ballast doit être efficace à toute profondeur, associé au gilet ou à la bouée ainsi qu'au vêtement sec Surveillance sous l'eau par le formateur
Stabilité dans l'eau, aisance, bonne motricité et bons points d'appui avec l'équipement complet	Les exercices seront effectués progressivement d'une faible profondeur à la zone de 60 mètres	Surveillance sous l'eau par le formateur

Pratique de la ventilation alternée sur les deux bouteilles	Les deux bouteilles sont indépendantes La pression des deux blocs est toujours très voisine	Les détendeurs devront être échangés d'une seule main
Utilisation de la vanne d'isolation <u>SI CETTE CONFIGURATION EST ADOPTEE</u>	La robinetterie entre les bouteilles est équipée d'une vanne d'isolation	Gestion rapide et efficace de la vanne
Savoir poser et suivre correctement un fil d'Ariane	Les essais seront effectués à faible profondeur, ainsi que les exercices de dégagement	Le fil sera suivi les doigts toujours autour du fil, sans tirer dessus. Il doit être posé correctement, bien tendu.
Effectuer une remontée à vitesse contrôlée et assurer la stabilité des paliers	Cet exercice devra être parfaitement réalisé le long des lignes de vie et de décompression	On vérifiera le respect des différentes vitesses de remontée et la stabilité aux paliers
Réaliser les paliers avec les différents gaz correspondant à une plongée profonde.	On insistera sur l'identification des bouteilles et des détendeurs afin de prévenir toute erreur	On contrôlera la correspondance entre la nature du gaz utilisé et la profondeur du palier réalisé
Gérer correctement le parachute de palier et son dévidoir de 60m	Le dévidoir ne devra pas être fixé au plongeur au lâché du parachute	Le parachute sera libéré correctement avec le dévidoir d'une profondeur maximale de 40 m

### Compétence 3 : connaissances théoriques

<i>Connaissances, savoir-faire et savoir-être.</i>	<i>Commentaires et limites</i>	<i>Critères de réalisation</i>
La plongée profonde : - dangers et règles de sécurité - le matériel spécifique.	On insistera plus particulièrement sur la notion de "plafond" Les concepts de sécurité s'appuient sur ceux établis en plongée souterraine	Évaluation orale ou écrite
Compléments d'information sur les accidents biochimiques	On insistera sur les valeurs limites des pressions partielles de chacun des gaz	Évaluation orale ou écrite
Physique appliquée à la plongée profonde	On effectuera des exercices de calculs de consommation sur les valeurs relevées lors des plongées	Évaluation orale et écrite
Compléments sur les accidents de décompression.	On replacera le cours dans le contexte de la plongée profonde	Évaluation orale ou écrite
La décompression en plongée profonde Présentation et utilisation des tables de plongée utilisées	Principes utilisés dans la conception des tables. Les problèmes doivent correspondre aux plongées effectuées.	Évaluation orale et écrite
Rappel du fonctionnement de l'analyseur d'oxygène en cas d'utilisation de nitrox en décompression	Présentation du modèle utilisé	Évaluation orale

## 4. LA PLONGEE AUX MELANGES TERNAIRES

Nous allons considérer ici la plongée aux mélanges ternaires avec un scaphandre en circuit ouvert et nous n'aborderons pas la plongée aux recycleurs.

### 4.1 ANALYSE DES RISQUES EN PLONGEE AUX MELANGES TERNAIRES

La plongée aux mélanges ternaires étant avant tout de la plongée profonde, nous allons nous appuyer sur les techniques de plongée profonde déjà envisagées.

Sans aller jusqu'aux déclarations sécuritaires chères aux anglo-saxons : «L'utilisation et/ou le maniement incorrects d'air enrichi ou d'oxygène peuvent causer des accidents graves pouvant entraîner la mort » (extrait du manuel TDI), nous allons procéder à une analyse des risques spécifiques présentés par la plongée au trimix.

Ainsi les risques potentiels déjà repérés précédemment en plongée profonde seront bien les mêmes, mais nous verrons se rajouter des risques nouveaux liés aux trois points suivants :

- la nature des gaz utilisés
- les profondeurs d'intervention
- les procédures de décompression

#### 4.1.1 RISQUES LIES A LA NATURE DES GAZ UTILISES

Tous les risques repérés en plongée profonde concernant l'usage de bouteilles de nitrox et d'oxygène et des erreurs de gaz possibles en résultant sont, bien entendu, présents.

##### La fabrication des mélanges

- Lors de la fabrication des mélanges, différentes étapes se succèdent. La première consiste, la plupart du temps, à fabriquer un nitrox et à manipuler de ce fait de l'oxygène pur, avec tous les risques que cela comporte. La fabrication d'un trimix nécessite de manipuler des gaz qui sont loin d'être parfaits et cela implique des approximations, appelons cela des « tours de main » qui permettent d'obtenir le bon mélange. La simple analyse de l'oxygène est insuffisante pour être absolument certain de la nature exacte du mélange obtenu. L'usage récent d'un analyseur d'hélium nous a donné quelques frissons sur quelques anciens mélanges qui semblaient parfaits. De plus l'homogénéisation n'est pas instantanée, et interdit une utilisation rapide des mélanges fabriqués.
- Ces problèmes peuvent être réglés de plusieurs manières. La plus simple consiste à acheter les mélanges préparés, ce qui est plus onéreux, mais ne met pas à l'abri d'une analyse. Des plongeurs ont eu la surprise de commander un nitrox et d'analyser 0%

d'oxygène ! Il y avait eu confusion entre O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> ! Une autre solution consiste à investir dans un surpresseur permettant de manipuler dans tous les sens n'importe quel gaz à condition de respecter la norme oxygène pour la totalité du matériel. Enfin, la solution la plus confortable consiste à utiliser deux analyseurs, un pour l'oxygène, l'autre pour l'hélium. La sécurité est alors optimale. Ces appareils doivent dans tous les cas être manipulés soigneusement par des personnes bien formées.

- À moins de posséder surpresseur et analyseur d'hélium, la première règle est de ne jamais recycler plus de deux fois un mélange. Au troisième remplissage d'un bloc contenant déjà du mélange, l'incertitude sera trop grande. La solution des mélanges préparés est certainement la méthode la plus sûre pour un centre, aussi bien en terme de facilité que de sécurité et de responsabilité.

## **Gestion des mélanges hypoxiques**

En formation, la profondeur maximale d'intervention est limitée à 80m. Cette profondeur n'est pas le fruit du hasard : elle donne, pour une pression partielle d'oxygène de 1,6 bar au fond, à une pression partielle de 0,18 bar en surface. Ceci correspond bien au seuil hypoxique fixé à 0,17 bar. Le mélange utilisé au fond pourra ainsi être respiré en surface, avec un léger risque d'essoufflement au début. En cas d'incident, le plongeur pourra regagner la surface avec le même mélange voire effectuer ses paliers sans prendre de risques.

- Si la profondeur d'intervention est supérieure à 80m, dans la limite des 120m de l'arrêté, la teneur en oxygène du mélange ne permettra pas de le respirer en surface. La sécurité est alors beaucoup plus difficile à assurer. La notion de plongée avec plafond prend ici tout son sens puisque le plongeur se voit interdire directement l'accès à la surface. Sans la présence de ses bouteilles de paliers, le retour est impossible. Les risques directs sont la syncope puis la noyade.
- La gestion de ce risque passe par une organisation sans faille, avec la certitude d'avoir à sa disposition les gaz de retour en surface. Il me paraît alors difficile de ne pas les avoir sur soi. Devoir retrouver une ligne de décompression pour ressortir vivant me semble assez aléatoire. Une excellente formation technique ainsi qu'une bonne préparation mentale sont absolument nécessaires.
- La seule parade en cas de défaillance d'un bloc par exemple est de s'appuyer sur les coéquipiers et surtout sur les plongeurs d'assistance, indispensables dans des plongées aussi profondes.

## **L'hélium et le froid**

- L'hélium est beaucoup plus conducteur de la chaleur que l'azote, aussi une forte concentration dans les mélanges respirés va-t-elle perturber fortement les échanges thermiques. Le premier risque est au niveau des poumons où le refroidissement va être très important. L'utilisation du mélange respiratoire pour gonfler le vêtement sec va favoriser la conduction avec le milieu extérieur et accélérer aussi le refroidissement du plongeur qui n'a pas besoin de cela.
- Le refroidissement par la ventilation n'a pas de solution, à moins de disposer de réchauffeur de gaz comme en plongée professionnelle profonde ! Par contre l'hélium dans le vêtement peut être remplacé par de l'air ou du nitrox. Si on est puriste, on peut

utiliser de l'Argon, avec l'inconvénient que ce gaz n'est pas respirable, donc que l'on ne montera pas de deuxième étage sur le détendeur, mais qu'il faudra le remplacer par une soupape de sécurité ! Bref, le jeu en vaut-il la chandelle par rapport à un nitrox que l'on peut toujours respirer, lui !

- Si l'on a trop froid en plongée, il est toujours possible de débrancher l'inflateur du vêtement pour y brancher celui du nitrox. Il y a cependant deux problèmes à considérer : d'abord la compatibilité de l'inflateur avec l'oxygène, le second est l'introduction au niveau de la peau d'un autre gaz neutre qui n'était pas présent et donc de perturber la désaturation cutanée, voire d'y provoquer un accident de décompression par un phénomène que nous allons maintenant aborder.

## **La contre diffusion isobare**

Un des phénomènes lié directement à la nature des gaz utilisés est la contre-diffusion isobare. Lors de plongées à l'air, en effet, on considère généralement que l'oxygène ne participe pas à la formation des bulles qui sont constituées quasi exclusivement de vapeur d'eau et d'un seul gaz neutre : l'azote.

Lors de la remontée, la décompression s'effectue classiquement à l'air et il n'y a donc pas de changement de gaz neutre pris en compte dans la saturation.

Le cas est le même si on utilise un autre gaz neutre et que, par exemple, on remplace tout l'azote par de l'hélium. Le mélange s'appelle alors de l'héliox, mais si on effectue alors toute la décompression à l'héliox, il n'y a pas non plus de problème, puisque toujours pas de changement de gaz.

Le problème est plus complexe si l'organisme du plongeur est en présence de deux gaz de propriétés physiques très différentes. L'exemple classique se situe dans un caisson où un sujet respirant de l'air se verrait baigné dans une atmosphère d'héliox. Les deux gaz neutres sont bien à la même pression, d'où la notion d'isobarie. L'azote est très soluble dans les graisses, l'hélium diffuse très vite. Au niveau de la peau, il va y avoir diffusion d'hélium venant de l'extérieur, qui va venir enrichir la couche cutanée, alors que l'azote est fourni par la circulation et qu'il est dissous dans les graisses. La somme des tensions de ces deux gaz peut ainsi devenir très importante, à un point tel que le tissu peut dépasser le stade de sursaturation critique. Il va y avoir un accident de décompression local. Ce mécanisme est statique, c'est-à-dire que si les conditions sont maintenues, les bulles vont continuer à s'alimenter dans le temps.

Ce phénomène, qui ne se manifesterait en caisson qu'à partir de 90m, peut parfaitement se produire si on effectue une plongée avec un gaz neutre et que l'on opère une substitution de gaz lors de la remontée. Si un plongeur respire un mélange contenant de l'hélium et passe à un nitrox en remontant, ses oreilles moyennes contiendront déjà du mélange et ses tissus seront chargés d'hélium alors que de l'azote circulera déjà dans le sang ; il va se produire à nouveau une sommation des tensions des deux gaz pouvant entraîner un accident de décompression. Ce phénomène est heureusement transitoire, mais des bulles peuvent avoir le temps de se former, c'est une des causes de l'accident vestibulaire typique des plongeurs trimix.

Il faut bien retenir que l'on ne change pas impunément de gaz lorsque l'on plonge profond. Certains changements sont tout à fait favorables à une bonne décompression, c'est le cas de l'usage d'oxygène aux paliers. Mais l'usage de nitrox introduit une part de contre-diffusion liée à l'azote. Comme ce phénomène est transitoire, nous l'avons vu, cela ne prêche

généralement pas à conséquence par rapport à l'intérêt des mélanges suroxygénés en décompression.

Une des règles que l'on peut retenir lors des calculs des changements de gaz à la décompression est que, dans la mesure du possible, on ne doit pas trop augmenter la pression partielle d'azote lors du passage d'un mélange à un autre à la remontée. On évitera ainsi de reprendre de l'air à trop grande profondeur. On va aussi privilégier des nitrox assez riches, que l'on prendra de ce fait à de faibles profondeurs, ce qui réduira les effets néfastes.

## **4.1.2 RISQUES LIES AUX PROCEDURES DE DECOMPRESSION**

### **Problèmes présentés par le traitement des accidents**

L'usage de l'oxygène pur ne pose aucun problème en traitement puisque aucun gaz neutre n'intervient alors. Les accidents mineurs de type myo-articulaires ont unanimement traités avec une table à l'oxygène pur à 2,8 bars.

Par contre si le médecin doit utiliser des mélanges pour recomprimer plus profond l'accidenté, le choix du gaz neutre diluant est fondamental. La contre-diffusion intervient ainsi grandement lors du traitement des accidents de décompression au trimix. Historiquement des accidents de décompression à l'héliox ont été traités au nitrox avec de bien piètres résultats : les bulles se sont mises à grossir démesurément.

