Recycleurs : un état des lieux des pratiques et perspectives

Olivier BELAUD

2012 - MEMOIRE D'ADMISSION A LA FONCTION D'INSTRUCTEUR

FFESSM
Bretagne
Pays de la Loire
Commission
Technique

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble des membres du collège des instructeurs du Comité inter régional Bretagne et Pays de la Loire, pour mon admission dans le cursus d'Instructeur Régional Stagiaire.

Particulièrement Laurent et Paul pour m'avoir parrainé dans cette aventure.

A Tom et Pascal pour m'avoir fait découvrir la plongée TEK et le recycleur.

A Brice pour m'avoir formé et à Christian pour son aide technique.

A tous les Instructeurs et moniteurs de l'inter région pour leur soutien et aide.

Enfin et surtout à Anne, mon épouse, sans qui je n'aurai pu faire ce travail de recherche et d'écriture et qui a su me soutenir et m'aider dans les moments difficiles.

Sommaire

Introduction 6

Partie 1- Le recycleur : d'hier à aujourd'hui.....7
- Historique.....7
  - Les scientifiques d'intéressent au monde sous marin.....8
  - Le siècle de la prospection maritime.....10
  - Quand les militaires s'intéressent aux recycleurs.....10
- Les recycleurs pour la plongée loisir en 2012.....12
  - Les recycleurs semi fermés.....12
    - Principe de fonctionnement.....12
    - Les plongeurs certifiés SCR en France.....13
    - Les perspectives de développement.....14
  - Les recycleurs circuit fermés.....15
    - Principe de fonctionnement.....15
    - Les plongeurs certifiés SCR en France.....16
    - Les perspectives de développement.....17

Partie 2- La règlementation des recycleurs en France.....18
- Que dit Le code du sport.....19
  - Le recycleur doit être homologué.....20
    - Que garantie cette norme.....21
  - Le plongeur doit être certifié.....23
  - La sécurité.....24
  - L'encadrement des palanquées.....24

- La direction de plongée.....24
- La formation en France : le Manuel de Formation Technique..... 27
- L'acquisition d'un recycleur : l'engagement du constructeur.....28
- Synthèse et préconisations.....29

Partie 3 – Aspects sociologiques sur la plongée en recycleur.....31
- Comment est perçue la plongée en recycleur.....33
  - Personnes représentatives.....33

- Analysons maintenant les questions posées.....35
- Le plongeur vers un certain communautarisme.....38
- Synthèse et préconisations.....41

Partie 4 –Risques : Analyse et réponses.....43
- Préparation du matériel : la rigueur.....44
  - Les gaz utilisés.....44
  - Etanchéité : garantie du système.....47
  - Vérification de l'électronique.....48
    - Principe de base.....49
    - Vieillissement et linéarité des cellules.....50
- Hypercapnie : le danger surnois.....51
  - Mécanique respiratoire du recycleur.....5.1
    - Le travail respiratoire.....52
    - Le déséquilibre hydrostatique.....53
  - L'absorption du CO2.....55
    - La Cartouche de chaux et le canister.....56
    - Une durée de vie qui a ses limites.....58
- Le risque Hyperoxique : danger pendant la descente et 60
- Le risque hypoxique : à tout moment.....62
- L'électronique : la redondance.....64
- L'autonomie.....65
- Le matériel noyé.....67
- La décompression.....67
- L'expérience et la formation du plongeur.....68
- La plongée en palanquée mixte.....69
- Risque biologique et désinfection.....70
- Synthèse et préconisations.....70

Partie 5 – Accidentologie : les études statistiques.....74
- Etude de la Marine Nationale.....76
- Analyse d'un expert : Bernard Gardette.....77
- Autres cas.....79
- Synthèse et préconisations.....79

Partie 6 – La pratique en Bretagne et Pays de la Loire……81
- Les certifications en Bretagne et Pays de la Loire……82
- Les pôles de développement dans la région……84
- Les initiatives locales……86
- Recevoir des plongeurs recycleurs dans sa structure……87
  - La plongée ponctuelle……87
  - Les séjours……87
  - La formation……88
  - Aspects économiques : le frein principal……..…..89

Partie 7 - Conclusion et perspectives de développement……...……90

Glossaire……94

Partie 8 – Annexes……95

Annexe 1- Questionnaire

Annexe 2- interview de Bernard Gardette

Annexe 3- Recycleur Analyse de 96 accidents répertoriés dans la Marine

Annexe 4- Manuel de Formation Technique

Introduction

La plongée en recycleur est une pratique de plus en plus répandue. L'usage de ce matériel permet une grande autonomie, et grâce à l'absence de bulles, le plongeur évolue réellement dans le monde du silence. En comparaison avec le circuit ouvert, le recycleur permet une autre approche de la plongée.

Pourtant, il semble que le recycleur souffre souvent d'une mauvaise réputation. Le recycleur est-il plus dangereux que le circuit ouvert ou bien est-ce le comportement du plongeur qui doit être mis en cause ? De même, quelques structures hésitent encore à accueillir les plongeurs en circuit fermé. Cette crainte est-elle fondée, est-ce une méconnaissance des pratiques ou mauvaise information ? Que dit la réglementation à ce sujet ?
En France, ce matériel semble surtout être utilisé en Méditerranée. Pourquoi l'usage du recycleur semble-t-il moins répandu en Bretagne - Pays de la Loire ?

Pour tenter de répondre à ces questions, il nous a semblé important de faire un état des lieux de la plongée en recycleur au sein de l'inter région Bretagne – Pays de la Loire.

Apres un bref historique, nous ferons un point sur la règlementation des machines et de leur usage en France. Volontairement, nous ne traiterons ici que des recycleurs reconnus par le Code du sport.

Nous nous intéresserons ensuite aux aspects sociologiques du plongeur recycleur à partir de l'analyse d'un questionnaire réalisé entre avril et juillet 2012.

Puis nous étudierons les différents risques de la plongée en recycleur et l'accidentologie associée, au travers des quelques études statistiques existantes.

Enfin nous nous attarderons sur la pratique en Bretagne et Pays de la Loire et sur les perspectives de développement.

Le recycleur d'hier à aujourd'hui

PARTIE 1

Historique

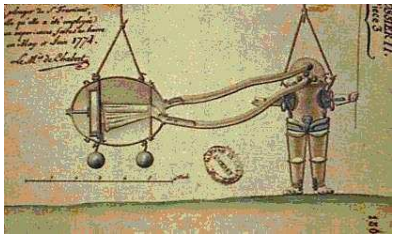
La plupart des historiens s'accordent à dire que le véritable recycleur a été créé par Henry Fleuss, ingénieur anglais, vers 1878. C'est en effet à cette époque que la notion de recyclage intervient, puisque Henry Fleuss introduit un système à base de chaux sodée pour fixer le dioxyde de carbone.

Néanmoins la plongée en circuit fermé est plus ancienne encore. Dès le 17ème siècle les inventeurs imaginent des techniques et des matériels pour s'immerger.

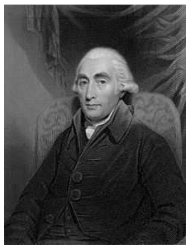
Les scientifiques s'intéressent au monde sous marin

En 1680, Borelli, ingénieur italien, dessine un plongeur équipé d'un sac en cuir gonflé d'air que les plongeurs utilisent en circuit fermé.

Borelli, 1680



Fréminet, 1772



Joseph Black, 1754

En 1726, Stéphen Hales, botaniste anglais, a l'idée de fabriquer un appareil pour permettre aux mineurs de respirer dans les galeries remplies de « gaz délétères ». Les mineurs inspirent et expirent ainsi dans un embout relié à un sac respiratoire en cuir, une sorte de faux poumon qui contient de l'air à la pression atmosphérique et est doublé d'un revêtement interne de flanelle qui,

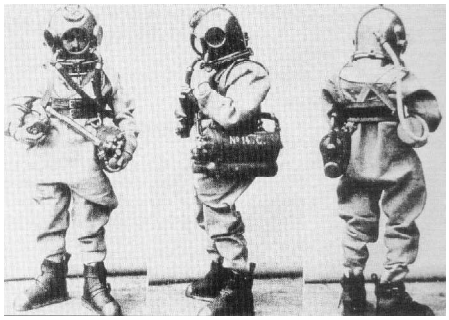
imbibée d'un mélange de sel et de phosphate de chaux, sert à purifier le mélange de gaz.

Vers 1772, le sieur Fréminet, invente et construit un système autonome à circuit fermé. L'expiration le tracasse, car la température dans le casque augmente et au bout d'un certain temps cela provoque des troubles, des nausées, des maux de tête. Vers 1754, soit 20 ans auparavant, Joseph Black a découvert le dioxyde de carbone, mais en 1772 on ne sait toujours pas comment le fixer.

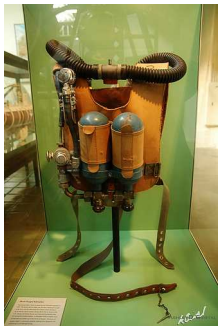
A partir de 1774, Joseph Priestley, publie ses textes scientifiques majeurs dans six volumes : « *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* ». Une découverte majeure apparait dans le 1er volume : « *dephlogisticated air »* plus connu sous le nom d'Oxygène.

Il faut donc attendre 1878 et l'invention du premier appareil respiratoire en circuit fermé par Henry Fleuss. Cet ingénieur anglais, modifie un scaphandre à casque pour en faire un appareil à « circuit fermé » à l'oxygène pur, il y ajoute un sac respiratoire et de la chaux sodée, destinée à fixer le dioxyde de carbone : **le recycleur est né.**

L'invention d'Henry Fleuss fait des émules et en 1886 Louis Boutan célèbre photographe sous-marin, plonge avec le scaphandre Cabirol. En 1893 il modifie le scaphandre pour en faire un scaphandre autonome à l'oxygène pur.



Louis Boutan, 1886



Recycleur Fleuss, musée de l'US Navy

Henry Fleuss, 1878

Le siècle de la prospection maritime

C'est au 20ème siècle que la célèbre société italienne de sauvetage, la SORIMA, utilise pour ses interventions, un scaphandre allemand « Neufelt-Kuhnhe ». En 1920, une société allemande met au point un modèle amélioré, qui à quelques modifications près est semblable aux scaphandres rigides Italiens et Américains. Sa nouveauté par rapport aux autres scaphandres tient à ce que celui-ci est autonome en gaz respiratoire. Le plongeur porte sur le dos du scaphandre des bouteilles d'oxygène et une cartouche de chaux sodée, interne à l'habit, assure l'absorption du gaz carbonique. Ce matériel connaitra sa consécration entre 1930 et 1932 lors de l'exploitation de l'épave de l'Egypt par les hommes de l'Artiglio.

Quand les militaires s'intéressent au recycleurs

En 1939 la seconde guerre éclate en Europe. L'armée allemande prend rapidement le contrôle des mers. L'Italie, alors alliée des allemands, se lance elle aussi dans la guerre sous-marine. Elle met en place des nageurs de combat et en 1940 constitue des équipes de plongeurs : les premiers s'appelaient des « *Sommozzatori* » et les autres des « *Nuattatori Guastatori* » ou hommes Gamma. Ces derniers opéraient par deux, assis à cheval sur des engins en forme de torpille qui transportaient une charge explosive ; ces machines étaient appelées des « Maïali ».

Les deux hommes d'équipage étaient équipés de lourdes combinaisons étanches et d'appareils respiratoires autonomes fonctionnant en circuit fermé à l'oxygène pur.

L'Allemagne, elle, ne s'intéresse que tardivement aux nageurs de combat. En 1944 la « Kriegsmarine » était depuis longtemps sur la défensive, dans le combat maritime. Elle crée « l'unité K », commando du même type que les plongeur Gamma italiens.

Aujourd'hui la marine française utilise des recycleurs pour ses opérations. Il existe deux modèles en fonction des missions : le CRABE et le FROGS

CRABE, Marine Nationale 2007

Le C.R.A.B.E. (Complete Range Autonomous Breathing Equipment), est le successeur du DC55. Un équipement dorsal semi-fermé (seule une faible proportion du gaz est expulsée de l'appareil) doté d'oxygène pur pour effectuer des paliers en autonomie complète. Il permet de plonger une quinzaine de minutes à 80 mètres ou 4 heures à 20 mètres.

Le F.R.O.G.S. (Full Range Oxygen Gas System) remplace l'Oxygers, qui bien que légèrement modernisé par le Comismer (COMmandement des Interventions Sous la MER) en 1997, était en service depuis 1957. Le FROGS est un appareil respiratoire ventral à circuit fermé. Il fonctionne à l'oxygène pur et dispose d'une autonomie de 4 heures en dynamique et de 6 heures en statique à une profondeur maximale de 7 mètres. Ne provoquant aucun rejet de gaz il est en service opérationnel dans la Marine depuis le 15 octobre 2002.

FROGS, Marine Nationale 2007

Les recycleurs pour la plongée loisir en 2012

Il existe plusieurs dizaines de recycleurs destinés à la plongée loisir dans le monde. On trouve deux types :

- ✓ Le recycleur semi-fermé
- ✓ Le recycleur fermé avec deux déclinaisons :
  - Le recycleur dit « mécanique » : mccr
  - Le recycleur dit « à gestion électronique » : eccr

Les recycleurs semi-fermés (SCR : semi closed rebreather)

Draeger « dolphin »

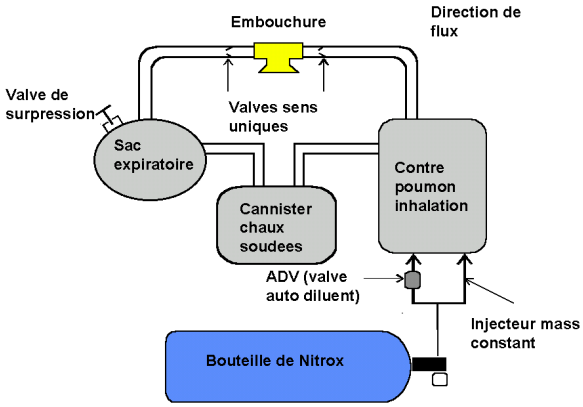
Submatix 100 ST

Azimuth

UBS 40

Principe de fonctionnement

Le recycleur semi-fermé est un appareil permettant de s'affranchir de la profondeur imposée par l'utilisation de l'oxygène pur. L'oxygène est remplacé par du Nitrox. L'injection du Nitrox se fait de façon automatique par un injecteur calibré, en fonction du Nitrox utilisé. Il existe deux marques utilisées en France le Dolphin de Draeger et Le Submatix. L'autonomie et la profondeur dépend du Nitrox utilisé.



Les recycleurs semi-fermés sont en partie limités par le Nitrox utilisé. En effet celui-ci détermine la profondeur maximum que l'on peut atteindre. De plus, le nitrox étant injecté en débit continu, l'autonomie dépendra de la profondeur ou l'on se trouve.

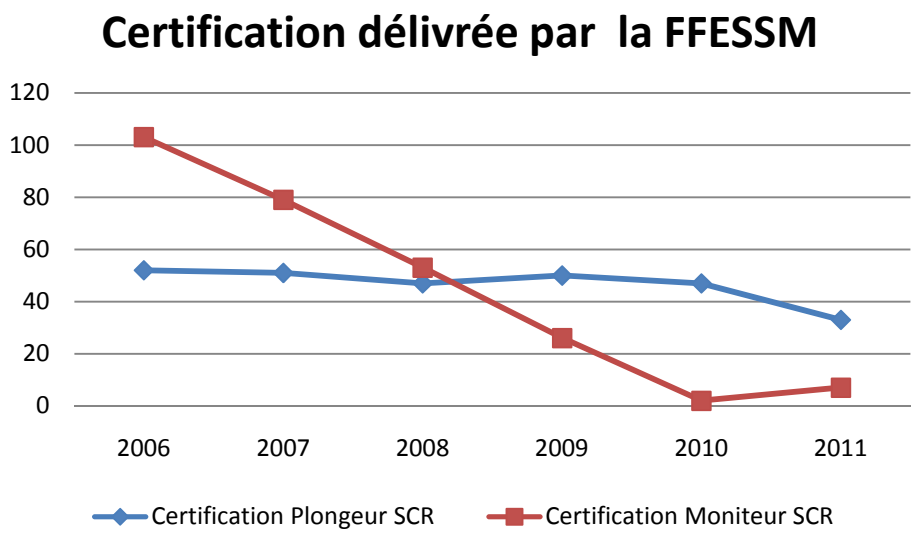
Voici à titre d'exemple les profondeurs et les consommations pour le SCR Azimuth :

Nitrox utilisé	Consommation en Litre/min	Ppo2 à 1,6 bar	Autonomie en minutes
32%	15,6	40 m	51
40%	9,6	30 m	83
60%	5,1	13 m	156

Données issues du Manuel Technique de l'Azimuth

Les plongeurs certifiés SCR en France

Les certifications de moniteur sur ce type de recycleur sont en chute libre. Un nombre important de certification a eu lieu en 2005, correspondant à la mise en place des cursus. Un bon nombre de régions ont mis en place des journées de présentation, sensibilisation et ou formation.
Concernant le nombre de plongeurs en SCR on observe une baisse douce mais régulière depuis 2008.



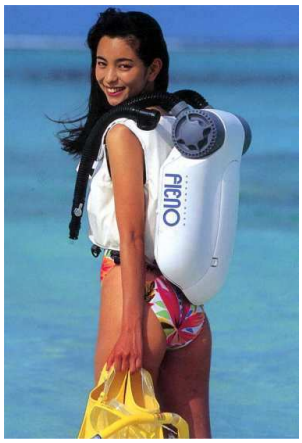
Données issues de la base de données fédérale au 1 mars 2012

Les perspectives de développement

Ce type de recycleur, bien que limité à la zone récréative des 40 mètres, peut être un bon complément des plongeurs en circuit ouvert. Il donne de la sécurité aux plongées au-delà de l'espace médian, ce qui peut convenir aux plongeurs séniors. Par ailleurs son encombrement réduit peut séduire les plongeuses.

Il peut être présenté comme une bonne porte d'entrée au monde du silence, les prix étant abordables aux alentours de 3000€.

