

Mémoire d'Instructeur Régional

Transitions de la plongée Circuit Ouvert à la plongée Circuit Fermé pour le plongeur, le formateur et le formateur de cadres



Stéphane LAFAILLE
MF2 1436

Comité Inter-régional
Pyrénées – Méditerranée

Sommaire

I.	Avant-propos.....	3
II.	Introduction.....	4
III.	Pour le plongeur N3 qualifié « Nitrox confirmé »	5
A.	Nouvelles connaissances (savoir)	5
1.	Plonger à pression partielle d'O ₂ constante	5
2.	Plonger à désaturation optimisée	7
3.	Plonger à volume ventilatoire constant.....	9
4.	Plonger à durée limitée par la chaux.....	10
5.	Plonger à lestage augmenté	10
6.	Communiquer en plongée recycleur	11
B.	Nouveaux apprentissages (savoir-faire).....	12
1.	S'équiper et procéder à une nouvelle check-list avant sa plongée.....	12
2.	S'immerger en recycleur	14
3.	Surveiller de nouveaux paramètres durant sa plongée.....	17
4.	Ventiler à volume de boucle minimal.....	18
5.	Se déplacer à variation minimalisée de profondeur	19
6.	Remonter en recycleur.....	19
7.	Se déséquiper et entretenir son nouveau matériel après la plongée	21
C.	Nouveaux comportements (savoir-être).....	22
1.	Savoir faire preuve d'humilité face à de nouveaux apprentissages	22
2.	Savoir écouter son recycleur.....	23
3.	Savoir relativiser certaines alarmes mineures.....	23
4.	Savoir adopter des attitudes adaptées face aux alarmes majeures	24
IV.	Pour le formateur MF1	26
A.	Les nouveaux savoirs	26
1.	Différences et similitudes	28
2.	Difficultés d'enseignement.....	28
B.	Les nouveaux savoir-faire	30
1.	Différences et similitudes	31
2.	Difficultés d'enseignement.....	31
C.	Les nouveaux savoir-être	34
1.	Différences et similitudes	35
2.	Difficultés d'enseignement.....	35
V.	Pour le formateur MF2 de cadres.....	40
A.	Définition d'objectifs	40
B.	Volumes de formations	41
C.	Critères d'évaluation.....	43
VI.	Conclusion	44
VII.	Annexes	45
VIII.	Bibliographie	46

I. Avant-propos

Le mémoire d'instructeur régional est souvent l'ultime étape du parcours d'instructeur régional stagiaire. Il nécessite des efforts de recherche d'informations, de formalisation d'idées et de convictions, d'illustration des propos, de vulgarisation de techniques pour qu'il soit adressable au plus grand nombre de lecteurs.

Ce document n'échappe à cette règle. L'écart gigantesque entre sa première rédaction et cette forme plus aboutie mesure tout l'apport et l'expérience que j'ai reçus de Jean-Pierre MONTSENY, instructeur national et parrain dans mon parcours. Sans sa disponibilité diurne et nocturne, ses nombreuses corrections techniques et verbales, sa mise à disposition riche de photos, ses conseils rédactionnels, je ne saurais qualifier la valeur rédactionnelle initiale de ce document. Pour tout cela avec en prime sa bonne humeur permanente, je le remercie de tout cœur.

Mais un parrain peut en cacher un autre. Pascal ENJLABERT, instructeur régional et parrain dans mon cursus, m'a toujours rappelé le rythme de production à tenir et la qualité attendue. Il a apporté son regard de plongeur recycleur qualifié grâce aux stages de notre région.

Je souhaite le remercier vivement pour son soutien essentiel, notamment dans la production des sujets d'examen N4.

Sans pratique, la théorie ne sert à rien. Le développement de la plongée recycleur en région Pyrénées-Méditerranée FFESSM est le fruit d'une volonté affirmée par sa commission technique et par son comité directeur.

Sans le financement des stages régionaux recycleur, cette pratique de la plongée ne trouverait pas sa place, et encore moins ce mémoire.

Je remercie donc son président, Pierre DUNAC et son président de commission technique, Bernard FABIANI et les encourage à soutenir comme toujours ces initiatives.

Aux lecteurs, j'adresse d'emblée mes excuses pour ceux qui ne trouveront pas de spécificités technologiques de tous les recycleurs, mon expérience recycleur s'appuie uniquement depuis plusieurs années sur le recycleur Vision du constructeur APD (Ambient Pressure Diving) dont la description ou les exemples illustrent les propos qui suivent.

II. Introduction

Comme dans de nombreuses régions de France, l'engouement croissant pour la plongée recycleur fermé est une réalité dans notre région.

Pour répondre à cette demande, la commission technique Pyrénées-Méditerranée FFESSM organise chaque année des stages de formation pour certifier des plongeurs et des formateurs recycleurs.

Qualifié moniteur recycleur au cours d'un de ces stages puis devenu formateur de moniteur recycleur en stage national FFESSM, j'ai souhaité naturellement continuer à œuvrer au développement de cette pratique en participant activement à l'animation de ces stages régionaux.

L'idée d'un sujet de mémoire d'instructeur régional sur l'enseignement du recycleur à circuit fermé est donc apparu comme une suite logique à ma démarche.

En matière de documents à disposition des formateurs de plongeurs et moniteurs recycleur il existe des sources documentaires diverses mais peu si l'on souhaite évaluer les transitions de la plongée bouteille vers la plongée recycleur.

Il existe des mémoires d'instructeur fédéral portant sur les recycleurs mais peu d'entre eux développent **les spécificités de l'enseignement**.

La plupart décrivent une revue exhaustive des machines mises sur le marché, en détaillent les côtés techniques, traitent des accidents spécifiques, ...

Je ne développerai donc pas ou peu ces derniers points cités.

A proposant une lecture à plusieurs entrées, d'abord vu coté plongeur puis coté moniteur et enfin côté formateur de cadres, j'ai tenté de construire une revue des nouveaux savoir, savoir-faire et savoir-être, bases des compétences attendues en la matière.

Je me suis focalisé sur l'enseignement de base, c'est à dire celui destiné au plongeur "bouteille" niveau 3, qualifié Nitrox confirmé en m'attachant à souligner les difficultés essentielles du pratiquant recycleur novice et les réponses de l'enseignant.

J'ai tenté d'écrire un document succinct qui **traite uniquement les apports nouveaux à introduire dans la préparation d'un plongeur recycleur** qui est déjà un plongeur circuit ouvert (plus ou moins) expérimenté.

J'ai limité volontairement le document aux points clefs d'une formation équilibrée et suffisante en évitant je l'espère, les travers d'une overdose technologique pour le lecteur.

Le perfectionnement du plongeur recycleur comme les cursus *recycleur trimix élémentaire* ou *recycleur trimix* ne sont volontairement pas abordés et pourraient faire l'objet d'un futur travail.

III. Pour le plongeur N3 qualifié « Nitrox confirmé »

Pour le plongeur désireux de découvrir la plongée en circuit fermé, la remise en question est de taille ! Fort de son expérience en plongée bouteille jusqu'à 60m pour le plongeur à l'air, voire jusqu'à 120 mètres pour le plongeur qualifié « Trimix », l'humilité pour utiliser sa machine est de rigueur ; l'envie de tout réapprendre doit être une source de motivation et non de frustration.

Le plongeur circuit ouvert N3 certes expérimenté doit réapprendre à s'équiper, à ventiler, à s'équilibrer, à se mouvoir, bref à plonger... en recycleur circuit fermé.

A. Nouvelles connaissances (savoir)

Le plongeur circuit ouvert n'est pas complètement perdu : les lois physiques qu'il connaît bien n'ont évidemment pas changé dans son environnement hyperbare sous prétexte qu'il plonge en recycleur, notamment :

- le principe d'Archimède,
- la loi de Boyle-Mariotte,
- la loi de Henry.

Mais leurs applications sur son nouveau matériel sont à réapprendre.

Nous allons voir ce qu'il doit réapprendre :

- plonger à pression partielle d'O₂ constante,
- plonger à désaturation optimisée,
- plonger à volume ventilatoire constant,
- plonger à durée limitée par la chaux,
- plonger à lestage augmenté,
- communiquer en plongée recycleur.

1. Plonger à pression partielle d'O₂ constante

Le changement fondamental de postulat que le plongeur recycleur doit assimiler est qu'il va désormais plonger à **pression partielle d'O₂ constante** alors qu'il sait plonger en tant que plongeur qualifié « **Nitrox confirmé** » à **pourcentage d'O₂ constant**.

En effet, le recycleur à circuit fermé peut être assimilé à une « usine à gaz » en proposant au plongeur un mélange respirable à toute profondeur à PpO₂ fixe. S'appuyant sur une source d'oxygène pur, et pour que le plongeur recycleur puisse évoluer au-delà de 6 mètres (PpO₂ = 1,6 bars), le recycleur va « diluer » cet oxygène pur grâce à un « diluant » matérialisé par soit de l'air, soit un mélange ternaire trimix.

La conséquence immédiate de la PpO₂ maintenue à une valeur la plus élevée possible est de réduire d'autant la pression partielle d'azote¹ (PpN₂), ou de gaz neutres et ainsi d'optimiser la saturation et la désaturation : c'est un des avantages majeurs du recycleur fermé.

NB : On rappelle qu'avec un "diluant air" la PpN₂ = Pabs - PpO₂

¹ PpO₂ "fond" 1,2 à 1,4 bars ; PpO₂ déco : 1,6 bars

Il faut donc assimiler jusqu'où cet avantage d'une PpO₂ fixe « diluée » par exemple avec un « diluant » air connaît ses limites en plongée circuit fermé, versus la plongée circuit ouvert à l'air.

Profondeur	Circuit OUVERT (air)			Circuit FERME (air)			Circuit FERME (air)		
	PpN ₂	PpO ₂	%O ₂	PpO ₂	PpN ₂	%O ₂	PpO ₂	PpN ₂	%O ₂
0m	0,8b	0,2b	20%	0,7b	0,3b	70%	0,7b	0,3b	70%
10m	1,6b	0,4b	20%	0,7b	1,3b	35%	0,7b	1,3b	35%
20m	2,4b	0,6b	20%	0,7b	2,3b	24%	0,7b	2,3b	24%
30m	3,2b	0,8b	20%	0,7b	3,3b	18%	1,3b	2,7b	33%
40m	4,0b	1,0b	20%	0,7b	4,3b	14%	1,3b	3,7b	26%
50m	4,8b	1,2b	20%	0,7b	5,3b	12%	1,3b	4,7b	21%
60m	5,6b	1,4b	20%	0,7b	6,3b	10%	1,3b	5,7b	19%

A partir de 23m en setpoint bas 0,7b, la PpN₂ est plus importante en circuit FERME (air) qu'en circuit OUVERT air

A 3m en setpoint haut 1,3b, la PpO₂ est à 100% en circuit FERME (air)

A partir de 50m en setpoint haut 1,3b, la PpN₂ est plus importante en circuit FERME (air) qu'en circuit OUVERT air

A 52m en setpoint haut 1,3b, le %O₂ est à 21% en circuit FERME (air)

Figure 1. Comparaison des PpN₂ entre CO et CCR

NB : Pour faciliter la lecture la composition de l'air est simplifiée à 20% O₂ - 80 % N₂

La Figure 1 illustre cette « dilution » et ses limites :

- La 1^{ère} colonne indique les différentes profondeurs par palier de 10 mètres.
- La 2^{ème} colonne indique les PpN₂, PpO₂ et %O₂ associés à ces différentes profondeurs en plongée circuit OUVERT (plongée bouteille à l'air).
- La 3^{ème} colonne indique les PpN₂, PpO₂ et %O₂ associés à ces différentes profondeurs en plongée circuit FERME avec un « diluant » air lorsque l'on fixe la PpO₂ à 0,7 bar.
- La 4^{ème} colonne indique les PpN₂, PpO₂ et %O₂ associés à ces différentes profondeurs en plongée circuit FERME avec un « diluant » air lorsque l'on fixe la PpO₂ à 1,3 bars.

Le plongeur circuit ouvert à l'air comprend aisément la 2^{ème} colonne, à savoir l'évolution des PpN₂, PpO₂ et %O₂ en fonction de la profondeur. Il reconnaît :

- Son pourcentage %O₂ fixe à 20% puisqu'il plonge à l'air.
- Sa PpO₂ respirable jusqu'à 1,4 bars à 60 mètres (limite de la plongée à l'air fixée par le Code du Sport).
- Sa PpN₂ atteignant sa limite narcotique à 5,6 bars à 60 mètres (limite de la plongée à l'air fixée par le Code du Sport).

Le plongeur circuit fermé observe maintenant la 3^{ème} colonne, il remarque :

- Sa PpO₂ constante, ici fixée à 0,7 bar.
- L'évolution de la PpN₂ en fonction de la profondeur. Cette PpN₂ évolue plus vite que la plongée circuit ouvert à l'air dès qu'il dépasse 23 mètres.
- La diminution du pourcentage %O₂, traduction de la PpO₂ fixe, depuis 70% (à 0m puisque PpO₂ fixée à 0,7 bar) jusqu'à 12% à 50 mètres.

Le plongeur circuit fermé observe finalement la 4^{ème} colonne, il peut noter que :

- Sa PpO₂ constante est fixée à 0,7 bar de 0 mètres à 23 mètres.
- Sa PpO₂ constante est fixée à 1,3 bars de 23 mètres à 60 mètres.
- L'évolution de la PpN₂ en fonction de la profondeur redevient profitable (vs plongée circuit ouvert) à partir de 23 mètres. Cette PpN₂ évolue plus vite que la plongée circuit ouvert à l'air dès qu'il dépasse 52 mètres.

- La diminution du pourcentage %O₂, traduction de la PpO₂ fixe, depuis 70% (à 0m puisque PpO₂ fixée à 0,7 bar) jusqu'à 21% à 50 mètres.

On peut donc en déduire que :

- À partir de 23 mètres (au plus tard), le plongeur recycleur doit fixer sa PpO₂ à 1,3 bars pour être moins saturé en N₂ que le plongeur circuit ouvert à l'air.
- A partir de 52 mètres, le plongeur recycleur doit changer² son « diluant » air pour un « diluant » moins concentré en N₂, pour être moins saturé en N₂ que le plongeur circuit ouvert à l'air.

Afin que le recycleur garantisse une plongée à PpO₂ constante comme nous venons de l'expliquer, il faut qu'il soit doté :

- d'un système de mesure de PpO₂ dans la boucle respiratoire : les sondes,
- d'un système de régulation de PpO₂ dans la boucle respiratoire : le solénoïde.

