Mémoire d'Instructeur du Comité Interrégional
Ile de France Picardie

TRIMIX ELEMENTAIRE
Avantages et inconvénients

Protocole d'étude Doppler & application sur plongée trimix

Table des matières

Remerciements : 3
Mise en garde 4
Introduction 4
PREMIERE PARTIE : 5
La mesure par doppler 5
Historique 5
Que mesure-t-on ? L'effet Doppler 5
Remarque : 5
Présentation de l'appareil 5
Fonctionnement 6
Position de la sonde pour la prise de mesure 7
Protocole 8
Echelle de mesures 8
Corrélation stade/add 9
Les situations de mesures / Les résultats obtenus 9
Comparaison avec banque de données plongées air 10
Conclusion 1 : ..... 11~~10~~
DEUXIEME PARTIE : 12
PLONGEE DANS LA ZONE 40 / 60 mètres : trimix versus air 12
Comparaison plongée air / trimix 12
CONCLUSION 17
Bibliographie 19
ANNEXES 20

Remerciements :

Merci à Richard Pothier et à Jean Michel Oyhenart d'avoir accepter d'être mes parrains.

Merci à Daniel Carturan pour son enseignement.

Merci à Bernard Jan pour son soutien.

Merci à François Paulhac pour sa relecture et ses conseils.

Mise en garde

Le présent mémoire n'a pas pour prétention d'avoir une valeur scientifique, il se veut simplement une illustration concrète des phénomènes « bulleux » lors de plongées dites « tek ». La comparaison avec des plongées classiques a pour but de jeter les bases d'une réflexion sur la sécurité en plongée mélanges.

Introduction

Le présent mémoire comporte deux parties : la première partie expose le protocole de mesure doppler et jette les bases d'une comparaison entre l'utilisation de l'air versus le trimix vis à vis de la présence de bulles circulantes à la sortie de la plongée ; la deuxième partie expose les avantages et les inconvénients liés à l'emploi du trimix dans une zone d'évolution où la plongée à l'air reste possible et autorisée. Nous effectuerons également une comparaison entre les cursus trimix élémentaire FFESSM et TDI.
Deux « événements » sont à l'origine de ce travail :

- l'interview du Docteur Gardette publiée dans Subaqua (Subaqua n° 205 mars-avril 2006)
- La mise en place de formation trimix dans mon département à mon initiative.

La première chose qui frappe lorsque l'on aborde la formation trimix est le caractère « aléatoire » du choix des procédures de décompression.
Les différents logiciels (abyss, V planner…) possèdent un certain nombre de facteurs paramétrables et leurs réglages sont plus le fruit de discussions (rapport d'expérience) et de ressenti que de considérations réellement scientifiques.

La deuxième chose remarquable est la sensation de confort et de sécurité.
Dans son interview, le docteur Gardette proposait aux personnes intéressées par la détection des bulles par doppler, de prendre contact avec lui. Cette proposition venait donc à point nommé, et nous nous sommes mis en contact avec lui. Avec une idée bien précise : et si le trimix, en plus d'apporter des avantages indéniables de confort, ne pénalisait pas les plongeurs au niveau de la décompression et que cette décompression ne générait pas plus de bulles qu'une plongée « traditionnelle » à l'air. La possibilité d'utiliser un outil de diagnostic tel que le doppler pour tenter d'apporter des éléments à cette réflexion moyennant une formation méritait d'être saisie.

Alors, le trimix élémentaire n'aurait-il que des avantages ? Si c'est le cas qu'est ce qui fait qu'il tarde à se développer ?

PREMIERE PARTIE :

La mesure par doppler

Historique

Que mesure-t-on ? L'effet Doppler

Son fonctionnement, basé sur la réflexion de faisceaux d'ultrasons selon le principe du sonar, utilise l'effet Doppler pour détecter des bulles circulant dans le sang. Alors que les structures anatomiques fixes réfléchissent les ultrasons sans changement de fréquence, les éléments mobiles comme les globules du sang ou comme les bulles, réfléchissent ces mêmes ultrasons avec un changement de fréquence appelé effet Doppler [1].
La modulation résultante est alors identifiée par l'appareil, la vitesse des bulles étant supérieure à celle des différents constituants du sang ; le signal perçu étant d'autant plus aigu que la vitesse des éléments est grande, nous sommes alors capable d'identifier le signal des bulles.

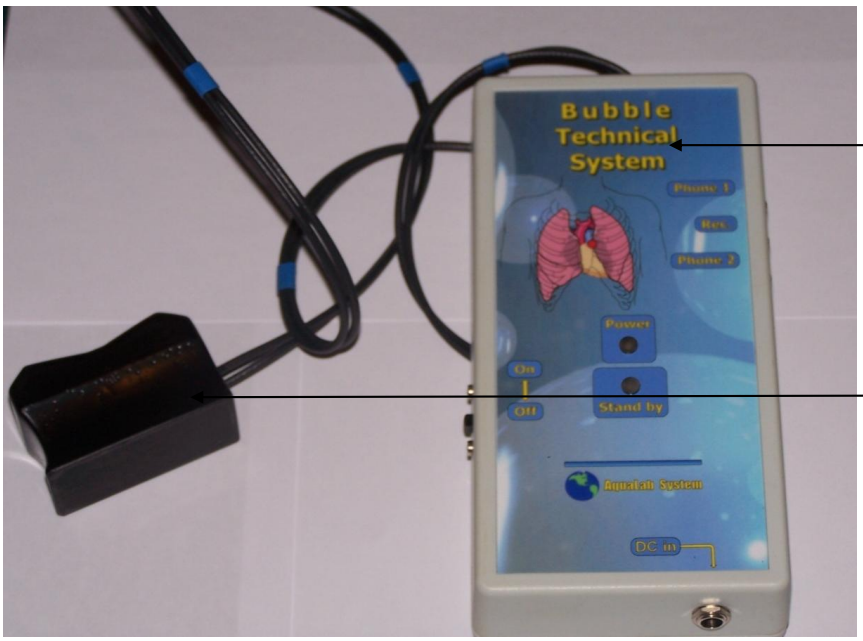
Remarque :

Il existe deux types d'appareil de mesure doppler :

- Le doppler continu :
  Méthode non invasive de référence actuellement, il présente l'avantage d'être transportable et peu coûteux. Il a également ces limites : nécessite un opérateur entraîné pour garantir la reproductibilité des mesures et difficulté à détecter les bulles de petites dimensions. Ce type d'appareil a été utilisé pour notre étude et nos mesures Il est présenté ci-dessous ;
- Le doppler pulsé :
  Equipement plus encombrant, pas transportable mais présente l'avantage de pouvoir recueillir non seulement un son mais aussi une image. De plus la « profondeur » du « tir » doppler peut être ajustée.

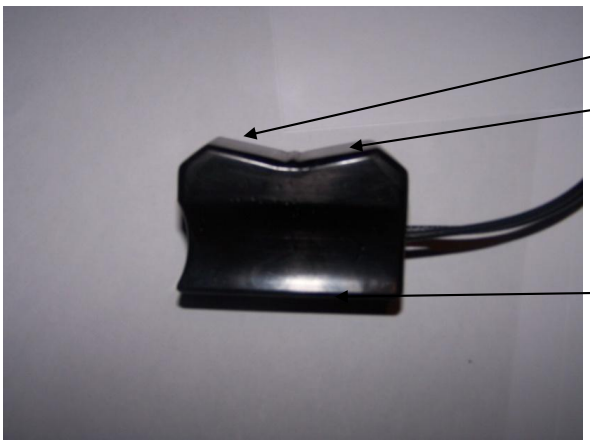
Si les deux techniques procurent des performances comparables chez des sujets jeunes et athlétiques, le Doppler pulsé semble fournir un gain lorsque l'exploration ultrasonore est difficile en raison du morphotype du sujet [2].