Néanmoins ses capacités son limitées et ces appareils ne conviendront pas aux plongeurs désireux d'évoluer dans les profondeurs au-delà de l'espace lointain.



Le nouveau recycleur SCR de VR Technology présenté au DEMA 2010

Les recycleurs fermés à gestion électronique ou mécanique

Poséidon, Discovery MKVI

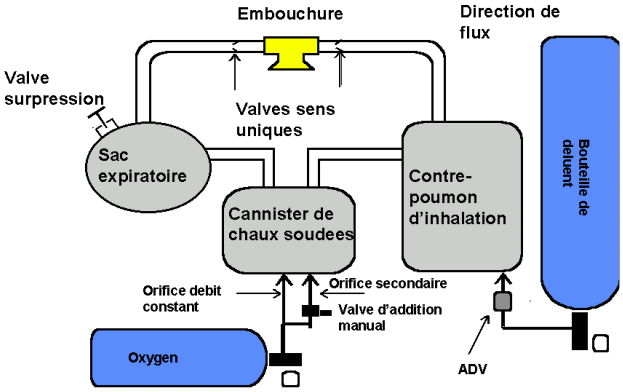
ApDiving, Evolution

VR Technology, Sentinel

JJ-CCR

Principe de fonctionnement

Le recycleur « circuit fermé» est un appareil permettant de s'affranchir de la limite imposée par l'utilisation de l'oxygène pur et du Nitrox du semi-fermé.
Le Nitrox est remplacé par de l'oxygène, et pour palier a la limite imposé par celui-ci on y ajoute un diluant (air ou trimix). L'injection de l'oxygène se fait de façon automatique par une électrovanne, appelé « solénoïde » (eCCR) ou de façon mécanique par un inflateur (mCCR).



Les recycleurs à circuit fermé à gestion électronique ou mécanique repoussent les limites d'utilisation.
En ce qui concerne la profondeur ces machines sont limitées par la profondeur règlementaire imposée par le code du sport : 120 mètres, même si le fabricant ApDiving teste ses machines à 160 mètres (cf. partie réglementaire).

En ce qui concerne l'autonomie, la consommation est indépendante de la profondeur. Lors d'un effort modéré, un plongeur consomme environ 1,1 litre

d'oxygène, ce qui donne une autonomie théorique de 6 heures, qu'il soit à 120 mètres ou 6 mètres.
Néanmoins une limite est imposée par le recyclage du mélange et particulièrement de la fixation du CO2 par la chaux sodée. En fonction des constructeurs, de la forme du « canister* » et de la quantité de chaux, la durée du recyclage de CO2 peut varier de 2 à 4 heures.
On voit donc que l'autonomie n'est pas l'ennemie du plongeur recycleur à circuit fermé.

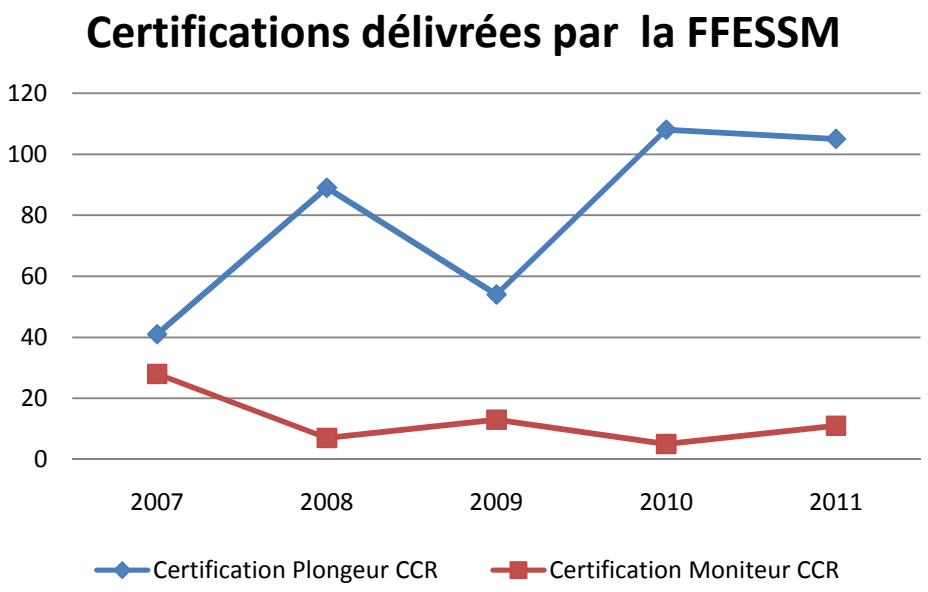
* canister : partie du recycleur recevant la chaux

Les plongeurs certifiés CCR en France

Les certifications fédérales sur le plongeur recycleur circuit fermé sont plutôt en progression.
Il est a noter que la FFESSM a mis en place les cursus de formation en 2007 et que le 1er stage national de moniteur recycleur, à Niolon, a permis de former les premiers moniteurs.
Parallèlement la FFESSM a créé une passerelle destinée aux plongeurs certifiés par des organismes étrangers (TDI, IANTD) sur une période déterminée.
Le nombre de certifications de moniteurs est stable depuis 2007.

La FFESSM n'est toutefois pas le seul organisme de certification. Le nombre de plongeurs en circuit fermé certifiés par d'autres organismes est bien plus important.
La FFESSM ne certifie que les plongeurs évoluant sur recycleur APdiving, mais il existe sur le marché une dizaine d'autres recycleurs fréquemment utilisés par des plongeurs de France. Les organismes internationaux spécialisés dans la plongée TEK (TDI, IANTD…) ont mis en place des cursus sur ces autres machines.

Le total de 400 certifications sur 5ans de la FFESSM parait donc sans rapport avec la réalité des pratiques.



Données issues de la base de données fédérale au 1 mars 2012

Les perspectives de développement

Ce type de recycleur est de part sa conception le plus polyvalent. Il permet de plonger dans la zone récréative des 40 mètres sans beaucoup d'encombrement (25kg tout compris). Mais il possède aussi le potentiel pour des plongées plus profondes.
Les recycleurs électroniques souffrent d'une certaine méfiance en raison de sa gestion entièrement automatique. Nous verrons néanmoins que ce type de matériel n'est pas conçu dans le plus grand amateurisme, mais que son degré d'exigence de fabrication et de normalisation permet d'avoir un produit d'une très grande fiabilité.
Les recycleurs mécaniques peuvent paraitre plus sécurisants car le plongeur est responsable de l'injection de l'oxygène.

Le principal frein semble être le prix de ces machines (à partir de 5000€, neuf). Néanmoins un marché d'occasion semble s'installer en France permettant d'acquérir une machine pour 3000€. Nous verrons néanmoins que le prix ne semble pas être le seul obstacle.

La règlementation des recycleurs en France

PARTIE 2

L'utilisation des recycleurs semble être un sujet qui divise souvent les plongeurs. Néanmoins la pratique de la plongée en recycleur est très encadrée en France et elle s'appuie sur une règlementation prévue par le législateur dans le code du sport, une formation sérieuse prévue par la FFESSM et un marché commercial responsable.

Que dit le code du sport ?

« ***Art. A. 322-94***. – Lorsque la plongée est réalisée avec des recycleurs, ceux-ci font l'objet d'une Certification selon les normes en vigueur.

« Après avoir suivi une formation qualifiante, adaptée au recycleur considéré, de la Fédération française d'études et de sports sous-marins, de la Fédération sportive et gymnique du travail, de l'Union nationale des centres sportifs de plein air, de l'Association nationale des moniteurs de plongée ou du Syndicat national des moniteurs de plongée ou reconnue par le fabricant du recycleur, l'utilisateur d'un recycleur peut accéder aux prérogatives définies par la présente section s'il justifie des aptitudes correspondant à l'espace d'évolution et aux mélanges gazeux utilisés.

« Lors d'une plongée avec un recycleur organisée au-delà de 6 mètres, les plongeurs doivent avoir accès à un système respiratoire de secours en circuit ouvert délivrant un ou plusieurs mélanges respirables autorisant le retour en surface.

« En milieu naturel, lorsque la personne encadrant la palanquée utilise un recycleur, le système respiratoire de secours doit être indépendant du recycleur.

Reprenons ici les différents aspects du Code du sport

Le recycleur doit être homologué :

« Lorsque la plongée est réalisée avec des recycleurs, ceux-ci font l'objet d'une Certification selon les normes en vigueur. »
Il s'agit de la fameuse norme NF EN 14143 de mai 2004.

Le Code du sport interdit donc l'utilisation de tout autre recycleur n'ayant pas la norme NF EN 14143 de mai 2004 dans les établissements sportifs. Néanmoins cette norme ne s'applique qu'aux recycleurs en circuit fermé.

Par ailleurs le code de la consommation dans son article L212-1 :

« Dès la première mise sur le marché, les produits doivent répondre aux prescriptions en vigueur relatives à la sécurité et à la santé des personnes, à la loyauté des transactions commerciales et à la protection des consommateurs. Le responsable de la première mise sur le marché d'un produit est donc tenu de vérifier que celui-ci est conforme aux prescriptions en vigueur. A la demande des agents habilités pour appliquer le présent livre, il est tenu de justifier les vérifications et contrôles effectués.. »

Le code de la consommation interdit donc la vente en France d'un recycleur qui n'est pas CE.

Depuis deux ans on voit apparaitre sur certains recycleurs l'inscription suivante : prEN14143:2010.
Il s'agit en fait d'une norme à l'état de projet (pr). Elle n'est donc pas applicable puisque non homologuée pour l'instant (non harmonisée).

Les constructeurs apposant ce sigle sont en conformité avec la directive 86/686/EEC sur les EPI, avec pour conséquence l'autorisation de vente sur le marché européen. Néanmoins, la norme en vigueur en France est l'EN 14143 :2004. Ces machines ne peuvent donc être utilisées dans un APS.

Cela entraine une confusion tant pour l'utilisateur que pour le Directeur de Plongée dont la responsabilité de vérifier la conformité des équipements lui incombe.

Enfin il est important de souligner que la norme ne s'applique que sur une machine en l'état, a la sortie d'usine. Toute modification sur celle-ci peut entrainer la nullité de cette conformité.

Les appareils conformes à la norme NF EN 14143:2004 au 1er janvier 2012 et autorisés dans les établissements APS sont :

- ✓ Ambient Pressure Diving (APD): Inspiration, Evolution et Evolution+
- ✓ VR Technology : Sentinel et Ouroboros aussi dénomé "Boris"
- ✓ Poseidon Dive System : Discovery MKVI
- ✓ Apocalypse Type IV i-ccr
- ✓ JJ-CCR

Poséidon, Discovery MKVI

ApDiving, Evolution

VR Technology, Sentinel

JJ-CCR

Que garantie cette norme ?

Comme toute norme, son objectif est de spécifier les exigences visant à assurer un niveau minimal de sécurité dans le fonctionnement des appareils.

Dans notre cas cette norme s'applique uniquement aux appareils de plongée autonomes en circuit fermé pour une respiration d'oxygène pur, de mélange oxygène/azote, et de mélange oxygène/azote/hélium.

Les recycleurs semi-fermés ne sont pas soumis à cette norme.

Cette norme s'applique dans les conditions suivantes :

- ✓ Une profondeur maximale de 6 m pour les appareils utilisant de l'oxygène pur ;
- ✓ Une profondeur maximale de 40 m pour les appareils utilisant des mélanges d'oxygène et d'azote ;
- ✓ Une profondeur maximale de 100 m pour les appareils utilisant des mélanges d'oxygène et d'hélium ou des mélanges d'oxygène, d'azote et d'hélium ;
- ✓ Des températures de l'eau entre 4 °C et 34 °C.

Il est à noter qu'il ne s'agit pas de la limite d'utilisation du recycleur mais bien des conditions de validation de la norme. En général, Le constructeur ne se limite pas à ce minimum.

Voici à titre d'exemple les validations d'Apdiving au-delà de la norme :

40 m	profondeur max. avec un diluant air (norme CE)
100 m	profondeur max. à laquelle tous les paramètres de fonctionnement du recycleur sont connus : la résistance au CO2, le contrôle de l'oxygène et le travail respiratoire.
100 m	limite de la norme CE
110 m	profondeur max. à laquelle le travail respiratoire a été testé avec un diluant Trimix.
150 m	profondeur max. à laquelle le travail respiratoire a été testé avec un diluant Héliox.
160 m	profondeur à laquelle tous les composants sont testés sous pression lors d'essais d'homologation – pas lors de la production.

La partie matériel des recycleur ApDiving est validée à 160 m ; au-delà, la cavité du « Buzzer », alarme sonore du recycleur, est soumise à implosion.
La partie utilisation (respiratoire) est validée à 150 m, au-delà le travail respiratoire n'a pas été testé.

Il en est de même pour la température d'utilisation, validée pour 4°C à +/- 1°C ..

Le plongeur doit avoir une certification en relation avec sa machine et le mélange respiré

« Après avoir suivi **une formation qualifiante, adaptée au recycleur** considéré, de la Fédération française d'études et de sports sous-marins, de la Fédération sportive et gymnique du travail, de l'Union nationale des centres sportifs de plein air, de l'Association nationale des moniteurs de plongée ou du Syndicat national des moniteurs de plongée ou reconnue par le fabricant du recycleur, l'utilisateur d'un recycleur peut accéder aux prérogatives définies par la présente section s'il justifie des **aptitudes correspondant à l'espace d'évolution et aux mélanges gazeux utilisés**. » (Code du sport, art. A. 322-94)

La FFESSM a ce jour ne reconnait que les recycleurs de la marque ApDiving (Inspiration, Evolution et Evolution +).

Les certifications de plongeurs sont appelées :

- ✓ Plongeur Inspiration Vision Air
- ✓ Plongeur Inspiration Vision Trimix Elémentaire
- ✓ Plongeur Inspiration Vision Trimix

Les certifications de moniteurs sont appelées :

- ✓ Moniteur Inspiration Vision AIR
- ✓ Moniteur Inspiration Vision Trimix
- ✓ Moniteur Formateur inspiration Vision

Le Code du sport précise que le plongeur doit être qualifié sur le recycleur avec lequel il plonge et avoir les aptitudes correspondant a l'espace d'évolution et aux mélanges gazeux respirés.

La qualification de plongeur « recycleur circuit fermé » est possible à partir du niveau 3. L'espace d'évolution du plongeur sera fonction de la présence ou non d'un Directeur de Plongée ayant une qualification en fonction des gaz utilisés (Nitrox ou Trimix). En l'absence de celui-ci il devra se limiter à 40 mètres.
Concernant les mélanges gazeux le Code du sport ne reconnait que les aptitudes PNC, PTH40, PTH70 et PTH120.

En effet le Code du sport ne reconnait pas les qualifications intermédiaires mises en place par la FFESSM. Le législateur a souhaité que les règles pour la pratique de la plongée soient fonction du gaz utilisé et non du matériel.

Un plongeur titulaire de la qualification PTH70 circuit ouvert et une qualification Air sur son recycleur, peut utiliser un mélange trimix dans son recycleur et évoluer dans la zone des 70m.

Néanmoins on ne peut que recommander une formation pour l'utilisation des recycleurs avec des mélanges ternaires.

La sécurité

« Lors d'une plongée avec un recycleur organisée au-**delà de 6 mètres**, les plongeurs doivent avoir accès à un **système respiratoire de secours en circuit ouvert** délivrant un ou plusieurs mélanges respirables autorisant le retour en surface. » (Code du sport, art. A. 322-94)

Le plongeur en recycleur doit donc disposer d'une autre source d'air. Il existe 3 méthodes :

- ✓ La BOV : le détendeur est intégré à l'embout du recycleur
- ✓ Système « Air 2 » : détendeur sur le direct system de la bouée
- ✓ Bail out ou bloc de secours

L'encadrement d'une palanquée par un plongeur recycleur

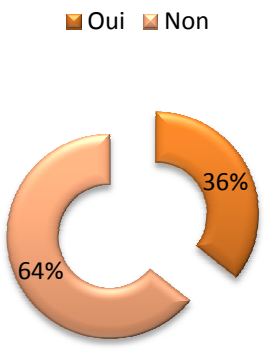
« En milieu naturel, lorsque la personne **encadrant la palanquée** utilise un recycleur, le **système respiratoire de secours doit être indépendant** du recycleur. »(Code du sport, art. A. 322-94)

Le plongeur recycleur dans le cadre d'un encadrement de palanquée devra donc obligatoirement disposer d'une source d'air indépendante : bail out (ou bloc de secours)

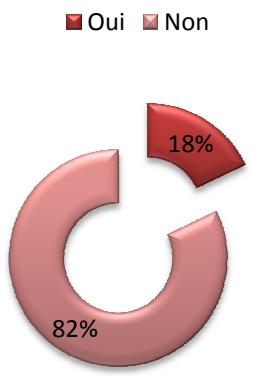
La direction de plongée

Nous venons de voir la partie réglementaire concernant le plongeur recycleur. Mais qu'en est-il de la qualification du Directeur de plongée ?
Voici les résultats d'un questionnaire sur la Direction de Plongée (*détail du Panel dans le chapitre – Aspects sociologiques sur la plongée recycleur):*

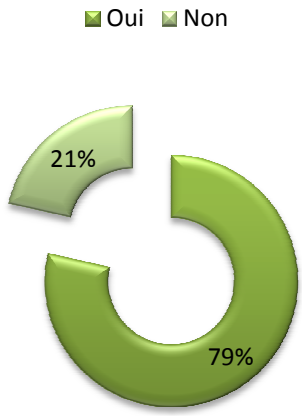
Question : Connaissez-vous la règlementation fédérale sur la plongée en recycleur



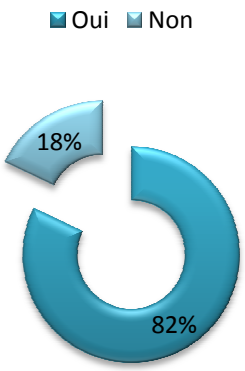
Question : Connaissez-vous les marques des recycleurs autorisés en France



Question : Le Directeur de Plongée doit il avoir une qualification particulière



Question : Souhaiteriez-vous avoir une formation ou module spécifique sur la Direction de Plongée avec des plongeurs recycleurs



Les résultats montrent globalement une insuffisance d'information ou de connaissance sur la Direction de Plongée mettant en jeu des gaz autres que l'air. Cette partie concerne donc non seulement la plongée en recycleur mais plus généralement la plongée aux mélanges.