L'objet de ce mémoire n'est pas de décrire précisément les composants matériels que sont les sondes ou le solénoïde mais de permettre au plongeur circuit ouvert d'apprécier en quoi ces nouveaux éléments matériels modifient ses connaissances.

Le principe de maintien de la PpO₂ constante est le suivant :

- À chaque ventilation, la PpO₂ dans la boucle respiratoire diminue par métabolisation de l'O₂ par l'organisme.
- Plusieurs sondes mesurent la PpO₂ dans la boucle respiratoire et délivrent leurs mesures aux contrôleurs (ordinateur) connectés au recycleur.
- Les contrôleurs évaluent l'écart entre la valeur consigne de PpO₂ et la valeur moyenne mesurée par les sondes et déclenchent en conséquence une injection d'O₂ dans la boucle respiratoire grâce au solénoïde (électrovanne à buse fixe).
- La PpO₂ augmente à nouveau pour atteindre la valeur de consigne de PpO₂ (notion de setpoint).

Le plongeur recycleur comprend que désormais la qualité du mélange gazeux qu'il respire est directement lié à :

- la qualité du système de mesure de la PpO₂ (capteurs oxygène et étalonnage),
- la qualité du système de régulation de la PpO₂ (solénoïde (injecteur) et software associé).

Nous verrons comment le plongeur recycleur doit prêter une attention particulière à l'entretien de son matériel :

- avant de plonger,
- entre les plongées quotidiennes,
- lorsqu'il stocke son matériel.

2. Plonger à désaturation optimisée

La conséquence directe de cette PpO₂ optimisée et fixe pour le plongeur recycleur est de bénéficier d'une **désaturation optimisée**, ce qui ne peut pas être le cas en circuit ouvert.

² Le diluant trimix est utilisé depuis la surface jusqu'au fond et ne nécessite pas de changement de diluant en immersion

Au fur et à mesure de la remontée, la pression absolue diminue alors que la PpO_2 est fixe. La PpO_2 fixe procure donc un avantage grandissant au cours de la remontée au détriment d'une PpN_2 diminuant proportionnellement avec la pression absolue.

La désaturation en recycleur s'appuie sur les modèles classiquement utilisés comme Bühlmann ou VPM ... et sur un mode de calcul qui intègre directement la PpO_2 constante et la composition du gaz diluant (air – trimix – héliox). La suite du calcul est similaire au modèle de calcul de la désaturation en circuit ouvert.

Il existe à ce jour sur le marché plusieurs modèles d'ordinateurs pouvant être paramétrés en mode circuit ouvert ou recycleur circuit fermé. Certains peuvent être connectés au recycleur et tenir compte directement de la PpO_2 réellement respirée.

Comme souvent dans toute optimisation de la procédure de décompression, l'ordinateur propose au plongeur recycleur de nouveaux garde-fous lui permettant de retrouver une certaine marge de sécurité quant à la procédure de désaturation :

- les « gradient factors ».

POUR EN SAVOIR PLUSLES GRADIENT FACTORS

Le principe des « gradient factors » est le suivant :

Pour un compartiment directeur lors de la désaturation, le facteur de gradient représente le pourcentage de sursaturation que l'on s'accorde :

- 0% correspond à aucune sursaturation accordée → aucune désaturation possible
- 100% correspond à la sursaturation maximale → ligne M-Values³ de Bühlmann

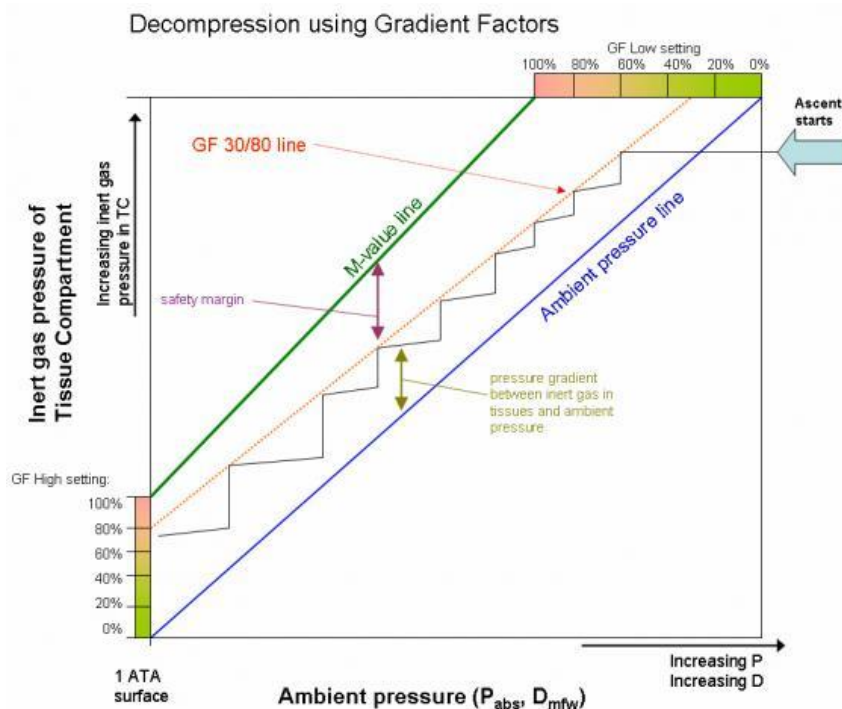


Figure 2. Escaliers de désaturation avec gradient factors

La Figure 2 illustre la marge de sécurité vis-à-vis de la sursaturation avec 2 « gradient factors » appliqués :

- La ligne verte « M-value » représente la sursaturation maximale à 100% (les 2 « gradient factors » sont positionnés à 100%).

³ M-Values voir références

- Au-delà de cette ligne verte (partie haute et gauche du schéma), c'est la zone de sursaturation critique, potentiellement pathogène pour les accidents de désaturation.
- La ligne bleue « Pression ambiante » représente la sursaturation minimale à 0% (les deux « gradient factors » sont positionnés à 0%).
 - En-deçà de cette ligne bleue (partie basse et droite du schéma), c'est la zone de sous-saturation.
- La ligne orange représente la limite de sécurité déterminée par les deux « gradient factors » (ici 30% et 80%).
 - La zone comprise entre la ligne orange et la ligne verte (safety margin) représente la marge de sécurité prise vis-à-vis de la sursaturation.

Le plongeur peut alors comprendre qu'au terme de sa plongée (ascent start), sa remontée (matérialisée sur l'axe horizontal) bute sur la ligne orange (« gradient factors » 30/80 choisis) et doit attendre une certaine durée (matérialisée sur l'axe vertical) pour s'éloigner suffisamment de la ligne orange et reprendre sa remontée (escaliers matérialisés sur le schéma).

Les conséquences observables par le plongeur de l'application de ces « gradient factors » sur sa remontée :

- Le plongeur voit apparaître plus tôt ses paliers. Certains disent également qu'ils font apparaître des paliers plus profonds : cette expression est seulement vraie à saturation équivalente.
- Le plongeur voit ses paliers plus longs dès lors que la pente de la ligne des GF est moins raide que la pente de la ligne M-Values.

3. Plonger à volume ventilatoire constant

Dès l'immersion, le plongeur recycleur ressent qu'il va désormais plonger à volume ventilatoire constant (notion de boucle respiratoire) alors qu'il sait plonger en tant que plongeur circuit ouvert, à volume ventilatoire variable (notion de poumon ballast).

En effet, le recycleur circuit fermé est doté d'une boucle respiratoire composée :

- d'un embout,
- de faux-poumons (faux-poumon inspiratoire, faux-poumon expiratoire) qui garantissent à la ventilation un volume gazeux suffisant,
- d'un canister de chaux (filtre chimique piégeant le CO₂ expiré).

La **conséquence immédiate** est que la notion de **poumon ballast** auquel il est habitué **disparaît** :

- Lorsqu'il expire dans la boucle, l'air expiré remplit le faux-poumon expiratoire, le volume ventilatoire est constant.
- Lorsqu'il inspire dans la boucle, l'air inspiré vide le faux-poumon inspiratoire, le volume ventilatoire est constant.

Nous verrons dans son comportement en immersion comment la ventilation à volume constant du plongeur recycleur modifie le comportement habituel du plongeur circuit ouvert en cas de franchissement d'obstacle notamment.

Une **autre conséquence** immédiate est que le flux respiratoire n'est plus asservi « à la demande » comme avec un détendeur. La **ventilation** dans la boucle respiratoire est **seulement assurée par les muscles ventilatoires**.

Le **refroidissement et la déshydratation** du plongeur circuit ouvert par la **convection de l'air froid et sec** issu du détendeur **disparaissent** :

- La réaction chimique entre la chaux et le CO₂ libère de la chaleur et produit un peu d'eau.
- Le gaz respiré est déjà saturé en eau car préchauffé par la respiration précédente (chaud et humide).

Le plongeur recycleur plonge désormais :

- sans variation de flottabilité lorsqu'il ventile à profondeur constante,
- avec un effort ventilatoire pour véhiculer le flux gazeux dans la boucle respiratoire (à travers le canister de chaux),
- avec une diminution de refroidissement interne (mélange gazeux ventilé chaud),
- avec une diminution de la perte d'eau (mélange gazeux ventilé humide).

4. Plonger à durée limitée par la chaux

Le métabolisme moyen d'un plongeur consomme environ un litre d'oxygène à la minute quelle que soit la profondeur d'évolution. Un rapide calcul d'autonomie d'un bloc O₂ de deux ou trois litres à 200 bars montre que l'autonomie de plongée en circuit fermé est avant tout liée à la capacité filtrante de la chaux⁴ alors que l'autonomie du plongeur circuit ouvert est directement liée à la capacité de sa bouteille d'air (volume, pression).

En effet, la boucle respiratoire du recycleur circuit fermé est composée notamment d'un canister de chaux.

Ce canister de chaux est un « filtre » qui a pour fonction de piéger le CO₂ expiré.

Sur les recycleurs APD de type Inspiration par exemple, un volume de 2,45kg apporte au plongeur recycleur une autonomie de 3 heures (recommandations APD).

Intuitivement, on pourrait penser qu'il suffirait d'avoir plus de 2,45kg de chaux pour augmenter l'autonomie. Comme nous l'avons expliqué précédemment le flux du mélange gazeux est uniquement assuré par la mécanique ventilatoire musculaire du plongeur. La résistance ventilatoire augmente significativement avec la quantité de chaux filtrante.

5. Plonger à lestage augmenté

L'influence importante du volume et du poids du recycleur demande au plongeur de revoir son lestage habituel. Le surlestage pour le plongeur recycleur en phase débutant fait partie des éléments de l'apprentissage :

- Son immersion sera facilitée pour vaincre les nouveaux volumes de la boucle respiratoire.
- Sa remontée sera facilitée pour résister à la poussée d'Archimède augmentée par les nouveaux volumes de la boucle respiratoire se dilatant.

Lorsqu'il manipule son recycleur à terre, le plongeur recycleur constate le poids supérieur à celui habituel de son bloc toute équipé de circuit ouvert. Il peut également être surpris par le lestage supérieur nécessaire à une flottabilité neutre.

Cette curiosité est due aux volumes morts inévitables d'un recycleur tels les faux-poumons, les tuyaux de la boucle respiratoire, le canister de chaux ... qui confèrent la plupart du temps une flottabilité neutre ou faiblement négative au recycleur seul.

Là où en plongée circuit ouvert un bloc 15 litres acier et son détendeur contribuent largement au lestage, il n'en est rien avec le recycleur.

Ainsi, à corpulence égale et équipements équivalents, par exemple avec une combinaison étanche, le lestage d'un plongeur recycleur débutant oscille entre 8 kg et 12 kg au lieu des 3 kg à 5 kg auxquels il est habitué en circuit ouvert.

⁴ 2 à 4 heures selon le poids de chaux du filtre suivant les modèles de recycleurs

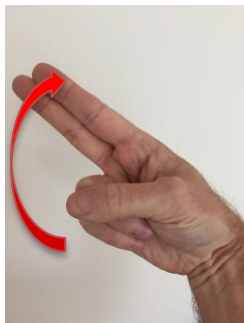
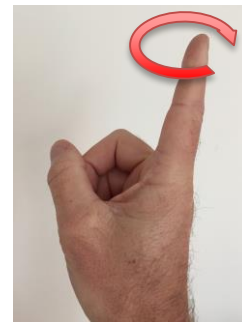
Nous verrons dans son comportement en immersion comment la ventilation du plongeur circuit fermé à volume minimal dans la boucle constitue un élément réducteur important de ce lestage.

6. Communiquer en plongée recycleur

Si l'un des premiers ressentis de la plongée circuit fermé est le silence complet issu de l'absence de bulle, ce silence peut permettre une forme de communication orale plus ou moins audible et compréhensible auxquels les plongeurs recycleur s'habituent au cours de leurs plongées.

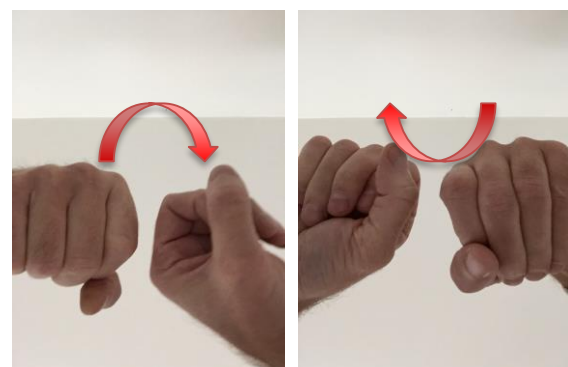
Les signes usuels de la plongée en circuit ouvert demeurent d'actualité et de nouveaux apparaissent.

Dès l'immersion, le plongeur circuit fermé doit procéder à un **check-bubble** avec ses partenaires de palanquée pour vérifier l'absence de bulle émanant de son recycleur. Un signe conventionnel d'un **doigt tournoyant en l'air** signifie au plongeur concerné de procéder à son 360° pour observer cette absence de bulles.



Parvenu à sa profondeur d'évolution avec une valeur de référence PpO_2 à 0,7 bar, un nouveau **signe de 2 doigts joints basculant de bas en haut** signifie au plongeur recycleur concerné de **basculer/vérifier** que sa nouvelle valeur de référence PpO_2 est à 1,3 bars.

Au cours de la plongée, il peut être demandé à un plongeur recycleur de fermer sa boucle respiratoire (exercice technique par exemple). Le signe des **2 mains simulant la fermeture de la boucle** signifie au plongeur recycleur concerné qu'il doit procéder à la **fermeture de sa boucle respiratoire**. Au préalable, il a vérifié sa nouvelle source respiratoire en bon fonctionnement, à la profondeur requise.