Présentation de l'appareil



Appareil

Sonde



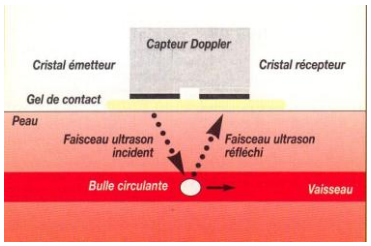
émetteur

récepteur

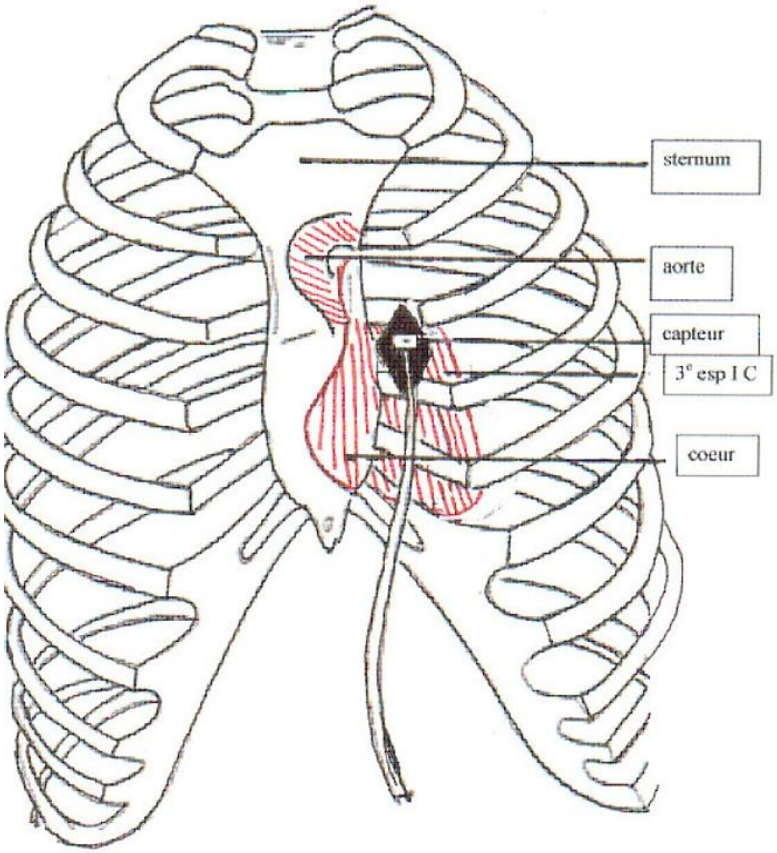
Sonde d'émission et de réception des ultra-sons

Fonctionnement

La sonde à ultrasons comprend deux pastilles : l'une émettrice, l'autre réceptrice.
Leurs axes respectifs font un angle de 12°, de telle façon que les faisceaux émis et réfléchis se croisent dans une zone sous cutanée située entre 4 et 7 cm de profondeur [3]. Ce lieu de croisement correspond « à la profondeur moyenne » à laquelle on trouve l'artère pulmonaire.



Position de la sonde pour la prise de mesure



On vise la région périphérique du cœur et plus précisément l'artère pulmonaire qui draine l'ensemble du retour veineux : en effet, c'est là que l'on a la plus grande concentration de bulles Le positionnement est effectué en aveugle, en cherchant à obtenir un flux éjectionnel dans l'artère pulmonaire, libre des bruits de réflexion des structures valvulaires.

Protocole

Généralement, la détection des bulles est pratiquée dans les 5 à 10 minutes après la fin de la plongée, puis recommencée 30 à 60 minutes après. Il est possible d'améliorer la sensibilité de la détection en effectuant des flexions des jambes.
Cette détection est enregistrée pour pouvoir être analysée « au calme » et éventuellement écoutée par un autre opérateur ; de plus, il est important d'avoir procédé à un enregistrement préalable utilisé comme « témoin ».
Cet appareil est utilisable par n'importe quelle personne à condition d'avoir reçu une formation minimale. En effet, D. Carturan et B. Gardette regrettaient lors de mes rencontres avec eux de recevoir des enregistrements impossibles à interpréter: le plus souvent à cause d'un défaut de placement de la sonde. Cette formation s'est, pour ma part, déroulée en deux temps: une explication et une première sensibilisation par B. Gardette et la présence de D. Carturan pendant un stage (les mesures trimix présentées dans ce mémoire ont été validées lors de cette formation).
Il est évident que l'utilisation de cet appareil nécessite un entrainement mais compte tenu des informations qu'il peut apporter, il serait intéressant que des mesures puissent être effectuées sur des stages de plongées tek mais peut être aussi de manière plus large…

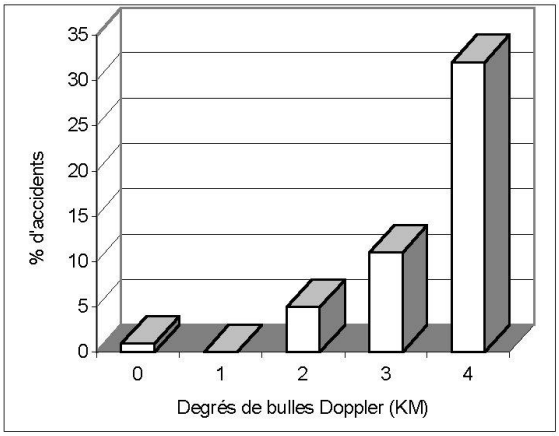
Echelle de mesures

CODE D'EVALUATION (SPENCER ET JOHANSON 1974)

Degré 0	:	Absence totale de bulles.
Degré 1	:	Une bulle occasionnelle isolée, la majorité des systoles sont dépourvues de bulles.
Degré 2	:	Plusieurs systoles, mais moins de la moitié contient des bulles isolées ou groupées.
Degré 3	:	Presque toutes ou toutes les systoles contiennent des bulles isolées ou groupées, mais le bruit cardiaque est perceptible.
Degré 4	:	Les signaux bulles présents à chaque systole couvrent les signaux physiologiques.

Corrélation stade/add

Tout l'intérêt de ce genre de mesure est qu'il existe une corrélation importante entre la présence de bulles circulantes et la probabilité de développer un ADD.
Cette corrélation est significative pour les stades 3&4.
Il faut tout de même garder à l'esprit que l'absence de bulles circulantes n'écarte pas tout risque d'accident.



Pourcentages d'accidents à chaque degré de bulles détectées au repos (code KM), d'après Sawatzky et Nishi, 1990)

Les situations de mesures / Les résultats obtenus

- Choix du logiciel de décompression :

Nous avons opté pour l'utilisation du logiciel V-planner pour deux raisons :

- son coût raisonnable : environ 100€ pour 3 postes
- son utilisation par une agence reconnue, car la première à avoir mis en place des cursus tek : International Association of Nitrox and Technical Divers (IANTD)

- **Stage trimix avancé (plongées entre 40 & 80 mètres)**

(Le profil des plongées est dans les annexes de 1 à 5)

	Plongée#1	Plongée#2	Plongée#3	Plongée#4	Plongée#5
Profondeur	**58**	**60**	**71**	**72**	**76**
Durée plongée	20	16	15	20	12
Durée immersion	54	53	59		
Mélange fond	Tx 20/45	Tx 16/42	Tx 16/42	Tx 16/42	Tx 16/42
Déco 1	Nx 40	Tx 27/20	Tx 27/20	Tx 27/20	Tx 27/20
Déco 2	O2	Nx 40	Nx 40	Nx 40	Nx 40
Déco 3		O2	O2	O2	O2

Mesures effectuées avec l'aide de Daniel Carturan

2 plongeurs 5 plongées chacun
9 plongées sans bulle
1 plongée stade 1 (plongée#2)

Moyenne « stade de bulles » est de 0,1

Comparaison avec banque de données plongées air

Les données suivantes sont tirées de l'étude réalisées par Daniel Carturan. Cette étude publiée en 2002 visait à établir une corrélation entre la vitesse de remontée et le degré de bulles.
Je n'ai retenu ici que la première mesure à heure de sortie + 10 minutes.