82% des personnes interrogées ne **savent pas quels sont les recycleurs autorisés** en France et **64% ne connaissent pas la règlementation fédérale.**

79% des personnes interrogées savent que le Directeur de plongée doit avoir une qualification particulière, mais **47%** d'entre eux pense qu'il doit être Moniteur recycleur, plongeur recycleur ou ne savent pas.

Enfin **82% des personnes souhaitent avoir une formation** ou un complément de formation spécifique à la direction de plongée avec recycleur

La notion de plongée aux mélanges est complètement absente de la formation Directeur de Plongée dans le Manuel de Formation Technique. Cela vient du fait que le P5 n'avait aucunes prérogatives concernant l'organisation des plongées d'exploration avec des gaz autres que l'air.

Il est d'autant plus souhaitable d'apporter quelques précisions dans le MFT, que depuis le 5 février 2012 le Code du sport donne une nouvelle prérogative au Directeur de Plongée P5 : sous réserve d'être titulaire de la

qualification Nitrox confirmé (PNC), il peut autoriser les plongeurs à utiliser du Nitrox lors des plongée en exploration.

Un directeur de plongée a donc depuis cette date la nouvelle prérogative d'autoriser les plongées en recycleur semi-fermé ou en recycleur fermé avec diluant air.

La formation en France : Le Manuel de Formation Technique

C'est en 2007 que la FFESSM met en place les premières formations de moniteurs et de formateurs de moniteurs en France, sous l'impulsion du Président de la CTN et d'un groupe de travail national. La FFESSM retient comme constructeur la société ApDiving et ses recycleurs Inspiration.
Deux licenciés en Bretagne et Pays de la Loire font partie de l'aventure.

Le manuel de Formation Technique s'enrichi de cursus de formation sur « les recycleurs a circuit fermé et gestion électronique de la PpO2 » en juin 2007.

Deux types de qualification : le plongeur et le moniteur.

La qualification de moniteur recycleur en France est la seule à être remise en cause annuellement. En effet celui-ci doit justifier de 25 heures d'utilisation par an et d'une participation à un stage de formation de plongeur pour conservez ses prérogatives de moniteur. Malheureusement aucun contrôle n'est mis en place par la FFESSM pour vérifier cette aptitude.

Niolon stage national, 2007

Jean Louis Blanchard, Pdt de la CTN et Martin Parker DG d'ApDiving

Qualification Fédérale	Diluant utilisé	Profondeur max. autorisée
Plongeur Inspiration Vision Air	Air	40 mètres maximum
Plongeur Inspiration Vision Trimix Elémentaire	Trimix	70 mètres maximum
Plongeur Inspiration Vision Trimix	Trimix	100 mètres maximum (limite de la certification CE)

Il faut souligner que la FFESSM ne reconnait pas à ce jour les autres recycleurs CE, en dehors de APDiving. Cela pose un double problème, pour le plongeur et pour le Directeur de plongée.

En effet les autres recycleurs CE sont homologués et donc autorisés par le Code du sport dans les établissements sportifs, mais le plongeur utilisateur n'a pas de qualification reconnue par la FFESSM. En l'absence de certification fédérale, il peut donc se voir refuser la plongée par un établissement sportif FFESSM.

Il s'agit là d'une double peine qu'il faudrait réparer en mettant en place des cursus et des passerelles.

L'acquisition d'un recycleur : L'engagement du constructeur

Les constructeurs ont mesuré le risque de mettre en circulation ces machines. Il n'est pas possible d'acheter un recycleur neuf directement et sans qualification. Elles ne sont vendues que par le réseau des moniteurs agréés et sous leur responsabilité.

Le marché de l'occasion semble s'être « auto-contrôlé » et il est généralement appliqué le même principe que lors d'un achat neuf. Le vendeur devrait à chaque fois vérifier que l'acheteur à bien la compétence pour utiliser le matériel. La notice du constructeur est insuffisante pour l'utiliser en toute sécurité.

Synthèse et préconisations

Le Code du sport, les normes en vigueur et le MFT encadrent parfaitement la pratique du recycleur.
Néanmoins il n'existe aucun suivi des moniteurs recycleurs circuit fermé. Les CTR pourrait être en charge de ce suivi.

La vente des recycleurs fait l'objet d'un contrôle rigoureux et d'une filière spécifique.

Pour plonger dans un établissement sportif en France avec un recycleur il faut :

- ✓ Détenir un recycleur CE EN14143:2004 n'ayant pas fait l'objet d'une modification
- ✓ Avoir une certification sur ce recycleur (minimum Air)
- ✓ Avoir une qualification PTH70 ou PTH120 si utilisation du Trimix
- ✓ Disposer d'un système respiratoire de secours au delà de 6 mètres
- ✓ En cas d'encadrement, une source d'air indépendante (bail out)

Pour accepter un plongeur recycleur dans un établissement sportif en France, il faut :

- ✓ Que le DP ait la qualification PNC pour un diluant Air et PTH120 pour le trimix.
- ✓ S'assurer que le recycleur est aux normes (5 fabricants à ce jour)
- ✓ Vérifier la certification du plongeur, le nombre d'heures ainsi que son expérience (assez difficile à évaluer).
- ✓ Demander les gaz utilisés (diluant Air jusqu'à 40 mètres)
- ✓ S'assurer que le plongeur dispose d'un système respiratoire de secours ou d'une source d'air indépendante si encadrement

Attention, comme la FFESSM ne reconnait que les recycleurs de marque APDiving, un plongeur utilisant un recycleur CE mais d'une autre marque peut se voir refuser la plongée dans un établissement FFESSM.

Compte-tenu de l'ensemble de ces éléments, nous conseillons aux DP, de veiller à bien faire respecter les règles suivantes lors du briefing :

- ✓ Respect du temps de plongée et de la profondeur
- ✓ Adapter ses gaz à la plongée (en qualité et en quantité)
- ✓ Le plongeur recycleur fera un briefing clair et détaillé à sa palanquée
- ✓ Respect de la cohésion de la palanquée
- ✓ Indiquer sa décompression au DP

Enfin en complément il est souhaitable pour tout le monde (structure et plongeur) de faire réaliser une plongée d'adaptation. Elle ne doit pas avoir comme but une « évaluation » des capacités mais plutôt un objectif « pédagogique ». Celle-ci permettra au Directeur de plongée d'apprécier la qualité du plongeur. Elle permettra aussi aux plongeurs de prendre connaissance de la structure, des mises à l'eau, récupération des plongeurs. Cette plongée peut se faire dans des faibles profondeurs.

Aspects sociologiques sur la plongée recycleur

PARTIE 3

L'objectif de cette partie est d'étudier les comportements du plongeur recycleur, mais aussi la vision que les autres plongeurs ont de lui et des différents appareils du marché.

Pour cela il a été élaboré un questionnaire en direction des plongeurs dits « circuit ouvert ».

Celui-ci avait pour but de prendre en compte d'une part les pratiques des plongeurs recycleur et d'autre part le matériel. Ce questionnaire a été adressé pour partie à des cadres minimum E2. En effet, il fallait que les plongeurs interrogés aient un vécu suffisamment important pour avoir le recul nécessaire pour répondre au mieux aux différentes questions posées. J'ai profité de ce questionnaire pour aborder la partie règlementaire et la fonction de Directeur de Plongée, les résultats argumenteront certains chapitres.

Afin d'avoir une vision régionale, je me suis efforcé de tenir compte de l'ensemble des départements de la région et en respectant le plus possible la proportion de l'ensemble des licenciés.

53 personnes ont été interrogées sur l'ensemble de la région. Afin de privilégier le contact humain et expliquer la démarche, le questionnaire à été rempli en ma présence.
Il serait prétentieux de penser que cet échantillon de personnes représente un panel représentatif de la région. Les méthodes utilisées par les instituts de sondage sont d'une plus grande complexité. Néanmoins les résultats obtenus montrent certaines tendances d'opinion.

Nous allons ici détailler et analyser les résultats d'une partie du questionnaire qui a été présenté (Cf. annexe 1)

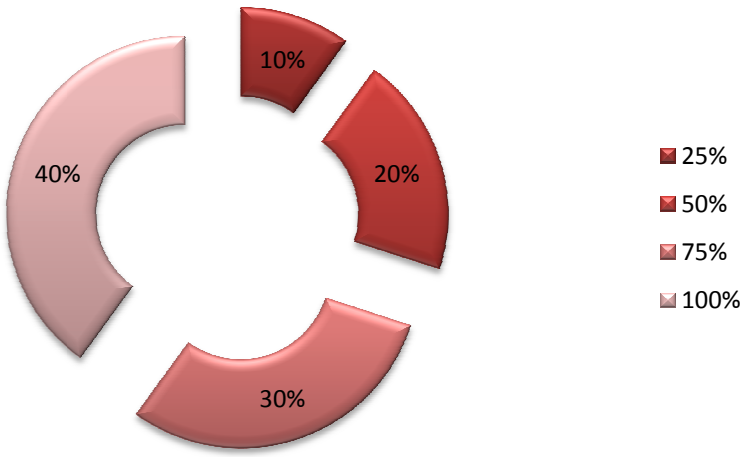
Comment est perçue la plongée en recycleur ?

Personnes représentatives

Détail des personnes interrogées :

L'âge moyen de ces plongeurs est 42,6 ans. 87 % de ces personnes pratiquent la plongée depuis plus de 10 ans.

Nombre de plongées mer

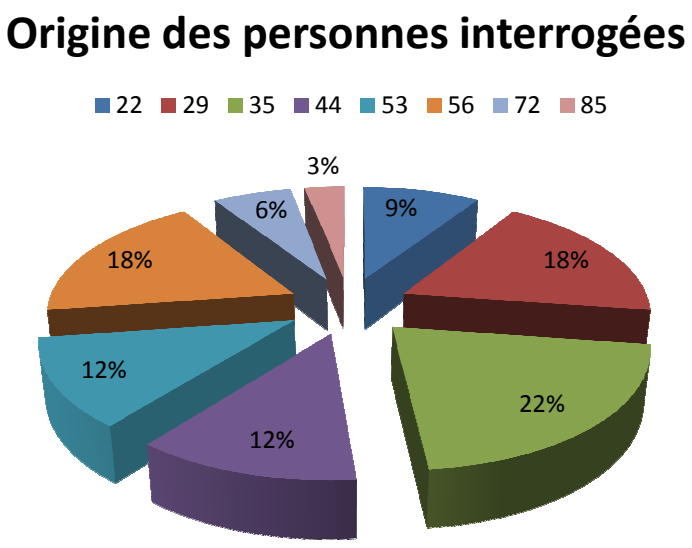


Concernant la pratique de ces plongeurs il est faut noter que la plupart effectue plus de la moitié de leurs plongées en mer.

93 % des personnes interrogées effectuent plus de 30 plongées par an.

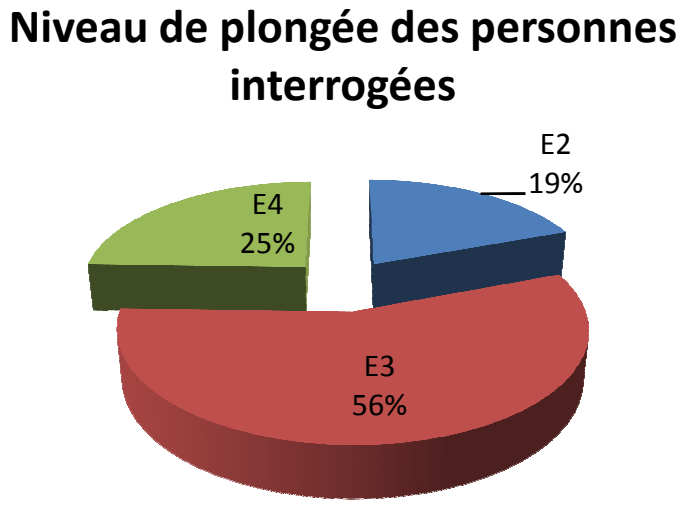
Départements représentés

Ci dessous la représentation graphique des départements représentés :



Niveau et qualification des plongeurs

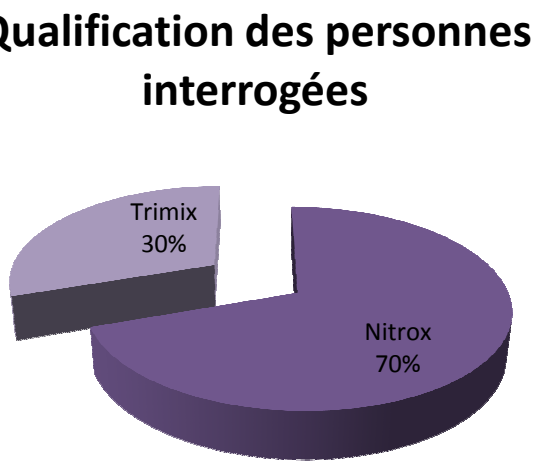
Les personnes interrogées sont des encadrants, de l'E2 à l'E4 :



Ci-dessous la qualification, Nitrox ou Trimix des personnes interrogées.

Il faut noter que les personnes titulaires de la qualification Trimix sont obligatoirement titulaires de la qualification Nitrox.

Les résultats présentent donc de façon séparée les plongeurs ayant uniquement la qualification Nitrox, du Trimix.



Ce pourcentage élevé de qualifications indique que nous avons un échantillon représentatif des cadres de la plongée en Bretagne-Pays de la Loire. Il s'agit de moniteurs expérimentés, près de 90% d'entre eux pratiquant la plongée depuis plus de dix ans.

Cet échantillon de plongeurs dispose apparemment de suffisamment de recul pour répondre aux questions demandées. La qualification (Nitrox et/ou Trimix) des personnes interrogées démontre aussi le niveau d'expertise sur la plongée aux mélanges.

Analysons maintenant les questions posées

QUESTION : Connaissez-vous dans votre entourage proche des plongeurs recycleurs ?

Résultat : **66 % des personnes** interrogées admettent connaitre un plongeur recycleur dans son entourage.

QUESTION : Avez-vous déjà fait un baptême recycleur ?

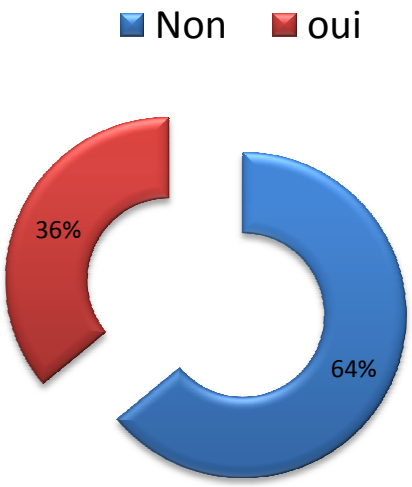
Résultat : **70% des personnes** interrogées n'ont pas fait de baptême recycleur

QUESTION : Souhaiteriez-vous faire un baptême en recycleur ?

Résultat : **<u>75 % des personnes</u>** interrogées souhaiteraient faire un baptême.

QUESTION : Dans le cadre d'une plongée exploration, verriez-vous un inconvénient à plonger avec un plongeur en recycleur ?

Résultat :



Résultat : **<u>64% des personnes</u>** interrogées n'y voient aucun inconvénient.

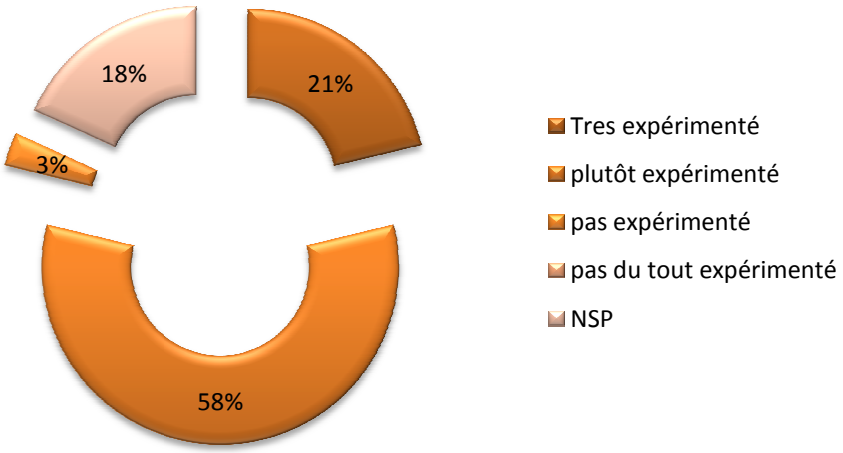
Détaillons ici les réponses des personnes qui ne souhaitent pas plonger avec un plongeur recycleur, 6 questions étaient proposées, afin d'analyser une partie des raisons :

83% : Mauvaise Connaissance du matériel
0% : Crainte de perdre sa palanquée
83% : Non maitrise des procédures de sauvetage ou assistance
25% : Crainte d'avoir un accident
53% : Procédure de décompression trop différente
15% : Contrainte de préparation

Analyse : au vu des résultats, les deux « craintes » principales sont la mauvaise connaissance du matériel et la non maitrise des procédures de sauvetage ou d'assistance.