La logique veut alors que l'on utilise le même gaz que celui de la plongée. On sait maintenant depuis de nombreuses années traiter les accidents à l'héliox puisqu'il suffit de conserver l'hélium et de traiter à l'héliox. De même, on traitera au nitrox un accident à l'air.

L'expérience des grands chantiers de la mer du nord a montré que l'on pouvait sans souci traiter les accidents de décompression à l'air avec de l'héliox.

Le consensus de tous les spécialistes en matière de secours sur un accident de décompression, trimix ou pas d'ailleurs, se fait sur les trois points suivants :

- la rapidité de l'alerte
- le traitement initial
- la prise en charge

Au-delà de l'accord sur ces trois points, des traitements divers peuvent être administrés, dépendants de l'équipement du caisson d'accueil, des gaz disponibles et de la formation du médecin traitant. Tous ces traitements sont certainement valides, il n'y a pas de protocole universel.

Le protocole Marine Nationale est bien défini, il s'appuie sur des tables de secours TS80, ou sur des Gers type B ou C.

Des tables héliox de type Comex 30m semblent aussi très intéressantes.

Heureusement, pour l'instant les plongeurs trimix sont des gens très expérimentés, curieux et bien informés. Il y a donc assez peu d'accidents de ce type.

Pour mettre en place des plongées profondes, deux points sont essentiels :

- s'assurer avant tout que les caissons avoisinants sont bien susceptibles d'accueillir des accidentés, et surtout qu'ils disposent bien des héliox ou nitrox nécessaires à un traitement d'accident au trimix
- la disponibilité d'une équipe maîtrisant les procédures adaptées.

## **Incertitudes sur les procédures de décompression utilisées**

Nous reviendrons plus loin sur le délicat problème du choix des modes de décompression, mais actuellement aucune table officielle n'existe vraiment et peu de tables opérationnelles circulent et sont validées.

- Reste donc les logiciels de décompression qui circulent largement sur l'Internet. Ces logiciels, gratuits ou non, permettent pour la plupart de paramétrer largement le logiciel de base. Un jeu très prisé consiste à trouver, pour une plongée donnée, les temps de paliers les plus courts. Ce jeu n'est pas sans risque d'autant plus que la fréquentation des listes de discussions montre que ces apprentis sorciers ne sont pas toujours les plus informés.
- La seule parade passe, bien entendu, par une formation spécifique aux principes de la décompression. Si cette formation est assurée correctement, il est peu probable que ces plongeurs veuillent toujours « bricoler » leurs logiciels, ni qu'ils continuent à utiliser les mêmes d'ailleurs. Le gros problème actuel, mais la situation évolue rapidement, est le choix du logiciel. Actuellement il y en a suffisamment pour qu'il soit difficile de faire un choix pertinent.
- Puisqu'il faut faire un choix, le mieux est de se référer à des solutions connues et validées par l'expérience. De plus, il est préférable de se limiter à l'usage préconisé du produit et de se méfier de certaines approches un peu trop « expérimentales » !

### **4.1.3 RISQUES LIES AUX PROFONDEURS D'INTERVENTION**

#### **Les vitesses de remontée**

L'usage d'hélium impose des vitesses de remontée inférieures aux vitesses habituelles. Cette vitesse de remontée est fondamentale dans la décompression, il s'agit bien effectivement du premier palier.

Il est assez difficile de remonter du fond à une vitesse aussi lente et qui doit être particulièrement régulière.

Ce n'est pas un risque en soit, mais c'est une des difficultés importantes à régler en formation.

## L'assistance au fond d'un équipier en difficulté

- La gestion d'un incident au fond présente des risques non seulement pour l'accidenté, mais tout autant pour le coéquipier. Le matériel qui gêne les évolutions, le risque d'essoufflement malgré l'hélium, les volumes limités de gaz font que cet exercice est difficile. L'équipier témoin d'un incident survenant à son camarade doit toujours avoir présent à l'esprit la sécurité du binôme et donc évidemment la sienne propre. Il faudra peut-être savoir se contenter d'alerter et de prévenir la surface.
- La prévention de cette situation passe par une formation à des techniques que l'on pourrait qualifier d'auto-secours, c'est-à-dire préparer le plongeur à pallier seul la plupart des incidents, assisté seulement de son équipier. Cette notion est voisine de la sécurité mise en place en plongée souterraine où chaque plongeur est cette fois ci réellement seul, les autres équipiers pouvant être loin dans l'espace et dans le temps.
- La notion de palanquée est bien présente malgré tout, mais une des tâches essentielles du coéquipier, avant toute assistance, est certainement de repérer l'incident en larguant un parachute par exemple.

## 4.2 COMPETENCES EN PLONGEE TRIMIX

L'approche que nous venons de faire en termes d'étude des risques va maintenant nous amener à définir les compétences nécessaires à un plongeur trimix. Ces compétences sont définies à partir de celles d'un plongeur niveau III.

Dans la proposition des contenus de formation à la plongée Trimix, nous avons développé les compétences par rapport aux quatre modules de formation proposés. Il me semble préférable de présenter ici ces compétences en un tableau unique, plus synthétique, correspondant à la qualification générale de plongeur Trimix. Les tableaux complets seront disponibles en annexe.

La première compétence concerne le matériel, elle correspond à l'aptitude à gérer des équipements nombreux en toute sécurité. Certains équipements sont nouveaux et nécessitent un apprentissage spécifique de leur utilisation.

Les mêmes domaines de compétences que pour la plongée profonde ont ainsi été retenus :

- gérer et utiliser le matériel
- apprentissage des techniques de plongée trimix
- connaissances théoriques.

Le cursus trimix intégrant la formation plongée profonde, certaines de ces compétences auront déjà été repérées dans les tableaux précédents.

## 4.2.1 GERER ET UTILISER LE MATERIEL

<i>Connaissances, savoir-faire et savoir-être.</i>	<i>Commentaires et limites</i>	<i>Critères de réalisation</i>
Préparation du matériel spécifique et identification, y compris les bouteilles nitrox, d'oxygène et leurs détendeurs spécifiques	Les éléments essentiels seront le marquage et le positionnement du matériel	Le matériel devra être placé afin d'éviter toute erreur de manipulation et permettre une utilisation aisée
Le vêtement sec : équipement et entretien	On contrôlera l'aisance lors de l'équipement et le soin apporté à l'entretien	Aisance et rapidité d'équipement
Choix du lestage adapté en fonction des bouteilles supplémentaires de décompression équipant le plongeur	L'importance de l'équipement nécessitera l'application de la règle de redondance à la flottabilité	Surveillance sous l'eau par le formateur
Préparation du fil d'Ariane et méthodes de pose	L'initiation sera réalisée à terre	Évaluation pratique à terre et dans l'eau à des profondeurs croissantes
Préparation des tablettes immergeables de décompression	On prévoira la programmation précise de la plongée, plus deux lignes de « secours » sur un dépassement de profondeur ou de temps. On utilisera uniquement des tables Trimix intégrant des paliers à l'oxygène	On contrôlera la lisibilité des tablettes. Elles ne devront pas permettre d'erreur de lecture. Le déroulement programmé dans le temps sera net et précis
Utilisation du tableau de transfert, du surpresseur et du compresseur	On utilisera l'installation existante en insistant sur les consignes de sécurité	La méthode de remplissage des bouteilles sera soigneusement respectée
Fabrication des mélanges Trimix utilisés	Le respect des procédures de fabrication sera contrôlé	Les pourcentages requis seront respectés dans le mélange final
Utilisation maîtrisée de l'analyseur d'oxygène	Les contrôles seront effectués sur les différents mélanges réalisés	Plusieurs mesures devront être réalisées avec une précision compatible avec l'appareil utilisé
Préparation et mise en place des lignes de vie et de décompression	Une bonne préparation facilitera la mise en œuvre	Les lignes devront être immergées facilement et les profondeurs des bouteilles aux paliers respectées

## 4.2.2 APPRENTISSAGE DES TECHNIQUES DE PLONGEE TRIMIX

<i>Connaissances, savoir-faire et savoir-être.</i>	<i>Commentaires et limites</i>	<i>Critères de réalisation</i>
Stabilité dans l'eau, aisance, bonne motricité et bons points d'appui avec le matériel Trimix. Savoir utiliser le matériel de sécurité spécifique à la plongée Trimix	Il s'agit de vérifier que le plongeur est autonome dans l'utilisation de son matériel. Les exercices seront effectués progressivement d'une faible profondeur à une zone comprise entre 70 et 80 m	Le matériel de sécurité doit être retrouvé et manipulé avec facilité
Maîtrise de la stabilisation et du lestage, y compris avec les bouteilles supplémentaires de décompression équipant le plongeur	Le lestage doit correspondre au nouveau matériel Les plongées seront effectuées progressivement jusqu'à une zone comprise entre 60 et 80 mètres avec un mélange Trimix	Le poumon-ballast est toujours efficace Surveillance sous l'eau par le formateur
Pratique de la ventilation alternée sur les deux bouteilles	La pression des deux blocs est toujours très voisine	Les détendeurs devront être échangés d'une seule main
Savoir suivre et poser correctement un fil d'Ariane	Hormis l'amarrage initial, les attaches seront élastiques pour prévenir la rupture du fil	Les doigts seront toujours autour du fil, sans tirer dessus. Le fil sera solidement fixé au départ et posé tendu au long de la progression
Effectuer une remontée à vitesse contrôlée et assurer la stabilité des paliers	Cet exercice devra être parfaitement réalisé le long des lignes de vie ou au parachute de palier	Strict respect des vitesses de remontée et de la stabilité aux paliers
Gérer correctement le parachute de palier et son dévidoir de 60m	Le dévidoir ne devra pas être fixé au plongeur au lâché du parachute	Le parachute sera libéré correctement avec le dévidoir d'une profondeur de 60 m maximum
Réaliser les paliers avec les différents gaz correspondants à une plongée Trimix.	On insistera sur l'identification des bouteilles et des détendeurs afin de prévenir toute erreur	On contrôlera la correspondance entre la nature du gaz utilisé et la profondeur du palier réalisé
- Respect de la planification de la plongée, de l'autonomie, de la sécurité personnelle. - Vérifier que tous les équipiers respectent de même les paramètres de la plongée et les règles de sécurité	On insistera sur les contraintes de temps au fond	Les temps seront respectés et ne modifieront pas la décompression prévue
Être attentif aux problèmes que peuvent rencontrer ses coéquipiers	Le formateur simulera par exemple un problème de gestion de matériel ou d'emmêlement dans le fil	L'assistance sera réalisée avec efficacité et sans perte de temps
Savoir gérer en autonome une plongée Trimix en assurant sa sécurité et celle de son coéquipier	Le plongeur devra réaliser toutes les étapes d'une plongée Trimix jusqu'à 80 m sous le contrôle d'un moniteur	On vérifiera que la planification de la plongée aura été correctement réalisée

### 4.2.3 CONNAISSANCES THEORIQUES

<i>Connaissances, savoir-faire et savoir-être.</i>	<i>Commentaires et limites</i>	<i>Critères de réalisation</i>
Différence entre la plongée à l'air et la plongée Trimix Dangers de la plongée profonde	On s'appuiera sur l'expérience du stagiaire au-delà de 40 m On insistera plus particulièrement sur la notion de « plafond »	Évaluation orale
Connaissance du matériel spécifique et règles de sécurité en plongée profonde	On utilisera les concepts de sécurité établis en plongée souterraine, la plongée sera planifiée	Évaluation orale
Méthodes d'utilisation du fil d'Ariane	On envisagera les différents modes d'utilisation du fil et les procédures de dégagement	Évaluation pratique orale
Physique appliquée à la plongée Trimix	On apportera des informations sur la nature et les propriétés des gaz utilisés	Évaluation orale et écrite
Le froid en plongée Trimix	On mettra l'accent sur la durée de la plongée associée à l'usage d'hélium et d'un vêtement sec	Évaluation orale
Causes, symptômes et prévention des accidents biochimiques et biophysiques	On insistera plus particulièrement sur la toxicité des gaz et l'accident de décompression	Évaluation orale
Calcul des profondeurs limites en fonction des mélanges	On s'attachera à réaliser un maximum d'exercices correspondant aux plongées réalisées	Évaluation orale et écrite
Principes de fabrication des mélanges	On insistera sur les procédures de fabrication On développera les méthodes de calcul utilisées pour fabriquer les mélanges	Évaluation orale et écrite
La décompression en plongée Trimix. Présentation des tables de plongée au Trimix	Principes utilisés dans la conception des tables. Les problèmes doivent correspondre aux plongées effectuées.	Évaluation orale et écrite
Principes de fonctionnement des compresseurs, surpresseurs et tableaux de transfert	On s'appuiera sur l'installation du lieu de stage	Évaluation orale
Principes de fonctionnement des analyseurs d'oxygène	Présentation des modèles les plus courants en insistant sur la validité et la précision des mesures	Évaluation orale
Principes de fonctionnement d'équipements spécifiques : - recycleurs - caissons		Évaluation orale

## 4.3 LA FORMATION TRIMIX, PRESENTATION DES MODULES

Après avoir étudié successivement les risques spécifiques à la plongée profonde puis les risques propres à la plongée aux mélanges ternaires et ensuite déterminé les compétences qu'un plongeur niveau III devait acquérir pour accéder à la qualification plongeur trimix, nous voilà prêts à définir la formation à mettre en place.