Plongée : 35 mètres Durée : 30 minutes Paliers air selon table MT92

Il apparaît que sur les 28 plongeurs (et plongées)
16 présentent un stade de bulles supérieur à 0

- **12 présentent un stade 1 ou 2**
- **La moyenne « stade de bulles » est de 1,04**

Mis en forme : Normal

Conclusion 1 :

Bien sûr, le nombre de plongées contrôlées est insuffisant pour tirer des conclusions définitives.
Il a été démontré que l'utilisation de mélange oxygéné lors des phases de décompression était de nature à réduire la présence de bulles dans la circulation sanguine [4]. L'utilisation de ce type de mélanges au palier lors de plongées trimix (nitrox ou O2 pur) concoure donc à minimiser la présence de bulles, ce qui a pu être observé à l'occasion du stage organisé où à la sortie les plongeurs présentent un taux de bulles circulantes très inférieur à ce qui peut être observé chez des plongeurs air après une plongée "ordinaire". Cela constituerait donc un avantage de la plongée trimix.
Lors du stage trimix, toutes les décompressions ont été menées en utilisant un conservatisme de +2 sur le logiciel V-planner. Ce choix résulte de la prise en compte de sensations lors des premières plongées (avant enregistrement) qui faisaient apparaître une certaine fatigue, cette observation a été corroborée par la suite par un moniteur de centre de plongée « spécialisé » en plongée mélange.
Il paraît donc intéressant de poursuivre cette étude en augmentant le corpus de plongées étudiées, et le cas échéant d'effectuer des mesures avec un conservatisme différent.

Une autre piste qui me parait également intéressante à explorer serait d'établir un protocole d'étude trimix versus air dans lequel on fixerait des paramètres stricts de plongée, avec dans les deux cas une décompression réalisée en utilisant de l'oxygène pur.

DEUXIEME PARTIE :

PLONGEE DANS LA ZONE 40 / 60 mètres : trimix versus air

Cette zone de plongée illustre parfaitement l'intérêt de la plongée trimix : en effet si l'air apparaît comme le mélange normal jusqu'à 40 mètres et qu'au-delà de 60 mètres son utilisation est interdite, les « traditionnels » vont s'engouffrer dans l'argumentaire qui consiste à dire que de toute façon « eux » à 60 mètres ils sont parfaitement lucides. Certes, et je dois avouer que, avant d'y avoir « gouté », je n'en voyais pas l'utilité.
Le déclic ? Une plongée trimix sur le Léopoldville, plongée que j'avais auparavant réalisée une vingtaine de fois à l'air, et l'impression que tout était plus clair !!!

Comparaison plongée air / trimix

a. Limites :

Afin d'illustrer ce propos, je me propose de comparer les profils de plongée à 4 profondeurs différentes : 50 ; 55 ; 60 et 65 mètres selon 4 protocoles : air, air plus oxygène, trimix, trimix plus oxygène.
Un sujet de débat est la PpO2 maximale pour un mélange fond : les écoles américaines préconisent 1,4 bars et la réglementation française autorise jusqu'à 1,6 bars. J'ai choisi de prendre comme valeur 1,5 bars, non pas parce que c'est au milieu mais parce que cela correspond sensiblement à la PpO2 de l'air à 60 mètres.
Le mélange trimix sera fabriqué pour obtenir une profondeur équivalente narcotique de 30 mètres (Pp N2 : 3,2 bars).
Le temps de plongée sera de 15 minutes.

b. Mélanges trimix:

Profondeur	% 02 (PpO2=1,5bars)	% N2 (PpN2=3,2bars)	Composition trimix (O2/He)
50	25	53	25/22
55	23	49	23/28
60	21	45	21/34
65	20	42	20/38

c. Décompression comparée pour une plongée de 15 minutes.
(les run-times des plongées sont en annexe 6)

Les deux premières colonnes sont calculées en utilisant les tables MN 9O pour les premiers chiffres, les données en italiques et celles concernant les plongées trimix sont calculées en utilisant le logiciel V planner.

Profondeur	*Déco*	*Air*	*Air+O2*	*Trimix*	*Trimix+02*
50	Durée totale plongée	30 / ***48***	27/ ***34***	37	29
	Profondeur 1er palier	6 / ***21***	6/ ***21***	21	18
55	Durée totale plongée	37 / ***57***	34/ ***40***	48	35
	Profondeur 1er palier	6/ ***27***	6/ ***24***	27	24
60	Durée totale plongée	44/ ***64***	38/ ***46***	62	43
	Profondeur 1er palier	9/ ***27***	9/ 27	33	27
65	Durée totale plongée	52 / ***73***	44/***52***	76	52
	Profondeur 1er palier	9/ ***33***	9/ ***30***	36	36

d. Remarques :

- La vitesse de remontée pour les plongées air est de 15 mètres minutes, or cette vitesse n'est pratiquement plus utilisée : les ordinateurs et les timers indiquant plutôt une vitesse de 10 mètres minutes.
- Il apparaît que le modèle utilisé par V planner est de toute façon plus conservateur que celui des MN 90. En effet, les chiffres en gras et italiques qui apparaissent dans le tableau sont les indications de décompression résultant de l'utilisation de V planner.

e. Observations :

On remarque que les paramètres de plongée à l'air et au trimix avec O2 sont très proches. Jusqu'à 60 mètres (voire 65 si on accepte une PpO2 de 1,6bars), le trimix utilisé a une teneur en oxygène supérieure ou égale à celle de l'air (on parle alors de triox).
Certains utilisent leur ordinateur air pour gérer ce type de plongée.

f. Conclusions :

Au niveau des impératifs de décompression et si on accepte d'emporter une bouteille d'O2, il apparaît clairement que l'utilisation du trimix n'est pas un handicap !
De plus la durée totale des plongées restant inférieure à l'heure, on peut raisonnablement envisager de réaliser ces plongées en vêtement humide.
De plus le confort apporté par la totale lucidité et la facilité de ventilation liée à l'allègement du mélange vont dans le sens de la sécurité.
L'utilisation d'O2 aux paliers pour de telles plongées ne peut souffrir aucune critique.
Ces plongées "trimix élémentaires" sont donc accessibles, sans modification importante de leur équipement habituel, à la majorité des plongeurs qui s'aventurent déjà dans la zone des 40/50 mètres à l'air.

2- Les freins au développement du trimix

Les inconvénients liés au trimix sont de trois ordres : la difficulté de fabrication des mélanges, le cout de l'hélium et de l'oxygène et enfin la nécessité d'une qualification complémentaire.

a. Fabrication

Pour la fabrication plusieurs solutions s'offrent à nous, les plus courants sont :

- Le transvasement d'hélium à partir d'une B50 puis l'ajout de nitrox au moyen d'un stick
- Le transvasement d'hélium à partir d'une B50 puis le transvasement d'O2 puis le complément à l'air
- Le gonflage à partir de deux sticks en comprimant donc directement le trimix.

Pour ma part j'utilise la première méthode, elle présente l'avantage d'être extrêmement simple et évite les manipulations d'oxygène pur. Son inconvénient est celui de toutes les méthodes de transvasement à savoir la nécessité d'avoir un minimum de pression dans la B50 et donc l'impossibilité de vider totalement les B50 d'hélium , à moins d'utiliser un surpresseur . Le problème concernant le surpresseur est son coup à l'achat et sa relative lenteur, par contre il permet d'utiliser totalement les B50 d'oxygène mais aussi d'hélium.
La troisième méthode que j'ai eue l'occasion de voir utiliser semble être plus économique mais également la plus rapide, les réticences concernant son utilisation portent sur une potentielle usure prématurée du compresseur.

b. Coût

Actuellement le prix d'une B50 d'hélium est d'environ 100€, celui d'une B50 d'oxygène est d'environ 50 €.
Pour un bloc de 5 litres d'oxygène et un 15 litres de trimix 21/34 gonflé à 230 bars, pour une plongée à 60 mètres
Il faut pour le trimix :

- 80 bars d'He soit 1200 litres soit 12 €
- 20 bars d'O2 soit 300 litres soit 1,5 €

Pour l'oxygène :

- 5 litres à 200 bars soit 1000 litres soit 5€ mais la totalité du bloc ne serait pas utilisé sur une seule plongée

Globalement le surcoût d'une telle plongée serait de moins de 15€.

c. Réglementation

L'arrêté du 28 février 2008 relatif aux dispositions réglementaires du code du sport impose une qualification pour la plongée aux mélanges et la mise en place d'un dispositif particulier sur le site de plongée trimix.