QUESTION : Pour vous, un plongeur recycleur est un plongeur: Très Expérimenté, Plutôt expérimenté, Pas expérimenté, Pas du tout expérimenté, NSP

Résultat :

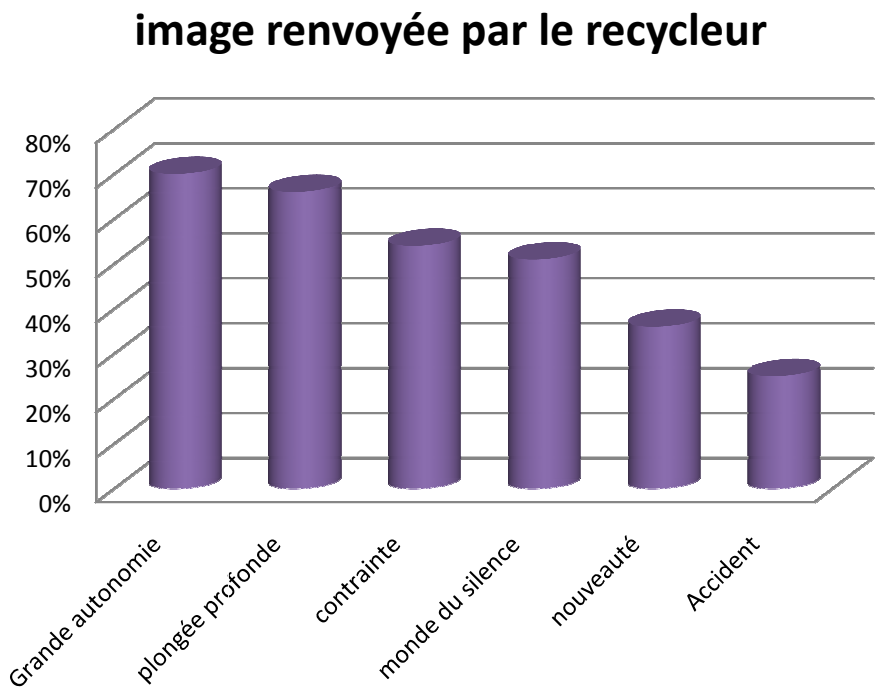


79% des personnes interrogées estiment que les plongeurs en recycleur sont expérimentés.

QUESTION : Pour vous et par ordre d'importance, à quelle image renvoie le recycleur (4 choix):

( ) Plongée profonde
( ) Plongeur expérimenté
( ) Contraintes
( ) Accident
( ) Liberté
( ) Plongeur inconscient
( ) Avenir
( ) Monde du silence
( ) Grande autonomie
( ) Nouveauté

Résultats :



Pour **70% des personnes** interrogées, le recycleur renvoi une image de **« grande autonomie ».**

Vient ensuite, la **plongée profonde pour 66%,** la **contrainte pour 54%** et le **monde du silence pour 51%**.

Il est a noté que seulement 24% des personnes interrogées assimilent la plongée en recycleur à l'accident. Parmi eux, rares sont les personnes à l'avoir classé en numéro 1.

Le plongeur recycleur vers un certain communautarisme ?

Nous venons de voir que le plongeur recycleur bénéficie d'une image positive chez les plongeurs bouteilles. Néanmoins on remarque sur les bateaux et en carrière que, de par leurs comportements, les plongeurs

recycleurs ont une certaine propension à se regrouper. Nous allons essayer de voir ici les raisons de cette tendance.

Dès le début de sa vie de plongeur recycleur, celui-ci est confronté à un certain isolement. En effet il existe très peu d'informations sur la pratique et le matériel, et vu de l'extérieur, cela parait comme une pratique confidentielle. Le matériel n'est pas en vente libre et les moniteurs ne courent pas les rues. Seuls les sites spécialisés ou les forums de plongeur dits « tek » abordent ce sujet.

Une fois les renseignements trouvés, vient le temps de la formation. Celle-ci est dispensée dans seulement deux centres en Bretagne-Pays de la Loire, à Bécon-les-Granits et à Saint-Malo Plongée Emeraude.

Il existe également des moniteurs indépendants qui dispensent des formations à la carte. Mais leur centre logistique se trouve la plupart du temps dans un des deux centres cités plus haut.

Malheureusement cette réalité contribue en grande partie au communautarisme. En effet c'est sur un petit nombre de sites que les plongeurs sont formés, qu'ils rencontrent d'autres plongeurs recycleurs et qu'ils vont revenir plonger : la boucle est bouclée.

Néanmoins on peut comprendre cette tendance à se regrouper par l'envie de vouloir partager une passion commune et plus particulièrement des expériences différentes.

On remarque également qu'il existe des communautés dans la communauté. Le marquage CE, entre autre, en est la raison. En effet le droit français ne reconnait que les recycleurs conformes, c'est-à-dire ayant fait l'objet de tests et d'un marquage CE, correspondant à la norme en vigueur.

Mais ce n'est pas la seule raison car la FFESSM à contribué a ces sous-ensembles en ne reconnaissant dans ses qualifications que les recycleurs APDiving, dont les pratiquants sont connus sous le nom de « boites jaunes ». Il existe également le groupe des « meg » pour le Mégalodon d'Innerspace Systems.

Il n'y a pas que ces aspects qui contribuent à cette propension à se regrouper. La machine elle-même y participe. En effet de part sa prétendue complexité et sa préparation avant la plongée, il parait plus facile de plonger entre « recycleurs » : en effet les temps de préparation seront identiques et les mises à l'eau aussi.

Ce prétexte n'est cependant pas recevable. Pour y remédier il suffit de préparer sa machine le matin ou la veille. Il suffira ensuite de 3 à 4 minutes ensuite sur le lieu de plongée.

La durée des plongées en recycleur peut aussi être une raison, car pouvant être plus longue qu'en circuit ouvert, elle incite fortement les plongeurs recycleurs à rester ensemble.

Il est vrai que la durée moyenne d'une plongée en circuit ouvert est proche des 30 minutes alors qu'en recycleur elle est de l'ordre de l'heure. Nombreux sont donc dans les « recycleux » à utiliser cette excuse pour rester entre eux. La plupart qualifie de peu rentable de préparer son recycleur pour 30 minutes de plongée.

Mais les raisons de cet isolement peuvent aussi venir de l'extérieur. On constate que peu de structures ou de clubs acceptent les plongeurs recycleurs, sous prétexte d'un risque élevé d'accident, ce qui traduit plutôt une méconnaissance des règlements et/ou du matériel.

Il existe également un amalgame entre plongeur recycleur et manque de sérieux. Or le comportement n'a pas de lien avec la machine utilisée. Quel que soit le matériel utilisé, circuit ouvert ou fermé, si le plongeur n'est pas rigoureux, il ne faut pas l'accepter.

D'autre part comme évoqué précédemment il existe peu de structures équipées pour recevoir des plongeur recycleurs (table à hauteur, poubelle pour la chaux, …). Néanmoins la plupart du temps le plongeur recycleur n'a pas d'exigence particulière. Un aménagement et une organisation simples, comme nous le verrons ensuite, sont suffisants.

Nous terminerons enfin par les sites de plongées. Ceux-ci ne posent pas de problème particulier pour le plongeur recycleur, néanmoins on constate que ces derniers se retrouvent souvent en carrière. La facilité d'accès, le temps pour préparer son matériel, l'absence de contrainte des marées en font un site idéal. C'est pourquoi on retrouve une grosse concentration de plongeurs recycleur en carrière. Cela favorise d'autant plus le communautarisme.

Synthèse et préconisations

On peut constater que d'une manière générale le plongeur recycleur bénéficie d'une bonne réputation, qu'il est considéré pour plus de 79% comme un plongeur expérimenté.

En effet la plongée en recycleur ne s'improvise pas, elle est soumise à une formation spécifique et à une préparation qui ne doit pas laisser de place au doute.

Le matériel quant à lui n'est pas la principale préoccupation. On peut remarquer une certaine curiosité, mis en évidence par la proportion importante de plongeurs souhaitant faire un baptême.

La mixité des palanquées ne semble pas poser de souci pour une grande majorité des cas. Néanmoins on peut s'interroger sur le fait que la plupart des personnes qui ne souhaitent pas plonger avec un plongeur en circuit fermé l'argumentent par une méconnaissance du matériel et des procédures en cas de sauvetage ou d'accident.

Il est vrai qu'il n'y a pas de lien entre les formations circuit ouvert et circuit fermé. Pour l'instant, il n'appartient pas aux formateur circuit ouvert de faire une formation sur la plongée en recycleur. Néanmoins l'élève pourra être un jour confronté avec ce matériel, en France ou à l'étranger.

On constate enfin que les plongeurs recycleurs ont tendance à se regrouper. Cela semble dû à une pratique encore très confidentielle, qui peut sembler « à part » pour les plongeurs en circuit ouvert, et à quelques impératifs de préparation, de durée, et de lieu de plongée.

Une simple information dans les formations fédérales, pourrait contribuer à démystifier le matériel. On peut penser qu'à partir du niveau 2, le plongeur pourrait avoir ce genre d'information.

Quand aux procédures de sauvetage ou assistance, elles ne diffèrent pas d'un plongeur en circuit ouvert. Un plongeur en recycleur, comme en circuit ouvert, ayant une des trois fonctions vitales (conscience, ventilation, circulation) atteintes doit être remonté. La machine gérera automatiquement la pression partielle d'oxygène.

En cas de panne de celle-ci, on se retrouve donc dans le même cas qu'un plongeur bouteille inconscient en panne d'air. Cette partie fera l'objet d'un plus grand développement dans le chapitre consacré à l'accidentologie.

Cette crainte d'accident des plongeurs recycleurs pourrait donc également être facilement levée par une courte formation dès le N2.

Risques : analyse et réponses

PARTIE 4

L'objectif de cette partie est d'étudier les risques encourus par le plongeur recycleur. Nous allons dans un premier temps faire une analyse des risques puis tenter d'apporter des réponses.

On considère généralement qu'un risque est pondéré en fonction de sa durée, intensité et fréquence. En milieu professionnel et dans le cadre de l'évaluation des risques, une pondération est faite en fonction du degré de formation.

La plongée en recycleur est soumise aux mêmes risques liés au milieu que la plongée en circuit ouvert. Néanmoins de par sa conception et son utilisation, le recycleur peut comporter d'autres risques que nous allons détailler ici.

En recycleur, la question principale est de savoir si le gaz est respirable (PP02). En revanche, la durée de plongée, la quantité de gaz, la profondeur ne sont pas des composantes essentielles à la plongée recycleur.

Préparation du matériel : la rigueur

La plongée en recycleur nécessite une certaine préparation du matériel. Contrairement au circuit ouvert, on ne peut se mettre à l'eau directement sans avoir fait une check-list complète et rigoureuse. Cette phase doit être faite dans le plus grand calme et sans dérangement. Elle dure entre 15 et 20 minutes. Elle peut être faite quelques heures avant la plongée, sur site ou chez soi.

Les gaz utilisés

La première phase consiste à vérifier les gaz : le diluant et l'oxygène. Cette vérification permet de contrôler la qualité (pourcentage des trimix ou air) mais aussi la pression dans les bouteilles (du recycleur et des bail-out emportés).

L'oxygène pur doit être de qualité plongée. En effet c'est le seul qui est garanti avec un taux de CO2 inférieur à 10 ppm et un pourcentage de CO2

inférieur à 2 ppm. On pourrait penser en effet que le recycleur, de part son système, va recycler le gaz et donc fixer le CO2 avec la chaux, et en conclure qu'il n'est pas nécessaire d'avoir un gaz certifié en teneur de CO2.

Bouteille de 2 litres contenant l'oxygène pur

Mais, par la conception du système, l'injection d'oxygène se fait après le passage du filtre, l'oxygène arrivant directement dans une « chambre de mélange » puis dans le faux poumon inspiratoire. Il n'y a donc pas de filtration de l'oxygène avant respiration, d'où la nécessité d'avoir de l'oxygène de qualité plongée.

La plupart des distributeurs du marché vende ce type de gaz. Il n'y a pas nécessité d'utiliser de l'oxygène industriel, la différence de coût sur une B50 étant d'une vingtaine d'euro.

Le diluant quant à lui dépend de la profondeur. Dans la zone 0-40 mètres le diluant utilisé est l'air, au-delà c'est du trimix.

Bouteille de diluant de 2 litres contenant de l'air ou du Trimix

En effet la narcose arrive plus vite en recycleur et au-delà de 50 mètres, la quantité d'azote respirée est plus importante qu'en circuit ouvert.

Il existe deux méthodes pour basculer la pression partielle (setpoint) : en manuel ou en automatique. En automatique il est convenu de basculer la pression partielle dans la zone des 30 mètres, cela laisse une marge pour l'effet narcotique, et comme nous le verrons plus loin de limiter le risque hyperoxique. En mode manuel, le risque est également présent. Il faut absolument basculer sa pression partielle avant 40 mètres.

Le risque narcotique étant très élevé au-delà. On comprend ici pourquoi les constructeurs valident les diluants Air à 40 mètres et au-delà préconisent un diluant à base de d'hélium.

Profondeur (en m)	Pression absolue (en bar)	Pp N2 en circuit ouvert (en bar)	PpN2 en recycleur (1,3 de PpO2)	PpN2 en recycleur (0,7 de PpO2)
0	1	0,79		0,3
10	2	1,58	0,7	1,3
20	3	2,37	1,7	2,3
30	4	3,16	2,7	3,3
40	5	3,95	3,7	4,3
50	6	4,74	4,7	5,3
55	6,5	5,13	5,2	5,8
60	7	5,53	5,7	6,3

Comparaison des pressions partielles d'azote entre circuit ouvert et circuit fermé (diluant Air)

Ainsi, comme nous venons de le voir **il ya deux risques liés au choix du gaz** : l'hypercapnie et la narcose. **En prenant des gaz de qualité plongée et en utilisant un diluant adapté à la profondeur, ces risques sont écartés**. Nous verrons plus loin l'importance du choix du Trimix car il n'y a pas que le risque de narcose à éviter.

L'étanchéité : garantie du système

La deuxième phase consiste à vérifier l'étanchéité du recycleur. Il s'agit là d'une phase extrêmement importante à l'origine de quelques incidents, si elle n'est pas effectuée.

Le recycleur, dans le cadre du nettoyage et de sa désinfection, fait l'objet d'un démontage quasi complet à la fin de chaque journée d'utilisation. Les pièces de jonction sont désolidarisées et leur remontage pourrait induire des erreurs et/ou des mauvais serrages. Mais les constructeurs ont su anticiper ces problèmes :

Les erreurs de remontage sont rares, car les fabricants ont mis en place des codes couleur ou détrompeurs.

L'étanchéité des pièces est de type « piston » : elles sont donc étanches même lorsqu'elles ne sont pas complètement vissées.

Il ne faut cependant pas comparer l'étanchéité d'un recycleur à celui d'un phare ou d'un boitier d'appareil photo. En effet ces derniers se trouvent en dépression alors que le recycleur est lui en équipression avec le milieu extérieur.

Il suffit donc d'une simple étanchéité et non d'une résistance à la pression.

Deux raccordements sont à vérifier plus particulièrement : celui aux faux poumons et celui au canister.

Codification avec des bagues bleues indiquant le gaz fraichement oxygéné

Il **y a deux risques liés à la perte d'étanchéité** : la perte de gaz et l'entrée d'eau pendant la plongée. **Des tests d'étanchéité permettent d'écarter ces risques.** Il existe deux, à effectuer après le raccordement : la dépression et la surpression.

Le premier test, de dépression, consiste à aspirer le gaz dans la boucle respiratoire pour créer un vide dans le système. Cette méthode se fait en écrasant un ou deux anneaux de la boucle puis en fermant l'embout. S'il y a une fuite dans le système alors les anneaux écrasés vont reprendre leur forme d'origine. Le test est concluant après quelques secondes (30 à 60 s).

Le deuxième test consiste à mettre en surpression le système. Pour cela il suffit de souffler dans l'embout pour gonfler les faux poumons au maximum de leur capacité et de refermer l'embout. Si le faux poumon reste sous pression pendant quelques minutes (1 à 2) alors le test est concluant.

Vérification de l'électronique : piles et calibrage des cellules

Enfin la troisième phase consiste à vérifier l'électronique. Elle peut être faite au dernier moment ou après les deux vérifications précédentes. Il s'agit là d'une étape importante et vitale.

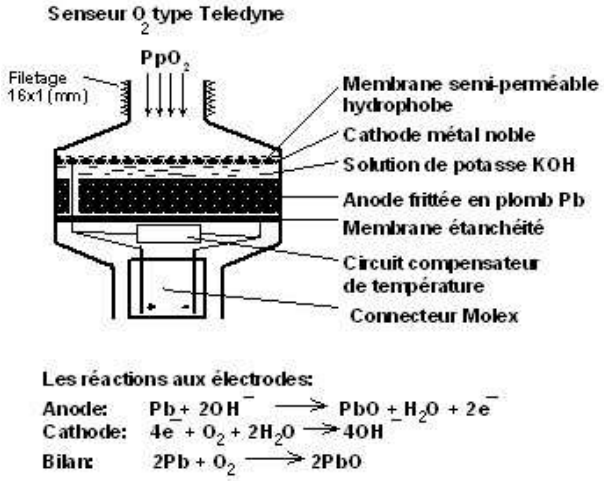
Pour cela il suffit de mettre en marche l'électronique ; les autoanalyses s'effectuent alors et c'est à ce moment là que l'on vérifie l'état des piles ou des batteries du système. En fonction des machines et programmes il existe différents tests.

Tous les recycleurs du marché ont intégré deux piles ou deux batteries dans leur recycleur. Il s'agit là d'une redondance destinée à sécuriser le matériel.

Sur le recycleur « Evolution » d'ApDiving, il y a deux piles. La pile B1 alimente le système électronique et en cas de faiblesse, c'est la pile B2 qui prend le relai. Le système n'autorise pas la plongée si les piles sont trop faibles. Il est à noter qu'il s'agit de piles non rechargeables type Ion-Lithium, car les piles rechargeables ont une courbe de décharge qui décroche d'un seul coup.

Le principal consommateur d'énergie est le solénoïde (électrovanne d'oxygène), vient ensuite la console électronique, puis le HUD et Buzzer.

Une fois les tests effectués il faut procéder au calibrage des cellules. En fonction des machines il se fait sous ambiance air ou sous oxygène pur.



Cellule oxygène et coupe détaillée d'une cellule

Attardons nous un peu sur le fonctionnement d'une cellule oxygène.

Principe de base

L'anode en plomb a « envie » de perdre des électrons alors que la cathode en métal noble a « envie » d'en gagner. L'important est que l' « envie » de la cathode de gagner des électrons est d'autant plus forte qu'elle est soumise à une ppO_2 élevée.

Ces deux « envies » simultanées et complémentaires se traduisent par la « tension » de la cellule. Elle varie de quelques mV à plusieurs dizaines de mV, selon la ppO_2.

Mais avoir envie d'échanger des électrons ne suffit pas. Les électrons ne sautent pas dans l'air, et ne peuvent pas circuler dans les électrolytes. La seule voie de passage est l'emprunt d'un circuit conducteur extérieur.