La plongée sportive aux mélanges que nous proposons aujourd'hui est calquée sur des méthodes et des techniques professionnelles. Les méthodes de plongée peuvent paraître plus contraignantes qu'en plongée de loisir. Mais c'est de cette façon uniquement que nous pourrions aborder la plongée profonde avec un maximum de sécurité.

À l'issue de cette formation, les plongeurs de niveau III, ayant une bonne expérience préalable de la plongée dans l'espace lointain pourront pratiquer en sécurité la plongée aux mélanges ternaires.

La formation de plongeur trimix permet à des plongeurs, d'un niveau III minimum, d'acquérir les connaissances tant théoriques que pratiques leur permettant d'évoluer dans une zone allant jusqu'à 120 mètres.

Cette formation se déroule sur une durée de 80 heures minimum pour les plongeurs de niveau III. Une évaluation initiale permet d'adapter la formation au niveau réel des plongeurs.

L'expérience montre que pour l'instant, seuls des plongeurs confirmés, des responsables de centres ou des moniteurs ont suivi les formations Trimix de l'Ecole Européenne de Plongée aux Mélanges (EPPM).

Cette formation est répartie en quatre modules devant être acquis dans l'ordre chronologique. Le premier module a été construit pour permettre à des encadrants E3, titulaires de la spécification Trimix d'effectuer les enseignements. Les autres modules seront assurés par des E4.

Lors de l'étude de risques entreprise, nous avons vu que la plupart des risques pouvaient être prévenus de plusieurs façons. Les solutions matérielles ne règlent en général pas seules les problèmes, une formation adaptée est souvent nécessaire. Cette étude nous a permis de pointer du doigt les apports essentiels de la formation et nous a donné les éléments pour la bâtir.

Une des règles qui nous guidera pendant cette formation est d'assurer à tout instant la sécurité des stagiaires, mais aussi celle du moniteur.

Dans cet esprit, la théorie des inconnues est une méthode intéressante que l'on doit à notre ami Philippe Bigeard. Il a développé cette méthode en 1989 pour la plongée spéléo.

Le principe est de développer une démarche qui permette d'évaluer puis de restreindre au minimum les risques. Elle est valable pour toute activité où il y a des dangers objectifs, c'est-à-dire contrôlables par une technique et une expérience appropriée. L'étude des inconnues est en fait complémentaire de l'étude des risques déjà envisagée précédemment.

Cette approche est à intégrer au cœur de la formation. Elle va permettre aux stagiaires de tirer pleinement profit des situations mises en places, mais leur donnera aussi les éléments pour s'adapter ultérieurement à des situations nouvelles.

Une approche simple consiste à détecter les inconnues d'une situation. L'analyse montre que les accidents ont rarement une cause unique, mais souvent une suite d'erreurs non fatales dont l'accumulation devient irrémédiable.

Ainsi, avant chaque plongée, surtout pour les gens inexpérimentés, il convient de faire le tour de la situation :

- évaluer le matériel, la condition physique, le site de plongée
- en déduire les inconnues
- décider de ne pas accumuler plus de deux inconnues

Pour les débutants, certaines inconnues sont totalement à exclure :

- coéquipier non-expérimenté
- matériel non-essayé, ou non-maîtrisé dans des conditions faciles, ou incomplet
- site de plongée dont les caractéristiques ne sont pas connues

En cours de plongée, de nouvelles inconnues peuvent apparaître, comme une fuite sur un détendeur, du stress, un léger essoufflement etc... Même sans gravité, elles rajoutent des incertitudes et conditionnent le demi-tour. (cf. revue Octopus n°20).

**Abordons maintenant l'étude de chaque module en mettant l'accent sur les difficultés pédagogiques rencontrées et les solutions apportées.**

## Premier module : découverte de la plongée Trimix

Ce module permettra de mettre en évidence les différences fondamentales entre la plongée à l'air, la plongée au Nitrox et la plongée Trimix. Les plongées seront réalisées dans la zone des 40 mètres avec de l'air ou des mélanges compatibles avec des tables à l'air.



### Risques ciblés

- la flottabilité
- le lestage
- la panne d'air
- le courant
- la narcose
- l'essoufflement

Le premier module de cette formation est consacré à la mise en place des techniques de plongée profonde. Cette mise en place va s'effectuer sur trois jours environ, grâce à quatre ou cinq plongées. Elle sera prolongée tout au long du cursus, mais les bases permettant à un niveau III de compléter sa formation commenceront à être établies.

Il est important de noter que ce module peut être assuré par un E3 ayant la qualification plongeur trimix.

## Gérer et utiliser le matériel

- module 1 -

Le vêtement sec  
Préparation du matériel spécifique et identification  
Remplissage des bouteilles et analyse  
Entretien du matériel  
Préparation des lignes de vie et de décompression

Les plongeurs sont déjà qualifiés nitrox aussi les règles de rigueur pour l'identification des bouteilles, l'analyse des gaz si nécessaire, sont en principe acquises. Mais l'expérience montre qu'il est utile de reprendre ces habitudes.

Par contre tout un travail nouveau est à faire pour ce l'équipement. Nous voyons parfois que les plongeurs découvrent le bi-bouteille à cette occasion. Bien souvent des adaptations et des réglages sont nécessaires pour assembler les bouteilles sur le matériel personnel des plongeurs. Il faut aussi assurer l'accessibilité des détendeurs, la lecture facile des deux manomètres ainsi que la « fluidité » de l'équipement.

Nous introduisons alors la notion de matériel de sécurité spécifique par la trilogie :

- fil de secours  
L'usage du fil sera abordé plus tard, mais il doit être présent dans l'équipement dès le début.
- Sécateur  
Le choix d'un sécateur à enclume n'est pas innocent, peut-être avez vous vu un modèle bon marché, les deux lames écartées et le fil qui devait être coupé lamentablement coincé au milieu !
- compas  
L'emploi du compas doit aussi passer dans les habitudes, il est trop tard de penser à le lire si l'on vient de se démêler d'un fil ou d'un filet, pour savoir dans quel sens prendre le fil de retour !

De même, il faut définir la zone de sécurité où l'on doit trouver sans hésitation tout ce matériel :

- la zone de sécurité est située globalement au milieu de la poitrine, accessible malgré l'équipement « chargé ».

Les ustensiles doivent être trouvés les yeux fermés, ce qu'il faut s'exercer à faire au sec.

Le vêtement sec, pour les débutants, ne sera pas abordé le premier jour. Plusieurs plongées indépendantes seront réalisées pour cela. La qualification « vêtement sec » pourra alors être attribuée. Pour les habitués, le vêtement pourra être porté pour la plongée de « réglage » à 5m.

Les lignes de vie et de décompression seront préparées par le moniteur avec l'aide des stagiaires.

### ***Apprentissage des techniques de plongée Trimix - module 1 -***

Adaptation sur fond de 5 m au matériel spécifique, lestage, respiration alternée, vêtement sec  
Évolution dans la zone des 40 m à l'air avec le matériel et planification de la décompression  
Plongée au Trimix 19/71/10 dans la zone des 40 m

Les difficultés pédagogiques sont liées au matériel nouveau et à la recherche d'un nouvel équilibre dans l'eau.

Tous les nouveaux accessoires devront trouver leur place naturelle, variable selon les individus. Pour cela le moniteur doit procéder à des essais au sec, rapides du fait de la charge, mais nécessaires pour trouver facilement tous ces nouveaux accessoires.

La règle de redondance a vite fait de transformer un plongeur moyen en « arbre de Noël » ! Il est important que cet aspect soit dépassé dans l'esprit du stagiaire pour qu'il soit convaincu que tout est indispensable.

Une première plongée à une profondeur de 5 à 10m maximum est prévue. L'objectif de cette plongée est de « régler » correctement tout le matériel nouveau. Les exercices proposés permettent rapidement de gérer le passage quasi-automatique d'un détendeur à l'autre pour consommer également sur les deux blocs indépendants. Si on est adepte de la vanne d'isolation des blocs, il faudra entraîner les gens à manipuler cette vanne.

Le vêtement sec sera réservé alors aux utilisateurs expérimentés.

Il ne faut surtout pas se laisser convaincre d'effectuer cette plongée à une plus grande profondeur. L'expérience de plongeurs bardés de diplômes (que nous ne citerons pas !) nous a servi de leçon. La vue de ces plongeurs, pourtant chevrons, en mauvaise posture, complètement déséquilibrés et dans l'impossibilité de gérer leur nouvel équipement sur un fond important n'a vraiment fait rire personne ! Il y avait en fait plusieurs inconnues (voir la méthode du même nom ci-dessus) qui n'avaient pas été gérées. En croyant faire plaisir, nous avons mis ces personnes en difficulté et leur ego en a un peu souffert !

Cette première plongée a aussi un rôle d'évaluation primordial, elle facilite grandement les relations ultérieures car les plongeurs, expérimentés pour la plupart, n'appréhendent jamais correctement les difficultés de gestion du nouvel équipement. Après cet essai, les vraies questions viennent enfin, le jeu de rôle pédagogique est en place.

Une deuxième plongée à faible fond est consacrée exclusivement au suivi dans l'eau du fil d'Ariane et à sa pose.

Les plongées suivantes ont pour objectif de s'entraîner au matériel trimix en utilisant une procédure de décompression normale. On utilisera donc de l'air ou de l'héliair (moins de 10% d'hélium dans de l'air). On ne rajoute pas non plus au début la difficulté de la profondeur et l'on reste ainsi dans la zone connue des 40m. Nous allons par contre profiter de ces plongées pour introduire la notion de programmation de la plongée et de la décompression grâce à la préparation de tablettes immergeables où le temps est compté à partir de l'immersion jusqu'au retour en surface (run-time des anglo-saxons). L'usage des parachutes de palier et de signalisation est introduit dès la première plongée profonde.

### **Formation théorique**

### **- module 1 -**

Présentation de la plongée profonde et au Trimix Présentation du matériel spécifique et des règles de sécurité Physique appliquée à la plongée Trimix Les accidents biochimiques Calculs des profondeurs limites en fonction des mélanges Rappels sur l'analyseur d'oxygène
--

Les cours théoriques vont s'adresser normalement à des plongeurs confirmés qui ont déjà une formation nitrox.

Les cours du premier module sont essentiellement des cours de mise à niveau des stagiaires. La mise en situation du contexte « plongée profonde aux mélanges ternaires » est fondamentale. C'est là le bon moment pour démythifier la plongée trimix.

Un bon rappel des règles de Dalton n'est en général pas superflu. Tous les calculs envisagés avec deux gaz lors de la formation nitrox sont repris. L'extension à trois gaz ne pose pas de problème si on utilise plutôt la notion de fraction décimale de gaz dans le mélange et que l'on raisonne sur le gaz neutre commun à tous les mélanges, c'est à dire l'azote.

De même, le raisonnement en pression est important pour la suite des enseignements. On devient alors indépendant du volume des bouteilles. Le raisonnement en volume n'interviendra que pour les calculs de consommation.

Les valeurs limites des pressions partielles doivent, bien entendu, être précisées à nouveau. Nous insistons sur les 1,6 bar de limite pour l'oxygène, avec la notion généralement admise de ne pas dépasser 1,4 bar en cas d'efforts au fond. De même, nous prenons une valeur limite comprise entre 3,5 et 3,8 bar pour l'azote. Ceci nous amène naturellement à expliquer la limitation à 80m des plongées en formation, le choix du mélange 18/42/40 (O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/He) et le léger essoufflement possible en surface, pallié par une immersion rapide.

Nous calculons aussi pour les trimix la profondeur équivalente en termes de narcose. Ainsi le mélange 18/42/40 à 80m correspond à une plongée de 38m à l'air.

**Voici un exemple de programme sur trois jours pour ce premier module :**

## **Module 1 : 1<sup>er</sup> JOUR**

### **Théorie : matin**

- Présentation de la formation et du module
- Historique
- Présentation de la plongée Trimix
- Utilité du Trimix
- Différence entre la plongée à l'air et la plongée Trimix
- Dangers de la plongée profonde
- Présentation du matériel et identification
- Explication des règles de sécurité en plongée profonde

### **Pratique : après-midi**

Sur un fond de 5 mètres environ

- Adaptation au matériel Trimix
- Adaptation au vêtement sec
- Gestion de lestage en fonction du palier (avec 80 bar dans les blocs)
- Gestion de la respiration sur 2 blocs indépendants

### **Matériel : Après-midi**

- Rangement du matériel et préparation du matériel pour le lendemain

## **Module 1 : 2<sup>ème</sup> JOUR**

### **Pratique : Matin**

- Mise en place de la ligne de vie et de décompression
- Plongée dans la zone des 40 m à l'air avec décompression à l'O<sub>2</sub> avec le matériel Trimix
- Stabilisation à 40 m
- Contrôle des acquis (masques, signes, procédures d'assistance,...)
- Gestion de la remontée à vitesse régulière 10 mètres minute
- Gestion du parachute de palier avec dévidoir
- Gestion du palier O<sub>2</sub>
- Contrôle des réactions en fonction du froid

### **Théorie : Après midi**

- Notion d'utilisation du fil d'Ariane

**Pratique** : *Après midi*

- Gestion avec matériel Trimix du fil d'Ariane sur un fond de 5 mètres
- Rangement du matériel

**Matériel** : *Après-midi*

- Préparation et gonflage pour la plongée suivante (19/71/10)

**Module 1 : 3<sup>ème</sup> JOUR :**

**Pratique** : *Matin*

- Mise en place de la ligne de vie et de décompression
- Plongée Trimix 19/71/10 sur un fond de 40 m environ
- Stabilisation à 40 mètres
- Gestion du fil d'Ariane
- Gestion de la remontée 10 mètres/minute
- Gestion de la décompression Nitrox / O2
- Contrôle de la gestion du mélange respiré (vérification des pressions dans les blocs)

**Théorie** : *Après midi*

- Rappels des règles de physiques
- Cours sur les règles de Dalton
- Notion de fabrication des mélanges
- Limite des profondeurs en fonction des mélanges
- Exercices

**Matériel** : *Après-midi*

- Gonflage Trimix 18/42/40 pour le module suivant

**Bilan** : *Après-midi*

- Bilan du module

## Deuxième module : pratique de la plongée Trimix

Il permettra d'acquérir les techniques propres à la plongée Trimix. Les plongées seront réalisées aux mélanges Trimix dans la zone de 40 à 80 mètres avec incursion obligatoire au-delà de 60 mètres en utilisant une ligne de décompression pour les paliers.