Les signes usuels de purge de la boucle respiratoire ou de la stab sont adaptés au recycleur utilisé, c'est-à-dire à la position de ses purges sur les faux-poumons épaule ou dans le dos.

B. Nouveaux apprentissages (savoir-faire)

Le plongeur circuit ouvert certifié « Niveau 3 » est un plongeur expérimenté. Il a acquis durant sa formation de plongeur et sa pratique au cours de nombreuses plongées, des savoir-faire en matière de :

- ventilation,
- flottabilité,
- déplacement,
- remontée contrôlée,
- remontée assistée.

Nous allons voir que ces techniques sont à envisager sous un nouvel angle avec la pratique du recycleur :

- Des gestes nouveaux engendrés par le recycleur doivent être appris :
 - o s'équiper et procéder à une nouvelle check-list avant sa plongée,
 - o surveiller de nouveaux paramètres,
 - o ventiler à volume de boucle minimal,
 - o se déséquiper et entretenir son nouveau matériel après la plongée.
- Des gestes habituels doivent être réappris avec le recycleur :
 - o s'immerger à vitesse réduite,
 - o se déplacer à variation minimalisée de profondeur,
 - o remonter à vitesse réduite.

1. S'équiper et procéder à une nouvelle check-list avant sa plongée

S'équiper avec un recycleur requiert une attention et un timing particuliers pour :

- préparer minutieusement son recycleur,
- procéder à une check-list détaillée,

alors que le plongeur circuit ouvert sait équiper rapidement sa bouteille (stab, détendeurs) et vérifier sa pression bouteille (et son pourcentage %O₂ en Nitrox).

En effet, si le recycleur circuit fermé est composé à la base d'éléments matériels similaires à l'équipement du circuit ouvert :

- une stab,
- des blocs (O₂, diluant),
- des premiers étages (O₂, diluant).

Il est également composé :

- d'un canister de chaux,
- d'une tête électronique,
- d'une boucle respiratoire (faux-poumons),

qui nécessitent une attention toute particulière au moment de l'équipement.

Le canister de chaux nécessite une procédure de remplissage soignée.

- *Des feutrinés⁵ sont positionnées soigneusement en haut et bas du canister pour retenir la chaux mais également pour faire obstacle aux poussières de chaux, particules fines et agressives pour la respiration.*

⁵ Sur les recycleurs APD

- La chaux est versée en 2 fois sur toute la hauteur du canister, tassée par léger tapotement manuel des bords du canister durant une à deux minutes pour éviter un conditionnement trop compact qui augmenterait la résistance au passage du flux de gaz.



- Un joint correctement graissé et une entretoise sont positionnés au-dessus du canister pour assurer l'étanchéité entre la cartouche filtrante et son contenant. Cette disposition garantit qu'aucune fraction de gaz expiré contourne le filtre à chaux.

La tête électronique nécessite une préparation méticuleuse.

- Les 3 sondes de mesure de la PpO_2 font l'objet d'une gestion rigoureuse et doivent être remplacées selon les préconisations du constructeur⁶. Elles sont vissées autour d'un tube traversé par le mélange inspiratoire. Elles sont connectées à l'électronique via des câbles coaxiaux et des connecteurs miniatures assez fragiles qu'il faut éviter de manipuler inutilement.



- Les piles doivent être remplacées préventivement avant épuisement total, selon le manuel du constructeur. Elles sont placées par paire dans leur compartiment étanche qui les isole de la condensation inévitable du mélange respiratoire⁷. L'étanchéité de chaque compartiment réceptacle requiert une fermeture soignée.

- Le tempstick (thermomètre de la chaux) est connecté correctement (sans forcer) à la tête électronique afin de fournir continuellement une indication⁸ d'efficacité de la chaux.

La boucle respiratoire nécessite une procédure d'assemblage complète.

- Deux valves unidirectionnelles sont positionnées en amont et en aval de l'embout pour assurer un flux unidirectionnel du mélange respiratoire soit : inspirer uniquement du gaz "frais" riche en O_2 et épuré de CO_2 venant du faux-poumon inspiratoire et expirer uniquement dans le faux-poumon expiratoire en direction du filtre à chaux.

Un test simple d'étanchéité des valves unidirectionnelles est à réaliser avant assemblage de la boucle respiratoire :

- o pas d'air ressenti en amont de la valve inspiratoire en soufflant dans l'embout,
- o pas d'aspiration ressentie en aval de la valve expiratoire en inspirant dans l'embout.
- Chaque élément de la boucle est vissé l'un à l'autre grâce à des éléments male-femelle plastiques qui se vissent (avec détrompeur sur le pas de vis). L'étanchéité de chaque élément connectable est assurée par joints toriques en bon état, correctement lubrifiés et propres. La boucle respiratoire doit être étanche à toute fuite du mélange gazeux respiratoire et à toute intrusion d'eau.
- Chacun des 2 inflateurs O_2 et diluant est correctement vissé sur chaque faux-poumon, respectivement inspiratoire et expiratoire, afin de garantir l'étanchéité de chaque faux-poumon et par conséquent de la boucle respiratoire. Dès l'assemblage terminé, le plongeur recycleur procède à un **test d'injection sur chacun des 2 inflateurs** pour vérifier leur bon fonctionnement.

⁶ Avant 18 mois ou en cas de défaillance prématurée

⁷ Le mélange gazeux expiratoire est saturé en vapeur d'eau

⁸ Graduation de la chaleur produite par la réaction exothermique chaux+ CO_2

Deux tests d'étanchéité à la pression et à la dépression doivent être réalisés lors de l'assemblage de la boucle respiratoire :

- Test d'étanchéité de la boucle en dépression : le plongeur recycleur inspire tout l'air dans la boucle respiratoire en comprimant les tuyaux annelés avant de refermer l'embout. Au bout de plusieurs minutes, les tuyaux annelés comprimés ne doivent pas avoir repris leur forme normale.
 - Test d'étanchéité de la boucle en surpression : le plongeur recycleur gonfle en surpression la boucle respiratoire (jusqu'à entendre la valve de surpression du poumon expiratoire agir) avant de refermer l'embout. Au bout de plusieurs minutes, la boucle respiratoire ne doit pas avoir perdu sa pression maximale.
- L'embout est positionné correctement face à la bouche en prenant soin de ne vriller aucun élément de la boucle respiratoire, garantissant une section maximale tout au long de la boucle respiratoire.
- Dès l'assemblage terminé, le plongeur recycleur **teste la ventilation sans effort dans la boucle respiratoire et la fermeture/ouverture de l'embout.**



Les autres éléments du recycleur similaires au bloc équipé du circuit ouvert nécessiteront la même attention habituelle du plongeur certifié « Niveau 3 ».

Une fois la procédure d'équipement terminée, le plongeur recycleur suit scrupuleusement une check-list lui permettant de :

- vérifier le bon fonctionnement de son recycleur avant de plonger,
- minimiser les incidents matériels éventuels au cours de la plongée.

Cette check-list est à double entrée :

- une check-list électronique imposée par l'ordinateur du recycleur qui :
 - vérifie les connectiques (piles, contrôleurs, sondes, tempstick),
 - calibre les sondes O₂ à la pression atmosphérique mesurée,
 - demande plusieurs vérifications déclaratives au plongeur.
- Une check-list pratique imposée par la pratique du recycleur qui :
 - vérifie la boucle respiratoire dans son étanchéité,
 - en dépression évitant une intrusion d'eau,
 - en surpression évitant une fuite du mélange gazeux respiratoire,
 - vérifie la pression de chaque bloc O₂ et diluant,
 - vérifie le bon fonctionnement des inflateurs manuels d'O₂ et de diluant,
 - vérifie au cours de plusieurs cycles ventilatoires continus :
 - la filtration du CO₂ par la chaux (température du tempstick),
 - l'injection régulée de l'O₂ par le solénoïde piloté par l'ordinateur.

Le plongeur recycleur ayant préparé sa machine et procédé à ces check-list électronique et pratique est prêt à plonger.

2. S'immerger en recycleur

Alors que le plongeur circuit ouvert est habitué à atteindre assez rapidement sa

profondeur d'évolution, l'immersion en circuit fermé requiert 3 actions distinctes :

- vaincre la résistance de flottabilité de la zone 0-3 mètres sans poumon ballast,
- procéder à un check-bubble rapide avec sa palanquée,
- changer le setpoint et descendre à vitesse réduite.

L'immersion au recycleur est une phase délicate voire difficile dans les très faibles profondeurs. De nombreux volumes supplémentaires augmentent la flottabilité.

La tentation est alors grande de se sur lester : si un léger surlestage initial facilite la première immersion le plongeur recycleur circuit fermé doit rapidement le réduire en **améliorant sa technique d'immersion.**



LE MONITEUR

- Il doit faciliter l'immersion, rappeler les consignes avant et prévoir une ligne de descente (mouillage) pour se déhaler facilement ou faire exécuter un canard efficace.

LE PLONGEUR

- Juste avant l'immersion il vide au maximum tous ses volumes (faux-poumons, stab, combinaison étanche, ...).
- Il réalise une immersion tonique en évitant d'inspirer jusqu'à une profondeur de 3 mètres environ, zone où la pression réduit naturellement les volumes parasites.

Le check-bubble dès les premiers mètres

Avant d'amorcer véritablement sa descente, le plongeur recycleur doit adopter une nouvelle pratique : le check-bubble. Cette pratique a pour but de vérifier qu'aucune bulle observable par son binôme recycleur ne s'échappe de son recycleur, traduisant ainsi une fuite éventuelle dans la boucle respiratoire non observée au moment de la check-list pratique avant de plonger.

LE MONITEUR

- Il introduit un signe de communication spécifique : **le check-bubble.**

LE PLONGEUR

- La palanquée de plongeurs recycleur marque un arrêt entre 3 et 6 mètres de profondeur.
- Sur signe spécifique « check-bubble » le plongeur recycleur réalise un tour vertical sur lui-même et offre ainsi à l'observateur une vue à 360° sur l'ensemble du recycleur, notamment sur la boucle respiratoire.

Ce n'est qu'une fois cette vérification en immersion réalisée que la palanquée poursuit sa descente.

Le Changement de Setpoint et la vitesse de descente

La PpO₂ délivrée par le recycleur est la plus élevée possible ; elle est classiquement fixée à 1,3 bars voire un peu moins.

Néanmoins la zone 0-3 mètres ne permet pas d'atteindre cette valeur puisque la PpO₂ ne peut pas être supérieure à la pression absolue.

Tous les recycleurs disposent donc de **deux consignes de régulation** :

- le *setpoint bas* (SPB) adapté à la zone surface et les très faibles profondeurs généralement fixé à 0,7 bar,
- le *setpoint haut* (SPH) généralement fixé à 1,3 bars.

Il devient nécessaire au cours de la descente de procéder au basculement SPB vers SBH afin de limiter le plus vite possible la charge en gaz neutre et optimiser la désaturation.

Un SPH basculé trop tôt au cours de la descente, associé à une vitesse de descente trop rapide (supérieure à 30 mètres/minute par exemple) a pour conséquence de faire augmenter très rapidement la PpO₂ dans la boucle respiratoire et de dépasser le seuil d'alarme hyperoxique à 1,6 bars.

Le plongeur recycleur doit limiter l'augmentation de sa PpO₂ avec la profondeur et atteindre sa zone de profondeur d'immersion en évitant le seuil hyperoxique. Sans attendre il **bascule sur la valeur de consigne (SPH)** de 1,3 bars lui garantissant une PpO₂ maximale durant sa plongée soit une saturation minimale de N₂ pour une désaturation minimale (durée minimale des paliers).



Il est à noter que le changement de SPB à SPH provoque une injection importante d'O₂ et donc une augmentation significative de la flottabilité. **L'anticipation permet d'éviter l'effet de surprise** et la correction immédiate par évacuation de l'excédent de gaz (recherche de volume minimum).

LE MONITEUR

- *En baptême ou en première immersion, il facilite la situation en restant sur SPB*
- *Il introduit un nouveau signe spécifique SPH.*
- *Il fait réaliser le basculement SPB-SPH en mode manuel pour l'apprentissage*
- *Il anticipe pour l'élève plongeur recycleur l'augmentation de flottabilité lors du changement de SPB vers SPH.*

LE PLONGEUR

Le plongeur recycleur doit apprendre à suivre et maîtriser l'évolution de sa PpO₂ au cours de la descente.

- *Il réalise la bascule SPB->SPH en mode manuel autour de 12-15 mètres et signale la manœuvre à son binôme par un signe dédié.*
- *Il adopte une vitesse de descente qui évite une augmentation trop brutale de la PpO₂.*

3. Surveiller de nouveaux paramètres durant sa plongée

Alors que le plongeur circuit ouvert surveille occasionnellement le manomètre de son bloc et ses paramètres de décompression, le plongeur recycleur doit apprendre à surveiller très régulièrement sa PpO₂ et sa filtration de CO₂ tout au long de sa plongée.

Si le recycleur circuit fermé pilote automatiquement, électroniquement et très régulièrement le mélange gazeux respiratoire, pour autant le plongeur recycleur ne doit pas se conforter dans cette situation et ne doit pas développer une confiance aveugle dans son recycleur, aussi bien préparé et vérifié soit-il.

Si l'observation occasionnelle des manomètres de blocs d'O₂ et de diluant sont toujours d'actualité, durant sa plongée, le plongeur recycleur **observe toutes les 1 à 2 minutes son ordinateur de plongée** lié au recycleur.



Il observe particulièrement que :

- les 3 mesures de PpO₂ affichées en permanence sont proches de la valeur de consigne (setpoint) ou valeur de référence fixée (0,7 bars ou 1,3 bars par défaut),
- la PpO₂ est respirable donc comprise entre les valeurs de seuil hypoxique 0,16 bar et seuil hyperoxique 1,6 bars (fixés par le Code du Sport),
- le tempstick⁹ affiche une température chaude de la chaux traduisant une filtration effective du CO₂ expiré.

Ainsi, il **anticipe toute alarme mineure ou majeure** et l'attitude requise et adaptée à la situation.

Il est intéressant de noter pour le plongeur circuit ouvert que ces observations répétées ne traduisent pas implicitement un symptôme d'anxiété ou de narcose (lecture répétée des informations par non interprétation de celles-ci).

Nous verrons dans son comportement en immersion comment le plongeur recycleur peut faire face à certaines situations anormales sans se mettre en péril et terminer correctement sa plongée en respectant sa procédure de désaturation.