Code du sport : plongée trimix *Art. A. 322-113*

une ligne lestée de descente et de remontée en l'absence d'autre ligne de repère ;
– une ou plusieurs bouteilles de secours équipées de détendeurs et contenant un mélange adapté à la plongée organisée ;
– une ligne de décompression adaptée à la plongée organisée, déployée ou prête à être déployée à partir d'une embarcation ou d'un point fixe ;
– une copie de la ou des planifications de plongées prévues

L'impératif d'une ligne de remontée, qui peut être difficile à mettre en place, fait sans aucun doute un obstacle à l'organisation de plongée trimix.
On peut s'interroger sur la nécessité d'une telle logistique ou à contrario regretter que de telles obligations ne soient pas imposées pour des plongées au-delà de l'espace lointain à l'air. En effet, soit on considère que le danger qui nécessite la mise en place d'un tel dispositif est lié à la profondeur et dans ce cas il est accru par une plongée à l'air soit on considère qu'il est lié à la « lourdeur » de la décompression ce qui est vrai pour du trimix profond mais, comme je viens de le montrer, erroné en cas de trimix dans la zone 40-60 mètres.

d. Qualification :

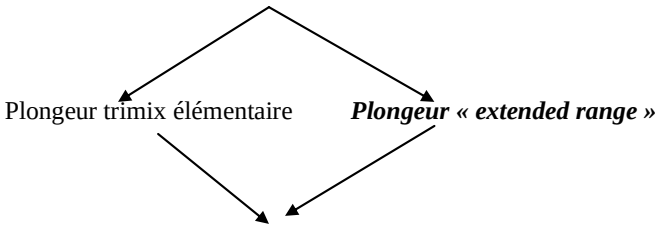
Il m'a paru intéressant de comparer les cursus fédéraux de plongeur trimix élémentaire à ceux mis en œuvre par une agence américaine pionnière dans la plongée tech :TDI (Technical Diving International).

- Définition :

Les deux écoles définissent le trimix élémentaire par une teneur minimale du mélange en O2 à savoir 18% et une profondeur limite d'évolution qui est de 70 mètres pour la FFESSM et de 60 mètres pour TDI. Par contre seule la FFESSM indique une teneur minimum de 10% d'hélium. (Cette limitation fédérale semble condamner l'utilisation de la « giclette » , méthode qui consiste à injecter un peu d'hélium dans de l'air et d'utiliser les tables de plongée air sous prétexte que la proportion de gaz inerte est inchangée).

- Situation dans le cursus :
    - Dans le cursus fédéral, il faut être plongeur nitrox confirmé et justifier de minimum 15 plongées au-delà de 40 mètres
    - Dans le cursus TDI il faut être soit plongeur nitrox confirmé soit plongeur « procédures de décompression » et justifier d'un total de plongées au moins égal à 100.
        - Le plongeur « procédure de décompression » est capable de plonger à l'air jusqu'à 45 mètres et choisir d'effectuer sa décompression à l'air au nitrox ou à l'oxygène.
    - La formation trimix élémentaire TDI est parallèle à la formation « extended range » qui donne accès à la profondeur de 55 mètres à l'air avec décompression nitrox et oxygène.

Plongeur nitrox confirmé/ +***Plongeur « procédures de décompression »***



(En ***gras et italique TDI uniquement***)

- Compte tenu de la position dans le cursus TDI et des prérogatives du plongeur trimix élémentaire et celles de « l' extended range » , on peut supposer que ce choix est offert pour des considérations pratiques liées à la possibilité d'obtenir des mélanges mais on peut aussi envisager une autre explication liée elle à des considérations géographiques : en effet l'utilisation du trimix élémentaire sera d'autant plus appréciable que les conditions de plongée ne sont pas « faciles » : cette explication m'est inspirée par mon expérience propre, j'ai en effet beaucoup plus ressenti les bienfaits de ce mélange sur le Léopoldville en Manche, que sur le Donator en Méditerranée. Ce qui signifie que le recours à l'utilisation d'un mélange trimix élémentaire est d'autant plus conseillé que les conditions de plongées sont « difficiles ».

- Différences de formations dans le cursus :
  - Nitrox confirmé :
    - TDI : limité à 40 mètres
    - FFESSM : limité à 60 mètres
  - Procédure de décompression :
    - Limité à 45 mètres à l'air, toute déco possible
  - Extended range :
    - Limité à 55 mètres à l'air, toute déco possible
  - Trimix élémentaire :
    - TDI : limité à 60 mètres avec mélange contenant au moins 18% O2
    - FFESSM : limité à 70 mètres avec mélange contenant au moins 18% O2

- Observations :

La formation plongeur nitrox confirmé comprend obligatoirement l'utilisation d'oxygène pur aux paliers, à partir de là deux possibilités sont offertes :

- soit l'utilisation d'un narghilé, matériel plutôt « lourd » à mettre en place.
- soit l'utilisation de bouteille pony pour la décompression, cette option sera choisie dans la plupart des cas.

Par conséquent, la différence des cursus ne peut être qu'apparente si la formation nitrox est exploitée de façon optimale : c'est-à-dire en introduisant certes la valeur sécuritaire du nitrox, « safe air » qui à mon sens a plus sa place en formation nitrox mais aussi en montrant les avantages d'une décompression à l'oxygène pure mais aussi au nitrox.
Pour les formations que j'organise la plongée du matin est toujours une plongée profonde (au-delà de 40 mètres) avec décompression au nitrox ou à l'oxygène pur ; la plongée de l'après-midi se fait en respirant directement un mélange nitrox. De cette manière on s'aperçoit que l'on inclut les deux formations intermédiaires TDI.
La formation trimix s'inscrit alors directement dans le prolongement en apportant un surplus de sécurité sans rajouter de difficulté technique supplémentaire.

- Remarque :

L'utilisation du dévidoir et du parachute de palier pour se signaler dés les premiers paliers qui sont généralement plus profond en trimix ainsi que la fabrication et le respect d'un run-time constituent les grandes nouveautés dans l'enseignement du trimix dans le cursus fédéral.
Autant la partie concernant le run-time est justifiable, bien que pour tirer partie de l'utilisation de mélange de déco lors du nitrox confirmé, on pourrait déjà l'introduire par exemple en planifiant les plongées profondes soit avec les tables MN 90 pour les paliers à l'O2 soit en utilisant un logiciel pour une déco avec nitrox.
Autant, l'utilisation du dévidoir parait plus discutable : quelle est son utilité ?
S'il s'agit de se signaler lors de décompressions longues, alors pourquoi ne pas l'introduire dans un cursus de plongées au-delà de 40 mètres, comme c'est d'ailleurs le cas chez TDI ?

CONCLUSION

L'utilisation du trimix pour des plongées dans la zone des 40/ 60 mètres concoure à améliorer la sécurité du plongeur.
En éliminant tout risque de narcose et d'essoufflement grâce au gaz utilisé, on diminue de façon sensible et évidente les risques d'accidents.

Les risques liés à la décompression ne semblent pas être plus élevés que lors de plongées à l'air, voire même, comme le montre la première partie de ce travail qu'il y ait moins de bulles circulantes en sortie de plongée probablement grâce aux mélanges suroxygénés utilisés lors des phases de décompression.

On peut s'interroger sur le découpage fait au niveau des prérogatives du plongeur trimix élémentaire définies dans la loi française : n'aurait-il pas été plus judicieux de limiter la profondeur à 60 (ou 65) mètres, zone qui permet l'utilisation d'un triox proche au niveau de la décompression de l'air ? Est-il judicieux d'attendre la formation trimix élémentaire pour enseigner des techniques de plongée profondes, telle l'utilisation d'un dévidoir ?

Je pense que le développement du trimix élémentaire est à favoriser, qu'il correspond à une réelle avancée en matière de sécurité. Il y a deux obstacles à lever :

- Le problème du coût qui pourrait faire l'objet de contrats négociés au niveau fédéral.

- L’impossibilité d’enseigner le trimix sans être trimix confirmé, à ce titre TDI qui avait dans un premier temps supprimé la qualification moniteur trimix élémentaire vient de la remettre dans son cursus de formation.

Ne pourrait-on pas envisager la création d’une qualification « moniteur trimix élémentaire » ?

Proposition de cursus :

* un nombre de plongées trimix élémentaire.
* un nombre de plongée trimix « lourd »
* l’organisation d’au moins un stage nitrox confirmé
* techniques de fabrication de mélanges.
* participation comme « assistant » à la réalisation et l’organisation d’une formation de plongeur trimix élémentaire ?