### Risques ciblés

- le fil d'Ariane
- la pression du temps
- le froid
- la vitesse de remontée
- la consommation

Ce module doit être assuré par des E4 ayant la qualification plongeur trimix. Il pourra être dispensé sur deux jours environ. L'objectif de ce module est d'assurer toutes les plongées profondes au trimix en effectuant les paliers sur les lignes de vie et de décompression. Le retour au mouillage est indispensable et le rôle du fil d'Ariane primordial.

### Gérer et utiliser le matériel

### - module 2 -

Préparation du matériel spécifique et identification ; tablettes de décompression immergeables  
Préparation du fil d'Ariane, principes de pose et de dégagement.  
Remplissage des bouteilles et analyse  
Entretien du matériel  
Préparation des lignes de vie et de décompression

Le matériel mis en œuvre n'est pas fondamentalement différent de celui déjà utilisé.

Nous insistons un peu plus sur la préparation des tablettes immergeables. Nous utilisons pour cela des tablettes à plusieurs pages pouvant être tournées dans l'eau. Un modèle maintenant classique est construit dans de la gouttière de toit en plastique. Il est aussi disponible dans le commerce.

La programmation de la plongée est un objectif fondamental. Une fois la plongée définie et organisée, il reste à produire un document qui pourra être utile à plus de 60m de profondeur. On sait très bien que malgré le trimix, notre cerveau n'est pas très performant dans ces conditions. Il n'est donc pas question de faire de laborieux calculs au fond, même si ne sont que des additions. De plus, une telle pratique ne permet pas de se rendre compte des erreurs commises.

L'instrument de base dans ce cas-là est le timer. Il indique le temps cumulé et la profondeur. Seules ces informations nous concernent puisque ce seront les seules disponibles au fond. Il faut donc traduire la table de plongée en profondeurs et temps cumulés. Le résultat est un tableau où nous allons avoir une échelle linéaire en temps à partir de l'immersion, en correspondance avec les profondeurs et les paliers. Nous pouvons y placer aussi les gaz utilisés.

Voici un exemple des tables que nous utilisons :

Prof/durée	Retour 1 <sup>er</sup> palier	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m O2
70m / 20'	5 min		5 min	7 min	8 min	11 min	21 min	47 min

Cette table va figurer sur les tablettes telle qu'elle est, par sécurité, en seconde page.

Une version différente, lisible d'un coup d'œil au fond, va être portée sur la première page:

- l'origine des temps est le moment de l'immersion.
- la vitesse de remontée est de 10m/min
- la dernière minute de chaque palier est destinée à se rendre au palier supérieur.
- le temps indiqué est donc le **temps d'arrivée** au palier.
- Les temps intermédiaires de remontée sont en italique

Mélange fond 18/42/40						Nitrox 50/50	Oxygène	
70m	<i>(40m)</i>	21m	18m	15m	12m	9m	6m	<b>Sortie</b>
<b>20 min</b>	<i>(23min)</i>	<b>25 min</b>	<b>30 min</b>	<b>37 min</b>	<b>45 min</b>	<b>56 min</b>	<b>77 min</b>	<b>124 min</b>

Ce programme, que les anglo-saxons appellent run-time, est donc présent, bien visible sur la tablette.

Notons que les paliers au nitrox ne sont pas prévus dans la table, ils sont là pour augmenter la sécurité mais aussi pour sensibiliser les stagiaires, dès les premières plongées, à l'utilisation de plusieurs gaz de décompression.

- Il est sage de prévoir au moins deux autres tableaux, un pour un dépassement dans le temps de la plongée, ici 25 min, l'autre pour un dépassement en profondeur, soit 75m.
- Il faut aussi envisager la consommation en gaz que cela représente. Une ligne de plus peut parfois augmenter très largement les temps de paliers.
- Il peut être utile de prévoir un tableau pour une durée plus courte.

Nous avons l'expérience d'une plongée récente où, du fait de la panne du sondeur, nous avons été largués sur du sable à 72m. Les exercices à cette profondeur ont vite fait long feu, aussi une programmation courte aurait été la bienvenue. Comme nous avons négligé cette éventualité, nous avons dû effectuer tous les paliers pour un temps beaucoup plus long au fond !

On peut aussi remarquer que certains plongeurs marquent beaucoup plus de temps intermédiaires lors de la remontée au premier palier. Ceci est tout à fait justifié pour aider à respecter la vitesse de remontée. Nous avons malgré tout fait le choix de privilégier la prise de repères directement dans le milieu, pour intégrer cette régularité. Nous utilisons alors d'autres moyens, comme de repérer un mètre toutes les six secondes ce qui donne les 10m/min. Cela fait intervenir beaucoup plus la conscience du plongeur, et cela évite d'être trop bloqué sur les instruments ou d'encombrer la tablette au mépris de la lisibilité. N'oublions pas que le contraste de lumière est très mauvais au fond et qu'il est bon d'utiliser un crayon très noir, en écrivant gros !

La pose et le suivi de fil d'Ariane est prévu, un seul plongeur emmènera une bobine principale d'une centaine de mètres, les autres auront leur matériel de secours avec une bobine d'une soixantaine de mètres.

Dans ce deuxième module, les mélanges seront fabriqués par les stagiaires, sous la direction du moniteur.

La composition des mélanges doit être contrôlée systématiquement par celui qui les réalise, puis par le plongeur lui-même. Nous disposons maintenant à l'EEPM, en plus de l'analyseur d'oxygène, d'un analyseur d'hélium qui rend beaucoup plus fiable la réalisation des mélanges.

## **Plongées Trimix**

## **- module 2 -**

Plongées au Trimix 18/42/40 sur un fond de 70 m, fil d'Ariane, planification de la décompression

Plongée au Trimix 18/42/40 sur un fond de 80 m, fil d'Ariane, planification de la décompression

Les deux plongées auront lieu dans la même zone de profondeur, elles sont programmées pour effectuer les paliers sur la ligne de décompression.

Les gaz sont consommés en alternance sur les deux blocs. La règle des tiers est appliquée : demi-tour dans les temps prévus ou bien sur atteinte du tiers de la pression des blocs par un des plongeurs, ou bien sur incident.

Les exercices sont proposés selon trois thèmes :

- pose et suivi de fil d'Ariane

Le fil va être déroulé à l'aller par un des plongeurs. Il sera assuré sur le fond par des élastiques, de type rondelles de chambre à air. Une pose correcte ne doit pas permettre de s'emmêler dans le fil. Au retour, un autre plongeur rembobinera le fil en s'assurant d'être le dernier. Les difficultés dans cet exercice consistent à démonter les élastiques et à rester dans les temps au fond (en cas d'urgence, le fil peut être abandonné ou bien mis en pelote).

- respect de la vitesse de remontée à 10m/min

On va beaucoup insister sur régularité de la vitesse de remontée. Pour cela deux méthodes sont possibles : ou bien prévoir une programmation intégrant des repères de profondeur et de temps à la remontée, ou bien insister sur la prise de repères dans le milieu et à l'aide des instruments. Il s'agit d'un exercice difficile à maîtriser dès les premières plongées, qui sera de toute façon répété régulièrement à chaque plongée.

- utilisation du parachute de signalisation

Le parachute sera largué en plongée à l'aide d'un dérouleur, et ceci d'une profondeur plus grande à chaque plongée, jusqu'à ce qu'on puisse le faire d'une soixantaine de mètres. Du fait de la plongée le long de la ligne de vie, il s'agit d'un exercice. Un deuxième parachute étanche peut être largué sur le premier fil en cas d'incident nécessitant par exemple la mise à l'eau de la ligne de décompression de secours. Un plongeur d'assistance est équipé à bord du bateau. La communication est prévue, en cas d'intervention, par l'intermédiaire de planchettes.

Les méthodes de dégagement du fil d'Ariane sont prévues à terre. Une plongée sur un petit fond permet de mettre en application dans l'eau ces techniques nécessitant beaucoup de pratique.

À chaque plongée, les pressions sont notées afin d'effectuer les calculs individuels de consommation qui permettront à chaque plongeur de se connaître et de planifier les plongées ultérieures.

<b>Formation théorique</b>	<b>- module 2 -</b>
----------------------------	---------------------

Fabrication des mélanges utilisés

Les accidents de décompression

Approche des tables et des problèmes liés à la décompression

Principes de fonctionnement des analyseurs d'oxygène

Le premier thème abordé en théorie dans le second module concerne la fabrication des mélanges utilisés, en fonction des tables dont nous disposons. Nous effectuons les calculs en fonction des gaz déjà disponibles dans le centre et nous passons directement à la réalisation pratique des mélanges pour les plongées du lendemain.

Jusqu'à présent, nous ne recyclions jamais plus d'une fois un mélange existant. La présence de l'analyseur d'hélium simplifie beaucoup ce problème. Malgré tout, tant que cet appareil ne sera pas généralisé, il vaudra mieux garder le principe d'un recyclage maximum. Nous voyons aussi beaucoup plus dans le détail le fonctionnement de la plupart des analyseurs d'oxygène du commerce : les modèles à piles, les plus courants, ceux qui utilisent l'effet paramagnétique de l'oxygène, les sondes de Clark, d'entretien plus délicat, mais inusables.

Le deuxième thème abordé est beaucoup plus théorique et concerne la décompression, le choix des tables et les principes de calcul de ces tables. Nous abordons dans ce module « la saga des gaz » pour reprendre la formule du Dr Fructus. Nous y expliquons, entre autres, le phénomène de la contre-diffusion isobare qu'il est essentiel de prendre en compte lors des changements de gaz à la décompression.

Nous reprenons aussi systématiquement tous les jours les calculs individuels de consommation. On peut observer à ce sujet une grande variabilité d'un jour à l'autre et surtout une baisse importante de la consommation à l'oxygène pur.

Voici un exemple de programme sur deux jours pour ce deuxième module :

## Module 2 : 1<sup>er</sup> JOUR

### Pratique : *Matin*

- Mise en place du matériel
- Plongée Trimix 18/42/40 sur un fond ne dépassant pas 70 mètres (exploration)
- Contrôle du temps de plongée
- Contrôle de la remontée (10 mètres / minute)
- Gestion des paliers Nitrox + O<sub>2</sub>
- Vérification des pressions dans les blocs

### Théorie : *Après midi*

- Fabrication des mélanges et analyseurs d'O<sub>2</sub>
- Problèmes de décompression posés par la plongée Trimix
- Approche des tables de plongée au Trimix

### Matériel : *Après-midi*

- Préparation de la plongée du lendemain (Gonflage)

## Module 2 : 2<sup>ème</sup> JOUR

### Pratique : *Matin*

- Plongée Trimix 18/42/40 sur un fond ne dépassant pas 78 mètres (exploration)
- Vérification des pressions dans les blocs

### Matériel : *Après-midi*

- Présentation à terre des techniques de dégagement du fil d'Ariane.
- Entretien du matériel et éventuellement gonflage

### Pratique: *Après-midi*

- Exercices de dégagement de fil d'Ariane sur un fond de 5m maximum.

### Théorie : *Après midi*

- Cours sur les accidents Biochimiques

### Bilan : *Après-midi*

- Bilan du module

## Troisième module : préparation à la plongée Trimix en autonomie

L'accent sera mis ici sur l'autonomie du plongeur, aussi bien au niveau de la planification de ses plongées que de la gestion des bouteilles de décompression réparties sur la ligne de vie en place et sur l'équipement individuel. Les plongées seront réalisées aux mélanges Trimix dans la zone de 40 à 80 mètres avec incursion obligatoire au-delà de 60 mètres.



### Risques ciblés

- le lestage
- la flottabilité
- l'essoufflement de surface
- l'hélium et le froid
- l'assistance entre plongeurs

Ce module doit être assuré par des E4 ayant la qualification plongeur trimix. Il pourra être dispensé sur trois jours environ.

Les plongées profondes au trimix seront effectuées en emportant la bouteille d'oxygène de décompression, permettant d'assurer ainsi les paliers de manière autonome.

Des bouteilles de nitrox et d'oxygène sont cependant disponibles sur les lignes de vie et de décompression.

Le retour au mouillage est prévu, mais n'est pas indispensable dans la mesure où le palier de 9m au nitrox peut être réalisé avec le mélange fond.

Le fil d'Ariane devient facultatif en fonction des conditions de plongée.