LE MONITEUR

- *Il s'assure que l'élève consulte régulièrement la console - le HUD.*
- *Il fait réaliser des exercices de suivi de la PpO₂, de la consommation métabolique d'oxygène.*

LE PLONGEUR

- *Il doit consulter au moins une fois toutes les 2 minutes la console de pilotage du recycleur.*

⁹ Tempstick : dispositif de suivi de la température de la cartouche de chaux

4. Ventiler à volume de boucle minimal

En matière de ventilation, les nouvelles sensations sont immédiates : le plongeur recycleur doit apprendre à ventiler dans sa boucle respiratoire alors que depuis son baptême de plongée, le détendeur du circuit ouvert lui fournit de l'air à la demande.

Comme déjà évoqué, la différence fondamentale circuit fermé-circuit ouvert est qu'en recycleur, le **flux respiratoire est uniquement assuré par la ventilation musculaire** du plongeur recycleur qui doit vaincre toutes les résistances mécaniques présentes.

On cite les tuyaux annelés de grande longueur, l'augmentation du volume mort, le filtre à chaux, les valves unidirectionnelles, les contre-pressions hydrostatiques selon le positionnement des faux-poumons, etc.....

Sur un détendeur, un simple appel inspiratoire est immédiatement assisté par effet de trompe, effet venturi ou autre vortex selon la marque du détendeur, et provoque un afflux massif de gaz en très légère surpression. Cette assistance mécanique rend l'inspiration particulièrement plus confortable qu'en recycleur.

La boucle respiratoire propose un volume de mélange gazeux réparti dans les faux-poumons, le canister de chaux, les tuyaux annelés.

Les faux-poumons ont la particularité de participer activement à la flottabilité du plongeur car ils se déforment avec la respiration.

Le plongeur recycleur doit donc limiter sa ventilation à un volume de mélange gazeux lui garantissant :

- d'une part une ventilation suffisante correspondant à peu près à son volume courant¹⁰,
- d'autre part une flottabilité parasite minimale.

Le plongeur recycleur qui maîtrise sa ventilation à volume de boucle minimal s'assure ainsi de retrouver rapidement sa maîtrise de flottabilité acquise en tant que plongeur circuit ouvert.

LE MONITEUR

- *Il prévoit un signe spécifique ou une plaquette de déclenchement de l'exercice.*
- *Il fait renouveler l'exercice plusieurs fois au cours de la plongée.*

Cette recherche active et régulière du volume de boucle minimal requiert plusieurs heures de pratique, dans différentes positions (à profondeur constante, en remontée régulière et contrôlée), dans différentes situations (sans effort, avec efforts).

LE PLONGEUR

Il doit apprendre à limiter au minimum le volume de gaz stocké dans le faux-poumon inspiratoire. En fin d'inspiration normale il doit ressentir l'épuisement de la réserve et une sensation de "butée" respiratoire.

¹⁰ Volume courant moyen autour de 0,5 litre

5. Se déplacer à variation minimalisée de profondeur

En plongée circuit ouvert, le poumon-ballast apporte l'avantage de pouvoir maîtriser sa flottabilité pour franchir aisément des obstacles verticaux.

Le recycleur supprime tout poumon-ballast possible. Ainsi le plongeur recycleur contraint à des variations de profondeur dans sa progression, devra purger ou injecter du mélange gazeux dans sa boucle respiratoire pour compenser ses variations de profondeur et maintenir sa flottabilité.

La conséquence directe est de réduire de l'autonomie de son bloc diluant limité à un bloc de 2 ou 3 litres gonflé à 200 bars.

Ces demandes fréquentes de diluant pour maintenir la flottabilité entament, proportionnellement à la profondeur d'évolution, le faible volume de diluant normalement destiné à la dilution de l'O₂.

Le plongeur recycleur face à des obstacles (relief, morceaux d'épave), doit donc adopter un comportement différent de celui en circuit ouvert : **limiter ses ascensions et contourner si possible à profondeur constante les obstacles.**



Ainsi le plongeur circuit fermé profitera pleinement de sa plongée en recycleur dont la durée sera principalement limitée par la durée de sa chaux, plutôt que par un éventuel manque d'autonomie en diluant.



LE MONITEUR

Il doit informer au préalable et créer des conditions d'évolution qui présentent des obstacles à contourner.



LE PLONGEUR

Le plongeur recycleur apprend à conserver le plus possible un niveau d'immersion constant et contourne les obstacles à profondeur constante.

6. Remonter en recycleur

En circuit ouvert comme en recycleur la remontée reste la phase la plus délicate de la plongée. En recycleur cette situation est exacerbée par de nouvelles difficultés. Le plongeur recycleur doit les connaître et apprendre à les surmonter.

En circuit ouvert la difficulté principale est de maîtriser la vitesse de remontée perturbée par l'augmentation de flottabilité du gilet (et de la combinaison étanche s'il

y a lieu) afin de respecter la procédure de désaturation utilisée.

En recycleur, se rajoute le volume gazeux très significatif de la boucle respiratoire¹¹ qui augmente considérablement au cours de la remontée pour deux raisons :

- Le volume de la boucle respiratoire, équilibré au fond d'un point de vue pression hydrostatique, suit la loi de Mariotte à la remontée : ce qui augmente le volume des faux-poumons.
- La baisse de la PpO₂ lors de la remontée¹² est compensée par une injection automatique d'oxygène très importante.



Le plongeur recycleur doit maîtriser sa vitesse de remontée en évacuant tous les volumes intervenant dans la flottabilité par la **purge de sa wing** et par la **purge de sa boucle respiratoire**.

LE MONITEUR

- Il doit se positionner à proximité pour actionner les purges en cas d'emballement.
- Il doit éviter absolument la remontée pleine eau en phase d'apprentissage.
- Il doit privilégier la remontée avec support (ligne, parachute).
- En premières immersions, il fait basculer le SPB avant la remontée.
- Il Introduit le changement tardif SPH->SPB comme facteur de progression

LE PLONGEUR

Pour maîtriser sa vitesse de remontée doit **PURGER SA BOUCLE RESPIRATOIRE** selon 2 techniques complémentaires :

- Laisser échapper un peu de gaz en entrouvrant les lèvres autour de l'embout,
- Purger plus rapidement son faux-poumon expiratoire grâce à la purge prévue à cet effet (geste très similaire à la purge d'un gilet classique localisée en haut à droite pour les poumons épaule, en bas à droite pour les poumons dans le dos).

¹¹ Tuyaux annelés, embout, faux-poumons, canister de chaux

¹² Remontée = baisse de pression absolue → baisse de la PpO₂

Pour limiter la baisse de PpO₂ à la remontée, le plongeur recycleur consulte très souvent sa console d'ordinateur et observe l'évolution de la PpO₂. Au besoin, il stoppe sa remontée afin de laisser le temps au solénoïde (injecteur) de ramener automatiquement la PpO₂ à la valeur de référence fixée à 0,7 bar.

Au cours de la remontée **en plus du respect de la vitesse d'ascension** le plongeur recycleur doit avoir pour **autre objectif d'éviter la baisse trop brutale de la PpO₂**.

LE MONITEUR

- Evite de faire basculer sur SPB (0,7) trop tôt : bon compromis = 20 mètres ou 15 mètres pas plus profond.
- Introduit le changement tardif SPH->SPB comme facteur de progression
- Objectif de fin de formation = faire remonter sur SPH (1,3 bars) jusqu'à 6 mètres, faire réaliser un palier à l'O₂ (1,6 bars) avec point d'appui.

LE PLONGEUR

Pour maîtriser sa PpO₂ doit :

- **OBSERVER** régulièrement la console de pilotage du recycleur.
- **ECOUTER** l'injection d'oxygène qui doit être discontinuée.
- **STOPER** la remontée si nécessaire, jusqu'à retrouver une injection d'oxygène discontinuée et une PpO₂ très proche du Set point.

7. Se déséquiper et entretenir son nouveau matériel après la plongée

Au terme de sa journée de plongée, le plongeur recycleur prend le temps nécessaire pour déséquiper son recycleur pour le rincer et le sécher.

Il doit porter une attention particulière à :

- désolidariser, rincer et stocker chaque élément des tuyaux annelés de la boucle respiratoire.
- **aérer la tête électronique et laisser sécher à l'ombre les sondes O₂** humidifiées par la condensation du mélange gazeux (les sondes fonctionnent mieux en l'absence de grosses gouttes d'eau).
- **sortir le canister de chaux** et laisser sécher à l'ombre les traces d'humidité,
- **rincer les faux-poumons** afin d'éliminer les éventuels liquides présents (eau, salive...).

En cas de stockage prolongé, le plongeur circuit fermé doit, en plus :

- vider la chaux du canister, même si sa durée de vie est inférieure à la préconisation du constructeur.
- désinfecter la boucle respiratoire.

Prendre soin de chaque élément de son recycleur après la journée de plongée ou pendant un stockage à durée prolongée, garantit au plongeur recycleur une durée de vie pluriannuelle et surtout lui **évite d'éventuels dysfonctionnements matériels en cours de plongée**.

C. Nouveaux comportements (savoir-être)

Le plongeur circuit ouvert expérimenté « Niveau 3 » a développé de nombreux comportements et attitudes au cours de ses nombreuses plongées et des savoir-être en matière de :

- choix d'équipement adapté et accessible,
- fluidité aquatique dans toutes les positions,
- efficacité gestuelle au profit d'une autonomie et durée de plongée accrues,
- observation de son environnement et de ses paramètres,
- planification de sa plongée,
- remontée contrôlée voire assistée.

Nous allons voir que ces comportements sont des bases facilitant la pratique du recycleur circuit fermé et le développement de nouvelles attitudes telles que :

- savoir faire preuve d'humilité face à de nouveaux apprentissages,
- savoir écouter son recycleur,
- savoir relativiser certaines alarmes mineures,
- savoir adopter des attitudes face aux alarmes majeures.

1. Savoir faire preuve d'humilité face à de nouveaux apprentissages

Au cours de ses plongées en circuit ouvert, le plongeur a acquis des automatismes gestuels, une connaissance de ses limites techniques et psychologiques, et une confiance dans ses réactions face aux incidents communs.

Désormais il doit faire preuve d'humilité face à de nouveaux apprentissages **sans se reposer** principalement sur **l'automatisation du recycleur** et l'autonomie décuplée que ce dernier lui procure.

En effet, le recycleur assure automatiquement :

- une surveillance permanente de la PpO₂ et une injection d'O₂ adaptée,
- un volume respiratoire suffisant grâce à l'ADV (Automatic Diluent Valve)
- une surveillance permanente de la température de la chaux, ce qui témoigne de l'efficacité de la chaux active face au CO₂.

Le recycleur procure une autonomie de plongée décuplée qui peut vite (re)développer chez le « nouveau » plongeur recycleur débutant une confiance aveugle dans son recycleur automatique et dans son autonomie.

Pour éviter ce regain trop rapide de confiance, le plongeur recycleur doit conserver tout au long de ses plongées, une certaine humilité qui se traduit concrètement par :

- une attention toujours minutieuse lors de la préparation de son recycleur,
- un respect total de la checklist avant toute plongée,
- un respect des paramètres prévus (durée, profondeur) de chaque plongée,
- une observation accrue de sa PpO₂ tout au long de chaque plongée,
- une progression en douceur en terme de profondeur et durée de plongée.

Le plongeur recycleur développe une nouvelle autonomie dans :

- sa capacité à préparer son recycleur, identifiant les nécessaires remplacements de pile, de cellule O₂, de chaux en fonction des caractéristiques prévues de sa plongée,

- son observation régulière et respectueuse des paramètres de plongée prévus et de sa PpO₂, prévenant ainsi d'éventuels dépassements.

2. Savoir écouter son recycleur

Alors qu'il n'a pas pu développer ce type de sensation avec le bruit des bulles en plongée circuit ouvert (outre le bruit des moteurs, identifiant un danger possible avant l'émersion), un des principaux avantages de la plongée en recycleur circuit fermé est de proposer au plongeur un environnement silencieux, propice à de nouvelles sensations auditives, comme entendre le bruit des baleines au loin.

Plongé réellement dans le monde du silence, le plongeur recycleur entend alors régulièrement plusieurs **sons caractéristiques** lui permettant notamment d'**appréhender** le bon (ou le mauvais) **fonctionnement de son recycleur**, outre les informations visuelles qu'il consulte régulièrement sur son ordinateur :

- le sifflement discret mais audible de l'injection d'O₂ par le solénoïde,
- le sifflement sonore de l'injection de diluant dans la boucle par l'ADV,
- les alarmes sonores du buzzer,
- le dialogue vocal possible dans la boucle entre plongeurs.

Le plongeur recycleur entend de nouveaux sons. Il éduque son écoute à des sons émis par son recycleur. Il développe des interprétations de ces sons pour comprendre le fonctionnement de son recycleur et anticiper d'éventuels incidents.

On peut citer en exemple :

A profondeur constante, l'injection régulière d'oxygène émet un son discontinu et ne dure quelques secondes, suivie d'une longue période de silence ; le plongeur recycleur interprète ce son comme le fonctionnement normal de la régulation de sa PpO₂. Un son continu, dont la durée est supérieure à 10-15 secondes est anormal et doit évoquer chez le plongeur recycleur un dysfonctionnement rare mais très dangereux pour lui : le solénoïde (injecteur d'O₂) est bloqué en position ouverte (risque majeur d'hyperoxique).

3. Savoir relativiser certaines alarmes mineures

Le recycleur est un assemblage de plusieurs composants pouvant chacun initier des **alarmes visuelles et sonores** mineures telles que :

- Une alarme « erreur cellule » (lorsqu'une des 3 cellules O₂ dépasse de +/-0,2 bars la PpO₂ moyenne mesurée des autres cellules),
- Une alarme « chaud » (lorsque la température mesurée dans le canister de chaud indique que la chaud atteint son niveau de réserve).

D'autres incidents mineurs n'initient **pas de témoin visuel ou sonore** telles que :

- Une entrée d'eau dans la boucle respiratoire (dès lors que l'eau reste piégée dans le faux-poumon expiratoire),
- Une fuite de gaz mineure depuis tout élément de la boucle respiratoire ou des injecteurs (signe d'un joint défectueux, d'un élément mal assemblé, d'une faiblesse d'un tuyau annelé, de la tête mal assemblée au canister, etc...)

Toutes ces alarmes sont dites mineures dès lors qu'elles **ne requièrent pas** auprès du plongeur une **réaction et un comportement d'urgence**. Elles ne doivent toutefois pas être banalisées et nécessitent une action correctrice.