Vous l’aurez compris, je crois à la chance du trimix élémentaire compte tenu de la sécurité et du confort qu’il peut apporter. En revanche, le trimix confirmé qui est une expérience des plus passionnantes et intéressantes, me semble être voué à rester un secteur confidentiel de par sa lourdeur logistique et son prix.

Bibliographie

- Interview de Bernard Gardette :Subaqua n° 205 mars-avril 2006)

- Conférence de Daniel Carturan, « des plongeurs et des bulles »

- Ascent rate, age, maximal oxygen uptake, adiposity, and circulating venous bubbles after diving.(D. Carturan, A. Boussuges, P. Vanuxem, A. Bar-Hen, H. Burnet and B. Gardette Journal of Applied Physiology 93:1349-1356, 2002.

[1] La détection des bulles circulantes, A. Boussuges, JE Blatteau, D. Carturan, B. Gardette – Physiologie et Médecine de la plongée – Ellipses

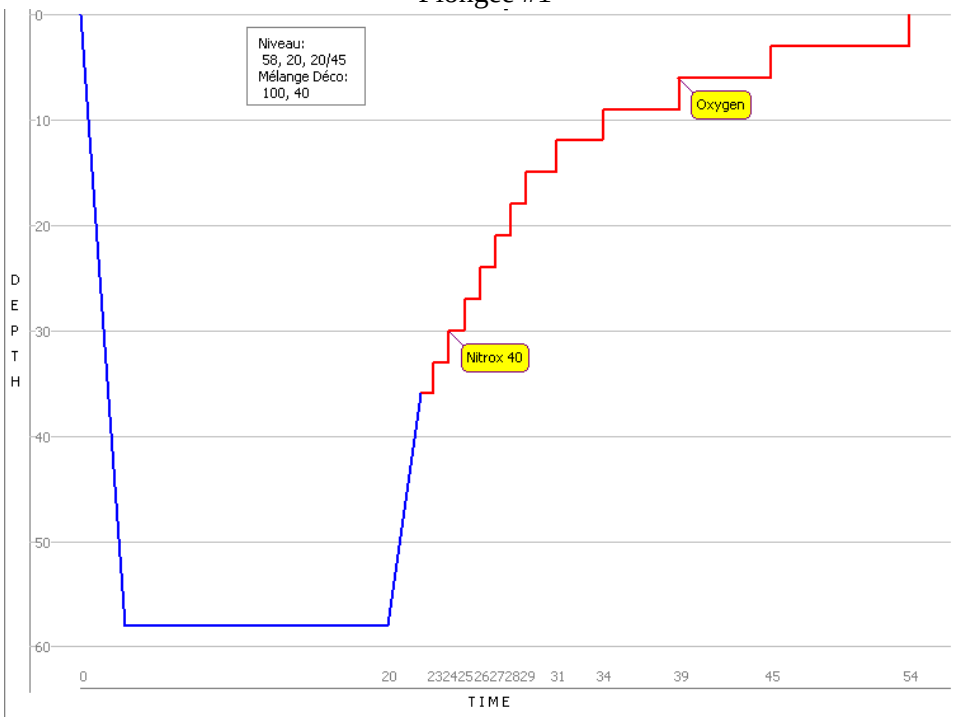
[2] Détection de l'embolie gazeuse veineuse : Doppler continu ou échocardiographie doppler pulsé BOUSSUGES A. ; LAFAY V.; CARTURAN D. ; FONDARAI J. A. ; SAINTY J. M. ; GARDETTE B. , Bulletin de médecine subaquatique et hyperbare, 1999, vol. 9, n°2, pp. 29-37

[3] Détecteur de bulles doppler – Notice d'utilisation – Aqualab System

ANNEXES

ANNEXE 1

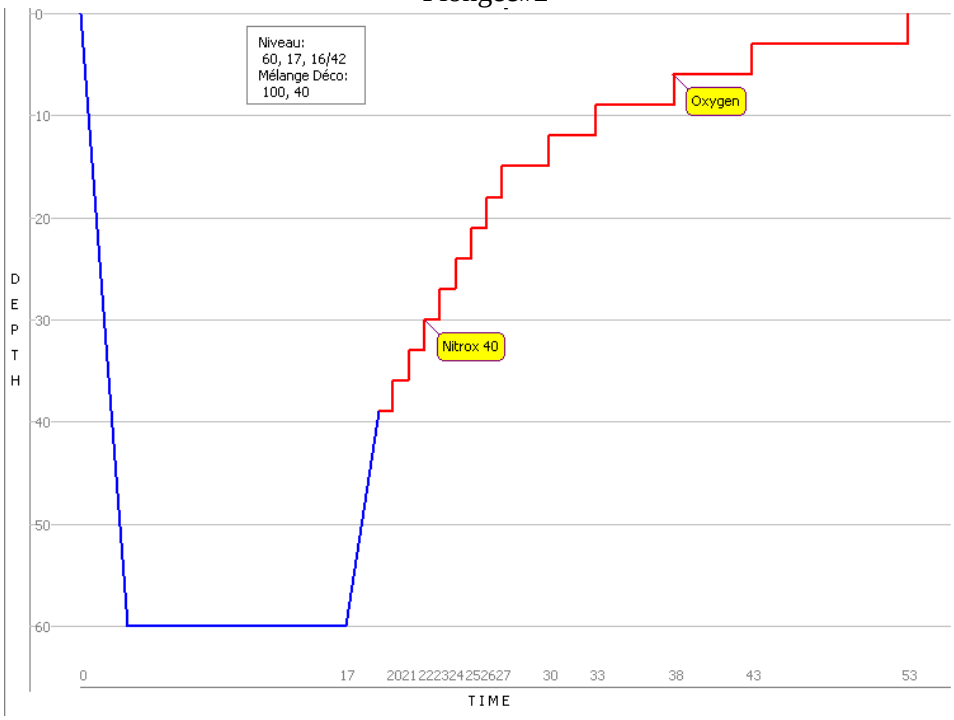
Plongée #1



Desc à 58m			(3)	Trimix 20/45
Niveau 58m		16:08	(20)	Trimix 20/45
Rem. à 36m			(22)	Trimix 20/45
Palier à	36m	0:48	(23)	Trimix 20/45
Palier à	33m	1:00	(24)	Trimix 20/45
Palier à	30m	1:00	(25)	Nitrox 40
Palier à	27m	1:00	(26)	Nitrox 40
Palier à	24m	1:00	(27)	Nitrox 40
Palier à	21m	1:00	(28)	Nitrox 40
Palier à	18m	1:00	(29)	Nitrox 40
Palier à	15m	2:00	(31)	Nitrox 40
Palier à	12m	3:00	(34)	Nitrox 40
Palier à	9m	5:00	(39)	Nitrox 40
Palier à	6m	6:00	(45)	Oxygen
Palier à	3m	9:00	(54)	Oxygen
Surface			(54)	Oxygen