Par ailleurs la tension de la cellule dépend non seulement de la ppO_2, mais également de la température. Il faut donc minimiser l'influence de cette dernière sur la tension de cellule.
On dispose à l'intérieur même de la cellule un circuit capteur/régulateur de tension. Ce circuit va offrir un premier passage aux électrons.
Il faut ensuite relier la cellule au circuit de mesure, dont le premier étage est chargé d'amplifier la tension pour la rendre compatible avec les circuits numériques qui suivent.

En conclusion la cellule fonctionne en permanence. En revanche, elle consomme moins sous une ppO2 de 0,2b que sous une ppO2 de 1,0b.

Vieillissement des cellules et linéarité des cellules

Une cellule qui vieillit perd sa linéarité. Normalement, une cellule donnant 10mV sous 0,2b d'oxygène donne 10x5=50mV sous 1,0b d'oxygène pur (et devrait fournir 65mV sous 1,3b). Le calibrage se déroulant à pression atmosphérique, la ppO2 maximale fiable est donc 1,0b.

Que se passe-t-il si une perte de linéarité se produit au-delà de 1,0 bar de ppO2 ?

Supposons un « setpoint » de 1,3b. Notre cellule devrait alors délivrer une tension de 65mV. En réalité, ayant perdu sa linéarité, elle ne donnera par exemple que 55mV, son maximum peut-être !

Il va y avoir une injection d'O2, que la cellule ne détectera pas, puisque limitée à 55mV, d'où nouvelle injection d'O2.

Voilà pourquoi il serait préférable de fixer le « setpoint » à 1,0b, dont le calibrage nous assure la validité, soit calibrer les cellules dans une enceinte pressurisée.

Les recycleurs prennent en compte dans le calcul le taux d'humidité et la précision des sondes.

Les fabricants recommandent un étalonnage avant chaque plongée. Néanmoins entre deux plongées sur une journée et s'il n'y a eu ni démontage ni nettoyage, le calibrage ne parait pas forcément nécessaire.

Il ne faut pas s'abstenir d'un calibrage pour une question de coût dû à la consommation d'oxygène lors de l'opération (4 à 6 litres d'oxygène

consommés). De plus, un calibrage a chaque journée de plongée ne semble pas user prématurément les cellules.

L'hypercapnie : le danger sournois

Nous rentrons avec ce paragraphe dans la catégorie des accidents dit graves. En effet les symptômes respiratoires de l'hypercapnie peuvent être masqués ou retardés par l'utilisation d'un mélange hyperoxique.

L'action de l'élévation de la PaCO2 qui agit comme un puissant stimulus respiratoire est partiellement compensée par l'élévation de la PaO2 au niveau des chémorécepteurs centraux. Le risque est de ne pas ressentir les premières manifestations respiratoires et d'avoir une somnolence amenant directement à une perte de connaissance.

La Marine Britannique à réalisé des tests en temps de guerre démontrant que respirer de l'oxygène à 1 bar en même temps que de ré inhaler le CO2 expiré ne conduisait à des détresses respiratoires que dans 3 cas sur 18. Les autres sujets ont directement souffert de symptômes neurologiques pouvant aller jusqu'à la perte de connaissance.

La vocation première d'un recycleur est de régénérer l'air que l'on respire. Pour cela il y a deux phénomènes : un apport d'oxygène en remplacement de l'O2 consommé et une absorption du CO2 rejeté par le plongeur.

En recycleur, il semble que les deux causes principales d'hypercapnie soient exogènes : il s'agit de la mécanique respiratoire du recycleur et de l'absorption du CO2.

Mécanique respiratoire du recycleur

De part sa conception le recycleur dispose de système participant à l'effort inspiratoire : la conception du canister, la granulométrie de la chaux, les soupapes anti retour, le diamètre des tuyaux annelés, … .

Néanmoins les constructeurs doivent faire face à deux principaux phénomènes, encadrés par la norme : le travail respiratoire et le déséquilibre hydrostatique

Le travail respiratoire

Le travail respiratoire sur un recycleur est différent d'avec un détendeur. Il répond à la norme EN 14143, qui demande un travail maximum de :

Travail respiratoire = 0,5 + 0,03*VRM [J l-1] *par rapport à un VRM de 10 l min-1 à 75 l min-1*

La norme EN250, pour les détendeurs, prévoit un travail maximum de 3 [J l-1], mais comme le montre le tableau ci-dessous la plupart des détendeurs a un travail respiratoire inférieur a 1 [J l-1].

	Travail respiratoire en [J l-1] à 25m pour une ventilation de 37,5 litres par minutes
Recycleur (norme EN 14143)	1,625
Aqualung Legend	0,74*
Beuchat VX40	1,02*
Scubapro MK25/S650	0,57*
Mares Abyss	1,01*

Comparaison travail respiratoire détendeur/recycleur **Donnée issue du Subaqua n° 195*

Par ailleurs on peut voir la progression du travail respiratoire d'un recycleur en fonction de la fréquence ventilatoire.

	10L/min	25L/min	37,5L/min	50L/min	75L/min
Travail respiratoire en [J l-1]	0,8	1,25	1,625	2	2,75

Ce tableau nous permet de dire qu'il est extrêmement difficile de récupérer un essoufflement en recycleur, et que **le passage au circuit ouvert (bail out) semble être la seule solution pour récupérer**.

Néanmoins le travail respiratoire dépend aussi des muscles du plongeur participant à la ventilation mais aussi des gaz respirés. En effet un plongeur régulièrement entrainé repoussera son seuil de déclenchement à l'hypercapnie.

Par ailleurs la nature du gaz utilisé facilitera plus ou moins l'effort musculaire. Un diluant riche en hélium est beaucoup moins visqueux que l'air. A titre d'exemple voici la comparaison en poids d'un litre d'air et d'un litre de Trimix.

Gaz	AIR	Tx 20/25	Tx 10/50
Poids d'1 litre (en gramme)	1,3	0,82	0,745

L'humidité et la température du gaz sont également importantes, un gaz humide et chaud est plus léger qu'un gaz sec et froid. Cela s'explique par le fait que l'eau (plus légère que l'air) remplace les molécules d'air.

- 1 litre d'air à 30°c avec une humidité de 80% pèse 1,150 gramme
- 1 litre d'air à 9°c avec une humidité de 20% pèse 1,250 gramme

L'air respiré en recycleur est chaud et humide, cela contribue donc à rendre le gaz plus fluide.

Enfin le comportement du plongeur lors de l'évolution est important, il devra veiller à ne pas se mettre en situation d'effort intense, être vigilant aux zones de courant. **Si l'essoufflement survient il faudra alors songer à passer en mode circuit ouvert et prendre ses « Bail Out ».** D'où la nécessité d'avoir des détendeurs de secours en excellent état et de bonne qualité.

Dans le cas d'une plongée avec un plongeur bouteille, le briefing devra mettre en évidence cette particularité.

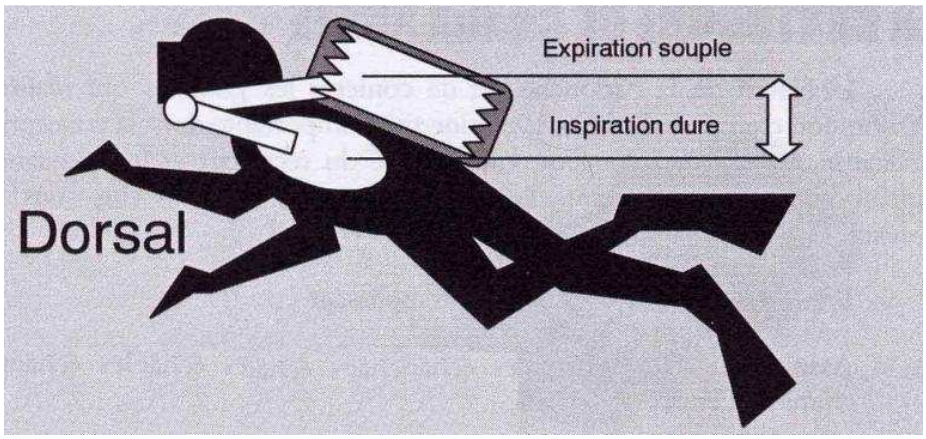
Le déséquilibre hydrostatique

Le déséquilibre hydrostatique (en fonction de la position du plongeur et/ou des faux poumons) entraine une résistance respiratoire supplémentaire. La norme prévoit en fonction de la position du plongeur (angle de roulis et angle de tangage) des pressions à ne pas dépasser. Ce test a pour but de simuler les différentes positions d'un plongeur lors de son évolution dans l'eau

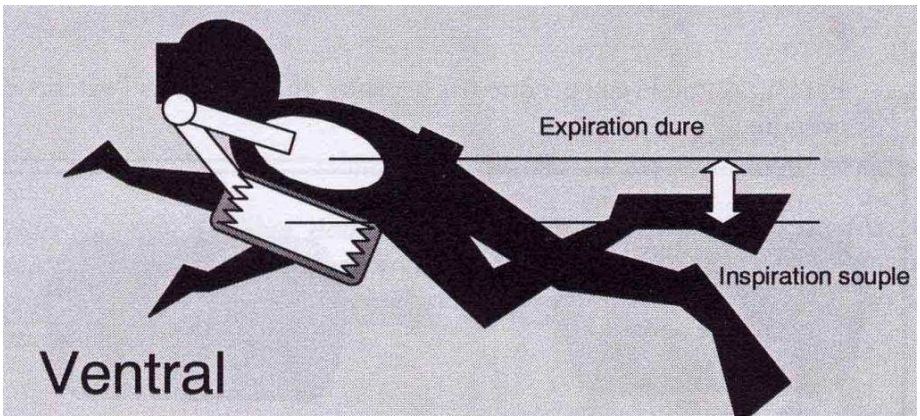
Tableau 1 — Déséquilibre hydrostatique

Angle de tangage en degrés (Angle de roulis = 0°)	Fourchette suprasternale	
	+ mbar	– mbar
+ 180	+ 20,0	– 20,0
+ 90	+ 20,0	– 20,0
+ 45	+ 20,0	– 20,0
0	+ 20,0	– 25,0
– 45	+ 20,0	– 20,0
– 90	+ 20,0	– 20,0
Angle de roulis en degrés (Angle de tangage = 0°)		
+ 90	+ 20,0	– 20,0
+ 45	+ 23,0	– 23,0
0	+ 20,0	– 25,0
– 45	+ 23,0	– 23,0
– 90	+ 20,0	– 20,0

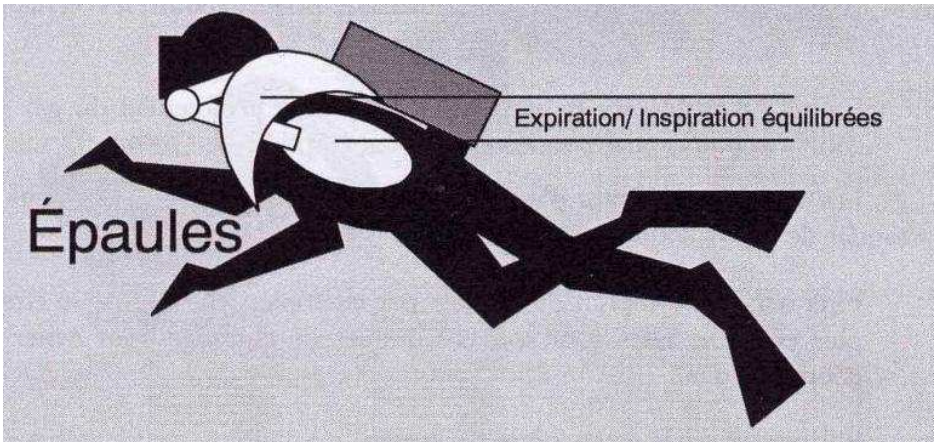
Néanmoins en dehors des cas de figure prévus par la norme, le tangage et le roulis, la conception des recycleurs et particulièrement la position des faux poumons, influence en grande partie la pression hydrostatique et donc l'effort respiratoire.



Position des faux poumons sur le dos : la pression est plus importante dans les poumons que dans les faux poumons, donc l'effort à l'inspiration est plus dur que l'effort à l'expiration. Le recycleur Sentinel, a les faux poumons sur le dos. Il en est de même pour les recycleurs semi fermés Dolphin.



Position des faux poumons sur le ventre : la pression est plus importante dans les faux poumons que dans les poumons donc l'effort à l'expiration est plus dur que l'effort à l'inspiration. Ce cas de figure ne concerne pas les recycleur circuit fermé ou semi fermé, mais uniquement les recycleur oxygène pur utilisés essentiellement par les militaires.



Position des faux poumons sur les épaules : la pression est en quasi équilibre dans les poumons que dans les faux poumons donc l'effort à l'inspiration est identique à l'effort à l'expiration. Les recycleurs Ap Diving et Poséidon ont les faux poumons sur les épaules.

L'absorption du CO2

Si les cellules oxygène sont le cœur du système, la chaux peut être considérée comme l'équivalent du poumon. C'est l'élément qui régénère l'air expiré. Sa préparation et son suivi doivent faire l'objet d'une attention particulière.

La cartouche de chaux et le canister

Le but de la chaux sodée est de fixer le dioxyde de carbone produit à l'expiration. Pour cela on oblige l'air expiré à traverser un cylindre rempli de chaux appelé cartouche de chaux. Cette cartouche est ensuite positionnée dans un autre cylindre appelé canister.

Cartouche de chaux

Canister avec la cartouche à l'intérieur

La chaux sodée, par passage de l'air, va fixer le dioxyde de carbone en 3 étapes:

1. Transformation en acide carbonique : le CO2 rejeté au contact de l'humidité de la chaux se transforme en acide carbonique H2CO3.

   $$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

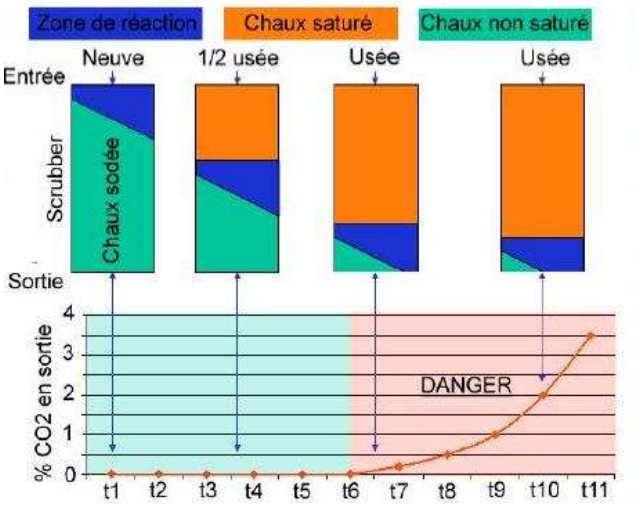
2. Transformation en carbonate de sodium : l'acide carbonique H2C03 en contact avec la soude se transforme en carbonate de sodium. Pendant cette phase il y a dégagement de chaleur

   $$H_2CO_3 + 2\ NaOH \rightarrow Na_2CO_3 + 2\ H_2O + \text{Chaleur}$$

3. Transformation en carbonate de calcium et recyclage de la soude : le carbonate de sodium en contact avec la chaux se transforme en carbonate de calcium et reproduit de la soude

   $$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + 2\ NaOH + \text{Chaleur}$$

Voila pourquoi l'air respiré est chaud et humide. Lors du nettoyage on peut remarquer que cette partie du recycleur est couverte de gouttelettes, par ailleurs juste après la plongée on peut aussi constater la chaleur sur la cartouche de chaux.

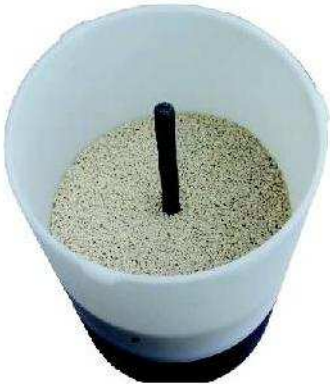


Comme le montre le schéma précédent, la chaux n'est pas « attaquée » uniformément, mais par couches successives. La zone de réaction se déplace de l'entrée vers la sortie de la cartouche de chaux.
Cette illustration montre aussi qu'il ne faut pas reconditionner de la chaux partiellement utilisée. Entre chaque plongée, elle reste dans la cartouche. Il est possible de mettre la cartouche dans un sac étanche quand l'intervalle entre deux plongées dépasse plusieurs jours. Cela permet de conserver une certaine humidité nécessaire à la bonne conservation de la chaux.

La chaux la plus utilisé est la sofnolime D garde 797 (mesh 8-12) , conditionnée en bidons de 5 et 20 litres.

Le remplissage de la cartouche doit se faire avec le plus grand soin et une grande rigueur. Le risque principal de cette étape est le « channeling ». Les gaz ont tendance à suivre le chemin ayant le moins de perte de charge. Si la chaux présente un couloir, alors le gaz va prendre celui-ci et donc il n'aura pas le temps de se débarrasser de son CO2.
Pour ne pas avoir ce phénomène, la méthode de remplissage consiste à taper sur les cotés de la cartouche au fur et a mesure du remplissage. Le tassage du granulat n'est pas conseillé.

La cartouche vide avec son filtre papier au fond



remplissage progressif

Cartouche remplie

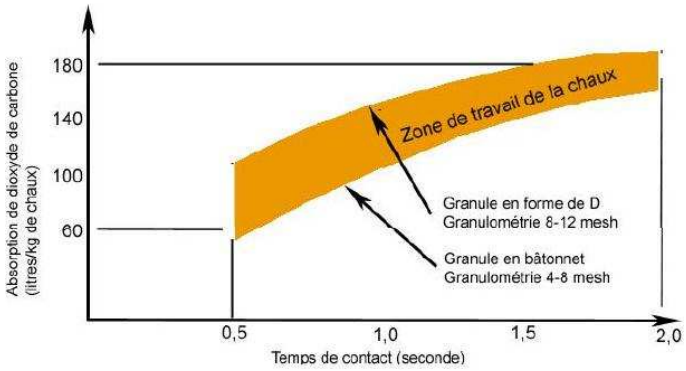
Une durée de vie qui a ses limites

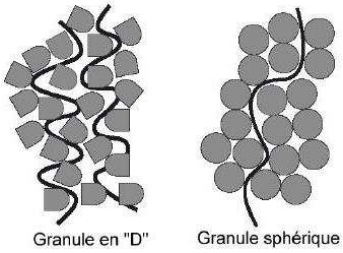
On comprend maintenant l'importance de la chaux. Celle-ci à une durée de vie qui dépend en partie du temps d'utilisation, de la forme du canister, de la granulométrie et forme de la chaux, mais aussi de la profondeur de la plongée.