On peut citer en exemple :

- une alarme « sonde » peut disparaître par rinçage de la boucle respiratoire, et en particulier de la tête contenant les sondes (disparition des éventuelles gouttes d'eau sur les sondes empêchant leur efficacité de mesure de la PpO₂)
- une alarme « chaud » impose la fin de la plongée et la remontée vers la surface en respectant sa procédure de désaturation

Au cours de ses plongées, le plongeur recycleur apprend ainsi à :

- identifier l'alarme (sonore et visuelle, ou non),
- évaluer la gravité du dysfonctionnement de son recycleur,
- adopter le comportement adapté afin de :
 - o conserver une sécurité primordiale à son immersion,
 - o réagir sur son recycleur pour supprimer l'alarme répétitive.

4. Savoir adopter des attitudes adaptées face aux alarmes majeures

La dernière chose (mais peut-être la première au cours de son apprentissage) que le plongeur recycleur doit apprendre est de savoir adopter des attitudes adaptées face aux alarmes majeures à l'instar de celles qu'il a développées en plongée circuit ouvert (telles que les réactions à un manque d'air ou à la narcose).

On cite trois alarmes majeures :

- soit le mélange gazeux est nocif pour le plongeur
 - o dépassement de la PpO₂ vers l'**hypoxie** ou l'**hyperoxie**,
 - o dépassement de la PpCO₂ par **dépassement** de la **durée d'utilisation de la chaud** indiquée par le constructeur,
- soit une inondation massive de la boucle respiratoire ; le mélange eau-chaud constitue un **cocktail caustique** très corrosif.

Quelque soient les causes de ces alarmes majeures, le plongeur recycleur doit adopter une réaction immédiate et maîtrisée pour retrouver une respiration qui puisse le maintenir en vie.

Ces réactions privilégient de rester sur la boucle afin de prévenir tout sur-accident de noyade dans un échange d'embout en mode panique.

Le but primordial est de **retrouver un mélange gazeux respirable**. Pour cela, le plongeur recycleur doit :

- purger complètement la boucle respiratoire du mélange gazeux inadapté,
- injecter dans la boucle respiratoire du gaz diluant respirable à la profondeur où il se trouve,
- répéter éventuellement cette procédure tous les 3 à 5 cycles respiratoires (mode semi-fermé).





Le cas échéant, le plongeur recycleur se voit contraint de **quitter la boucle respiratoire** en prenant soin de :

- identifier le bloc bail-out¹³ contenant le mélange gazeux adapté à sa profondeur d'évolution,
- ouvrir ce bloc bail-out et de purger le détendeur associé afin de vérifier son fonctionnement,
- placer ce détendeur autour de son bras ou de son cou pour le saisir immédiatement après avoir quitté sa boucle respiratoire,
- fermer l'embout de sa boucle avant de quitter sa boucle respiratoire,
- saisir et respirer sur le détendeur de son bloc bail-out,
- basculer l'ordinateur de son recycleur circuit fermé en mode « Circuit Ouvert » afin d'entamer la procédure de désaturation recalculée dans ce mode.



Eventuellement cette procédure pourra être facilitée par une BOV (Bail-Out Valve), c'est-à-dire un détendeur directement intégré à la boucle respiratoire dont l'embout commun évite tout échange d'embout et donc une noyade.

Ainsi, le plongeur recycleur appréhende les nombreuses tolérances auxquelles son recycleur est capable de faire face sans se retrouver en situation de danger. Le cas échéant, il apprend puis met en pratique 2 ou 3 réactions face à des alarmes majeures qui préservent son intégrité physique jusqu'à l'émersion salvatrice.

¹³ Bail-out : littéralement sauvetage, abandon, parachute...

IV. Pour le formateur MF1

Pour le moniteur MF1 recycleur désireux de partager son expérience de la plongée en recycleur et d'enseigner les fondamentaux spécifiques à ce type de plongée, l'effort pédagogique n'est pas très différent de celui de son enseignement en circuit ouvert. Il a la chance de pouvoir s'appuyer sur toute son expérience de pédagogue en plongée circuit ouvert pour :

- identifier les différences et similitudes avec la plongée en recycleur circuit fermé en termes d'apprentissages et de comportements,
- identifier les nouvelles difficultés pour ses élèves plongeurs en recycleur circuit fermé,
- développer de nouvelles situations propices à faciliter l'apprentissage de cette nouvelle pratique pour ses élèves.

Le moniteur MF1 formateur recycleur, propose alors :

- un ensemble de connaissances théoriques spécifiques à la plongée en recycleur circuit fermé,
- un ensemble de pratiques gestuelles et techniques spécifiques au recycleur circuit fermé utilisé,
- un ensemble de comportements favorisant la plongée en recycleur circuit fermé en toute sécurité et orientée vers le plaisir.

A. Les nouveaux savoirs

Comme pour tout nouveau matériel, le moniteur MF1 recycleur doit enseigner à ses élèves plongeurs recycleur toutes les connaissances théoriques dont il a besoin pour comprendre son fonctionnement, son évolution en mode immergé, et ses éventuels incidents mineurs et majeurs, et leurs conséquences.

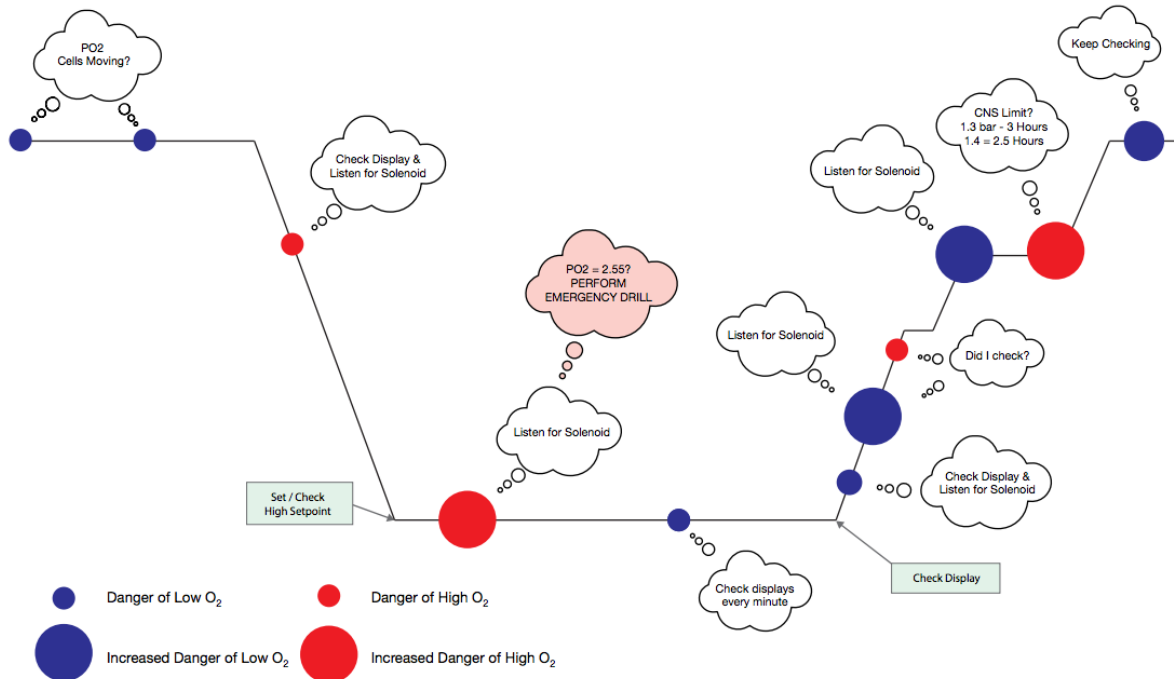
La PpO₂ constante ... une notion majeure à enseigner.

L'expérience de plusieurs années d'enseignement de la plongée en recycleur circuit fermé nous permet d'affirmer qu'une notion aussi simple que la PpO₂ constante est loin d'être évidente pour tous ; les **valeurs physiologiques "seuils"** ou ce qu'on peut décrire comme la "zone vitale" de la PpO₂ comprise entre 0,16 bar et 1,6 bars ainsi que les **variations de PpO₂ au cours de la plongée** sont le cœur des connaissances nouvelles à assimiler au cours de la formation de base.

La **déclinaison opérationnelle** de cette notion théorique de PpO₂ est le **comportement anticipatif** que le plongeur recycleur doit adopter au cours des différentes phases de la plongée (descente, séjour au fond, remontée) afin d'éviter que la PpO₂ sorte de la "zone vitale".

C'est également le **comportement réactif** lorsqu'il s'agit par exemple de faire face aux alarmes PpO₂ du recycleur. Voir schéma APD ci-dessous.

OXYGEN DANGER POINTS



Original design by Lynda Weller
Adapted by AP Diving

Ce schéma illustre les différentes phases de la plongée et montre selon un code couleur les dangers hypoxiques et hyperoxiques, leur importance et suggère le comportement attentif et préventif que le plongeur doit suivre.

Le CO₂ ...un souci constant du plongeur recycleur.

Après une PpO₂ viable respirer un **gaz exempt de CO₂** doit devenir la deuxième préoccupation du plongeur recycleur ; là encore le comportement du plongeur recycleur passe par la transmission par le moniteur MF1 recycleur des **connaissances physiologiques et technologiques** indispensables pour **anticiper et réagir**.

Un point clé de compréhension de la « problématique CO₂ » spécifique au recycleur est la "spirale" que constitue la respiration en boucle fermée dans laquelle le plongeur respire en cycle son propre CO₂ en cas de dysfonctionnement du système.

La technologie...au service d'un pilotage automatique.

Le système de mesure de la PpO₂ et le système de régulation de la PpO₂ sont les fondements du recycleur piloté électroniquement par ordinateur. Les **connaissances théoriques des sondes O₂**, de leur système de redondance et des **paramètres l'ordinateur** permettent au plongeur recycleur d'**exploiter pleinement** son recycleur. En cas de dysfonctionnement d'un composant, ces mêmes connaissances lui permettent d'en **évaluer la gravité** et d'**adapter sa réaction**.

L'hypoxie, l'hyperoxie, l'essoufflement exacerbé et le cocktail caustique...des accidents spécifiques.

Au-delà de l'enseignement classique « cause, symptôme, mécanisme », le plongeur recycleur appréhende surtout les **causes matérielles** de ces accidents et les

comportements spécifiques qu'il doit adopter sur son recycleur.

D'autres nouvelles difficultés dans la transmission de connaissances se situent parfois dans le fait de devoir modifier des postulats ancrés dans les connaissances du plongeur Nitrox circuit ouvert.

Citons par exemple :

- **Choisir son "Nitrox fond"** sur le critère d'une PpO₂ de 1,6 bars maximum au fond devient en recycleur "**choisir un "gaz diluant"¹⁴**" ce qui est très différent.
- En effet un critère de sélection d'un gaz diluant est de pouvoir ramener une PpO₂ à une valeur viable par rinçage de la boucle respiratoire. Une PpO₂ de 1 bar à la profondeur maximum d'immersion est un critère de sélection.

1. Différences et similitudes

Les similitudes en termes de savoirs nécessaires à la plongée circuit ouvert comme à la plongée circuit fermé résident principalement dans :

- Les lois physiques (Boyle-Mariotte, Dalton, Henry, etc...) qui, évidemment, continuent à s'appliquer au matériel comme au corps humain, indifféremment de la plongée en circuit ouvert ou en circuit fermé,
- Les notions anatomiques et physiologiques plus ou moins connues par ses élèves plongeurs circuit ouvert au minimum Niveau 3,
- Les accidents de plongée (prévention, mécanismes simples, symptômes perçus et observables, facteurs favorisant, conduites à tenir).

Cependant, le moniteur MF1 recycleur prend soin de :

- décrire et donner l'interprétation de toutes les particularités informationnelles et de paramétrage de l'ordinateur associé (« gradient factors »),
- présenter le fonctionnement basique des sondes O₂, un des composants cruciaux du recycleur circuit fermé, en inculquant différentes méthodes de tests de validité des sondes et de rythme de remplacement (sans dépasser la durée préconisée du constructeur),
- démontrer le remplacement nécessaire de la chaux selon la profondeur envisagée de la plongée, la température de l'eau, les conditions précédentes d'utilisation (sans dépasser la durée préconisée du constructeur),
- présenter les différents logiciels de planification de la plongée en recycleur circuit fermé en précisant sur quels paramètres ses élèves plongeurs circuit fermé peuvent agir en fonction des contraintes de la plongée (durée totale d'immersion, autonomie des Bail-Out, etc...),
- présenter les différences de survenue des accidents toxiques (hypoxie, hyperoxie, essoufflement) en prenant soin d'expliquer les facteurs d'accélération et de gravité.

Ainsi, le moniteur recycleur sensibilise ses élèves plongeurs recycleur aux nouvelles notions et connaissances théoriques dont il a besoin pour comprendre l'importance de son nouvel apprentissage, et développer de nouvelles attitudes.

2. Difficultés d'enseignement

¹⁴ Gaz diluant : en formation de base c'est de l'air ; au-delà de 45-50 mètres, c'est du trimix ou de l'héliox

Dans l'enseignement des nouvelles connaissances théoriques spécifiques à la plongée recycleur, le moniteur MF1 recycleur doit éviter une approche d'emblée trop complexe ne permettant pas à ses élèves plongeurs recycleur d'en retenir l'essentiel pour débiter leur pratique.

La masse d'informations à transmettre est beaucoup plus importante qu'en plongée circuit ouvert et le moniteur MF1 recycleur doit véritablement "distiller" les connaissances afin de ne pas « noyer » ses élèves plongeurs recycleur dans un nuage d'informations théoriques ou anecdotiques inutiles pour leurs premières expériences.

a) Limiter les connaissances à transmettre

Le moniteur MF1 recycleur doit focaliser son enseignement sur les uniques nouveaux savoirs dont ses élèves plongeurs recycleur ont besoin pour commencer leur pratique et comprendre les effets de ce nouveau matériel sur leurs manières habituelles de plongée en circuit ouvert.

On cite les objectifs les plus fondamentaux :

- **Comprendre les nouveaux concepts du recycleur fermé**, soit le recyclage du gaz respiré et la notion de PpO_2 constante.

Les prérequis font classiquement appel aux lois physiques déjà connues, quelques rappels sont nécessaires et les exemples numériques et les exercices doivent rester simples et réalistes.

- **Comprendre les avantages**, l'autonomie décuplée, le silence...et **les inconvénients du recycleur**, les risques de défaillances technologiques, de l'injection d' O_2 , de l'épuration de CO_2 , les erreurs de manipulation etc...

- **Comprendre le fonctionnement basique** de la machine par la description des choix technologiques (électronique ou mécanique) ; à l'aide de **schémas de principes très simplifiés** ; le moniteur MF1 recycleur se réfère massivement au **manuel du constructeur** qui reste la "bible" de l'utilisateur du recycleur et utilise les outils de formation numériques mis à disposition (vidéos et simulateurs).