ANNEXE 2

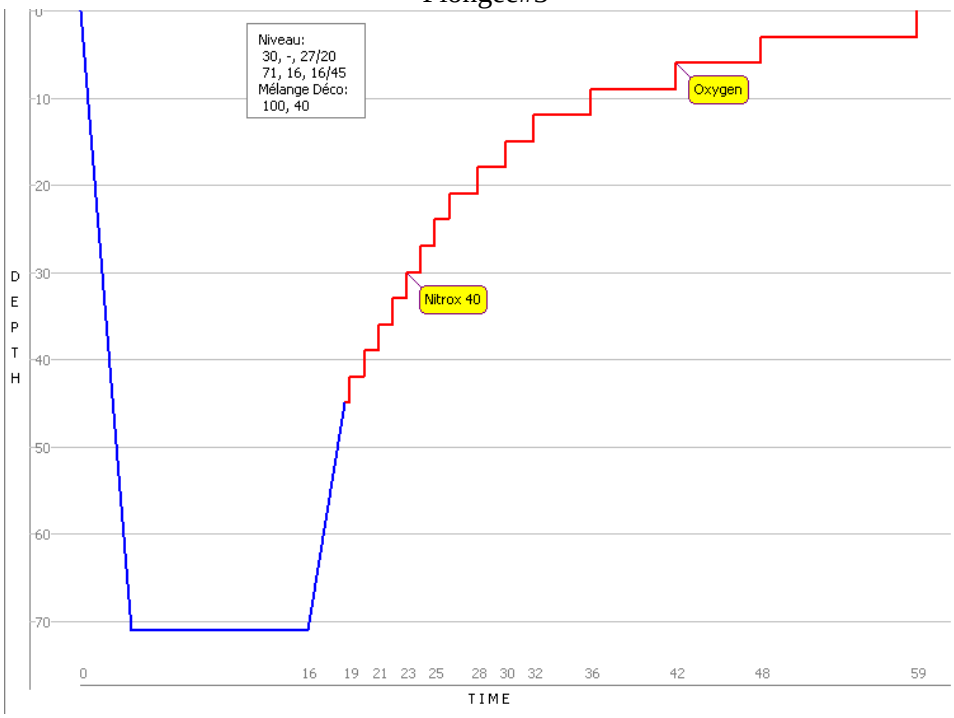
Plongée#2



Desc à 60m		(4)	Trimix 16/42	15m/min Descente.	
Niveau 60m	13:00	(17)	Trimix 16/42	1,11 ppO2, 27m ead, 31m end	
Rem. à 39m		(19)	Trimix 16/42	-10m/min Remontée.	
Palier à	39m	0:54	(20)	Trimix 16/42	0,78 ppO2, 16m ead, 18m end
Palier à	36m	1:00	(21)	Trimix 16/42	0,73 ppO2, 14m ead, 17m end
Palier à	33m	1:00	(22)	Trimix 16/42	0,68 ppO2, 13m ead, 15m end
Palier à	30m	1:00	(23)	Nitrox 40	1,59 ppO2, 20m ead
Palier à	27m	1:00	(24)	Nitrox 40	1,47 ppO2, 18m ead
Palier à	24m	1:00	(25)	Nitrox 40	1,35 ppO2, 16m ead
Palier à	21m	1:00	(26)	Nitrox 40	1,23 ppO2, 14m ead
Palier à	18m	1:00	(27)	Nitrox 40	1,11 ppO2, 11m ead
Palier à	15m	3:00	(30)	Nitrox 40	1,00 ppO2, 9m ead
Palier à	12m	3:00	(33)	Nitrox 40	0,88 ppO2, 7m ead
Palier à	9m	5:00	(38)	Nitrox 40	0,76 ppO2, 4m ead
Palier à	6m	5:00	(43)	Oxygen	1,60 ppO2, 0m ead
Palier à	3m	10:00	(53)	Oxygen	1,30 ppO2, 0m ead
Surface			(53)	Oxygen	-10m/min Remontée.

ANNEXE 3

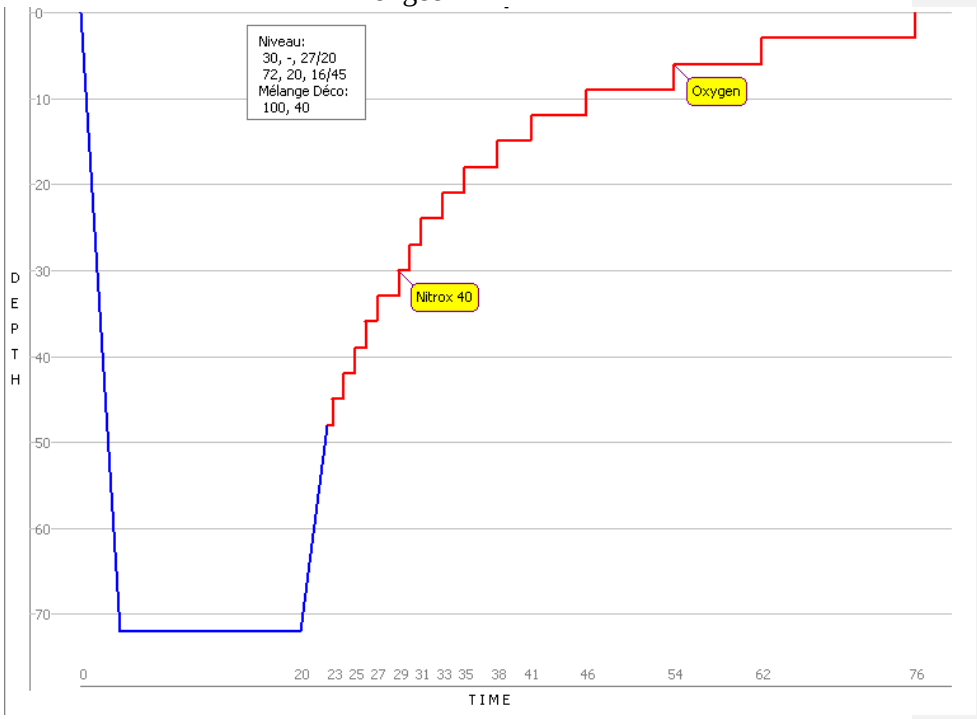
Plongée#3



Desc à 30m		(2)	Triox 27/20	15m/min Descente.	
Desc à 60m		(4)	Trimix 16/45	15m/min Descente.	
Desc à 71m		(4)	Trimix 16/45	18m/min Descente.	
Niveau 71m	11:23	(16)	Trimix 16/45	1,29 ppO2, 30m ead, 35m end	
Rem. à 45m		(18)	Trimix 16/45	-10m/min Remontée.	
Palier à	45m	0:24 (19)	Trimix 16/45	0,87 ppO2, 17m ead, 20m end	
Palier à	42m	1:00 (20)	Trimix 16/45	0,83 ppO2, 16m ead, 19m end	
Palier à	39m	1:00 (21)	Trimix 16/45	0,78 ppO2, 14m ead, 17m end	
Palier à	36m	1:00 (22)	Trimix 16/45	0,73 ppO2, 13m ead, 15m end	
Palier à	33m	1:00 (23)	Trimix 16/45	0,68 ppO2, 11m ead, 14m end	
Palier à	30m	1:00 (24)	Nitrox 40	1,59 ppO2, 20m ead	
Palier à	27m	1:00 (25)	Nitrox 40	1,47 ppO2, 18m ead	
Palier à	24m	1:00 (26)	Nitrox 40	1,35 ppO2, 16m ead	
Palier à	21m	2:00 (28)	Nitrox 40	1,23 ppO2, 14m ead	
Palier à	18m	2:00 (30)	Nitrox 40	1,11 ppO2, 11m ead	
Palier à	15m	2:00 (32)	Nitrox 40	1,00 ppO2, 9m ead	
Palier à	12m	4:00 (36)	Nitrox 40	0,88 ppO2, 7m ead	
Palier à	9m	6:00 (42)	Nitrox 40	0,76 ppO2, 4m ead	
Palier à	6m	6:00 (48)	Oxygen	1,60 ppO2, 0m ead	
Palier à	3m	11:00 (59)	Oxygen	1,30 ppO2, 0m ead	
Surface		(59)	Oxygen	-10m/min Remontée	