Les fabricants de chaux sodée indiquent une capacité d'absorption d'environ 120 litres de CO2 par kg de chaux. Si on considère une production de 1,6 litre de CO2 par minute (valeur maximale retenue pour la normalisation), on obtient une durée théorique de fonctionnement d'environ 180 minutes pour un filtre de 2,5kg de chaux, soit 3h.

Il existe deux formes de canister, les formes axiales et les forme radiales. Ces dernières ont une capacité d'absorption supérieure de 20%. On ne les trouve pas sur les recycleurs CE.

La forme et la granulométrie ont aussi une importance dans l'absorption. La chaux de forme sphérique favorise le passage de l'air et donc une diminution du temps de contact et par conséquent une faible réaction chimique.





Il faut un minimum de 0,5 seconde de contact avec la chaux sodée pour assurer une bonne absorption du C02. Ce temps de passage est conditionné principalement par la forme du granulat.

Enfin en utilisation hyperbare, nous savons que l'absorption du CO2 n'est pas aussi efficace qu'en surface. **Plus la profondeur augmente, plus le filtre à des difficultés à fixer le CO2.** En poussant à l'extrême, on peut même imaginer, qu'à très grande profondeur, même un filtre « neuf » ne puisse pas épurer totalement le CO2 produit.
La société Ap Diving assure une durée d'utilisation de 2 heures pour son recycleur Evolution et de 3 heures pour l'Inspiration. Néanmoins elle ramène à 55 minutes la durée de vie de la chaux dans le cas des plongées entre 60 et 100 mètres.
On ne peut que conseiller de renouveler sa chaux à chaque plongée profonde.

Afin de contrôler la qualité de la chaux et sa capacité à absorber le CO2, il est enseigné de marquer le temps d'utilisation sur la cartouche. Néanmoins comme nous venons de le voir, le temps n'est pas le seul facteur essentiel, et la profondeur doit aussi être prise en compte.

Les constructeurs conscients du danger de l'hypercapnie ont mis au point des systèmes de mesure sur leurs recycleurs :
Vr Technology et Apocalypse ont choisi l'option du capteur de CO2. La norme prévoit que ce type de capteur « doit présenter une tolérance d'au moins +/- 3 mbar quelles que soient les conditions, et avertir l'utilisateur lorsque le niveau de dioxyde de carbone inspiré dépasse 5 mbar. »

AP Diving est quant a lui dans une direction différente, puisqu'il prend en compte le travail de la chaux, a savoir la température dégagée grâce a un capteur de température intégré dans la cartouche de chaux. Le résultat est traduit sous forme de barre de progression sur la console de gestion.

Temp stick d'ApDiving mesurant la température

affichage sur la console

Le risque hyperoxique : danger pendant la descente et au fond

Le risque hyperoxique n'est pas non plus à négliger dans le cas de plongées en recycleur. Il peut intervenir pour plusieurs raisons : environnementale, technique et humaine.

A la descente la pression partielle dans le recycleur va augmenter. On part de la surface avec un « setpoint » de 0,7 bars puis à partir d'une certaine profondeur le set point doit être changé, soit en manuel soit en automatique. La profondeur pour changer le setpoint est importante : si cela est fait trop tôt, la pression partielle va continuer à augmenter lors du reste de la descente ; si cela est fait trop tard nous avons vu précédemment qu'il y avait un risque accru de narcose. La profondeur usuelle en mode automatique se situe autour de 30 mètres. Une fois basculé en setpoint 1,3 bar, le plongeur recycleur doit attendre quelques secondes pour stabiliser

la quantité d'oxygène injectée, sinon il y a fort risque de dépasser la valeur limite de 1,6 bars.

C'est aussi pour cette raison que **la vitesse de descente en recycleur est moins rapide qu'en circuit ouvert**.

Dans le cas d'une plongée avec un plongeur bouteille, le briefing devra mettre en évidence ces particularités.

D'une manière générale, la machine injecte automatiquement l'oxygène. On peut aussi injecter manuellement l'oxygène avec les recycleurs à gestion électronique. Les programmes d'injection prennent en compte les temps de réaction d'analyse.

Le risque majeur est un défaut de fonctionnement du solénoïde, qui pourrait éventuellement rester en position ouverte. C'est un incident rare, qui fait l'objet d'une procédure pendant la formation du plongeur.

La procédure consiste stopper l'injection d'oxygène en fermant sa bouteille (celle-ci est ouverte d'un quart de tour avant la plongée, facilitant ainsi sa fermeture) et à injecter du diluant afin de faire descendre la Pp02 dans la boucle respiratoire. On voit ici l'intérêt d'avoir un diluant respirable à toutes les profondeurs, mais aussi un diluant permettant efficacement le rinçage de la boucle (chute rapide de la Pp02). Il faut noter ici le danger de plonger avec un diluant dont la PpO2 au fond est supérieur à la PPO2 du recycleur. **Un diluant Trimix normoxique n'a pas sa place en recycleur.**

	40 m	50 m	60 m	70 m
PpO2 (en bar)	1,0	1,2	1,4	1,6
PpO2 du recycleur (en bar)	1,3	1,3	1,3	1,3

PPO2 d'un trimix normoxique Tx 20/30 en fonction de la profondeur

Cependant, le risque pourrait venir d'une mauvaise analyse par les cellules. En effet celles-ci sont au nombre de trois, et le logiciel est programmé pour prendre en compte les 2 valeurs les plus proches. Nous avons vu précédemment la perte de linéarité des cellules. Dans ce cas, la mesure pourrait être faussée par deux cellules en fin de vie, provoquant une injection d'oxygène et le risque de dépasser la valeur limite.

Ce cas de figure peut arriver si les cellules sont mal étalonnées où si les cellules sont en fin de vie. Nous avons vu précédemment l'intérêt de l'étalonnage. Pour la durée de vie des cellules, les constructeurs donnent en général 18 mois. Une cellule ayant une tension de sortie inférieur à 7mv est considérée comme HS.

On peut soit changer ses trois cellules tous les 18 mois, soit envisager une rotation tous les 6 mois. Cette dernière à l'avantage d'écarter le défaut d'un lot de cellule.

Enfin une erreur humaine est toujours possible, et dans ce cas précis le plongeur pourrait se tromper d'inflateur et injecter de l'oxygène au lieu du diluant. Cette erreur pourrait se produire dans le cas d'une narcose ou éventuellement d'une panique.

Le risque hypoxique : à tout moment

Il s'agit là du troisième et dernier risque majeur en recycleur. Il peut arriver à tout moment, les principales causes étant :

- Manque d'oxygène
- Electronique
- Sonde

Le manque d'oxygène peut provenir de deux sources, la première est que la bouteille d'oxygène est vide, l'autre pouvant provenir du solénoïde qui n'injecte plus d'oxygène.

Cette dernière cause est très rare, et la probabilité de survenir est faible mais existante. C'est pour quoi il recommandé de contrôler régulièrement la

PPO2 de la boucle. Les constructeurs ont prévus des alertes sonores (Buzzer), visuelles (HUD) et/ou sensitives (vibreur). Cependant, l'injection d'02 est le seul bruit existant dans l'environnement du plongeur recycleur. Le plongeur remarquera tout de suite son absence.

Le manque d'oxygène à cause de la bouteille est une raison plus probable. Elle peut être du à une fermeture accidentelle de la bouteille ou à une consommation excessive (vidage de masque, profil Yoyo, expiration par le nez…). Cela peut entrainer rapidement une chute de pression dans la bouteille d'oxygène (capacité de 2 litres). La première prévention consiste à contrôler régulièrement sa pression (comme en plongée circuit ouvert)

Néanmoins la formation du plongeur prend en compte ce risque en cas de PPO2 faible : le premier réflexe est d'injecter du diluant permettant d'avoir un gaz respirable immédiatement. Ensuite il convient de vérifier que la bouteille est ouverte. La procédure de remontée sera alors déclenchée (en circuit semi fermé ou en circuit ouvert avec ses bail out).

L'électronique peut également être la cause de ce risque, mais moins en raison d'un dysfonctionnement, que parce que la machine est éteinte. Ce cas arrive si on utilise le recycleur alors qu'il est éteint (lors de la vérification ou en surface).

Il arrive à certains plongeurs d'éteindre le recycleur une fois arrivé en surface pour économiser des piles. On ne peut que regretter cette attitude. La machine doit être éteinte uniquement lorsque le plongeur est sur le bateau ou a terre et que le recycleur à quitté son dos.

Au cours de la formation du plongeur il est important d'insister sur cet aspect.

Enfin comme nous l'avons vu dans le paragraphe consacré aux sondes, il se peut que la linéarité des sondes entraine une mauvaise analyse de la PPO2. Il faut arriver à un cas d'extrême limite puisque ce problème arrive plutôt dans le cas d'une PPO2 élevé dû a un plafonnement des cellules. La cause parait de faible probabilité, voir inexistante.

L'électronique : la redondance

L'électronique est souvent la partie la plus critiquée dans les recycleurs à circuit fermé dit eCCR. Oubliant par la même occasion que notre monde est entouré d'électronique : l'aviation, l'automobile, les pacemakers… sont gérés par l'électronique.

La gestion électronique du recycleur est complexe mais sécurisée. Le maitre mot est la redondance. Tous les circuits sont doublés et indépendants, avec pour objectifs : s'assurer du respect de la PPO2 et contrôle mutuel des deux circuits Maître et Esclave.

Tout les recycleurs sont basés sur le même principe : 2 ordinateurs contrôlant indépendamment le travail de l'autre, appelé contrôleurs Maitre et Esclave. Le contrôleur Maitre est le principal. Il peut être à tout moment remplacé automatiquement par le contrôleur Esclave s'il ne réagit pas quand la PPO2 baisse, quand les résultats de l'analyse sont incohérents ou alors quand la batterie est insuffisante pour alimenter le solénoïde. Bref le contrôleur maitre est en permanence surveillé par le contrôleur esclave.

Comme vu précédemment, les piles ou batteries alimentent indépendamment les deux contrôleurs. Il est impossible que les deux piles ou batteries soient HS en même temps. Comme le contrôleur esclave, n'est là qu'en observateur, il ne consomme que peu d'énergie.

Pour les alertes, les constructeurs ont prévu plusieurs voies, la console étant la principale par lecture directe d'un message. Ils ont également mis en place des HUD, affichage à led qui se trouve au niveau de l'œil, un buzzer au niveau de l'oreille et parfois un système vibratoire au niveau de la bouche. Ces organes de sécurité, ont comme avantage de consommer très peu d'énergie et de prévenir par différents canaux ou sens l'utilisateur : la vue, le toucher, l'ouie…

A titre d'exemple en cas de dépassement de la valeur limite de PPO2, 3 alarmes vont se déclencher sur le contrôleur principal :

1. La console affichera une alarme
2. Les leds du HUD passeront du vert au rouge (avec clignotement)
3. Le buzzer ou le vibreur se mettra en marche

Si le contrôleur maitre ne réagit pas dans la seconde qui suit, le contrôleur esclave prendra le contrôle et déclenchera à son tour les alarmes.

On voit bien dans cet exemple que le risque d'une défaillance de l'électronique est écarté par le doublement de chaque circuit.

L'électronique a par ailleurs l'avantage de contrôler et gérer beaucoup d'informations en même temps, ce qui est difficile pour le cerveau humain.

A titre d'exemple, prenons le cas de la remontée assistée ou en sauvetage d'un plongeur en circuit ouvert par un plongeur recycleur en circuit fermé dit mécanique (mccr).

Il faudra gérer en même temps :

1. Le maintien ou non du détendeur
2. Le gilet du syncopé
3. Son propre gilet
4. Le maintien de sa PP02 (injection manuelle de l'O2)

On voit dans cet exemple que la gestion manuelle comporte des inconvénients, dans des certains cas particuliers. Il ne faut donc pas opposer le choix d'un recycleur électronique ou mécanique, car ils ont chacun des avantages et des inconvénients.

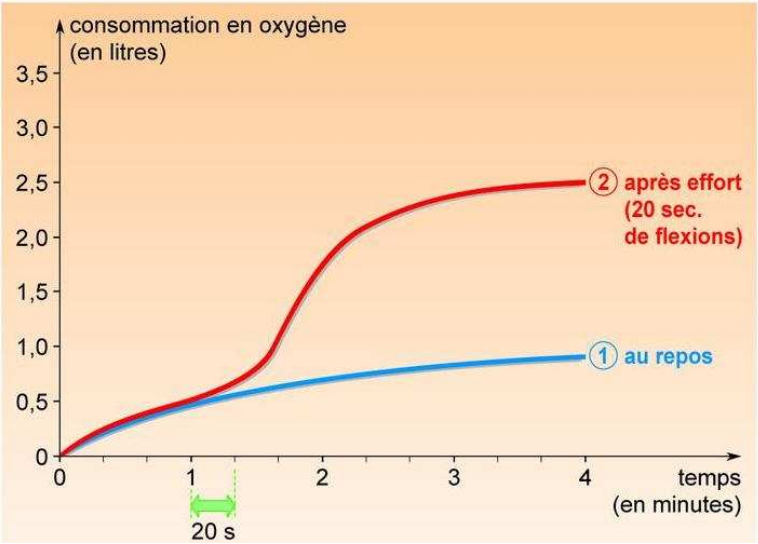
Il est a noter que la Marine Nationale a fait le choix du recycleur à circuit fermé dit mécanique (mccr) et que l'Us Navy a pris l'option du eccr, à gestion électronique.

L'autonomie

C'est le royaume du recycleur. Il n'y a aucune chance de tomber en panne de gaz avec un recycleur, si celui-ci ne présente pas de fuite. La consommation est indépendante de la profondeur.

Examinons d'abord la consommation d'oxygène. Une personne au repos consomme de par son métabolisme, environ 0,3 litre d'oxygène par minute, c'est ce qu'on appelle la V02.

La consommation en oxygène chez le même sujet au repos et après un effort physique d'une durée de 20 secondes



Sur ce graphique on voit que la consommation en oxygène dépend uniquement de l'effort. Il peut augmenter très rapidement mais est limité en tout état de cause par ce qu'on appelle la VO2 Max. c'est-à-dire le volume maximum que peut consommer un individu sur un effort. Sans rentrer dans le détail, on voit bien que l'unité de consommation est de l'ordre du litre par minute et que la quantité amené est en centaine de litre.

Voici le tableau de l'autonomie en oxygène (en minutes) en fonction de la pression de la bouteille d'oxygène et de la V02 pour une bouteille de recycleur de 2 litres.

	0,3 litres/mn	1,0 litres/mn	2,0 litres/mn	3,0 litres/mn
200bars	1333	400	200	133
150 bars	1000	300	150	100
100 bars	666	200	100	67
50 bars	333	100	50	33

En moyenne, sur une plongée d'une heure le plongeur recycleur va consommer 100 litres d'oxygène soit 50 bars sur une bouteille de 2 litres.

Coté diluant, la consommation se fait uniquement à la descente, Mariotte oblige. Une fois au fond le diluant n'est pas utilisé, sauf pour gonfler son gilet.

En moyenne, sur une plongée d'une heure le plongeur recycleur va consommer 100 litres de diluant soit 50 bars sur une bouteille de 2 litres.

En conclusion, la limitation du temps de plongée ne se fera pas sur le gaz emporté mais comme vu précédemment sur la chaux et sa capacité à absorber le C02.

Le matériel noyé

Il s'agit là du cas le plus grave. Néanmoins, comme nous l'avons vu, un risque est pondéré en fonction de sa durée, intensité et fréquence. Si la fréquence est nulle alors le risque est faible.

Si le plongeur à fait les tests d'étanchéité, comme vu dans le paragraphe plus haut, il n'existe aucun risque de noyer la machine. Il ne faut pas confondre une entrée d'eau avec la condensation naturelle qui règne dans le recycleur et qui est tout à fait normal.

Néanmoins les constructeurs ont prévus des pièges à eau, dans le faux poumon expiratoire et dans le canister.

En cas de noyade complète de la machine, la procédure consiste à prendre le bail Out.

La décompression

Les risques d'accident de désaturation en recycleurs sont plus faibles qu'en circuit ouvert. Le principe même étant de maintenir la PpO2 constante. La désaturation est donc bien meilleure et optimale. La plupart des machines ont l'ordinateur de plongée multi gaz intégré. Il y a un donc un calcul de la décompression en temps réel en fonction de la PpO2 du mélange.

Les ordinateurs de plongée intégrés ont des algorithmes du type Bühlmann avec Gradient Factor ou VPM avec conservatisme. Le mauvais réglage des Gradient Factor ou conservatisme peut entrainer des accidents de désaturation.

Néanmoins le risque, vient de la capacité à rester une longue période sur des profondeurs importantes. Les algorithmes pour la plongée loisir sont rarement validés pour de type de plongée. Nous verrons les conséquences dans la partie consacré à l'accidentologie.

En revanche on ne peut que conseiller de durcir la décompression par l'intermédiaire des Gradient Factor ou conservatisme, et dans le cadre de plongées dite « lourde » de faire sa décompression en mode oxygène pur.

L'expérience et la formation du plongeur

La meilleure des préventions reste une solide formation et un maintien régulier des acquis. La routine peut être rassurante mais elle cache parfois le danger. Seule une remise en cause régulière permet de se maintenir à niveau.

Pour cela plonger régulièrement avec le même binôme n'est pas à conseiller. La plongée avec des niveaux de plongeur différents permet de garder la vigilance.

L'expérience en circuit ouvert est indispensable. Il est fortement conseillé d'acquérir une expérience solide en circuit ouvert au-delà des 40m.

Par ailleurs, il me semble nécessaire d'avoir les formations trimix en circuit ouvert avant d'aborder le circuit fermé. L'avantage étant d'avoir acquis des bases solides avec du matériel connu. Comme vu précédemment dans le paragraphe sur l'hyperoxie, il y a un risque réel d'utiliser un diluant normoxique en recycleur.