Une ligne de décompression de secours est toujours prête à être larguée sur l'apparition des deux parachutes de signalisation sur le même fil. Le plongeur d'assistance est équipé, muni de tablettes immergeables de communication.

L'objectif de ce module est de préparer le plongeur à être autonome :

- en plongée, grâce à son relais de palier lui permettant de s'affranchir de la ligne de vie
- pour préparer matériellement la plongée, et pour l'organiser

En fait, une ligne de vie sera malgré tout encore présente pour la sécurité et le confort psychologique, et il ne sera chargé que d'un seul relais.

### **Gérer et utiliser le matériel**

### **- module 3 -**

Préparation du matériel spécifique et identification y compris bouteille individuelle d'oxygène  
Fabrication des mélanges Trimix utilisés ; remplissage des bouteilles et analyse  
Entretien du matériel  
Préparation des lignes de vie et de décompression

L'équipement du plongeur va s'alourdir d'une bouteille de plus. Il aura donc son dorsal et une bouteille d'oxygène sur lui.

Nous employons le terme de relais pour désigner ces bouteilles supplémentaires. Les anglo-saxons disent « bouteille ponny ». Le mot « relais » vient de l'usage en plongée souterraine où des blocs sont déposés au long de la progression, soit pour assurer la sécurité en redondance, soit pour permettre d'aller au-delà de l'autonomie du dorsal.

La notion de plongeur « lisse » est loin de convenir à cette configuration. Cependant, des aménagements matériels peuvent rendre un peu d'aisance à ce plongeur.

On voit fréquemment des photos de plongeurs « tek » avec les relais en bandoulière ou en travers. La plupart du temps, ils sont pendus loin en avant et le plongeur semble déséquilibré ! En fait le positionnement des bouteilles-relais est fondamental pour l'équilibre dans l'eau, mais surtout pour permettre une assistance correcte à un camarade en difficulté.

Le test est simple, une fois équipé il suffit de se mettre la tête en bas dans l'eau pour juger. Si tout se retrouve « en vrac », c'est que l'équipement est à reprendre.

La solution est simple aussi. Un morceau d'élastique tendu sous les bras, associé à un réglage correct de la fixation des relais et le tour est joué !

À l'équipement, les relais sont fixés court à l'arrière, long au robinet. Une fois en place, l'élastique placé sous les bras est passé sur la robinetterie et fait disparaître littéralement le relais, qui ne gêne plus les mouvements du plongeur.

Une préparation minutieuse du nouvel équipement est effectuée.

Les stagiaires sont évalués sur leur aptitude à gérer seul, sous la surveillance d'un moniteur, la fabrication et le contrôle de tous les mélanges utilisés.

De même, ils préparent les diverses lignes de vie et de décompression.

### **Plongées Trimix**

**- module 3 -**

Plongée au Trimix 19/71/10 dans la zone des 50 m avec bouteille d'oxygène  
Plongée au Trimix 18/42/40 sur un fond de 70 m, fil d'Ariane, planification de la décompression

Dans la mesure où l'équipement des plongeurs a notablement changé, il est indispensable de procéder à de nouveaux réglages dans l'eau. Cette plongée, purement technique, sera effectuée dans environ 20 mètres d'eau.

En effet, les exercices proposés seront de trois types :

- Ajustement du lestage et du positionnement des relais. On va procéder d'abord à des essais avec un seul relais d'oxygène, puis d'autres essais seront réalisés avec les deux relais. Ce choix permet en une seule plongée de régler le matériel pour les modules trois et quatre.
- Gestion parfaite du parachute de palier avec son dérouleur. Les exercices seront effectués du fond à 20m.
- Révision sur la pose de fil d'Ariane en autonome

La deuxième plongée, dans la zone des 50m, a pour objectifs de vérifier les acquis concernant la stabilisation, la maîtrise de la vitesse de remontée et le contrôle de la consommation.

Elle permet d'organiser un entraînement à l'assistance d'un camarade en difficulté.

Cette compétence est déjà acquise pour un plongeur niveau III, mais ici nous insistons tout particulièrement sur les points suivants :

- Le plongeur en difficulté doit être le plus autonome possible, son équipier étant là pour l'assister, l'aider et surtout alerter la surface grâce aux deux parachutes comme nous l'avons déjà vu. On évitera toute intervention trop énergique. Il faudra au contraire insister sur la gestion calme de la situation.
- Tout usage du palmage est à proscrire. L'exercice est effectué à 50m pour que l'élève ressente la lenteur de gonflage du système de sécurité gonflable à ces profondeurs.

La troisième plongée sera effectuée dans la zone des 70m pour évaluer le comportement des stagiaires en autonomie. La ligne de vie est toujours présente.

### **Formation théorique**

### **- module 3 -**

Fabrication des mélanges Trimix, principes et exercices  
Le froid en plongée Trimix

Dans ce module, nous traitons largement de la fabrication et de l'analyse des gaz utilisés. Nous calculons aussi tous les types de mélanges possibles en fonction de profondeurs très variées de plongées prévues. Les tables correspondantes ne sont pas forcément disponibles.

On peut faire justement à cette occasion la présentation critique des logiciels de décompression existants.

Nous utilisons pour faire les calculs de tableaux prêts à remplir au rétroprojecteur, mais aussi des petites feuilles de calcul dans un tableur informatique pour réaliser n'importe quel mélange.

Une fois les calculs faits, nous envisageons la fabrication pratique de ces mélanges en utilisant le surpresseur, mais aussi en tenant compte des autres méthodes comme la lyre ou la bâche de gonflage pour l'hélium.

Le cours sur le froid est basé sur le modèle de « l'homme froid », c'est-à-dire une approche thermodynamique du plongeur équipé dans l'eau.

Le plongeur équipé est modélisé comme un système constitué de couches concentriques, plus ou moins isolantes, entourant la source de chaleur centrale : le plongeur.

L'étude des différentes couches permet d'effectuer les calculs mettant en évidence le rôle de l'hélium dans le refroidissement du plongeur, ainsi que l'intérêt de gaz isolants comme l'argon.

Voici un exemple de programme sur trois jours pour ce troisième module :

### Module 3 : 1<sup>er</sup> JOUR

#### Rappel : Matin

- Notion de plongée Trimix en autonome

#### Pratique : Matin

- Attribution et réglage du matériel

Sur un fond inférieur à 20 mètres :

- Adaptation du matériel Trimix en autonome (avec bloc O2 et nitrox)
- Gestion du lestage avec le bloc O2
- Gestion du lestage avec bloc O2 + nitrox
- Déplacement au fond avec gestion du parachute de palier.
- Adaptation à l'utilisation des différents blocs de gaz
- Utilisation du fil d'Ariane en autonome

#### Théorie : Après midi

- Fabrication des mélanges Trimix, principes et exercices

#### Matériel : Après-midi

- Préparation des mélanges pour la plongée du lendemain

### Module 3 : 2<sup>ème</sup> JOUR

#### Pratique : Matin

- Mise en place de la ligne de vie et de décompression
- Plongée Trimix 19/71/10 sur un fond de 50 mètres avec autonomie en O2
- Stabilisation près du fond
- Gestion de la remontée (Vitesse, régularité)
- Assistance d'un coéquipier à la remontée
- Gestion des paliers O2
- Contrôle de la consommation des gaz dans les deux blocs

#### Théorie : Après midi

- Le froid en plongée Trimix

#### Matériel : Après-midi

- Entretien du matériel
- Gonflage par les stagiaires sous surveillance du moniteur

## Module 3 : 3<sup>ème</sup> JOUR

### Pratique : *Matin*

- Plongée Trimix 18/42/40 sur un fond de 70 mètres avec autonomie en 02
- Gestion de la plongée, effectuée par le stagiaire, ainsi que la remontée et la décompression le long de la ligne de vie et de décompression

### Matériel : *Après-midi*

- Gonflage et entretien du matériel par les stagiaires

### Pratique : *Après midi*

- Présentation et pratique de la plongée en caisson

### Bilan : *Après-midi*

- Bilan du module

## Quatrième module : la plongée Trimix en autonomie

Dans ce dernier module le plongeur sera mis en situation d'autonomie complète en emmenant la totalité des gaz nécessaires pour sa décompression et en planifiant des plongées le long d'un tombant sans ligne de vie. Les plongées seront réalisées aux mélanges Trimix dans la zone de 40 à 80 mètres avec incursion obligatoire au-delà de 60 mètres.



### Risques ciblés

- le lestage
- la flottabilité
- l'essoufflement de surface
- la pression du temps
- la vitesse de remontée

Ce module doit être assuré par des E4 ayant la qualification plongeur trimix. Il pourra être dispensé sur deux jours environ.

Les plongées profondes au trimix seront effectuées en emportant la totalité des bouteilles de décompression, oxygène et nitrox, permettant d'assurer ainsi les paliers de manière autonome. À la deuxième plongée, il n'y a plus de ligne de vie présente sur le site.

Une ligne de décompression de secours est toujours prête à être larguée sur l'apparition des deux parachutes de signalisation sur le même fil. Le plongeur d'assistance est équipé, muni de tablettes immergeables de communication.

L'objectif de ce module est d'assurer l'autonomie du plongeur :

- en plongée, les relais lui permettent d'assurer la totalité de la décompression
- pour préparer matériellement la plongée et fabriquer ses mélanges
- pour assurer la logistique complète des plongées

Nous insistons largement sur l'autonomie des stagiaires. En fin de formation, ils ont tous les éléments pour gérer correctement l'ensemble du matériel, de la fabrication à l'organisation des plongées. Ils sont en fait autonomes dans les conditions de la formation, c'est-à-dire jusqu'à une profondeur d'intervention de 80m.

Une des objectifs de ce quatrième module est aussi de les préparer à assumer leurs prérogatives jusqu'à 120m. Nous essayons de leur donner tous les éléments qui leur permettront d'organiser progressivement ce type de plongée en sécurité.

### **Gérer et utiliser le matériel**

### **- module 4 -**

Préparation du matériel spécifique et identification y compris bouteilles d'oxygène et de nitrox

Utilisation du tableau de transfert ; remplissage des bouteilles et analyse

Entretien du matériel

Préparation des lignes de vie et de décompression

La préparation du matériel est la même qu'au module précédent. Seul un relais supplémentaire est ajouté. Le lestage a déjà été repéré précédemment.

Ce relais ne doit pas être gênant. En fait, il symétrise la charge et rétablit l'assiette du plongeur, à la condition de placer correctement les bouteilles, escamotées sous les bras par les élastiques.

Les stagiaires prennent en charge le remplissage des bouteilles, l'analyse et la préparation des lignes de décompression de secours. Ils assurent aussi la mise en place de la logistique de la plongée et le chargement du bateau.

### ***Plongées Trimix en autonomie***

**- module 4 -**

Plongée au Trimix 18/42/40 en autonome sur 80 m avec relais d'oxygène et de Nitrox  
Autonomie complète au Trimix le long d'un tombant à 80 m avec oxygène et Nitrox

Deux plongées vont être effectuées dans la zone des 75 à 78m.

Lors de la première plongée, nous nous assurons, près de la surface, que le lestage est correct avec les deux bouteilles relais.

Cette première plongée s'effectue en autonomie contrôlée, une ligne de décompression étant présente en sécurité.

La deuxième plongée est faite en complète autonomie, une ligne de décompression peut malgré tout être larguée sur le parachute en fin de plongée. Les plongeurs sont ainsi mis dans les conditions réelles des plongées réalisées sur les épaves profondes, dans le cadre de l'arrêté du 28 août 2000.

### ***Formation théorique***

**- module 4 -**

Principes de fonctionnement des compresseurs, surpresseurs et tableaux de transfert  
Compléments: principe des caissons; principe des recycleurs

La totalité du matériel utilisé pour la fabrication des mélanges est envisagée. Nous reprenons le fonctionnement de chaque appareil et nous répondons aux questions.

Nous essayons, dans la mesure du possible de présenter le principe de fonctionnement d'un maximum d'appareils disponibles.

Nous nous contentons de présenter le principe de dispositifs comme les « sticks » nitrox et les séparateurs à membrane.

L'installation complète dont nous disposons permet ainsi de maîtriser l'usage du surpresseur ainsi que le tableau de transfert et les lyres. Nous employons parfois une bêche pour compresser l'hélium dans le compresseur. Nous utilisons régulièrement des analyseurs d'oxygène et d'hélium.

Une évaluation orale et pratique permet de synthétiser les connaissances et les savoir-faire.

Pour compléter cette formation, nous présentons les caissons et les recycleurs.

Le principe de fonctionnement des caissons est exposé assez complètement et nous procédons à des essais jusqu'à une profondeur fictive de 10m. Les stagiaires sont alternativement « cobaye » puis manipulateur, sous la surveillance attentive du moniteur.

Les recycleurs présentés sont du type à injection constante au nitrox, puisque nous disposons de Draëger Dolphin et Atlantis. Des essais à faible profondeur sont alors effectués.

Il s'agit bien là d'une information et d'une sensibilisation. Nous tentons de répondre à toutes les questions sur les recycleurs au trimix.