ANNEXE 4

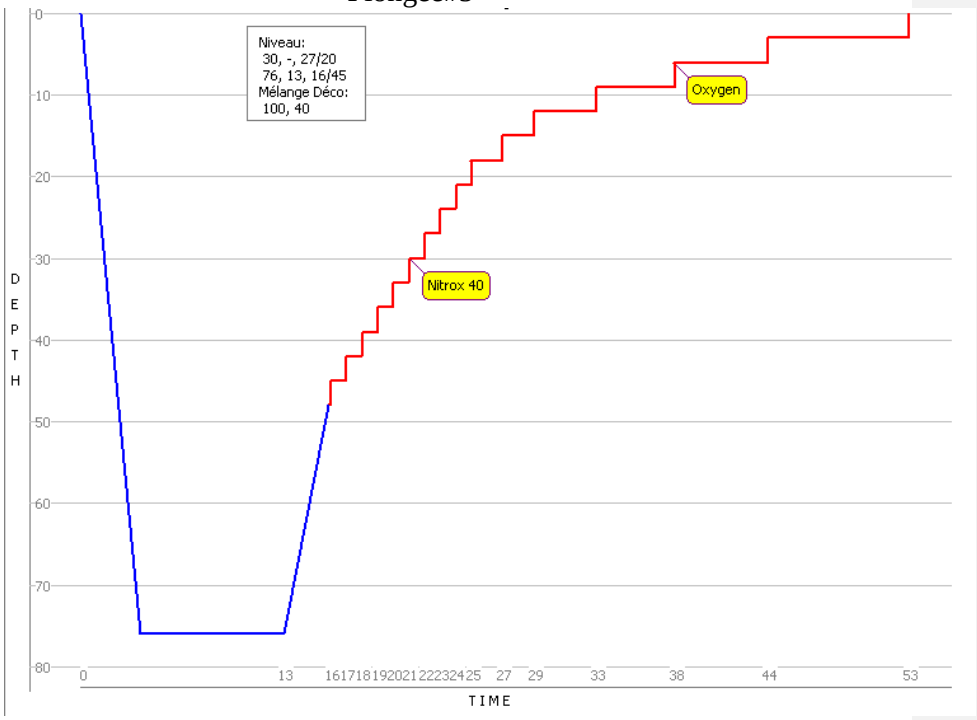
Plongée#4



Desc à 30m			(2)	Triox 27/20	15m/min Descente.	
Desc à 60m			(4)	Trimix 16/45	15m/min Descente.	
Desc à 72m			(4)	Trimix 16/45	18m/min Descente.	
Niveau 72m		15:20	(20)	Trimix 16/45	1,30 ppO2, 30m ead, 35m end	
Rem. à 48m			(22)	Trimix 16/45	-10m/min Remontée.	
Palier à	48m	0:36	(23)	Trimix 16/45	0,92 ppO2, 19m ead, 22m end	
Palier à	45m	1:00	(24)	Trimix 16/45	0,87 ppO2, 17m ead, 20m end	
Palier à	42m	1:00	(25)	Trimix 16/45	0,83 ppO2, 16m ead, 19m end	
Palier à	39m	1:00	(26)	Trimix 16/45	0,78 ppO2, 14m ead, 17m end	
Palier à	36m	1:00	(27)	Trimix 16/45	0,73 ppO2, 13m ead, 15m end	
Palier à	33m	2:00	(29)	Trimix 16/45	0,68 ppO2, 11m ead, 14m end	
Palier à	30m	1:00	(30)	Nitrox 40	1,59 ppO2, 20m ead	
Palier à	27m	1:00	(31)	Nitrox 40	1,47 ppO2, 18m ead	
Palier à	24m	2:00	(33)	Nitrox 40	1,35 ppO2, 16m ead	
Palier à	21m	2:00	(35)	Nitrox 40	1,23 ppO2, 14m ead	
Palier à	18m	3:00	(38)	Nitrox 40	1,11 ppO2, 11m ead	
Palier à	15m	3:00	(41)	Nitrox 40	1,00 ppO2, 9m ead	
Palier à	12m	5:00	(46)	Nitrox 40	0,88 ppO2, 7m ead	
Palier à	9m	8:00	(54)	Nitrox 40	0,76 ppO2, 4m ead	
Palier à	6m	8:00	(62)	Oxygen	1,60 ppO2, 0m ead	
Palier à	3m	14:00	(76)	Oxygen	1,30 ppO2, 0m ead	
Surface			(76)	Oxygen	-10m/min Remontée.	

ANNEXE 5

Plongée#5



Desc à 30m		(2)	Triox 27/20	15m/min Descente.	
Desc à 60m		(4)	Trimix 16/45	15m/min Descente.	
Desc à 76m		(4)	Trimix 16/45	18m/min Descente.	
Niveau 76m	8:07	(13)	Trimix 16/45	1,37 ppO2, 32m ead, 37m end	
Rem. à 48m		(15)	Trimix 16/45	-10m/min Remontée.	
Palier à	48m	0:12	(16)	Trimix 16/45	0,92 ppO2, 19m ead, 22m end
Palier à	45m	1:00	(17)	Trimix 16/45	0,87 ppO2, 17m ead, 20m end
Palier à	42m	1:00	(18)	Trimix 16/45	0,83 ppO2, 16m ead, 19m end
Palier à	39m	1:00	(19)	Trimix 16/45	0,78 ppO2, 14m ead, 17m end
Palier à	36m	1:00	(20)	Trimix 16/45	0,73 ppO2, 13m ead, 15m end
Palier à	33m	1:00	(21)	Trimix 16/45	0,68 ppO2, 11m ead, 14m end
Palier à	30m	1:00	(22)	Nitrox 40	1,59 ppO2, 20m ead
Palier à	27m	1:00	(23)	Nitrox 40	1,47 ppO2, 18m ead
Palier à	24m	1:00	(24)	Nitrox 40	1,35 ppO2, 16m ead
Palier à	21m	1:00	(25)	Nitrox 40	1,23 ppO2, 14m ead
Palier à	18m	2:00	(27)	Nitrox 40	1,11 ppO2, 11m ead
Palier à	15m	2:00	(29)	Nitrox 40	1,00 ppO2, 9m ead
Palier à	12m	4:00	(33)	Nitrox 40	0,88 ppO2, 7m ead
Palier à	9m	5:00	(38)	Nitrox 40	0,76 ppO2, 4m ead
Palier à	6m	6:00	(44)	Oxygen	1,60 ppO2, 0m ead
Palier à	3m	9:00	(53)	Oxygen	1,30 ppO2, 0m ead
Surface			(53)	Oxygen	-10m/min Remontée

ANNEXE 6

PLONGEE 50 mètres TRIMIX 25/22

Desc à 50m		(2)	Triox 25/22	25m/min Descente.	
Niveau 50m	13:00	(15)	Triox 25/22	1,49 ppO2, 30m ead, 37m end	
Rem. à 21m		(17)	Triox 25/22	-10m/min Remontée.	
Palier à	21m	0:06	(18)	Triox 25/22	0,77 ppO2, 11m ead, 14m end
Palier à	18m	1:00	(19)	Triox 25/22	0,70 ppO2, 9m ead, 12m end
Palier à	15m	1:00	(20)	Triox 25/22	0,62 ppO2, 7m ead, 9m end
Palier à	12m	2:00	(22)	Triox 25/22	0,55 ppO2, 5m ead, 7m end
Palier à	9m	2:00	(24)	Triox 25/22	0,47 ppO2, 3m ead, 5m end
Palier à	6m	2:00	(26)	Triox 25/22	0,40 ppO2, 1m ead, 2m end
Palier à	5m	11:00	(37)	Triox 25/22	0,37 ppO2, 0m ead, 2m end
Surface			(37)	Triox 25/22	-10m/min Remontée.

PLONGEE 50 mètres TRIMIX 25/22 + Oxygène

Desc à 50m		(2)	Triox 25/22	25m/min Descente.	
Niveau 50m	13:00	(15)	Triox 25/22	1,49 ppO2, 30m ead, 37m end	
Rem. à 18m		(18)	Triox 25/22	-10m/min Remontée.	
Palier à	18m	0:48	(19)	Triox 25/22	0,70 ppO2, 9m ead, 12m end
Palier à	15m	1:00	(20)	Triox 25/22	0,62 ppO2, 7m ead, 9m end
Palier à	12m	1:00	(21)	Triox 25/22	0,55 ppO2, 5m ead, 7m end
Palier à	9m	2:00	(23)	Triox 25/22	0,47 ppO2, 3m ead, 5m end
Palier à	6m	1:00	(24)	Oxygen	1,60 ppO2, 0m ead
Palier à	5m	5:00	(29)	Oxygen	1,50 ppO2, 0m ead
Surface			(29)	Oxygen	-10m/min Remontée

PLONGEE 55 mètres TRIMIX 23/28

Desc à 55m		(2)	Triox 23/28	25m/min Descente.	
Niveau 55m	12:48	(15)	Triox 23/28	1,49 ppO2, 30m ead, 37m end	
Rem. à 27m		(17)	Triox 23/28	-10m/min Remontée.	
Palier à	27m	0:12	(18)	Triox 23/28	0,85 ppO2, 13m ead, 17m end
Palier à	24m	1:00	(19)	Triox 23/28	0,78 ppO2, 11m ead, 14m end
Palier à	21m	1:00	(20)	Triox 23/28	0,71 ppO2, 9m ead, 12m end
Palier à	18m	1:00	(21)	Triox 23/28	0,64 ppO2, 7m ead, 10m end
Palier à	15m	2:00	(23)	Triox 23/28	0,57 ppO2, 5m ead, 8m end
Palier à	12m	3:00	(26)	Triox 23/28	0,50 ppO2, 4m ead, 6m end
Palier à	9m	3:00	(29)	Triox 23/28	0,44 ppO2, 2m ead, 4m end
Palier à	6m	2:00	(31)	Triox 23/28	0,37 ppO2, 0m ead, 1m end
Palier à	5m	17:00	(48)	Triox 23/28	0,34 ppO2, 0m ead, 1m end
Surface			(48)	Triox 23/28	-10m/min Remontée.