Il est à noter que la dernière version du code du sport et du MFT, la notion de Normoxique et Hypoxique n'existe plus.

Le plongeur recycleur ne devra pas se contenter de sa formation mais régulièrement faire des exercices. Cette recommandation est bien sur également valable pour les plongeurs en circuit ouvert.

Voici une liste non exhaustive des exercices techniques à réaliser de manière régulière :

- ✓ Passage en circuit ouvert
- ✓ Remontée en semi-fermé
- ✓ Simuler la fermeture de l'O2 et injecter le diluant
- ✓ Utiliser son bail Out et donner de l'air a un coéquipier

La plongée en palanquée mixte

La question est de savoir si la plongée en palanquée mixte représente un danger réel et sérieux. Analysons ici les étapes importantes d'une plongée et comparons la différence.

	Circuit fermé/ Circuit Ouvert
Préparation du matériel	La préparation du matériel nécessite **un peu plus de temps** de l'ordre de 15 à 20 minutes
Mise à l'eau	Elle est **identique** au circuit ouvert, elle ne comporte pas de particularité
Descente	**Plus lente** qu'en circuit ouvert, due en partie au risque de montée excessive de PpO2. Il y a un stop à faire lors du changement de Set Point.
Progression au fond	**Identique**, mais l'encombrement peut ralentir la progression. Le plongeur recycleur préfère contourner les obstacles par les cotés que par le dessus, évitant une consommation excessive de gaz
Temps de plongée	**Supérieur au** circuit ouvert
Remontée	**Identique**, la vitesse de remonté n'est dépendante que du moyen de décompression utilisé.
Décompression	Le plongeur recycleur à **beaucoup moins** de palier à faire qu'un plongeur en circuit ouvert
Panne d'air	**Identique**, en cas de panne d'air le plongeur recycleur dispose de Bail out pour les autres ou pour lui. Dans le cas des plongées profondes le plongeur recycleur sert souvent de « porteur d'eau », il contribue grandement à la sécurité de la palanquée en emportant ses gaz de secours.
Assistance/sauvetage	**Identique**, les procédures ne changent pas
Remontée rapide	**Possible**, le recycleur injecte automatiquement l'O2
Essoufflement	**Plus importante**, qu'en circuit ouvert, la prévention et le comportement étant essentiels

Nous voyons dans cette liste non exhaustive, les différences de comportement entre un plongeur circuit ouvert et circuit fermé. Des point importants sont donc à respecter, a savoir :

- Descente et déplacement plus lents
- Faire un stop lors du changement de Set Point
- Risque d'hypercapnie

Tous ces éléments devront faire l'objet d'un briefing précis dans la palanquée.

Au point de vue sécurité, la mixité des palanquées apporte au DP l'assurance d'avoir une vue de la surface, sur le déplacement de celle-ci. Certaine structure n'autorise pas la plongée entre recycleur, mais en palanquée mixte.

Risque biologique : la désinfection

Le risque biologique, n'est pas à négliger. La machine doit faire l'objet d'une désinfection régulière avec des produits bactéricide et fongicide, n'altérant pas la machine.

Il est conseillé de désinfecter la machine à chaque utilisateur différent.

Synthèse et préconisations

✓ L'analyse des risques nous montre que 3 dangers ressortent, soit par ordre de fréquence :

1. Hypercapnie
2. Hyperoxie
3. Hypoxie

Pour cela 2 opérations de maintenance doivent faire l'objet d'une attention particulière :

- Changement régulier des cellules
- Chargement et changement de la chaux

De plus un entrainement physique régulier préviendra plus facilement le risque d'hypercapnie.

- ✓ La préparation de la machine ne doit pas laisser place à l'improvisation et on doit y consacrer une grande rigueur.

Pour cela deux opérations obligatoires

- Test d'étanchéité
- Calibrage des cellules

- ✓ Le risque de narcose arrive plus vite en recycleur

- Utiliser systématiquement un diluant Trimix au-delà de 40 mètres
- Ne pas utiliser de mélange dit normoxique

- ✓ L'autonomie n'est pas un facteur limitant, néanmoins il faut être vigilant sur les pressions.

- Au moins 100 bars de pression pour une plongée

- ✓ Ne pas dépasser les limites imposées par le constructeur et avoir des profils de plongée raisonnables dans la profondeur et le temps.

- ✓ L'électronique est doublée et les mesures triplées, néanmoins le risque nul n'existe pas.

Pour cela il faut :

- Contrôle régulier de sa PpO2
- Changer les piles ou charger les batteries régulièrement

- Faire réviser son recycleur en cas de doute

✓ La mixité des palanquées ne semble pas faire ressortir de dangers réels et sérieux, néanmoins elle doit faire l'objet d'un briefing distinct, avec entre autre :

- Risque d'hypercapnie
- Descente plus lente
- Faire un stop lors du changement de Set Point
- Déplacement plus lent et contournement des objets

✓ Sur la formation, les qualifications fédérales Trimix en circuit ouvert semblent indispensables en pré requis pour consolider ses connaissances.

✓ Maintenir régulièrement son niveau de compétence

- Etre capable de passer en circuit ouvert
- Etre capable de donner de l'air à un membre de la palanquée
- Etre capable de fermer sa bouteille d'oxygène
- Etre capable de remonter en semi fermé

Accidentologie : Les études statistique

PARTIE 5

D'une manière générale il y a peu de statistiques et de retour d'expérience sur l'accidentologie en plongée. En France aucun organisme ne se charge de des retours et analyses, un des obstacles majeur étant le secret de l'instruction en cas de procédure judiciaire, mais aussi une forme de déni des plongeurs et une volonté de ne pas associer le mot accident à la plongée.

Quelques pays ont des agences indépendantes :: les Américains, par l'intermédiaire du Divers Alert Network DAN, et les Suisse avec le Bureau de Prévention des Accidents de plongée (BAP), disposent tous les ans de rapports statistiques sur la pratique de la plongée.
Par ailleurs une société de certification dont le siège social est au Bahamas (Deep Life Ltd), propose un recensement des accidents en plongée recycleur.

La FFESSM, produit tous les ans une enquête nationale sur les accidents de plongée sportive en scaphandre. Ces rapports ne traitent pas l'accidentologie en recycleur.

Ayant peu d'éléments sur les accidents en circuit ouvert, il est difficile d'avoir une réelle photo de l'accidentologie en recycleur. Elle est parfois faite de rumeurs et même de légendes. Il n'est pas rare de voir dans les médias un titre annonçant « décès d'un plongeur en recycleur », alors même que ce plongeur est décédé d'une cause naturelle… alors le seul message retenu est que le recycleur est dangereux.

Nous venons de voir précédemment l'analyse des risques sur l'utilisation du recycleur, mais nous avons vu aussi qu'un plongeur bien formé et rigoureux permet en grande partie de prévenir l'accident.

Néanmoins les accidents arrivent au même titre qu'en plongée bouteille. L'activité n'est pas sans risques.

Il existe une étude sérieuse sur l'accidentologie, faite par la Marine Nationale.

Etude de la marine Nationale

La Marine française utilise depuis plus de 40 ans les recycleurs. Depuis 1979, elle a répertorié, sur une série de 300 accidents, 206 accidents qui concernent la population des plongeurs-démineurs et des nageurs de combat c'est-à-dire celle qui utilise les appareils à recyclage de gaz. Dans cette population, 96 accidents survenant avec un recycleur sont recensés.

La Marine française, dispose de quatrs types de recycleur : l'oxygers 57 à oxygene pur, le DC55 et l'oxymixgers à mélange sur oxygéné et le Mixgers 78 à mélange ternaire.

Contrairement à la Marine américaine, la Marine Nationale utilise des recycleurs circuit fermé dit mécaniques.

Voici les résultats de l'étude :

Tableau I. Répartition clinique des 96 accidents survenus avec un appareil de plongée à recyclage des gaz, entre 1979 et 2002.

accidents biochimiques	hypercapnie	24 %	59 %
	hyperoxie	19%	
	hypoxie	16%	
acccidents de désaturation			15 %
accidents barotraumatiques	pulmonaire	7 %	15 %
	ORL	8 %	
autres accidents			8 %
décès par noyade			3 %

L'hypercapnie, avec 24% des cas, représente l'accident le plus nombreux, vient ensuite l'hyperoxie. Cette dernière est à mettre en lien avec la plongée professionnelle car les militaires utilisent souvent des recycleurs à oxygène pur, dans des zones de profondeur allant au delà des limites autorisées.
Pour l'hypercapnie, le rapport ne met pas en cause la chaux, car dansla plupart des cas l'hypercapnie a été provoquée par une activité intense.
Comme vu précédemment, dans l'analyse des risques, l'hypercapnie est l'accident le plus à craindre.

L'accident de désaturation ne représente que 15% des cas, il est observé autant en eau froide qu'en eau chaude. Le plus souvent les profondeurs étaient supérieures à 35 mètres (moyenne 41 mètres) pour une durée de travail de 20 minutes en moyenne et sans paliers.

Probabilité d'avoir un accident en recycleur dans la Marine Nationale :

« …Compte tenu de l'activité des 250 plongeurs d'armes, avec environ 100 plongées utilisant des recycleurs par plongeur et par an, et compte-tenu d'une incidence d'environ quatre accidents par an avec des recycleurs, on peut estimer le risque global d'accident à 1/6 000 plongées avec recycleur dans la Marine nationale… »

En utilisant les MN90, la probabilité d'avoir un accident selon J-E. Blatteau (médecin de la plongée au service de santé des armées) est de 1 pour 30000. Mais ce chiffre est ramené à 1 pour 3000 pour les plongées au-delà de 43 mètres.

Analyse d'un expert : Bernard Gardette

(*directeur scientifique de la COMEX)*

Bernard Gardette dans un entretien avec Pierre Martin-Razi pour la revue Subaqua donne son avis sur la plongée en recycleur. Voici quelques extraits de cet article :

Pierre Martin-Razi : Vous avez assez vivement réagi à la lecture de l'article du docteur André Grousset publié dans le n° 204 de Subaqua et qui relatait la disparition de Penny Glover. Et vous avez éprouvé la nécessité de vous exprimer dans les colonnes de la revue fédérale. Pourquoi?

Bernard Gardette : « …Je ne dispose pas de statistiques précises mais nous en sommes aujourd'hui à près d'une trentaine de morts, victimes d'accidents alors qu'ils plongeaient avec des recycleurs au trimix de type Buddy Inspiration. Ce chiffre appelle un certain nombre de réflexions. Dans ce domaine très pointu, l'expérience est militaire. **La Marine nationale a effectué des études poussées sur le sujet** (…) Je n'en tire pas de conclusions définitives car il faut se garder de comparer ce qui n'est pas comparable mais admettons que si **la Marine ne déplore pas d'accident, c'est sans doute parce que les procédures de plongées mises en place**

sont d'une rigueur extrême. Tant sur le plan de la logistique que des profils de décompression…

P. M.-R. Faut-il en déduire que le Buddy Inspiration est un appareil dangereux?

B. G. **Objectivement, rien ne le prouve**… la fiabilité du Buddy Inspiration n'est apparemment pas en cause (…) Tout au moins dans sa conception et la qualité de sa fabrication. **C'est plutôt dans sa mise en œuvre et son utilisation que l'on doit chercher**… Sur les 96 accidents évoqués, seuls 3 décès sont à déplorer dont deux à l'O2 pur et un au trimix au-delà de 80 m. **Cela représente 1 décès sur 200 000 expositions**, ce qui en termes purement statistiques **est vraiment très faible**…

P. M.-R. Ces accidents sont-ils liés aux mélanges proprement dits?

B. G. Il est difficile de se prononcer pour l'ensemble des accidents (…) Par contre trois sources peuvent être à l'origine de la survenue. **Un problème matériel** évidemment mais nous l'avons vu, **c'est assez peu probable** (…) La deuxième cause peut venir d'un problème de formation. (…) Je pense que **pour être performant** dans ce domaine**, il faut sortir de sa "bulle" de plongeur amateur**(…) Je suis malgré tout sidéré par les paramètres de son ultime plongée. Quarante minutes à quatre-vingts mètres constituent une erreur majeure de la part d'une personne aussi compétente (…)

Cela m'amène naturellement à la troisième cause possible des accidents, sans doute la plus **probable dans la majorité des cas : la procédure et le profil de la décompression.**

P. M.-R. Si l'on suit bien votre raisonnement, les plongeurs feraient donc des accidents de décompression à l'azote et non pas à cause de l'hélium?

B. G. Exactement. La faible vitesse de remontée du fond s'impose pour éliminer l'hélium mais en remontant trop lentement on sature encore en azote. Et si l'on shunte une partie de la déco aux derniers paliers, c'est l'accident… **Je pense que la majorité des disparitions avec les recycleurs trimix provient de ça**. **Une profondeur importante, un**

séjour au fond beaucoup trop long et des paliers insuffisants dans la zone des 9, 6 et 3 mètres. (…)

P. M.-R. Vous êtes donc opposé à l'utilisation du recycleur trimix ?

B. G. Non, bien au contraire. C'est un formidable outil pour les Pro mention B, les cinéastes, les biologistes, les archéologues qui planifient et organisent rigoureusement leurs plongées. Mais il faut bien garder en tête que **les exceptionnelles performances du recycleur peuvent se retourner contre celui qui l'utilise**. En plongée la limite, c'est l'homme et **les amateurs doivent se cantonner à des plongées courtes**, qui ne nécessitent pas des temps de décompression excessifs.

Autres cas

L'étude de quelques articles ou rapports d'accidents étrangers, met en évidence trois groupes de plongeurs recycleurs à risque :

- Le plongeur autonome faiblement expérimenté qui utilise sa machine à mauvais escient, notamment dans des profondeurs trop grandes (> 70m)
- Le plongeur très expérimenté, qui connait parfaitement son recycleur, mais qui par excès d'assurance utilise sa machine de façon *border line*. Cela peut provoquer des accidents dans de faibles profondeurs.
- Les plongeurs qui effectuent des records de profondeur.

Synthèse et préconisations

Nous venons de voir qu'en dehors de la Marine Nationale il n'existe aucune statistique ou étude fiable.

La machine est rarement mise en cause. Néanmoins l'analyse des risques à montré que le plongeur recycleur pouvait se trouver en situation délicate à cause de la machine. Nous avons vu dans le chapitre précédent les mesures correctives et préventives.

Les causes mortelles semblent provenir en partie a cause des profils de plongée ou les profondeurs et temps qui paraissent démesurés pour la plongée loisir et récréative.

On se doit de rappeler que les modèles de décompression sont rarement validés au-delà de 100 mètres. Que les recycleurs circuit fermé, au vu de leur autonomie, permettent des temps de plongée et des profondeurs irraisonnables.

Il semble en comparaison que l'accidentologie en circuit ouvert est moindre du fait des temps de plongées limitées.

D'après Bernard Gardette, le plongeur recycleur devrait se contenter de 20 minutes à 60 mètres et 15 à 80 mètres au maximum.

Dans son approche et sa préparation la plongée en recycleur semble plus proche de la plongée professionnelle (militaire, sécurité civile…) que de la plongée loisir.

3 règles à retenir :

- Grande rigueur de préparation du recycleur
- Grande rigueur de planification de la plongée
- Temps de plongée et profondeur limités

Enfin il est a noter que le législateur à confirmé dans le code du sport l'utilisation des recycleurs en plongée sous marine. L'état français, est d'une manière général très protecteur vis-à-vis du consommateur. Si celui-ci avait eu écho ou si une analyse sérieuse avait montré un vrai danger, alors il en aurait certainement interdit la vente et l'usage.

Le recycleur doit nous permettre de redécouvrir les sites de plongée que nous faisions en circuit ouvert, mais en aucun cas repousser les limites de l'incursion de l'homme sous la mer.

La Pratique en Bretagne et Pays de la Loire

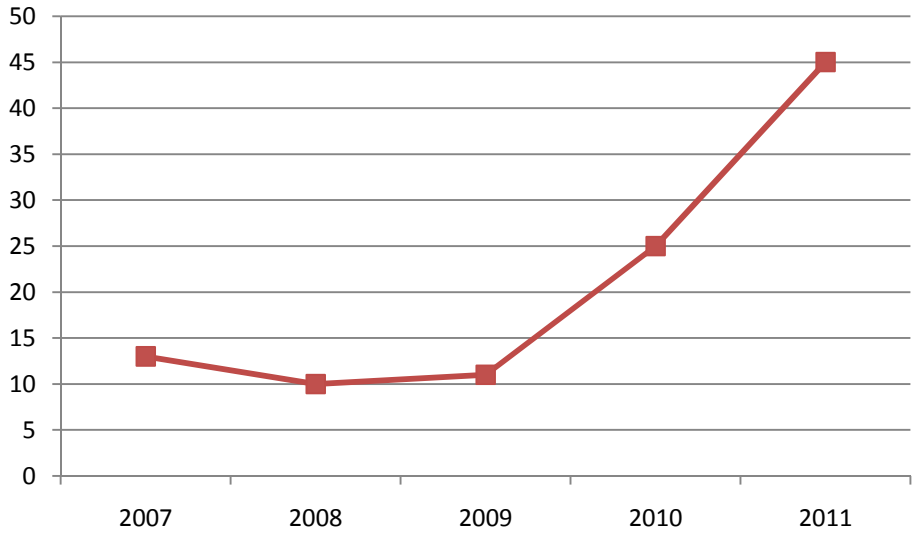
PARTIE 6

En Bretagne-Pays de la Loire, on constate qu'un nombre non négligeable de plongeurs qui aime à se regrouper et pratiquer cette activité.