**Voici un exemple de programme sur deux jours pour ce quatrième module :**

### **Module 4 : 1<sup>er</sup> JOUR :**

#### **Pratique : Matin**

- Plongée Trimix 18/42/40 sur un fond maxi de 78 mètres avec autonomie en O2 et Nitrox
- Plongée le long de la ligne de vie. Les plongeurs utiliseront leurs bouteilles de décompression, mais une ligne de décompression sera installée en sécurité.
- Gestion de la plongée effectuée par le stagiaire ainsi que la remontée et la décompression le long de la ligne de vie

#### **Théorie : Après midi**

##### **Rappels sur :**

- Analyseur d'O2
- Compresseur, surpresseur
- Tableau de transfert
- Principe des caissons

#### **Pratique : Après-midi**

- Essais caisson (facultatif)

#### **Matériel : Après-midi**

- Gonflage et entretien du matériel par les stagiaires

### **Module 4 : 2<sup>ème</sup> JOUR :**

#### **Pratique : Matin**

- Plongée Trimix 18/42/40 sur un fond de 78 mètres maxi en autonomie complète ( O2 + nitrox sur le plongeur)
- Plongée le long d'un tombant
- Gestion de la plongée sans ligne de vie
- Remontée le long d'un tombant
- La surveillance surface placera une ligne de décompression pour la sécurité

#### **Matériel : Après-midi**

- Entretien puis restitution du matériel

#### **Théorie et Pratique : Après-midi**

- Essais recycleurs (facultatif)

#### **Bilan : Après-midi**

- Vérification des acquis de l'ensemble de la formation
- Remise des attestations et cartes de certification

## 4.4 LA FABRICATION DES MELANGES

### 4.4.1 QUELS MELANGES UTILISER ?

Nous utilisons essentiellement deux mélanges durant la formation :

Le premier est du 19/71/10, communément appelé Hélicair, du fait de son mode de fabrication à partir de 10% d'hélium introduit dans une bouteille et le tout complété par de l'air. On utilise parfois le terme familier de « giclette ». L'avantage d'un tel mélange est qu'il est facile à fabriquer et qu'il est utilisable avec des tables à l'air ou des ordinateurs, à condition de le « sécuriser » par des paliers à l'oxygène. L'inconvénient est que l'on gagne peu en profondeur équivalente : un hélicair à 50m correspond à une plongée à 44m à l'air.

Le plus utilisé est du 18/42/40 (éventuellement le mélange « marine nationale » 18/41/41, qui est équivalent). Ce mélange est bien adapté à la formation jusqu'à 80m. Les toxicités d'oxygène et d'azote sont atteintes en même temps et il est respirable en surface.

Remarquons que ce mélange a le même rapport O<sub>2</sub> / N<sub>2</sub> que le nitrox 30 / 70.

Le principe de fabrication est donc tout simple : on prend du Nitrox 30 / 70 qui va atteindre en même temps les seuils de toxicité pour l'oxygène et l'azote et l'on ajoute la quantité d'hélium nécessaire à la profondeur que l'on veut atteindre ! Nous savons ainsi fabriquer le mélange qui convient pour n'importe quelle profondeur. Mais tout n'est pas si simple !

**La première question que l'on puisse se poser concernant la fabrication des mélanges est : doit-on le fabriquer ?**

Ce débat est important pour une structure qui emmène des clients et qui ne veut pas mettre en cause sa responsabilité. On peut déjà noter que nous n'avons pas prévu de qualification « préparateur mélanges » comme le font les organismes américains. Cette qualification est incluse dans la formation plongeur trimix.

**Une fois prise la décision de fabriquer ses mélanges, reste une autre question, doit-on utiliser des gaz de qualité industrielle, beaucoup moins chers, ou bien les gaz étiquetés « spécial plongée » ?**

La réponse est cette fois-ci facile : on ne peut pas prendre le risque d'utiliser les gaz industriels ! Techniquement, la réponse n'est pas évidente, les chantiers de plongée à saturation de mer du nord n'ont jamais utilisé que des gaz industriels ! Mais reste la petite question : et s'il y avait un accident, quel serait l'avis de l'expert venu analyser les gaz ?

**Nous avons enfin une solution évidente, pourquoi ne pas acheter les gaz tous préparés ?**

C'est peut-être la seule solution qui s'impose pour un centre qui ne veut pas trop s'embêter. L'inconvénient est que ces gaz sont beaucoup plus chers et que de plus il vaut mieux avoir un surpresseur pour terminer les racks, sinon la perte est importante. Cela ne dispense pas de l'analyse, comme je l'ai déjà dit dans l'analyse des risques, une erreur de fabrication est toujours possible, même pour un fournisseur de gaz.

## 4.4.2 COMMENT FABRIQUER NOS MELANGES

Voyons maintenant comment fabriquer nos mélanges à partir de gaz que nous supposons qualité « plongée » :

Nous avons vu que la base est un nitrox 30/70, que l'on peut acheter lui aussi tout prêt.

### **Le mode de fabrication des nitrox a déjà été vu dans la formation nitrox.**

- L'appareil que nous utilisons principalement est le surpresseur. Celui-ci est constitué d'un piston dont le moteur est de l'air comprimé. Cela nécessite donc d'avoir une grosse réserve d'air à une pression d'une dizaine de bar. A chaque mouvement du piston, on « pousse » un volume constant de gaz, déjà à la pression du rack. L'efficacité de cet appareil est impressionnante lorsque cette pression est encore assez élevée. L'intérêt réside surtout dans le fait que la lubrification est effectuée à l'huile compatible oxygène pur. Si tout le matériel est à la norme oxygène, il est possible de transférer le contenu des racks jusqu'à y laisser seulement 10bar.

- Nous utilisons aussi accessoirement une lyre de transfert.

Nous ne reviendrons pas ici sur les dangers de la manipulation d'oxygène qui ont été abordés au cours nitrox. Nous le répétons malgré tout fréquemment durant la formation.

### **On peut citer cependant deux moyens originaux à la mode en ce moment :**

- Le premier est le séparateur à membrane, système déjà utilisé sur les cargos bananiers pour noyer les fruits d'azote. Si on retire de l'azote de l'air, la partie restante, rejetée dans l'atmosphère, est un nitrox. Reste à se poster avec son compresseur à côté d'un bananier ! Ce système n'est pas trop onéreux, et de plus est fiable.

Citons pour cela un message circulant sur Internet dans un groupe de discussion Tek :

« J'utilise à but professionnel comme une dizaine d'autres magasins en Belgique et des centaines si pas des milliers de magasins de par le monde un système de fabrication de nitrox jusqu'à 36% via un séparateur à membrane. Et mon bon nitrox 36% passe par un compresseur Bauer 12 M3 totalement classique (avec en sortie un double filtre parce que je suis respectueux des autres), et ceci est entièrement approuvé par un certificat des mines; comme d'ailleurs pour les autres milliers de magasins. Mon système fonctionne depuis 96 et a gonflé 615 heures de nitrox mais cela il ne faut pas le dire à mon contrôleur des contributions.

D'ailleurs ce système était vendu par Scubapro Benelux. »

Nous voyons que ce système suppose de passer le nitrox par le compresseur !

- L'autre système est le « stick » qui est en fait un mélangeur placé à l'entrée du compresseur. On introduit de l'oxygène pur avec un débit ajusté empiriquement et le tout est aspiré par le compresseur ! On voit bien ici les deux inconvénients : manipuler de l'oxygène pur en amont d'un appareil qui ne le tolère pas et la lenteur de mise au point. Attention ! cela n'est censé fonctionner sans danger que jusqu'à 40% maximum d'oxygène !

Voici quelques témoignages :

« Le stick démonté et cloné est une spirale de quatre tours constituant une sorte de vis dans lequel les deux flux d'air et d'oxy se mélangent en tournant. Un ami ayant fait ses études dans la mécanique des fluides m'a confirmé qu'en effet il s'agit d'une des meilleures méthodes connues pour obtenir un mélange homogène de deux gaz. »

« Cela fonctionne parfaitement bien, effectivement le problème c'est le temps qu'il faut pour régler le débit d'oxygène pour arriver, à la sortie du compresseur au % désiré avant de raccorder la bouteille. »

### **Une fois le nitrox 30/70 fabriqué, il reste à ajouter la quantité d'hélium nécessaire :**

Le surpresseur, une fois de plus, est très simple d'emploi. L'usage de la lyre par transvasement ne permet malheureusement pas de terminer les bouteilles.

On peut à nouveau citer deux méthodes originales pour terminer les bouteilles, en repassant par le compresseur :

- La première, que beaucoup utilisent, est celle de la « bâche ». Quelques plongeurs souterrains utilisent encore le sac poubelle ou une vieille bouée collerette. La méthode consiste à relier de manière étanche un sac de gros volume à l'aspiration du compresseur. On alimente le sac en question directement à partir de la bouteille d'hélium. On commence à gonfler le sac puis on démarre le compresseur qui aspire le tout. La régulation du volume du sac est on ne peut plus manuelle. Cela fonctionne très bien avec un peu d'habitude !
- La seconde méthode nécessite de fabriquer une pièce de raccordement entre un détendeur Mistral et la bouteille d'hélium. Le tuyau de gauche d'expiration ne sert à rien, par contre, pour la sortie on a intérêt à choisir un tuyau un peu plus rigide que le tuyau de Mistral d'origine pour éviter les vibrations. La sortie du détendeur est alors reliée à l'entrée d'un compresseur de l'ordre de 6 m<sup>3</sup>/heure. La régulation est parfaite et il n'y a pas de perte.

Pour conclure, il existe des méthodes très variées pour fabriquer les mélanges. La méthode pratique mise en œuvre est généralement assez différente de la fabrication théorique. En particulier l'ordre de remplissage des différents gaz dépend de la méthode employée.

Le moyen le plus facile reste certes le surpresseur, mais ce matériel est cher et dispendieux en air pour l'alimenter.

Dans tous les cas, le « coup de main » du spécialiste est précieux. Il connaît des astuces pour obtenir exactement le bon mélange, il ne vous les donnera pas plus qu'un cueilleur de champignons ne donne ses bons coins !

## **4.5 LA DECOMPRESSION**

### **4.5.1 LES TABLES**

Les tables que nous utilisons sont basées sur le mélange 18/42/40. Comme nous l'avons vu, elles ne sont pas hypoxiques en surface et permettent, dans la limite des 80m, de relier sans changement de gaz le fond à la surface.

Elles sont établies spécialement pour notre formation par Jean-Claude Le Pechon, à partir des anciennes tables Doris, elles mêmes issues de tables Marine Nationale et expérimentées sur des milliers de plongées.

Elles sont conçues pour réaliser la décompression au mélange-fond et effectuer les paliers de 6m à l'oxygène pur.

Il y a un vrai débat de spécialistes dans le monde entier qui discutent à l'envie de l'opportunité de l'oxygène pur au palier. Certains préconisent un nitrox 80/10, d'autres un 70/10 ....

Ce débat n'est toujours pas réglé et nous effectuons le palier de 6m à l'oxygène pur auquel nous ajoutons l'usage d'un nitrox fort (au moins 50/50) à 9m pour des raisons de sécurité, mais aussi d'entraînement technique dans le cadre de la formation.

Ces tables, un peu longues il est vrai, conviennent parfaitement à notre usage jusqu'à 80m.

Pour le développement de la plongée au trimix, il est maintenant essentiel que l'on puisse proposer des tables, ne serait-ce que pour l'enseignement.

L'arrêté du 28 août 2000 parle de « tables spécifiques scientifiquement validées par un organisme public ».

Les seules tables généralement reconnues en France par les utilisateurs sont les tables Doris, sur lesquelles Jean-Claude Le Pechon a beaucoup travaillé, les tables conçues par Jean-Pierre Imbert et les tables de divers organismes américain comme TDI, IANTD ou NAUI. Toutes ces tables ont montré leur fiabilité.

Actuellement, beaucoup d'autres tables circulent sous le manteau, peu sont validées.

## **4.5.2 LES LOGICIELS DE DECOMPRESSION**

Devant cette situation, il était normal que les logiciels de décompression prennent une place importante. Ces logiciels sont implantés sur des ordinateurs de type PC, mais on en trouve maintenant sur des organiseurs de type Palm.

Les logiciels de décompression peuvent offrir les fonctionnalités suivantes :

- Outil de calcul des mélanges
- Calcul des stocks d'air
- Interface graphique
- Réglage des vitesses à la descente et à la remontée
- Choix des gaz utilisés en plongée et en décompression
- Possibilité de modifier le conservatisme de l'algorithme
- Édition de tables papier

Il existe maintenant beaucoup de logiciels disponibles qui n'offrent pas forcément toutes ces fonctionnalités.

Leur prix peut aller du complètement gratuit à des prix assez élevés, sans que cela ne préjuge en rien de leurs qualités.

Nous pouvons citer les plus connus :

- ABYSS
- ZPLAN et ZPLANNER
- G.A.P.
- DECOPLANNER
- XS G.F.
- PROPLANNER
- MIG PLAN
- DDPLAN
- MPLAN
- Dr X
- DECOM
- VOYAGER
- DEPARTURE

On peut ainsi attendre d'un logiciel qu'il permette d'étudier des profils de plongée complexes en gagnant en souplesse d'utilisation et surtout en fiabilité de la décompression par rapport à des tables bricolées.

L'objectif n'est pas de gagner quelques minutes de paliers en moins sur des plongées de plusieurs heures, mais bien de les effectuer en sécurité et de ressortir sans fatigue excessive.

La plupart de ces logiciels sont basés sur les travaux du professeur Bühlmann de Zurich qui a développé des modèles mathématiques très populaires car largement diffusés et publiés. Ils utilisent les tables ZH-L16 B ou C, établies sur 16 compartiments.