- **Comprendre les accidents spécifiques** (causes matérielles) : l'hypoxie, l'hyperoxie, l'essoufflement exacerbé, le cocktail caustique ; les classiques notions d'anatomie et de physiologie déjà utilisées au niveau 3 seront complétées des rappels nécessaires.

Faut-il rappeler que l'enseignement théorique doit être rigoureux, précis, exhaustif, en lien avec la pratique du recycleur circuit fermé ? Il doit s'appuyer sur des présentations soignées (PowerPoint) et des supports fournis aux élèves plongeurs recycleur pour qu'ils puissent s'y référer tout au long de leur apprentissage et de leur pratique.

Les exemples/exercices théoriques doivent être choisis pour mettre en évidence les différences par rapport à la plongée circuit ouvert, les limites d'utilisation de la plongée circuit fermé selon les diluants choisis, les paramètres choisis, etc...

b) Prévoir la théorie pour la pratique

Sur le plan organisationnel, le moniteur MF1 recycleur a toute liberté pour distiller son enseignement théorique au cours des journées d'enseignement pratique.

Il prend soin notamment d'**enseigner la théorie nécessaire préalablement à tout exercice pratique** (ex : hyperoxie/hypoxie préalable aux exercices pratiques de rinçage de la boucle par du gaz diluant, injection manuelle de gaz, etc...)

Le moniteur MF1 recycleur ne doit pas sous-estimer les durées et conditions d'enseignement nécessaires à la transmission de ces connaissances théoriques. Elles nécessitent un endroit calme, silencieux, propice à l'écoute, au partage d'expériences, aux questions/réponses, aux exercices d'application.

Dans l'élaboration de ses cours théoriques, le moniteur MF1 recycleur consacre un temps important à la recherche d'informations étayant son discours, de données constructeurs évitant les erreurs de conditions aux limites, et de croquis/schémas/photos illustrant ses démonstrations théoriques.

B. Les nouveaux savoir-faire

Le recycleur circuit fermé représente un changement matériel majeur pour le plongeur recycleur débutant. Les conséquences peuvent être regroupées et enseignées dans 3 catégories :

- **Apprentissage matériel** : le moniteur MF1 recycleur doit a minima enseigner et vérifier que ses élèves plongeurs recycleur sont aptes à :
 - connaître les noms des différents composants et leur fonction,
 - connaître la manière de les assembler,
 - connaître les procédures de vérification d'étanchéité,
 - connaître les procédures de rinçage, séchage, stockage, entretien,
 - connaître les procédures d'identification des pannes et comment y remédier.

- **Apprentissage en immersion** : le moniteur MF1 recycleur peut adopter une pédagogie de la découverte sur les nouvelles sensations, les nouvelles sensibilités gestuelles, les nouvelles localisations matérielles pour enseigner et vérifier que ses élèves plongeurs recycleur sont aptes à :
 - ventiler sans effort,
 - vider le masque sans modification de flottabilité,
 - échanger d'embout sans noyer la boucle respiratoire,
 - modifier leur zone d'évolution sans perte de contrôle de la flottabilité,
 - lire et interpréter l'ordinateur du recycleur circuit fermé,
 - se déplacer en immersion sans effort,
 - remonter avec maîtrise en fin de plongée.

- **Apprentissage réactions aux incidents** : le moniteur MF1 recycleur peut adopter une pédagogie magistrale et interrogative à expliquer quels incidents peuvent survenir, quelles en sont les causes, comment les éviter et le cas échéant, comment réagir. Ainsi, il enseigne et vérifie que ses élèves plongeurs recycleur sont aptes à :
 - prévenir les incidents par la rigueur avant-plongée et pendant-plongée,
 - identifier et comprendre la cause des incidents,
 - réagir avec mesure et justesse.

1. Différences et similitudes

Les similitudes en termes de savoir-faire nécessaires à la plongée circuit ouvert comme à la plongée circuit fermé peuvent paraître faibles voire inexistantes. Mais en réalité, le moniteur MF1 recycleur peut s'appuyer sur les capacités acquises par ses élèves plongeurs recycleur en matière de techniques et pratiques gestuelles telle que :

- le lestage,
- le vidage de masque,
- le contrôle de la flottabilité à l'aide d'une stab,
- les palmages (ventral principalement),
- les mises à l'eau (saut droit, bascule arrière),
- les immersions (phoque principalement).

Cependant, le moniteur MF1 recycleur enseigne progressivement de nouvelles techniques et pratiques telles que :

- la ventilation basée sur :
 - o la mécanique ventilatoire du corps (au lieu de la ventilation « à la demande » basée sur le détendeur),
 - o le maintien d'un volume gazeux par injection manuelle ou automatique de diluant.
- l'échange d'embout basé sur :
 - o la fermeture/ouverture de la boucle respiratoire,
 - o la respiration sur le détendeur de secours indépendant.
- la purge de la boucle respiratoire à la remontée,
- la surveillance fréquente et régulière de sa PpO₂,
- les déplacements en immersion en privilégiant la profondeur constante.

Ainsi, le moniteur MF1 recycleur sensibilise ses élèves plongeurs recycleur aux nouvelles techniques et pratiques gestuelles dont il a besoin pour plonger en toute sécurité et avec plaisir.

2. Difficultés d'enseignement

Dans l'enseignement des nouveaux apprentissages spécifiques à la plongée recycleur circuit fermé, le moniteur MF1 recycleur peut être gêné par :

- l'encombrement matériel (son recycleur et celui de son élève),
- le manque d'informations visuelles sur l'efficacité de la nouvelle technique gestuelle (ventilation à volume minimal sur la boucle respiratoire),
- son positionnement dans l'eau par rapport à l'élève pour observer les effets (bons et mauvais) des pratiques gestuelles de son élève (purge de la boucle respiratoire à la remontée).

a) Des sensations nouvelles ou perturbées

La découverte de la plongée recycleur circuit fermé par ces plongeurs circuit ouvert expérimentés peut être très déstabilisante. Leurs repères habituels disparaissent :

- la ventilation n'est plus « à la demande »,
- Il n'y a plus de poumon ballast,
- le lestage n'est plus seulement fonction de l'épaisseur de leur combinaison et

- du matériel embarqué,
- l'amplitude visuelle latérale est réduite, limitée par les « T » de la boucle respiratoire,
- la flottabilité n'est plus uniquement basée sur le poumon ballast et la stab mais est aussi dépendante du volume de la boucle respiratoire.

Le moniteur MF1 recycleur peut largement appuyer son enseignement en marquant les différences essentielles avec le circuit ouvert :

- La **ventilation** se base à l'**initiation** sur un **volume** gazeux de la boucle respiratoire **supérieur à la demande**. L'élève plongeur recycleur **ne ressent pas de « manque d'air »**. Il a tendance à :
 - o inspirer au-delà de ses besoins,
 - o faire des apnées inspiratoires (pour prolonger son autonomie d'air comme en plongée circuit ouvert),
 - o expirer par le nez (avec la conséquence immédiate de perte de volume gazeux dans la boucle respiratoire).
- L'absence de poumon ballast entraîne un contrôle intensif de la flottabilité par :
 - o purge/remplissage de la boucle respiratoire (utilisé à tort pour la flottabilité et non pour ventiler uniquement à volume minimal, même si ce volume contribue inévitablement à la flottabilité),
 - o purge/remplissage de la stab (entamant notablement l'autonomie du diluant),
- Le lestage est revu à la hausse, voire au surlestage pour compenser l'augmentation de flottabilité dû au volume d'eau important déplacé par :
 - o le volume important du recycleur circuit fermé,
 - o le volume important de la boucle respiratoire.
- L'appréhension visuelle de l'environnement nécessite un positionnement adapté du moniteur MF1 recycleur afin que ses élèves plongeurs recycleur soient :
 - o en permanence rassurés par sa présence immédiate,
 - o en capacité d'observer correctement les démonstrations gestuelles,
 - o en position de pouvoir être assistés.
- La flottabilité perturbée par l'absence du poumon ballast et la gestion de deux volumes gazeux (stab, boucle respiratoire) requièrent une vigilance accrue du moniteur MF1 recycleur pour au besoin purger/gonfler la stab, mais aussi et surtout gonfler/purger la boucle respiratoire afin que ses élèves plongeurs recycleur :
 - o respirent à la descente sans ressentir un manque de volume respiratoire,
 - o respirent à la remontée sans ressentir un "trop-plein" respiratoire.

b) Organisation

Sur le plan organisationnel, le Manuel de Formation Technique (MFT) impose « 8 plongées minimum pour une durée de 8 heures minimum ».

Progressivement, le moniteur MF1 recycleur démontre et enseigne les techniques et pratiques gestuelles vitales pour la respiration et essentielles pour la sécurité de ses des élèves plongeurs recycleur.

A ces fins, il peut :

- simplifier leurs apprentissages en limitant les difficultés sur les premières plongées, telles que :
 - o pas de bail-out pour limiter l'encombrement matériel déjà plus important,
 - o utilisation de l'ADV pour éviter la sensation de squeeze respiratoire très stressante,
 - o bascule vers setpoint bas au départ de la remontée pour limiter l'influence de la flottabilité par l'ajout d'O₂.
- minimiser l'accumulation d'enseignements par plongée, telles que :
 - o premières plongées uniquement dédiées à la ventilation et aux sensations, au lestage, repère des composants matériels (stab, ordinateur, HUD),
 - o plongées suivantes dédiées aux gestes de sécurité (lâcher/reprise d'embout) et de confort (vidage de masque) à profondeur constante, avec puis sans appui, recherche du volume minimal de la boucle respiratoire,
 - o plongées suivantes dédiées à la flottabilité (une fois le volume minimal de la boucle respiratoire réglé) et au contrôle de la remontée (avec setpoint bas),

tout en profitant au maximum de l'apport plaisir que procurent ces plongées silencieuses, avec une autonomie décuplée et un refroidissement interne réduit.

Ces apprentissages sont facilités par :

- des conditions de mer calme (pas de houle perturbatrice),
- des fonds plats (pour les appuis au sol),
- des profondeurs faibles (éviter la densité gazeuse dans une mécanique respiratoire devenue uniquement physiologique, éviter les paliers),
- un pendeur à la remontée (éviter la vitesse accrue par les deux volumes gazeux (stab, boucle respiratoire)).

Dans son positionnement, le moniteur MF1 recycleur doit anticiper sur quels composants agir relativement aux exercices qu'il met en place, tels que :

- se positionner à gauche à la descente pour agir sur l'inflateur du diluant,
- se positionner en face pour agir sur l'embout au lâcher/reprise d'embout,
- se positionner à droite à la remontée pour agir sur la purge du poumon respiratoire,
- se positionner derrière légèrement au-dessus pour vérifier la gestuelle sur le robinet d'O₂ aux exercices de fermeture/ouverture simulés de bloc O₂.

c) Gestuelles

L'apprentissage gestuel par les élèves plongeurs recycleur nécessite un temps supérieur à celui du stage de formation. Le moniteur MF1 recycleur ne peut s'attendre à ce qu'en fin de cursus de formation ses élèves plongeurs recycleur sachent :

- fermer/ouvrir/lâcher/reprendre leur embout de boucle respiratoire, tout en maintenant leur flottabilité en pleine eau et dans un délai de 3-5 secondes. Cette pratique nécessite en effet une certaine habitude dans la capacité

immédiate à saisir les 2 parties opposées de l'embout et dans quel sens tourner pour sa fermeture/son ouverture,

- vider le masque tout en maintenant leur flottabilité en pleine eau et en sachant injecter manuellement au besoin un volume de diluant sensiblement équivalent au volume gazeux utilisé lors du vidage de masque,
- contrôler la remontée à vitesse constante tout en maintenant un setpoint haut et un volume minimal dans boucle respiratoire.

En revanche, le moniteur MF1 recycleur doit être exigeant en fin de cursus de formation envers ses élèves plongeur recycleur sur :

- la préparation rigoureuse et minutieuse de leur recycleur circuit fermé,
- la vérification complète des deux check-lists (étanchéités négative et positive notamment),
- le lâcher/reprise d'embout vital à la respiration hors du recycleur circuit fermé,
- l'observation fréquente et régulière de la PpO₂,
- l'utilisation correcte des injecteurs de diluant (et d'O₂) sans croiser les bras afin d'éviter de mauvais réflexes en situation d'urgence (injecter de l'O₂ situé à droite avec la main gauche normalement habituée à injecter du diluant situé à gauche).

Cela requiert de la part du moniteur MF1 recycleur :

- une facilité gestuelle et rapide de préparation de son propre recycleur pour consacrer toute son attention, son écoute, son expérience à l'accompagnement et à la vérification des recycleurs de ses élèves plongeurs recycleur,
- une aisance en immersion pour se déplacer vers le meilleur positionnement par rapport à ses élèves plongeurs recycleur afin de maîtriser en toutes circonstances le bon déroulement des exercices,
- une observation (vue, écoute) aiguisée des recycleurs de ses élèves plongeurs recycleur afin de prévenir tout incident.

Les apprentissages plus élaborés comme la remontée en mode « recycleur semi-fermé » et la remontée assistée d'un plongeur recycleur peuvent être présentées et abordées en pratique mais elles ne peuvent constituer un élément essentiel des apprentissages enseignés et donc un critère d'évaluation finale ou certificatrice par le moniteur MF1 recycleur.

C. Les nouveaux savoir-être

Si le moniteur MF1 recycleur peut considérer que certains savoirs et savoir-faire doivent être acquis par ses élèves recycleur en fin de cursus de formation, ses ambitions en matière de savoir-être ne doivent pas être pour le moins importantes.

Les nombreuses motivations de ses élèves plongeur recycleur ne doivent pas supplanter les savoir-être essentiels à cette nouvelle pratique de plongée :

- plonger avec humilité face à la profondeur et à l'autonomie,
- plonger avec rigueur et respect face aux automatismes matériels du recycleur circuit fermé et ses exigences,
- plonger avec respect des autres plongeurs circuit ouvert et des consignes du

directeur de plongée en structure.

Pour cela, le moniteur MF1 recycleur doit faire preuve d'informations et de réponses correctes face aux questions fusantes de ses élèves recycleur, en toutes situations. Il s'appuie bien sûr sur ses 100 heures minimum d'expérience en recycleur mais aussi sur l'expérience partagée avec d'autres moniteurs et plongeurs recycleur.

1. Différences et similitudes

Les similitudes en termes de savoir-être nécessaires à la plongée circuit ouvert comme à la plongée circuit fermé sont nombreuses :

- le respect de l'environnement,
- le respect des consignes du directeur de plongée (notamment les indications de profondeur maximale et durée totale maximum),
- le rangement du matériel sur le bateau (au regard de l'encombrement plus important du recycleur,
- l'attention portée aux autres plongeurs (notamment les plongeurs circuit ouvert).