Nous allons voir ici quelles sont les pratiques en Bretagne et Pays de la Loire, les structures accueillantes qui ont contribué au développement mais aussi les aménagements nécessaire à l'accueil de ce type de plongeur.
Enfin une partie sera consacrée a des propositions dans le cadre du développement

Les certifications en Bretagne et Pays de la Loire

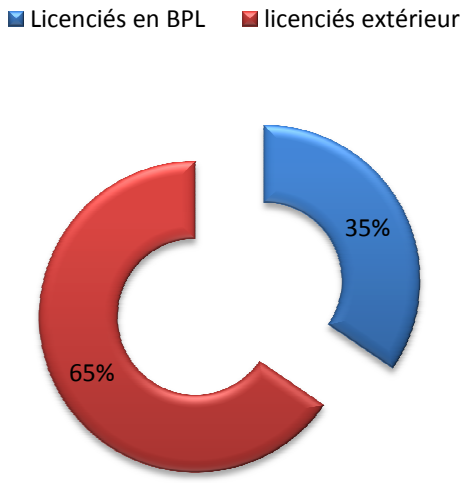
Evolution des certifications en BPL



Données issues de la base de données fédérale au 1 mars 2012

Depuis 2007, le nombre de certification dans l'inter-région est de 107.
La courbe ci-dessous montre la progression des certifications sur 5 ans, et la nette progression depuis 2009.

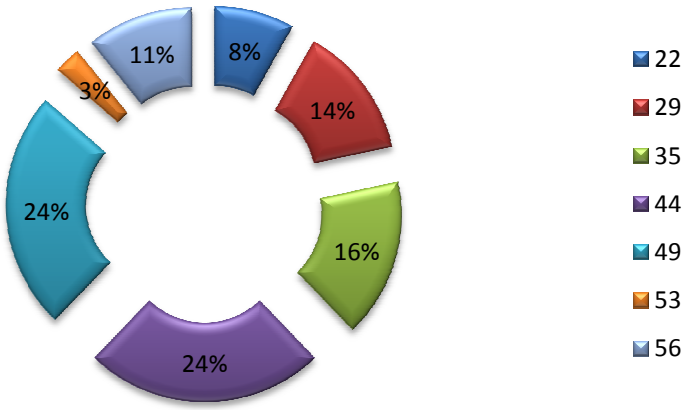
Part des licenciées de Bretagne et Pays de la Loire :



Données issues de la base de données fédérale au 1 mars 2012

65% des certifications sont accordées à des personnes extérieures à notre région. Ce chiffre montre l'intérêt de nos centres de formation mais aussi la reconnaissance nationale de nos centres.

Répartition des licenciés de Bretagne et Pays de la Loire :



Données issues de la base de données fédérale au 1 mars 2012

Le Maine et Loire et la Loire Atlantique représentent à eux deux la moitié des certifications de licenciés BPL. Cela s'explique par la situation géographique des deux centres formateurs.

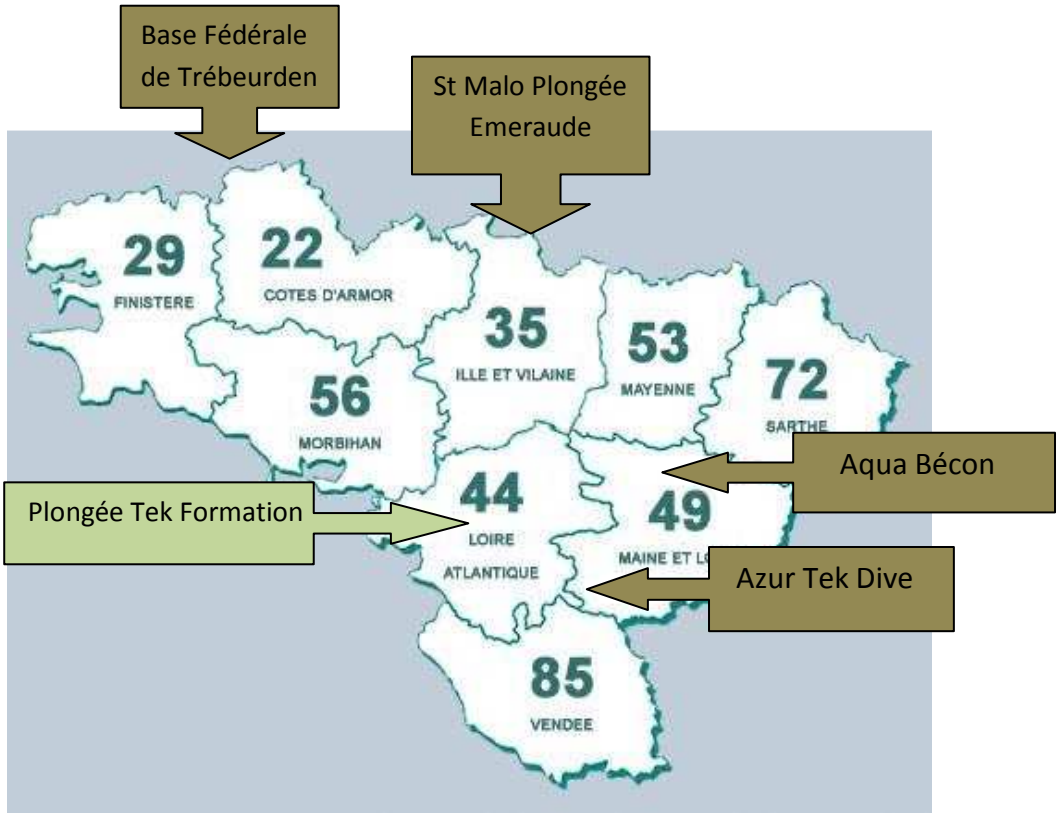
Les pôles de développement dans la région

A ce jour il existe trois sites sur l'Inter Région proposant des formations recycleur circuit fermé, mais aussi acceptant de fait la plongée en recycleur. Deux sites sont en Pays de la Loire et un site en Bretagne.

- ✓ Bécon les granits et Roussay en Pays de la Loire
- ✓ St Malo en Bretagne

D'autre part il existe une SCA en Loire Atlantique, qui forme les plongeurs.

Enfin la base Fédérale de Trébeurden a accueilli le stage National de Formateur



Les deux premiers ont contribuée en très grande partie au développement du recycleur en France. Ces deux structures bénéficient d'une réputation nationale.

Le club AquaBécon forme à l'année des plongeurs recycleurs Air et Trimix. La structure a deux moniteurs formateurs recycleurs. Les recycleurs utilisés sont de la marque Apdiving (Inspiration ou Evolution).

La structure Azur Tek Dive, basé à Roussay, à longtemps formé des plongeur recycleur sur ApDiving. L'actuel propriétaire est actuellement formateur sur le Sentinelle de VrTechnology.

La base fédérale de Trébeurden a accueilli en 2011 le stage National de Formateurs de Moniteur, organisé par la CTN.

Comme nous l'avons vu l'offre de formation est ciblée en partie sur deux départements.
Concernant la plongée exploration, le club de Léo Lagrange de Camaret (29) accepte les plongeurs recycleurs. Néanmoins la structure n'a pas de capacité de gonflage.

Une démarche avec les strucutures et club de plongée de bords de mer du Finistère, Morbihan, et Vendée pourrait permettre d'élargir cette offre régionale.

Les initiatives locales

Des Codep, via les CTD organisent des journées découvertes ou opération baptême.

- Depuis 2009, le Codep44, organise une journée annuelle sur les recycleurs avec présentation du matériel et baptême de plongée.

- Le Codep 35 a organisé un « WE TEK 'n Fête » en 2011 avec une présentation de recycleur et proposition de baptême.

- Saint Malo plongée Emeraude organise tous les ans un week-end découverte : « Le St Malo Tech Dive ».

- La CTR participe financièrement à un colloque organisée par AquaBécon.

Recevoir des plongeurs recycleur dans sa structure

L'accueil de plongeur recycleur ne nécessite pas obligatoirement d'investissement particulier. On peut créer trois niveaux d'accueil :

- ✓ La plongée ponctuelle
- ✓ L'accueil des séjours (court ou long)
- ✓ La formation

La plongée ponctuelle

Pour l'embarcation il n'y a pas de particularité, les aménagements et l'organisation se font plutôt en amont de la plongée. Le recycleur prend en général la place deux blocs de plongée, le Bail Out peut prendre une troisième place en fonction du type d'embarcation.

En général dans le cadre d'une plongée ponctuelle, le plongeur arrive avec son matériel préparé.

- ➢ Veiller a la surcharge du ou des plongeurs sur le bateau
- ➢ Prévoir un ou des emplacements spécifiques sur le bateau

L'accueil des séjours (court ou long)

Sur le séjour, il faudra permettre aux plongeurs de remettre de la chaux et gonfler leur bouteille d'oxygène. Il s'agit là peut être du premier niveau d'investissement.

Les locaux ne font pas l'objet de modification, néanmoins pour préparer sa machine, le plongeur recycleur, à besoin en général d'être à hauteur de

celle-ci. En effet il est plus facile pour faire la check list de se trouver à hauteur, mais aussi pour remplir le canister de chaux.

Pour la chaux, les plongeurs amènent leur bidon. Il faut prévoir une poubelle de grande capacité (entre 2 et 3 Kg de chaux par recycleur).

Pour le gonflage, le plongeur recycleur recherche de la pression mais pas de volume. Il faut une B50 d'oxygène plongée, avec au minimum 150 bars.
La location d'une B50 coûte entre 4 et 15 €/mois, la recharge 60€.
Pour le transfert l'achat d'une lyre peut s'avérer nécessaire (120 à 350 €), néanmoins il est possible que le ou les plongeurs aient ce matériel avec eux.

- Mettre une table à disposition
- Une poubelle pour la chaux
- Prévoir le gonflage si nécessaire

Concernant les horaires d'ouverture, si le plongeur recycleur laisse son matériel au club, il lui faudra le soir ou le lendemain matin 15 à 20 minutes supplémentaires pour préparer sa machine. Parfois le plongeur recycleur ramène sa machine avec lui.

- Prévoir l'ouverture du local 30 minutes avant ou après

La formation

Il s'agit là du plus haut niveau d'investissement. En plus des préconisations citées plus haut, il faut investir dans la formation de ses moniteurs et dans le matériel.
Cet objectif doit être préparé. La formation d'un moniteur coute environ 1200€. Il devra être formé en tant que plongeur dans un premier temps puis en tant que moniteur (après 100 heures sur sa machine).
Par ailleurs, il faut prévoir l'achat à minima d'une machine (6200€).

- Formation du moniteur
- Achat d'un recycleur

Aspects économiques : le frein principal

L'aspect financier est la première raison pour laquelle le recycleur trouve des difficultés à se développer. Voyons ici le cout réel d'un recycleur et d'un matériel circuit ouvert et comparons aussi le fonctionnement. Afin d'avoir une comparaison équitable nous prendrons le matériel d'un plongeur TEK.

A l'acquisition :

Matériel	Circuit Ouvert	Recycleur
Gilet Transpac + Bouée rec wing	620 €	inclus
Bouteille BI + manifold	600 €	Inclus
Détendeurs Legend aqualung + Mano + DS	1200 €	Inclus
Ordinateur (Tarif moyen du marché)	900 €	+300 €
Total	3320€	6200 €

A l'acquisition le recycleur coûte 2880 € de plus que le matériel circuit ouvert.

A l'utilisation :

Reprenons notre configuration précédente, à savoir un bi 2x10 gonflé a 220 bars, pour une plongée dite normoxique avec un mélange conventionnel du type 20/30.

Pour le recycleur type « évolution », les bouteilles ont une capacité de 2 litres, et la consommation pour la plongée et ce quelque soit la profondeur sera de 50 bars soit 100 litres, pour une plongée en trimix avec un mélange conventionnel du type 10/50.

Enfin étudions les tarifs de gonflage dans une structure commerciale.

	bi 2x10	Recycleur
Gonflage en Trimix	40€	1,5 €
Gonflage de l'oxygène pur	0	2.5 €
Gonflage des gaz de décompression	15€	0 €
Chaux (1heure)	0 €	2,5 €
Total	**55 €**	**6,5 €**

La différence de coût d'utilisation est très significative et le sera d'autant plus que le mélange en Hélium sera important. Ce différentiel représente un rapport de 1 à 9 pour une plongée dite Normoxique, soit une différence de 48,5€.

Autres consommables par an :

	Circuit ouvert	Recycleur
Cellules oxygène	0	100€
Piles	0	25 €
Total		125€

Concernant le fonctionnement, le bilan fait apparaitre, qu'un plongeur effectuant **3 plongées** Trimix circuit ouvert par an, arrive à équilibre en cout avec le plongeur recycleur. Au-delà, l'achat d'un recycleur est rentable et indispensable en hypoxique.

Révision :
Une révision générale chez Apdiving coute environ 210 € + frais de port (tous les 3 à 5 ans).
Une révision annuelle de détendeur coute environ 70€.

La maintenance à un coût identique sur une même période.

Conclusions et perspectives de développements

PARTIE 7

Conclusion

Le recycleur est donc une invention ancienne et depuis le début du 20ème siècle il n'a cessé d'évoluer. Longtemps utilisé uniquement par les militaires il est apparu dans la plongée loisir depuis une quinzaine d'année.

Il existe deux types de recycleur, les semi-fermés qui semblent en perte de vitesse, et les recycleurs a circuit fermé dont le nombre de certifications ne cesse de progresser.

La pratique du recycleur en France est très règlementée et la norme autorisée en France garanti au consommateur la sécurité des machines.

Le plongeur recycleur bénéficie d'une bonne réputation. Pourtant, la pratique reste encore confidentielle et on constate un certain communautarisme. C'est souvent la méconnaissance du matériel et des procédures de sécurité qui est pointée du doigt par les plongeurs en circuit ouvert. De même, on constate que les prérogatives du DP sur la pratique recycleur sont souvent mal connues. Il faut cependant noter qu'il n'existe aucun rejet de part et d'autre.

En ce qui concerne les risques de la plongée en recycleur, on constate qu'il existe trois dangers majeurs : l'essoufflement, l'hyperoxie et l'hypoxie, mais pour chacun d'entre eux il existe des procédures adaptées. On remarque que la préparation de la machine est primordiale pour plonger en toute sécurité. Celle-ci doit se faire avec la plus grande rigueur, et le matériel contrôlé régulièrement. La vigilance en ce domaine est donc plus importante qu'en circuit ouvert.

Il est cependant difficile d'avoir une vision complète et objective de l'accidentologie en recycleur, en raison du faible nombre de comptes-rendus. Le plus souvent, c'est le comportement des plongeurs qui semble devoir être mis en cause, ceux-ci dépassant leurs limites physiologiques par une profondeur et un temps de plongée déraisonnables. Les capacités physiologiques ne sont pas forcément compatibles avec les capacités de la machine.

Concernant les pratiques au sein de l'inter région, ce sont les Pays de la Loire qui comptent le plus grand nombre de pratiquants. Il existe trois centres de certification. Ceux-ci paraissent bien identifiés à l'échelon

national car la moitié des certifiés en recycleurs sont licenciés en dehors de l'inter région. On ressent également une certaine envie de développer la pratique du recycleur car de nombreux CODEP organisent des journées découverte.

Perspectives de développement

La Bretagne et les Pays de la Loire par leur diversité et leur richesse peuvent proposer une multitude d'activités. La plongée TEK bien qu'encore marginale, représente une perspective de développement qui n'est pas négligeable, notamment en attirant une nouvelle clientèle dans les structures professionnelles, à l'instar de ce qui se passe en Méditerranée. Le recycleur fait partie de ces ressources.

Pour cela, il est indispensable que les structures en Bretagne et Pays de la Loire signalent clairement s'ils acceptent les plongeurs recycleurs.

- Le site internet du Comité Inter Régional pourrait être le relais de ce type de renseignement.
- Une signalétique particulière pourrait permettre d'identifier les structures accueillantes.

Par ailleurs pour développer une spécialité il faut un encadrement suffisant et géographiquement bien réparti :

- Les stages de moniteurs et de plongeurs pourraient faire l'objet d'une parution sur le calendrier CTR
- Maintenir le stage national de formateurs sur la Base Fédérale de Trébeurden

Des informations sur la règlementation, la pratique, la découverte des matériels pourraient être mises en place dans la région sous différentes formes :

- Un séminaire à destination des cadres de la région portant sur la plongée TEK et les recycleurs pourrait permettre de sensibiliser sur l'utilisation.

- Un guide à l'usage des structures et clubs de plongée pourrait permettre d'informer sur la pratique et la règlementation.

La plongée TEK d'une manière générale et les recycleurs en particulier font l'objet d'une grande curiosité, et parfois une certaine attirance. Il pourrait être créé sur notre inter-région des opérations ciblées :

- Regrouper les opérations de communication existantes, dans un rassemblement identique au Festival TEK de Cavalaire. Cela pourrait servir de tremplin à la plongée TEK dans notre région et particulièrement aux recycleurs, sachant que les deux plus importants importateurs de matériel Tek sont basés en Pays de la Loire.
- Des opérations de communication et de promotion en partenariat avec les CTD.

Enfin, les structures et club de plongée souhaitant développer cette spécialité sont parfois démunis, par manque de référents ou autre renseignements. Afin d'y remédier on pourrait :

- Mettre en place une mission clairement identifiée au sein de l'inter région, qui serait en charge du développement et du conseil auprès des structures.
- Développer une charte « donnant/donnant » en partenariat avec les structures et SCA : par exemple, si une structure accepte les plongeurs recycleurs, ces derniers doivent en échange respecter un certain nombre d'engagements (machine aux normes, respect des temps de plongée, …).

Glossaire

Bail Out : blocs de plongée, généralement en aluminium, équipé de détendeur servant de système respiratoire de secours

Boucle respiratoire : totalité du chemin emprunté par les gaz respiratoires (poumon et voie aérienne du plongeur, embout, faux poumon, tuyau annelé et filtre)

Canister : pièce recevant la cartouche filtrante

Cartouche filtrante : pièce contenant la chaux sodée

CCR : Closed Circuit Rebreather

Diluant : Gaz utilisé pour diluer l'oxygène dans le circuit respiratoire, permettant au plongeur d'évoluer au-delà de 6 mètres

HUD : Head Up Display. Led au niveau de l'œil qui indique le fonctionnement de l'unité et les éventuelles alertes.

Set point : valeur de la PpO2 sélectionné et que l'unité de contrôle va maintenir dans la boucle. En Général les deux Set Point utilisés correspondent à une PpO2 de 0,7 bar et 1,3 bar. Le Set Point de 1,3 bar est utilisé pendant la plongée, le Set Point de 0,7 bars en surface et entre 0 et 9 mètres.

Trimix : mélange de gaz à base d'hélium (Tx 20/30 contient 30% d'hélium)