Beaucoup de nos ordinateurs immergeables de poignet sont d'ailleurs basés sur des tables plus restreintes, les Bühlmann ZH-L8, calculées sur 8 compartiments.

La quasi-totalité des logiciels existants permettent de « durcir » les algorithmes pour les rendre plus pénalisants. Cela est nécessaire pour prendre en compte les plongées profondes et l'usage de mélanges.

Plusieurs méthodes sont alors utilisées :

- majoration du temps au fond
- majoration de la profondeur
- programmation d'une désaturation plus lente que la saturation
- modification des périodes des compartiments en fonction de nombreux facteurs (Jesus factor)

Malgré tout, ces tentatives de renforcement de la sécurité des algorithmes ne sont que des pis-aller car les auteurs eux-mêmes reconnaissent que cela ne fait que renforcer les paliers peu profonds.

Depuis quelques années, en effet, les notions de paliers profonds et de palier à mi-profondeur ont fait leur chemin.

Sous l'influence d'auteurs comme Bruce Wienke ou Eric Baker, les derniers modèles de décompression maintiennent le plongeur profond pour amorcer la désaturation sans passer par la phase gazeuse.

Le modèle Haldanien des bulles tissulaires que l'on remontait le plus haut possible pour augmenter le gradient et éliminer les gaz dissous dans les tissus semble ne plus « coller » parfaitement aux résultats des dernières études.

Pour augmenter le conservatisme des algorithmes, deux méthodes sont principalement rencontrées dans les logiciels :

- **Les gradients factors d'Eric Baker (modèle déterministe) :**

La base est la notion de M-values issue des travaux de Workman et de Bühlmann.

Citons un article d'Eric Baker :

« Au lieu d'utiliser des ratios, Workmann décrit les M-values comme étant la pression partielle maximale tolérable de l'azote et de l'hélium pour chaque compartiment et pour chaque profondeur. Puis il fit une projection linéaire de ses M-values comme étant une fonction de la profondeur et il trouva que la droite était raisonnablement proche des données (ça collait bien). Il observa également que la représentation des M-values sous forme d'une équation de droite était pratique pour la programmation informatique. »

Sur cette base, Eric Baker propose de garder une marge de sécurité par rapport aux M-Value et d'intervenir sur le % de M-Value pour obtenir des premiers paliers plus profonds, mais qui se situeraient quand même dans la zone de décompression.

Cela se traduit par l'introduction dans l'algorithme de gradient factors GF (High et Low) prenant la forme de pourcentages de la M-Value.

La plupart des nouveaux logiciels intègrent maintenant les Gradients Factors.

- **Le modèle « Reduced Gradient Bubble Model » ou RGBM de Bruce Wienke (modèle probabiliste) :**

Depuis l'usage généralisé du Doppler, on sait que la présence de bulles circulantes est normale à la fin d'une plongée.

Il vaut mieux se représenter ces bulles comme le brouillard de gaz rencontré dans la carafe en hiver à la sortie du robinet d'eau froide. On remarquera que ce brouillard ne remonte pas instantanément à la surface, il ne se comporte pas comme le modèle des bulles de Perrier que l'on cite souvent en exemple.

Ces noyaux gazeux sont à l'origine des bulles qui ont la propriété d'être instables :

- en dessous d'une certaine taille, elles se collapsent et disparaissent du fait de la pression due aux forces de tension superficielles
- au-dessus d'une taille limite, elles vont grossir démesurément.

C'est ce qui se produit par exemple lors du traitement d'un accident à l'hélium avec un nitrox : l'azote enrichit la bulle, du fait de la contre-diffusion isobare, et celle-ci commence sa croissance irrémédiable.

Le principe général du modèle RGBM est rester, lors de la remontée, en dessous du régime des bulles et d'éviter la phase gazeuse.

Cela se traduit par une vitesse de remontée très lente et la présence de paliers profonds.

Pour information :

Erik C. Baker est un ingénieur en électricité. Il possède une entreprise d'Engineering et architecture. Il poursuit ses recherches sur la décompression et la physiologie en plongée comme un passe temps., et il a développé plusieurs programmes informatiques en Fortran pour le calcul et l'analyse de la décompression.

Erik possède des qualifications en plongée souterraine et plongée trimix.

Bruce Wienke est mathématicien, il travaille au Los Alamos National Laboratory, au Nouveau Mexique. C'est l'auteur des tables trimix NAUI.

Voici le résultat d'une enquête sur l'usage des différents logiciels du marché :  
(extrait d'un rapport présenté en 2000 par Frédéric Pinna à la Commission Nationale de Plongée Souterraine)

« Le résultat d'une enquête effectuée sur la plus grande mailing list, Techdiving, donnait ceci en mars 2000 :

Decoplan	30%	(peu onéreux)
ZPlan	24%	(gratuit)
Abyss	12%	(assez cher)
Decom	6%	(peu onéreux)
GAP	6%	(gratuit)
XS	6%	
Proplanner	3%	
Voyager	3%	
MPlan	2%	
User's Brain	1%	
DDPlan	0%	
DrX	0 %	
Psion Dive Plan	0%	
Trimix computer	0%	
ANDI Plan	0%	
Proprietary	0%	

On peut constater que **le prix** influe fortement sur le choix, même outre atlantique. La bonne position de DECOM s'explique en grande partie par le fait qu'au moment où il à été lancé, il était le moins cher. Par ailleurs, il semble que depuis mars avec la nouvelle version, GAP se soit bien mieux implanté. »

## 5. LES PLONGEURS AUX MELANGES TERNAIRES

Dans le cadre de cette étude sur l'enseignement de la plongée aux mélanges ternaires, deux questionnaires ont été diffusés, permettant de mieux cerner le profil des plongeurs concernés. Le premier est destiné aux plongeurs pratiquant déjà l'activité, le second concerne les personnes ayant l'intention de se lancer prochainement dans ce type de formation.

Ces questionnaires ont été proposés à un groupe de personnes regroupant des plongeurs souterrains, des plongeurs sur épaves ou bien des adeptes de tombants profonds. Un exemplaire a aussi été mis en ligne sur le site Internet [www.aquanaute.com](http://www.aquanaute.com). Ce site possède entre autre une liste de diffusion Aquatek, où beaucoup de plongeurs passionnés par la plongée technique ou souterraine se retrouvent régulièrement.

Nous avons reçu des réponses de plongeurs de langue française, venant de métropole, de Réunion et des Antilles. Mais aussi d'horizons variés, puisque nous pouvons en compter deux habitant les Etats Unis, un plongeur belge, deux espagnols et quelques plongeurs étrangers francophones.

L'échantillon des réponses n'est peut-être pas représentatif de l'ensemble des plongeurs car la population atteinte est située dans un cadre de plongeurs techniques possédant une connexion Internet car très peu de questionnaires sont parvenus par la poste.

Ce choix a été cependant fait car il permettait d'atteindre rapidement les personnes qui nous intéressaient, c'est à dire les plongeurs ayant déjà un vécu en plongée aux mélanges ternaires.

Nous attendions de ce questionnaire un profil type du plongeur aux mélanges, un retour sur les formations reçues ainsi qu'une idée des attentes spécifiques.

Ces informations sont importantes pour adapter la formation proposée aux besoins réels du terrain.

Des informations sur la mise en place de la sécurité, et sur leur expérience en la matière, sont apparues aussi dans les réponses.

Nous avons ainsi reçu 19 réponses de plongeurs aux mélanges ternaires expérimentés et 19 réponses de personnes suffisamment sensibilisées pour prévoir prochainement une formation.

Nous allons tenter de broser, dans le cadre de ce mémoire, un tableau général des conclusions que l'on peut retirer de ces questionnaires. Une étude plus détaillée fera l'objet d'un travail ultérieur.

## 5.1 QUESTIONNAIRE DESTINE AUX PLONGEURS AUX MELANGES

Les questions étaient organisées en trois parties :

- la première concerne l'opinion du plongeur par rapport à la plongée profonde, l'usage d'oxygène en décompression, l'usage des mélanges ternaires et les compléments spécifiques de formation à apporter.
- la deuxième précise la pratique du plongeur, ses motivations personnelles et sa formation.
- la dernière donne un profil de la personne et du plongeur.

Notons que nous trouvons schématiquement deux types de réponses :

- les plongeurs en mer
- les plongeurs souterrains

Cette dichotomie est réductrice, mais se retrouve bien dans les différences concernant les motivations des plongeurs, dans l'organisation de la sécurité et dans leurs opinions sur la formation.

### **1) OPINIONS - plongeurs mélanges -**

#### ***l'opinion du plongeur par rapport à la plongée profonde***

Nous retrouvons dans les réponses des thèmes récurrents comme :

- recherche d'un objectif particulier, épave ou siphon à franchir
- plaisir de découvrir des horizons nouveaux et inexplorés
- beauté et découverte
- goût de la technique
- par gloriole, flatter son ego
- goût du risque, adrénaline, se faire peur
- esprit de conquête, pousser les limites

On voit bien ici se dessiner trois motivations fortes, l'attrait du nouveau, le goût du risque et de l'exploit, la technique.

Les épaves sont bien citées comme objectifs prioritaires à la plongée profonde en mer, rarement la faune et la flore à ces profondeurs. Les plongeurs souterrains sont guidés par les cavités et plongent profond pour aller plus loin.

#### ***l'usage d'oxygène en décompression***

Les avis sont unanimes pour reconnaître toutes les vertus à l'usage de l'oxygène en décompression.

Beaucoup y trouvent un intérêt pour diminuer la fatigue et augmenter la résistance au froid

## ***l'usage des mélanges ternaires***

Les gens pensent en général que les mélanges ternaires permettent de plonger plus profond et augmentent la sécurité. Six seulement les justifient pour dépasser la profondeur de 60m de l'arrêté de 2000.

### ***les compléments spécifiques de formation à apporter***

La majorité des gens jugent nécessaire un complément de formation en théorie et surtout en pratique.

Beaucoup ajoutent une connaissance du matériel et des éléments pour organiser les plongées. De même, le passage par une pratique préalable de la plongée profonde et souvent cité.

## ***2) LA PRATIQUE DU PLONGEUR - plongeurs mélanges -***

### ***les motivations personnelles de la personne***

Les motivations personnelles des plongeurs trimix sont très voisines de celles perçues pour les plongeurs profonds.

On y trouve en plus la notion de sécurité, associée à la lucidité en profondeur, ainsi que la notion de plaisir et de pouvoir profiter pleinement des plongées.

### ***la formation***

Nous trouvons ici seulement trois personnes ayant suivi une formation IANTD et une seule une formation EEPM.

Tous les autres sont quasiment autodidactes ou formés par compagnonnage, ce qui est le cas de tous les plongeurs souterrains.

### ***les plongées effectuées***

Les plongées effectuées pendant la formation vont d'une dizaine dans les structures IANTD ou EEPM, à quelques dizaines en auto formation entre amis.

Les durées de formation sont très variables et vont de quelques jours, en moyenne 10 en structures, à des mois ou des années pour certains.

Les profondeurs atteintes en formation dépassent rarement les 80m.

Les mélanges utilisés en formation sont très variables. On retrouve souvent l'usage d'héliair pour leur facilité de fabrication et d'utilisation ainsi que des mélanges hypoxiques avec une teneur en oxygène comprise entre 9 et 20% et une teneur en hélium de l'ordre de 40 à 50%.

Dans le cadre de la pratique, les plongées sont parfois effectuées jusqu'à 125m. Les mélanges correspondants sont alors calculés sur la base d'une PpO2 de l'ordre de 1,3b à 1,4b ainsi que d'une profondeur équivalente à l'air comprise entre 30 à 50m pour la narcose à l'azote.

Le nombre total des plongées au trimix de chaque plongeur est de l'ordre de 40, avec une moyenne d'une dizaine par an. La plupart de ces plongées sont effectuées dans la zone des 80m et les temps de paliers vont de 1 à 7 heures.

Les objectifs des ces plongées sont essentiellement des épaves en mer et, bien entendu, le franchissement de siphons en plongée souterraine.

## ***la sécurité mise en place***

La mise en place de la sécurité est fondamentalement différente dans le cas des plongées en mer ou souterraines.

En plongée en eaux libres, mer ou lac, la sécurité est basée sur des plongeurs d'assistance dans l'eau, ainsi que sur des procédures de signalement d'incidents.

Tout le monde cite, bien sûr, les matériels de secours et d'alerte présents sur le bateau de surface. La majorité des gens possède le numéro du caisson le plus proche, beaucoup l'ont déjà mis en pré-alerte.

L'accident est déclaré par le départ de parachutes de couleurs différentes ou couplés sur le même fil.

L'assistance au fond est reconnue comme très hasardeuse par la plupart des gens.

La méthode à utiliser pour remonter un camarade en difficulté jusqu'au plongeur d'assistance, positionné à la profondeur des premiers paliers, n'est souvent pas bien définie. Dans la zone des 100m, on parle au mieux de méthode « classique ». Certains utilisent des fixations de détendeurs pour les maintenir en bouche en cas de perte de connaissance.

La sécurité matérielle est bien assurée pour tous par la redondance des appareils et des gaz supplémentaires.

Le plan de plongée intègre, pour la plupart des gens, un dépassement en temps et un en profondeur, le tout associé à une réserve de gaz suffisante. Peu prévoient une ligne sur le plan pour une plongée écourtée.