En particulier, le moniteur MF1 recycleur motive ses élèves plongeur recycleur à :

- s'intégrer dans les palanquées de plongeurs en circuit ouvert et dans les structures de plongée en respectant les timings de préparation avant-plongée malgré leurs difficultés parfois à s'équiper seul, les paramètres maximaux fixés par le directeur de plongée malgré l'autonomie de leur recycleur, les équipements à bord des bateaux malgré l'encombrement de leur recycleur voire des bail-out,
- suivre scrupuleusement leurs check-lists d'avant-plongée malgré les perturbations de toutes parts (intérêt et questionnement des plongeurs circuit ouvert),
- suivre scrupuleusement leur procédure de descente, notamment le check-bubble et la vitesse limitée pour ne pas augmenter leur PpO₂ vers des valeurs dangereuses malgré les descentes ininterrompues et plus rapides des plongeurs circuit ouvert,
- observer l'intégrité de la palanquée incluant des plongeurs circuit ouvert, notamment au moment des paliers souvent inexistants pour les plongeurs circuit fermé dans les palanquées mixtes (circuit ouvert, circuit fermé),
- se déséquiper dans l'eau si les conditions météo le permettent afin de leur éviter d'inutiles efforts, facteurs aggravant d'éventuels accidents de désaturation.

Ainsi, le moniteur MF1 recycleur sensibilise ses élèves plongeur recycleur à des comportements et attitudes similaires aux plongeurs circuit ouvert afin d'être perçus comme des plongeurs intégrés et respectueux des autres plongeurs et des structures, plutôt que des plongeurs marginaux et indépendants.

2. Difficultés d'enseignement

Dans l'enseignement des nouveaux comportements et attitudes spécifiques à la plongée recycleur circuit fermé, le moniteur MF1 recycleur peut être gêné par :

- **l'assimilation parfois difficile des connaissances théoriques nombreuses**

- par ses élèves plongeurs recycleur qui peuvent se heurter à des incompréhensions ou à des réflexes de plongeur circuit ouvert,
- **la conception d'exercices pratiques** en toute sécurité lui permettant d'observer une progression de ses élèves dans leurs réactions et comportements attendus face à des situations simulées,
 - **l'enchaînement d'exercices** et de comportements attendus disséminés dans des plongées autant vouées à l'assimilation des sensations et à la réflexion qu'aux réactions face à des situations précises permettant de mettre en pratique ces exercices et comportements,
 - **la définition de critères d'évaluation sommative** lui permettant de valider les capacités relatives à l'autonomie de la plongée en circuit fermé.

On peut citer en exemple pour ce dernier point la « maîtrise de la flottabilité »; le moniteur MF1 recycleur apprécie cette compétence au cours de toutes les plongées de ses élèves plongeurs recycleur lorsqu'ils sont en situation de mise à l'eau, d'immersion, de check-bubble, de descente, d'évolution, de remontée et de maintien de palier. Une à une, ces situations lui permettent d'évaluer l'usage déclinant de la boucle respiratoire comme moyen de flottabilité, au profit de l'usage de la stab (ou de la combinaison étanche) dédiée à ces fins.

a) Cognitives

Les nouvelles notions de la plongée recycleur circuit fermé peuvent présenter des difficultés d'assimilation par certains élèves.

La PpO₂ constante présente un changement important dans l'esprit des plongeurs circuit ouvert. Le recours aux modes de pensée de plongeur circuit ouvert ne disparaît pas du jour au lendemain. Le moniteur MF1 recycleur enseigne avec force ce nouveau postulat et vérifie au cours de la formation que ses élèves plongeurs recycleur l'ont ancré dans leur conscience.

Le paramétrage d'avant-plongée (profondeur de bascule de setpoint, « gradient-factors », ...) de l'ordinateur, l'interprétation des nombreuses nouvelles informations sur la console d'ordinateur (et sur le HUD), la liaison ordinateur-PC(Mac) concentrent à chaque plongée d'enseignement une grande partie des questions des élèves plongeur recycleur :

- Comment atteindre tel ou tel paramètre dans les menus de l'ordinateur (en mode surface ou en mode immersion, en anglais ou en français, en telle ou telle version de firmware de l'ordinateur...)?
- Que signifie la variation (plus ou moins rapide) des mesures des sondes O₂ (en mode surface ou en mode immersion) ?
- Quelles sont les valeurs minimales et maximales des paramètres (setpoint, mesures de PpO₂, ...) et les alarmes respectives suivant certains seuils dépassés ?

Le moniteur MF1 recycleur vérifie ces habitudes et aisances face à l'ordinateur tout au long de sa formation. Il démontre sur son ordinateur (quand il le peut) comment le manipuler et vérifie que ses élèves plongeurs recycleur sont en capacité de manipuler leur ordinateur en toute situation.

b) Organisation

Si le moniteur MF1 recycleur connaît tous les contenus de formation qu'il souhaite enseigner à ses élèves plongeurs recycleur, il peut rencontrer certaines difficultés à planifier et organiser les exercices lui permettant d'observer et de valider les comportements attendus par ses élèves face à ces situations.

L'exercice de pilotage manuel de la PpO₂, par exemple, requiert une organisation réfléchie par le moniteur MF1 recycleur avant d'être mis en pratique par ses élèves plongeurs recycleur.

Il doit lui permettre de valider que ses élèves plongeurs recycleur savent adapter le pilotage de leur PpO₂ à la profondeur à laquelle ils évoluent.

Le moniteur MF1 recycleur doit comprendre que pratiquer l'exercice du pilotage manuel de la PpO₂ doit garantir en toute situation une PpO₂ minimale viable à ses élèves plongeurs recycleur. En conséquence :

- Il choisit que ses élèves plongeurs recycleur basculent préalablement en setpoint bas, soit 0,7 bar (garantie d'une PpO₂ viable),
- Il attend que ses élèves plongeurs recycleur constatent par eux-mêmes que leur mélange gazeux devient stable à cette valeur de référence,
- Il leur demande de piloter (injecter de l'O₂) manuellement et régulièrement leur PpO₂ pour la maintenir à une valeur de référence moyenne de 1 bar.

Une fois l'exercice terminé, il n'oublie pas de les faire basculer à nouveau à la valeur de référence initiale d'avant exercice (1,3 bars s'ils évoluent à profondeur maximale de plongée).

Fermeture de la bouteille d'oxygène... un exercice contestable .

De la même manière, le comportement attendu face à une alarme hyperoxie « PpO₂ high » dont la cause serait le solénoïde bloqué ouvert requiert un choix pédagogique important par le moniteur MF1 recycleur : **simuler ou rendre réel le pilotage PpO₂ par ouverture/fermeture par ses élèves de leur bloc O₂.**

Ce choix n'est pas anodin :

- **Simuler l'ouverture/la fermeture du robinet d'O₂** implique que le recycleur pilote a minima la PpO₂ automatiquement à la valeur de référence fixée (setpoint). Cette **PpO₂ garantie viable**, le moniteur MF1 recycleur vérifie visuellement, dans le cadre de l'exercice, la simulation par l'élève plongeur recycleur de la l'ouverture/fermeture manuelle rapide de son robinet de bloc O₂, simulant ainsi l'injection brève d'O₂ par le solénoïde simulé bloqué ouvert et donc le pilotage manuel de sa PpO₂.



- Rendre réelle l'ouverture/fermeture manuelle du robinet de bloc O₂ implique que le recycleur est susceptible de ne plus délivrer une PpO₂ viable si le moniteur MF1 recycleur n'est pas apte à observer la console du recycleur de son élève, ou apte à rouvrir le bloc O₂ réellement fermé (1^{er} étage remis en fuite constante, ...). A tout moment de l'exercice, le moniteur MF1 recycleur vérifie manuellement que le robinet de bloc O₂ de son élève plongeur recycleur est bien ouvert.

Sur ce dernier point au cours des différents **stages nationaux FFESSM de formateurs de moniteurs recycleur** du constructeur APD, le choix pédagogique de **ne JAMAIS FERMER le bloc O₂ en exercice** s'est dégagé comme une **règle consensuelle** à suivre pour ne pas faire courir le risque majeur d'une hypoxie mortelle en enseignement.

Bail-out or not bail-out ?

L'enseignement élémentaire voire simpliste du comportement attendu des élèves plongeurs recycleur face à des alarmes majeures et parfois même mineures, est une **sortie de la boucle respiratoire** au profit d'une **ventilation sur circuit ouvert de secours (bail-out)** ; le bénéfice immédiat est le retour rassurant à une ventilation maîtrisée de plongeur circuit ouvert ; cette manœuvre est alors suivie d'une remontée immédiate.



Cet enseignement a été assez longtemps considéré comme la seule alternative au moindre dysfonctionnement d'un recycleur et a fait l'objet d'une véritable culture de la part de toutes les écoles de formation recycleur.

L'enseignement sur ce point a depuis largement évolué ; si l'initiation du premier geste de secours est de « revenir en circuit ouvert face à tout problème », très rapidement au cours de la formation de base le moniteur MF1 recycleur doit proposer d'autres solutions.

Il attend de l'élève plongeur recycleur une réflexion aboutie et un comportement

Pourtant les inconvénients à « quitter la boucle » sont nombreux et les conséquences peuvent être dramatiques.

- **Inondation massive du recycleur** en cas de non fermeture préalable de l'embout qui entraîne une perte catastrophique de flottabilité.
- **Changement du mode de calcul de la désaturation** au cours de la plongée avec potentiellement une augmentation significative de la durée de désaturation (problème d'autonomie en gaz de secours)
- **Augmentation rapide du volume de la boucle respiratoire au cours de la remontée** si l'embout a été fermé qui nécessite la maîtrise de la purge de la boucle respiratoire pour limiter la vitesse de remontée (risque de remontée incontrôlée).

adapté face à l'alarme majeure.

Ainsi :

- Une alarme **hyperoxie ou une alarme hypoxie** requièrent en premier lieu un **rinçage diluant efficace de la boucle respiratoire** autorisant un temps de réflexion pour identifier la cause de l'alarme et si possible en l'éliminer.
- **Une alarme chaux de dernier niveau** requiert en premier lieu un rinçage diluant de la boucle respiratoire puis une séquence « expiration hors de la boucle respiratoire suivie d'une injection simple de diluant » tous les 3 ou 5 cycles respiratoires (mode semi-fermé).
- Une alarme de type « erreur sonde » introduisant un doute dans l'esprit de l'élève quant à la validité du mélange respiratoire de sa boucle requiert un rinçage au diluant et un rapide calcul de la PpO₂ attendu à la profondeur d'évolution pour éliminer ce doute.

Face à ces comportements attendus, le moniteur MF1 recycleur peut adopter l'organisation suivante :

- expliquer au sec les exercices simulant les situations éventuelles d'alarme,
- vérifier au sec le comportement de ses élèves,
- provoquer au hasard en immersion les situations présentées,
- se positionner correctement par rapport à ses élèves plongeurs recycleur pour leur éviter un comportement inadapté et les orienter vers le comportement attendu.

c) Gestuelles

Le savoir-être gestuel des élèves plongeurs recycleur ne peut être évalué sur leur pratique unitaire geste par geste. Le moniteur MF1 recycleur évalue à un niveau plus général.

Citons par exemple : l'élève recycleur ne doit pas croiser ses bras pour manipuler son recycleur en immersion.

Le bras droit agit sur le côté droit du recycleur, et respectivement pour le bras gauche. Ainsi il acquiert un comportement gestuel de type automatisme qui, face à une situation de stress, évite une éventuelle manipulation grave (injecter en immersion du diluant situé à gauche avec sa main droite peut provoquer en cas de stress une injection d'O₂ situé à droite source d'hyperoxie grave).

Plus généralement, l'élève plongeur recycleur mémorise au cours de sa formation la localisation des éléments manipulables de son recycleur (inflateur diluant, inflateur O₂, purge faux-poumon expiratoire, purges stab, coupure ADV, ouverture/fermeture embout de la boucle respiratoire, console ordinateur, ...).

L'élève plongeur recycleur équipe et déséquipe son recycleur et procède aux deux check-lists complètes d'avant-plongée sans en diminuer ses critères d'exigence du début jusqu'au terme de sa formation.

Cela requiert de la part du moniteur MF1 recycleur :

- l'application sur soi-même de tous ses savoir-être gestuels,
- une observation informelle de ces savoir-être gestuels de ses élèves,
- un rappel régulier de ses savoir-être gestuels attendus.

V. Pour le formateur MF2 de cadres

Pour le formateur MF2 de cadres recycleur souhaitant partager des essentiels et une certaine idée de la pédagogie de la plongée en recycleur circuit fermé, le recul pédagogique fourni par ses 200 heures de pratique en plongée recycleur circuit fermé lui permet de :

- **identifier les écueils habituels** d'enseignement des connaissances théoriques de la plongée en recycleur circuit fermé :
 - o décrire tous les aspects matériels du recycleur circuit fermé
 - sans jamais laisser les élèves plongeurs recycleur manipuler ses composants au cours de la description,
 - en décrivant simultanément bon fonctionnement et incidents,
 - en fournissant des limites constructeur fausses,
 - o décrire trop précisément et techniquement les sondes O₂, la chaux sans ramener ces connaissances à la pratique (quid de la grosseur des granulés sans la rapporter à la difficulté respiratoire),
- **identifier des situations d'enseignement inadaptées** et de ses dangers en immersion vis-à-vis apprentissages de la plongée en recycleur circuit fermé .

Le formateur MF2 de cadres recycleur propose alors :

- une définition d'objectifs clairs et débriés en fin de séance théorique ou pratique, en fin de cursus de formation,
- un volume de formation par le moniteur MF1 recycleur stagiaire, adapté à l'expérience de ses élèves plongeurs recycleur,
- des critères d'évaluation mesurables et observables permettant au moniteur MF1 stagiaire recycleur d'apprécier l'efficacité de ses enseignements.

A. Définition d'objectifs

Jusqu'à présent, le moniteur MF1 forme progressivement par validation de niveaux des plongeurs circuit ouverts depuis leur baptême jusqu'à leur autonomie.

Dans la formation recycleur, le moniteur MF1 recycleur stagiaire est confronté à une **formation d'élèves plongeurs recycleur depuis leur baptême jusqu'à l'autonomie recycleur en 8 plongées et en 8 heures minimum** pour la première qualification plongeur recycleur circuit fermé autonome jusqu'à 50 mètres au diluant air (voire 40 mètres selon les recommandations constructeur).

Pour l'aider dans la construction de cette formation, le formateur MF2 de cadres recycleur définit avec lui des **objectifs simples et multiples pour chaque acte de formation**.