PLONGEE 55mètres TRIMIX 23/28 + Oxygène

Desc à 55m		(2)	Triox 23/28	25m/min Descente.	
Niveau 55m	12:48	(15)	Triox 23/28	1,49 ppO2, 30m ead, 37m end	
Rem. à 24m		(18)	Triox 23/28	-10m/min Remontée.	
Palier à	24m	0:54	(19)	Triox 23/28	0,78 ppO2, 11m ead, 14m end
Palier à	21m	1:00	(20)	Triox 23/28	0,71 ppO2, 9m ead, 12m end
Palier à	18m	1:00	(21)	Triox 23/28	0,64 ppO2, 7m ead, 10m end
Palier à	15m	1:00	(22)	Triox 23/28	0,57 ppO2, 5m ead, 8m end
Palier à	12m	2:00	(24)	Triox 23/28	0,50 ppO2, 4m ead, 6m end
Palier à	9m	4:00	(28)	Triox 23/28	0,44 ppO2, 2m ead, 4m end
Palier à	6m	1:00	(29)	Oxygen	1,60 ppO2, 0m ead
Palier à	5m	6:00	(35)	Oxygen	1,50 ppO2, 0m ead
Surface			(35)	Oxygen	-10m/min Remontée

PLONGEE 60 mètres TRIMIX 21/34

Desc à 60m		(2)	Triox 21/34	25m/min Descente.	
Niveau 60m	12:36	(15)	Triox 21/34	1,46 ppO2, 30m ead, 36m end	
Rem. à 33m		(17)	Triox 21/34	-10m/min Remontée.	
Palier à	33m	0:18	(18)	Triox 21/34	0,90 ppO2, 14m ead, 18m end
Palier à	30m	1:00	(19)	Triox 21/34	0,84 ppO2, 13m ead, 16m end
Palier à	27m	1:00	(20)	Triox 21/34	0,77 ppO2, 11m ead, 14m end
Palier à	24m	1:00	(21)	Triox 21/34	0,71 ppO2, 9m ead, 12m end
Palier à	21m	1:00	(22)	Triox 21/34	0,65 ppO2, 8m ead, 10m end
Palier à	18m	2:00	(24)	Triox 21/34	0,59 ppO2, 6m ead, 8m end
Palier à	15m	3:00	(27)	Triox 21/34	0,52 ppO2, 4m ead, 6m end
Palier à	12m	3:00	(30)	Triox 21/34	0,46 ppO2, 2m ead, 4m end
Palier à	9m	5:00	(35)	Triox 21/34	0,40 ppO2, 1m ead, 3m end
Palier à	6m	3:00	(38)	Triox 21/34	0,34 ppO2, 0m ead, 1m end
Palier à	5m	24:00	(62)	Triox 21/34	0,31 ppO2, 0m ead, 0m end
Surface			(62)	Triox 21/34	-10m/min Remontée.

PLONGEE 60 mètres TRIMIX 21/34 + Oxygène

Desc à 60m		(2)	Triox 21/34	25m/min Descente.	
Niveau 60m	12:36	(15)	Triox 21/34	1,46 ppO2, 30m ead, 36m end	
Rem. à 30m		(18)	Triox 21/34	-10m/min Remontée.	
Palier à	27m	1:00 (19)	Triox 21/34	0,77 ppO2, 11m ead, 14m end	
Palier à	24m	1:00 (20)	Triox 21/34	0,71 ppO2, 9m ead, 12m end	
Palier à	21m	1:00 (21)	Triox 21/34	0,65 ppO2, 8m ead, 10m end	
Palier à	18m	2:00 (23)	Triox 21/34	0,59 ppO2, 6m ead, 8m end	
Palier à	15m	2:00 (25)	Triox 21/34	0,52 ppO2, 4m ead, 6m end	
Palier à	12m	3:00 (28)	Triox 21/34	0,46 ppO2, 2m ead, 4m end	
Palier à	9m	5:00 (33)	Triox 21/34	0,40 ppO2, 1m ead, 3m end	
Palier à	6m	1:00 (34)	Oxygen	1,60 ppO2, 0m ead	
Palier à	5m	9:00 (43)	Oxygen	1,50 ppO2, 0m ead	
Surface		(43)	Oxygen	-10m/min Remontée.	

PLONGEE 65 mètres TRIMIX 20/42

Desc à 65m		(2)	Trimix 20/42	25m/min Descente.	
Niveau 65m	12:24	(15)	Trimix 20/42	1,49 ppO2, 26m ead, 33m end	
Rem. à 36m		(17)	Trimix 20/42	-10m/min Remontée.	
Palier à	36m	0:06 (18)	Trimix 20/42	0,91 ppO2, 12m ead, 17m end	
Palier à	33m	1:00 (19)	Trimix 20/42	0,85 ppO2, 11m ead, 15m end	
Palier à	30m	1:00 (20)	Trimix 20/42	0,80 ppO2, 9m ead, 13m end	
Palier à	27m	1:00 (21)	Trimix 20/42	0,74 ppO2, 8m ead, 11m end	
Palier à	24m	1:00 (22)	Trimix 20/42	0,68 ppO2, 6m ead, 10m end	
Palier à	21m	2:00 (24)	Trimix 20/42	0,62 ppO2, 5m ead, 8m end	
Palier à	18m	3:00 (27)	Trimix 20/42	0,56 ppO2, 3m ead, 6m end	
Palier à	15m	3:00 (30)	Trimix 20/42	0,50 ppO2, 2m ead, 4m end	
Palier à	12m	5:00 (35)	Trimix 20/42	0,44 ppO2, 1m ead, 3m end	
Palier à	9m	7:00 (42)	Trimix 20/42	0,38 ppO2, 0m ead, 1m end	
Palier à	6m	2:00 (44)	Trimix 20/42	0,32 ppO2, 0m ead, 0m end	
Palier à	5m	32:00 (76)	Trimix 20/42	0,30 ppO2, 0m ead, 0m end	
Surface		(76)	Trimix 20/42	-10m/min Remontée	

PLONGEE 65 mètres TRIMIX 20/42 + Oxygène

Desc à	65m		(2)	Trimix 20/42	25m/min Descente.			
Niveau	65m	12:24	(15)	Trimix 20/42	1,49	ppO2,	26m ead,	33m end
Rem. à	36m		(17)	Trimix 20/42	-10m/min Remontée.			
Palier à	36m	0:06	(18)	Trimix 20/42	0,91	ppO2,	12m ead,	17m end
Palier à	33m	1:00	(19)	Trimix 20/42	0,85	ppO2,	11m ead,	15m end
Palier à	30m	1:00	(20)	Trimix 20/42	0,80	ppO2,	9m ead,	13m end
Palier à	27m	1:00	(21)	Trimix 20/42	0,74	ppO2,	8m ead,	11m end
Palier à	24m	1:00	(22)	Trimix 20/42	0,68	ppO2,	6m ead,	10m end
Palier à	21m	1:00	(23)	Trimix 20/42	0,62	ppO2,	5m ead,	8m end
Palier à	18m	3:00	(26)	Trimix 20/42	0,56	ppO2,	3m ead,	6m end
Palier à	15m	3:00	(29)	Trimix 20/42	0,50	ppO2,	2m ead,	4m end
Palier à	12m	4:00	(33)	Trimix 20/42	0,44	ppO2,	1m ead,	3m end
Palier à	9m	7:00	(40)	Trimix 20/42	0,38	ppO2,	0m ead,	1m end
Palier à	6m	1:00	(41)	Oxygen	1,60	ppO2,	0m ead	
Palier à	5m	11:00	(52)	Oxygen	1,50	ppO2,	0m ead	