De même, peu envisagent le problème du froid et de la sécurité à adopter en cas de rupture du vêtement, comme le port d'un vêtement humide sous la combinaison sèche.

En plongée souterraine, la sécurité repose sur un plan de plongée commun entre le plongeur de pointe et l'assistance surface.

En cas de dépassement du temps prévu, les plongeurs d'assistance vont à la rencontre du plongeur aux mélanges, qui plonge la plupart du temps seul.

Les règles sont les mêmes pour le plan de plongée et la redondance de tout le matériel.

L'alerte est prévue en surface par des téléphones portables et des véhicules prêts à démarrer, garés dans le sens du départ. Les caissons sont prévenus pour les plongées d'importance.

## ***les procédures de décompression utilisées***

Pour résumer ce vaste chapitre, les tables sont connues mais en fait peu utilisées par les plongeurs. En formation, l'EEPM utilise des tables spécifiques.

Les plus citées sont les Doris et les tables Jean-Pierre Imbert, mais aussi IANTD, MT92, marine canadienne ...

Certains, comme les corailleurs, utilisent des Doris « bricolées », quelques plongeurs souterrains aussi.

La polémique est ouverte : les tables existantes ne sont pas adaptées à l'activité pour certains, d'autres les considèrent comme les seules procédures de décompression validées.

L'usage des logiciels de décompression se généralise. Ils permettent d'éditer des tables qui sont utilisées par la majorité des gens.

Les plus souvent cités sont GAP, Z-plan, Decoplanner, Abyss, Decom.

Les avis sont partagés sur les logiciels de décompression, si la majorité des gens les utilisent, la plupart pensent qu'ils ne sont pas tous fiables et que le paramétrage de ces logiciels est délicat et sujet à risques.

Apparemment, peu de gens ont les connaissances théoriques suffisantes pour utiliser en toute connaissance de causes ces paramétrages. Il semble que les choix effectués soient souvent assez empiriques : on choisit le conservatisme maximal par prudence.

## ***les moyens d'informations***

Les moyens d'information les plus cités sont les revues, Internet et l'avis des autres plongeurs. Les avis diffèrent sur la fiabilité de ces médias, mais sont équitablement répartis entre les trois.

## ***les attentes***

En règle générale, les plongeurs sont satisfaits des formations qu'ils ont suivies ou qu'ils se sont bâties tout seuls. Ils regrettent parfois un manque de pratique.

### 3) LE PROFIL PERSONNEL DU PLONGEUR - plongeurs mélanges -

La population est essentiellement masculine, avec une seule fille.

La moyenne d'âge est d'environ 38 ans pour les plongeurs au trimix.

- ❖ Sur les 19 réponses de plongeurs aux mélanges expérimentés, on peut compter :
  - 9 plongeurs exclusivement en mer
  - 3 pratiquant en mer et en milieu souterrain
  - 7 adeptes de la plongée souterraine
    - notons que sur les 7 plongeurs souterrains, 3 plongent aussi en mer, mais uniquement sur épaves

Les niveaux des plongeurs aux mélanges se répartissent ainsi :

Niveau	Nombre	Commentaires
P3	7	3 plongeurs souterrains 1 en Guadeloupe, plongeur mer 2 aux Etats Unis, plongeurs souterrains et mer 1 belge, plongeur mer
P4	1	1 à la Réunion, plongeuse mer
E2	2	1 plongeur souterrain 1 plongeur mer
E3	2	1 plongeur souterrain 1 plongeur mer
E4	7	1 plongeur souterrain 6 plongeurs mer

On remarque que les qualifications des plongeurs en mer sont très élevées, à l'opposé de celles des personnes éloignées de l'hexagone, et dans une certaine mesure des plongeurs souterrains qui sont présents partout.

## 5.2 QUESTIONNAIRE DESTINE AUX PERSONNES PREVOYANT PROCHAINEMENT UNE FORMATION

Les questions étaient organisées en trois parties :

- la première concerne l'opinion du plongeur par rapport à la plongée profonde, l'usage d'oxygène en décompression, l'usage des mélanges ternaires et les compléments spécifiques de formation à apporter.
- la deuxième précise les attentes du plongeur et ses motivations personnelles.
- la dernière donne un profil de la personne et du plongeur

### **1) OPINIONS - futurs plongeurs mélanges -**

#### ***l'opinion du plongeur par rapport à la plongée profonde***

Nous rencontrons des opinions voisines de celles exprimées par les plongeurs expérimentés. Le goût de la technique apparaît cependant moins, au profit de la découverte d'un milieu nouveau.

Le corailleur y voit un intérêt de travail.

La logistique à mettre en place est perçue de manière assez générale. Elle est axée sur la sécurité et les notions de base comme la redondance de matériel, l'équipement du bateau sont avancées.

Dans l'ensemble, la sécurité est décrite comme un renforcement des pratiques habituelles en plongée classique.

#### ***l'usage d'oxygène en décompression***

Nous retrouvons dans les réponses la notion de sécurité, de plaisir et d'une moins grande fatigue.

Des inquiétudes malgré tout apparaissent concernant le risque d'erreur engendré par une plus grande technicité.

#### ***l'usage des mélanges ternaires***

De même, l'usage de mélanges ternaires est ressenti comme un gage de sécurité, permettant d'accéder en toute lucidité à des profondeurs plus importantes.

La plongée sur épaves n'est pas le seul objectif, la beauté des tombants et de la faune est aussi mise en avant.

#### ***les compléments spécifiques de formation à apporter***

Nous avons ici le même avis que celui des plongeurs trimix, c'est à dire une demande de complément de formation en théorie et en pratique. Peu de demandes particulières sont évoquées.

## **2) LES OBJECTIFS DU PLONGEUR - futurs plongeurs mélanges -**

### **les motivations personnelles de la personne**

Les motivations annoncées pour entreprendre une formation à la plongée trimix reprennent les avis énoncés pour la plongée profonde. Sont cités : la sécurité et le plaisir de la découverte de sites et d'épaves vierges.

### **quelle formation est attendue**

Les formations attendues sont des stages de plongée au trimix aboutissant à une relative autonomie en fin de cursus.

Le prix de ces formations est globalement perçu comme cher, mais justifié.

Les personnes ne sont pas particulièrement déterminées sur le cadre dans lequel ils plongeront à la fin de la formation.

### **les moyens d'informations**

On retrouve dans les réponses les trois médias cités également : revues, Internet et discussion avec l'entourage.

Pour la fiabilité de l'information, nous avons par ordre décroissant : les livres et revues, puis Internet et enfin les connaissances.

### **les attentes**

La plupart des gens attendent d'une formation qu'elle soit assurée par des gens compétents, réalisée en sécurité, et pas trop chère.

## **3) LE PROFIL PERSONNEL DU PLONGEUR - futurs plongeurs mélanges -**

La population est essentiellement masculine, avec une seule fille.

La moyenne d'âge est d'environ 35 ans pour les « futurs » plongeurs aux mélanges.

- ❖ Sur les 19 réponses de futurs plongeurs aux mélanges, tous plongent en mer, 3 ont suivi un stage d'initiation à la plongée souterraine et pratiquent peu cette activité, un seulement pratique régulièrement la plongée souterraine.

Les niveaux des « futurs » plongeurs se répartissent ainsi :

Niveau CMAS	Nombre	Commentaires
P 2★	1	1 plongeur souterrain et Nitrox
P 3★	9	7 plongeurs Nitrox 2 Dive Master 1 corailleur professionnel 2 qualifiés trimix
P 4★	1	1 plongeur Nitrox
E 1★	1	1 N5 FFESSM, owsi Padi
E 3★	5	3 moniteurs Nitrox 1 classe IIB
E 4★	2	2 moniteurs Nitrox

Nous avons noté les niveaux CMAS, car beaucoup de réponses émanaient de plongeurs ayant une qualification étrangère.

On remarque que les plongeurs étrangers sont en majorité des P 3★, et il n'y a qu'un seul plongeur souterrain.

Les plongeurs ont, en grande majorité, la qualification Nitrox et souhaitent prolonger leur formation par la plongée trimix.

## 6. CONCLUSIONS

Les conclusions que l'on peut dégager de cette étude sont que la préparation d'un plongeur, pour l'amener à l'autonomie, nécessite actuellement une solide formation théorique, associée à beaucoup de pratique.

Les évolutions actuelles en direction des logiciels de décompression impliquent une bonne approche théorique de ces modes de calculs pour pouvoir les utiliser en connaissance de cause et surtout en sécurité.

La mise en place de plongées profondes dans la zone des 100m et au-delà implique un tel investissement matériel, financier et humain que les limitations vont s'imposer d'elles-mêmes. Nous retrouverons là des acteurs motivés, que ces contraintes ne feront pas reculer devant les objectifs à atteindre.

La question qui émerge des opinions recueillies dans les questionnaires est de savoir si la plongée aux mélanges ternaires est plus sûre qu'à l'air.

La réponse que l'on peut apporter est globalement affirmative.

En effet, pour un plongeur de bon niveau, entraîné à la plongée profonde, les conditions pour assurer des plongées au trimix en sécurité sont assez faciles à réunir :

- disposition du bon mélange
- utilisation des tables adéquates
- planification minutieuse de la plongée

Si l'on reporte sur la structure les problèmes délicats de la fabrication du mélange et de la planification de la plongée, il n'est pas difficile de mettre la plongée aux mélanges ternaires à la portée de bons plongeurs.

Ceci nous ouvre peut-être les voies de la démocratisation de ce type de plongée.

On peut imaginer que nous sommes dans la phase de développement de cette activité où les pratiquants, nous l'avons vu, sont des plongeurs de haut niveau technique.

Il est possible que nous soyons confrontés à deux types d'utilisateurs :

- les plongeurs qui ont des objectifs précis, épaves ou siphons à franchir et qui seront à la recherche de techniques toujours plus performantes.
- ceux qui recherchent une sécurité et un plaisir dans l'exploration de sites dans la zone des 40 à 60m.

Les premiers vont rechercher la performance et utiliseront des mélanges fortement hypoxiques, les seconds seront peut-être un peu plus « consommateurs ».

Une tendance que l'on rencontre déjà depuis quelques temps dans les formations outre-atlantique, est d'utiliser des trimix normoxiques.

Ces mélanges, contenant le même pourcentage d'oxygène que l'air, ne permettront pas de descendre plus bas. Le temps de décompression n'est guère plus important qu'en plongée à l'air et le prix de revient est abordable.

Ils vont donner aussi, du fait du recul de la narcose, beaucoup plus de plaisir et de sécurité qu'à l'air dans l'espace lointain. Ils conviennent parfaitement à un usage plus touristique.

Les limitations actuelles viennent plutôt de la difficulté à mettre en place des réseaux d'assistance prêts à intervenir sur des incidents en plongée trimix. Les caissons ne possèdent pas tous les matériels et les compétences nécessaires.

Cependant la progression très rapide de cette discipline, associée à une évolution non moins rapide des matériels, comme les ordinateurs multi-gaz, devrait permettre rapidement d'atteindre le stade de maturité nécessaire à un développement en toute sécurité.

L'arrivée des recycleurs aux mélanges ternaires devrait aussi apporter un regard nouveau sur ces techniques en pleine évolution, mais comme disait Kipling, ceci est une autre histoire.

Serge Césarano, septembre 2001

## Références :

- BENNET & ELLIOT : The physiology and medicine of diving, 4th Edition, WB Saunders Company Ltd, 1993
- BERT Paul: La pression barométrique. Edition du CNRS, 1979
- BLANCHARD : La décompression, Extrait du colloque des Instructeurs du 21 et 22 mars 1998, Strasbourg
- BRUN et STRAZZERA : Plongée sur épaves, guide technique. Les Presses Littéraires.1999
- Commission Nationale de Plongée Souterraine (CNPS) : Rapport F.Pinna sur les logiciels de décompression en plongée souterraine, 2000
- CNPS : Recommandations pour la pratique de la plongée souterraine aux mélanges, 2000
- Conférences Européennes de Consensus sur la Médecine Hyperbare : 19-21 sept 1994 à Lille et 9-11 mai 1996 à Marseille, Professeur Wattel, CHU de Lille
- FRUCTUS et SCIARLI : La plongée, santé-sécurité. EMOM, 1980
- JUVENSPAN et THOMAS : Plonger aux mélanges. Eau Noire, 1992
- LE PECHON : Médecine de la plongée et du travail en atmosphère hyperbare. La physique et ses applications à la plongée. Cochin. Paris.
- LE PECHON : Traduction d'une conférence au DIVE TEK 95 à Birmingham
- Un nouveau modèle de décompression pour l'ordinateur de plongée : [ZH-L 8 ADT](#). Distribué par la firme UWATEC, Antibes, France.
  
- JOURNAL OFFICIEL : Arrêté du 28 août 2000
  
- Les revues SUBAQUA et OCTOPUS pour l'ensemble de leurs articles

## Quelques adresses de sites Internet :

- Informations décompression : <ftp://ftp.decompression.org/pub/>
- La mailing list Techdiver : <http://www.nwls.com/list-archive>
- Site perso de Vuong Hu Nghia : <http://kiki-tech.webprovider.com/>
- IANTD : <http://209.203.202.229/index1.html>
- GUE : <http://www.gue.com>
- TDI : <http://www.tdisdi.com/tdi/sandp/sandp.html>
- Trimix : <http://www.cisatlantic.com/trimix/trimix.html>