Exemple d'objectifs de présentation du recycleur : « à la fin de la présentation du recycleur, les élèves savent :

- dénommer chaque composant du recycleur et leur fonction principale,
- décrire le principe de fonctionnement du recycleur,
- assembler/désassembler le recycleur ».

Les difficultés que rencontrent souvent le moniteur MF1 recycleur stagiaire dans cet exemple d'objectifs est de noyer d'informations ses élèves (« et si ça ne marche pas alors... » ; « il existe aussi des options qui... ») au lieu de délivrer des messages simples et mémorisables pour le reste de la formation et de l'autonomie à venir.

Exemple d'objectifs d'une plongée de recycleur : « à la fin de cette plongée recycleur, les élèves savent réagir aux alertes mineures :

- alerte erreur sonde,

- alerte batterie faible,
- alerte chaux faible,
- alerte vitesse rapide.

Les difficultés que rencontre souvent le moniteur MF1 recycleur stagiaire dans cet exemple d'objectifs est de confronter dans le même temps ses élèves plongeurs recycleur à des alarmes mineures ET majeures (« comme vous étiez à l'aise je vous ai présenté des alarmes majeures » ; « vous pourriez également adopter d'autres attitudes comme la remontée semi-fermé ») au lieu d'ancrer d'abord de nouveaux savoir-être face à des alarmes mineures afin qu'ils deviennent des automatismes dans l'autonomie à venir.

La durée de 8 plongées/8 heures amène le moniteur MF1 recycleur stagiaire à définir des objectifs simples et précis, à enseigner des savoirs et savoir-faire facilement mémorisables par ses élèves plongeurs recycleur pour faciliter leurs nouveaux apprentissages.

Le formateur MF2 de cadres recycleur veille à la précision de ces objectifs, à la justesse des messages et gestes donnés par le moniteur MF1 recycleur stagiaire à ses élèves plongeurs recycleur, ainsi qu'au cadre de sécurité et au positionnement du moniteur MF1 recycleur stagiaire en immersion par rapport à ses élèves plongeurs recycleur.

Lors du débriefing des cours théoriques et des plongées techniques, le moniteur MF1 recycleur stagiaire débriefe ses élèves plongeurs recycleur afin de vérifier leurs nouveaux acquis et de répondre à leurs questions. Au cours de ce débriefing, le formateur MF2 de cadres recycleur n'intervient pas (pour ne pas décrédibiliser le moniteur MF1 recycleur stagiaire devant ses élèves plongeurs recycleur), sinon pour repréciser immédiatement des affirmations erronées et les réactions et comportements réellement adéquats en immersion.

Le formateur MF2 de cadres recycleur débriefe son moniteur MF1 recycleur stagiaire afin de :

- corriger sa manière de délivrer leurs enseignements théoriques et pratiques,
- préciser des positionnements adéquats par rapport à ses élèves plongeurs recycleur face à chaque situation technique,
- définir un rythme d'enchaînement d'exercices plaisant pour ses élèves plongeurs recycleur et adéquat à la mémorisation de leurs comportements appliqués,
- préciser des outils pédagogiques pouvant faciliter leurs enseignements.

B. Volumes de formations

Le Manuel de Formation Technique définit, sur le même modèle que les contenus de formation par niveau de plongée en circuit ouvert, des contenus de formation pour la qualification de plongeur recycleur circuit fermé diluant air.

Il demeure un guide pour le moniteur MF1 recycleur stagiaire dans la définition de ses enseignements à délivrer à ses élèves plongeurs recycleur.

Le formateur MF2 de cadres recycleur s'assure de la **complétude des contenus de formation enseignés par le moniteur MF1 recycleur stagiaire** et de ses critères de réalisation dans son enseignement.

L'apport du moniteur MF1 recycleur réside, au-delà de son expérience de plongeur recycleur, dans la construction de cours théoriques et pratiques qui facilitent la compréhension et l'apprentissage de ces contenus par ses élèves.

L'apport du formateur MF2 de cadres recycleur réside, au-delà de son expérience de moniteur MF1 recycleur, dans le **choix des outils pédagogiques utilisés pour l'enseignement recycleur** et dans le **choix des situations en immersion d'enseignement recycleur** garantissant la sécurité de tous et facilitant la transition de l'enseignement de la plongée circuit ouvert à l'enseignement circuit fermé.

Alors que le formateur MF2 de cadres circuit ouvert doit enseigner la construction d'un plan de cours, les moyens de communication, les différents publics, etc... le formateur MF2 de cadres recycleur focalise la formation de son moniteur MF1 recycleur stagiaire sur :

- les éléments théoriques fondamentaux en recycleur qu'il doit enseigner à ses élèves plongeurs recycleur,
- les gestes et techniques fondamentales en recycleur que ses élèves plongeurs recycleur doivent acquérir,
- les comportements adéquats en recycleur que ses élèves plongeurs recycleur doivent adopter dans le cadre de leur autonomie.

L'élément théorique fondamental de la plongée en recycleur est la plongée à PpO₂ constante.

Comme nous l'avons dit précédemment le postulat de la plongée à %O₂ constant est depuis longtemps ancré dans l'esprit des plongeurs circuit ouvert et comme tout changement, le moniteur MF1 recycleur stagiaire peut rencontrer des freins cognitifs à l'acquisition de ce nouveau postulat.

*Hormis ces freins, l'enseignement en lui-même peut ne présenter aucune difficulté pour l'élève moniteur MF1 recycleur stagiaire et pour ses élèves plongeurs recycleur. Pour autant, le formateur MF2 de cadres recycleur veille à ce que **soit également enseignés** :*

- les différences marquantes entre la plongée circuit ouvert à %O₂ et la plongée circuit fermé à PpO₂ constante,
- les limites d'utilisation du recycleur dans les différentes zones d'évolution,
- le choix de tel ou tel diluant,
- la criticité des sondes O₂,
- le calcul de moyenne adopté par l'ordinateur associé au recycleur.

Une technique fondamentale de la plongée en recycleur est la maîtrise de la flottabilité.

Comme nous l'avons vu précédemment le poumon ballast est une pratique largement utilisée par les plongeurs circuit ouvert et de par sa disparition, le moniteur MF1 recycleur stagiaire peut rencontrer certaines difficultés à enseigner cette nouvelle maîtrise de flottabilité.

Hormis cette absence de poumon-ballast, l'enseignement de cette nouvelle flottabilité peut présenter d'autres difficultés pour le moniteur MF1 recycleur stagiaire. Le formateur MF2 de cadres recycleur l'aide en conséquence à s'affranchir une à une de ces autres difficultés dans des situations d'immersion simplifiées :

- **un surlestage temporaire pour les débutants** leur facilitant l'immersion et leur évitant une remontée trop rapide,
- **une PpO₂ fixée à 0,7 bar à la remontée** limitant ainsi l'injection automatique d'O₂ et donc l'augmentation du volume de la boucle respiratoire,
- **un positionnement du moniteur MF1 recycleur stagiaire** en face ou à droite de ses élèves plongeurs recycleur pour agir promptement sur la purge du faux-poumon expiratoire à la remontée.

Un comportement fondamental en recycleur est le déroulement des deux check-lists électronique et pratique avant de s'immerger en recycleur.

Comme nous l'avons vu précédemment la vérification de la pression du manomètre et du fonctionnement du détendeur suffisent souvent pour le plongeur circuit ouvert avant de s'immerger. Le moniteur MF1 recycleur stagiaire doit donc enseigner chacun des tests des deux check-lists en justifiant de leur utilité et de leur validité.

Hormis l'enseignement de ces tests, le formateur MF2 de cadres recycleur veille à ce que soient également enseignés les bons choix lorsque certains tests sont invalides :

- **Un test de la checklist électronique est invalide** (erreur sonde, erreur calibrage, erreur tempstick, erreur capteur de pression, erreur pile, ...) : le moniteur MF1 recycleur stagiaire doit enseigner à ses élèves plongeurs recycleur les bons réflexes : « je change l'élément défectueux et je procède à nouveau à la checklist complète », « j'identifie la cause de la mauvaise connexion, je la corrige et je procède à

nouveau à la checklist ».

- **Un test de la checklist pratique est invalide** : le moniteur MF1 recycleur stagiaire doit savoir identifier toutes les causes d'invalidité des tests pratiqués et doit savoir y remédier si les composants du recycleur ne sont pas altérés : « un test infructueux d'étanchéité en surpression ou en dépression peut être dû à un injecteur mal vissé dans le faux-poumon, un joint absent ou mal positionné d'injecteur, un joint absent ou mal positionné de tuyau annelé de la boucle respiratoire, le joint absent ou mal positionné de la tête électronique, ... »).

C. Critères d'évaluation

La durée de formation de la qualification plongée recycleur est restreinte. En conséquence, le moniteur MF1 recycleur stagiaire ne peut adopter les mêmes exigences qu'en plongée circuit ouvert.

En plongée circuit ouvert, le moniteur MF1 définit ses critères d'évaluation vis-à-vis de situations de plongée sans incident (orientation par exemple) et vis-à-vis de plongées avec incident (remontée assistée par exemple).

En plongée circuit fermé, le formateur MF2 de cadres recycleur l'aide à **ajuster ses niveaux d'exigence** habituels

Il définit **des critères propres à l'autonomie en recycleur sans incident** :

- savoir équiper correctement son recycleur et procéder aux deux check-lists : les critères sont axés sur l'observation rigoureuse de chaque test à chaque plongée,

- savoir maîtriser la flottabilité en recycleur : les critères sont axés sur **l'adaptation du lestage aux poids et volumes embarqués** (bail-out, combinaison étanche), sur la répartition de l'équipement sur le plongeur recycleur pour une assiette horizontale correcte, le fameux "trim" de tout plongeur tek.



La recherche du volume minimal de la boucle respiratoire n'est pas un critère d'évaluation. Il requiert plus que huit plongées et de l'expérience pour trouver le volume minimal propre à chaque plongeur recycleur.

- savoir maîtriser la remontée en recycleur : les critères sont axés sur le réflexe de **purge de la boucle respiratoire par la bouche** ou par la **purge du faux-poumon respiratoire**.

Il sélectionne très **peu de critères essentiels** à la plongée recycleur **avec incident** :

- savoir respirer avec son recycleur en évitant l'essoufflement : les critères sont axés sur le **pilotage manuel** du **volume gazeux** avec le **diluant** et le **pilotage manuel de la PpO₂**,
- savoir rincer sa boucle respiratoire au diluant afin de garantir au plongeur un mélange respirable viable : les critères sont axés sur **l'efficacité de purger la boucle respiratoire** avec la bouche et la purge du faux-poumon expiratoire avant **d'injecter manuellement du diluant** sans purger par la bouche pour éviter la perte inutile de diluant.
- savoir sortir de sa boucle respiratoire pour **passer sur bail-out** : les critères sont axés sur la fermeture étanche de sa boucle respiratoire et sur la bascule de l'ordinateur en mode circuit ouvert.

VI. Conclusion

Le passage de la plongée circuit ouvert à la plongée recycleur circuit fermé peut être perçu comme un gap technique trop important par certains, ou un apport de facilités immense par d'autres.

Partagé entre la peur panique de ne jamais pouvoir maîtriser le recycleur ou l'enthousiasme béat de lui donner une confiance aveugle, le plus important pour le plongeur recycleur, le moniteur recycleur et le formateur de cadres recycleur est d'appréhender les nouveaux savoir, savoir-faire et savoir-être que chacun devra acquérir pour se positionner entre ces deux postures extrêmes.

Plonger à PpO₂ constante représente un changement de postulat fondamental dans la manière d'envisager et de pratiquer la plongée. Le plongeur recycleur doit comprendre les influences de ce postulat dans sa saturation, sa désaturation, le fonctionnement de son recycleur et dans les accidents spécifiques liés à cette PpO₂. Le moniteur MF1 recycleur lui expose les avantages et limites de cette plongée à PpO₂ constante et lui propose une formation théorique et pratique dont les contenus sont précisés par le Manuel de Formation Technique FFESSM.

La boucle respiratoire du recycleur représente également un changement important dans la ventilation du plongeur recycleur et une influence conséquente dans sa flottabilité. Le plongeur recycleur doit comprendre le cycle répété de son mélange respiratoire, la technologie mise en jeu pour mesurer et réguler sa PpO₂, les dangers d'un essoufflement en boucle. Il ressent l'influence de ces nouveaux volumes sur sa flottabilité et apprend à les maîtriser, notamment lors de sa remontée.

Le moniteur MF1 recycleur lui propose des situations de pratique adaptées à sa progression en 8 plongées/8 heures en focalisant son enseignement sur des essentiels qui de l'expérience pour les adapter, notamment dans la recherche du volume minimal de la boucle respiratoire.

Le formateur MF2 de cadres recycleur alerte le moniteur MF1 recycleur sur les écueils de fournir trop d'informations au plongeur recycleur débutant qui ne retiendrait aucun essentiel. Il l'aide à concevoir des situations techniques de pratique en toute sécurité et le positionne par rapport à ses plongeurs recycleur pour l'aider dans son enseignement et dans leur réalisation. Il lui propose des critères d'évaluation en lien avec le planning de formation et la pratique spécifique du recycleur.

Identifiant ainsi les difficultés importantes que rencontre le plongeur recycleur débutant devant ses nouveaux savoirs, savoir-faire et savoir-être, le moniteur MF1 recycleur et le formateur MF2 recycleur s'appuient sur leur expérience et leur pratique pour démystifier la plongée recycleur et la rendre accessible au plus grand nombre.

VII. Annexes

http://www.innodive.com/store/notices/gradients_factors.pdf

VIII. Bibliographie

Plongées sans bulles
Immersion en recycleur Inspiration
 E. Bahuet, JM Belin, L. Ballesta, D. Borg

Avec ou sans bulles
Mémoire d'instructeur national
 E. Bahuet 2003

Les recycleurs
Principes, gestion, stratégie de décompression
 Jacques Vettier éditions Ulmer.

Enseigner la plongée en recycleur
 Patrice Patron Ligue des pays Normands

Les recycleurs sportifs , PaoleH. , Maucherat Y.
Physiologie et Médecine de la plongée , Broussole, Meliet , Coulange ,
éditions Ellipses

Accidents liés à la pratique des recycleurs en plongée
Mémoire d'instructeur national
 Laurent Marcoux 2010

Recycleurs : un état des lieux des pratiques et perspectives
Mémoire d'instructeur régional
 Olivier BELAUD 2012

AP inspiration manual 2014.

Manuel de formation technique FFESSM

Norme européenne NFEN 14143
Appareils de plongée autonome à circuit fermé