

La plongée en recycleur

Matériels et techniques

J.Hontarrede

15/06/2023



SOMMAIRE

- Quiz
- Pourquoi la plongée en recycleur
- Principe de base
- Le scrubber
- Courbe de sécurité
- Mélange dans la boucle
- Types de CCR
- Faux-poumons
- Risques
- Utilisation
- Le marché du CCR
- Un peu d'histoire

QUIZ

- Le recycleur permet de plonger plus profond
- Le recycleur permet de plonger plus longtemps
- Le recycleur est une machine très complexe
- Il y a plus de chance d'avoir un ADD en recycleur qu'en circuit ouvert

POURQUOI LE RECYCLEUR ?

Durée

- On peut rester beaucoup plus longtemps sous l'eau avec un recycleur (3 à 10h)

Securité

- On respire toujours un mélange adapté à la profondeur actuelle
- On respire un gaz chaud et humide (froid et sec en circuit ouvert)

Bruit

- Plus de bulles puisqu'on recycle le gaz expiré
- Approche des animaux, communication etc.



PRINCIPE DE BASE

Ventilation

- Lors de la respiration on expire 16% d'O₂ et 3 à 4% de CO₂ suivant l'effort
- Objectif, enrichir en oxygène le gaz expiré et supprimer le CO₂

3 éléments principaux

- Boucle : On respire dans une boucle unidirectionnelle (*faux poumons + tuyaux*)
- Chaux : La chaux sodée "capture" le CO₂ expiré
- Oxygène : De l'oxygène est ajouté automatiquement (*mécaniquement ou électroniquement*) ou manuellement

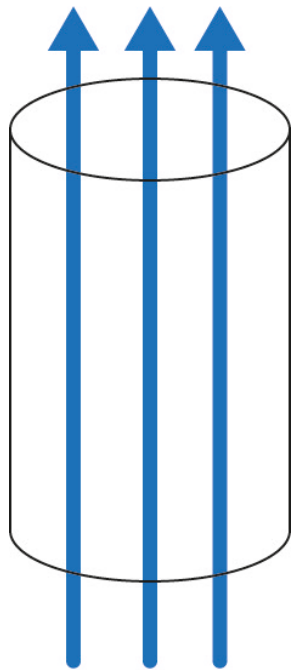
Set point ou valeur de consigne

- On définit une PPO₂ (entre 0.7b et 1.6b) à maintenir pendant la plongée
- C'est donc la fraction d'oxygène qui change (*meilleur mélange*)

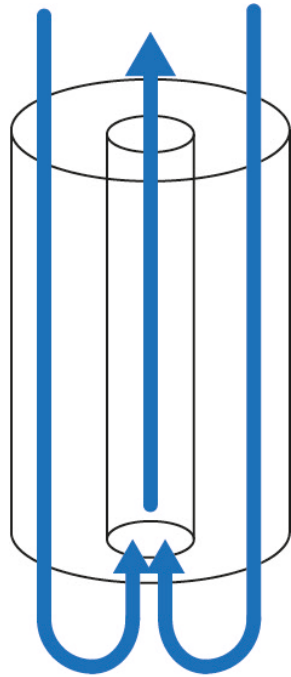


LE SCRUBBER

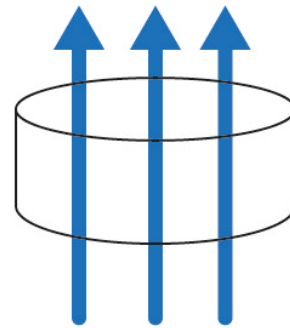
Plusieurs types de formes de scrubbers



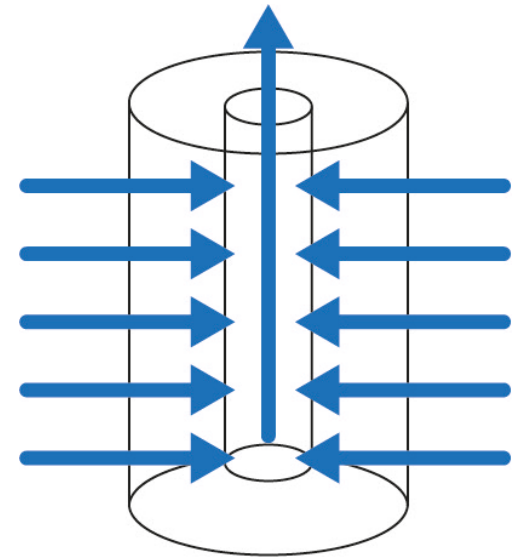
Axial



Co-axial



Donut axial



Radial

LE SCRUBBER



COURBE DE SECURITE

La courbe de sécurité est le temps qu le plongeur peut passer à une profondeur donnée sans avoir de paliers obligatoires

Prof.	Temps
15m	75min
20m	40min
25m	20min
30m	10min
35m	10min
40m	5min

Courbe de sécurité OC air

Prof.	Temps
15m	Limite scrubber
20m	135min
25m	40min
30m	20min
35m	10min
40m	5min

Courbe de sécurité CCR air SP 1.2b

MELANGE DANS LA BOUCLE

Paramétrage SP 1.3

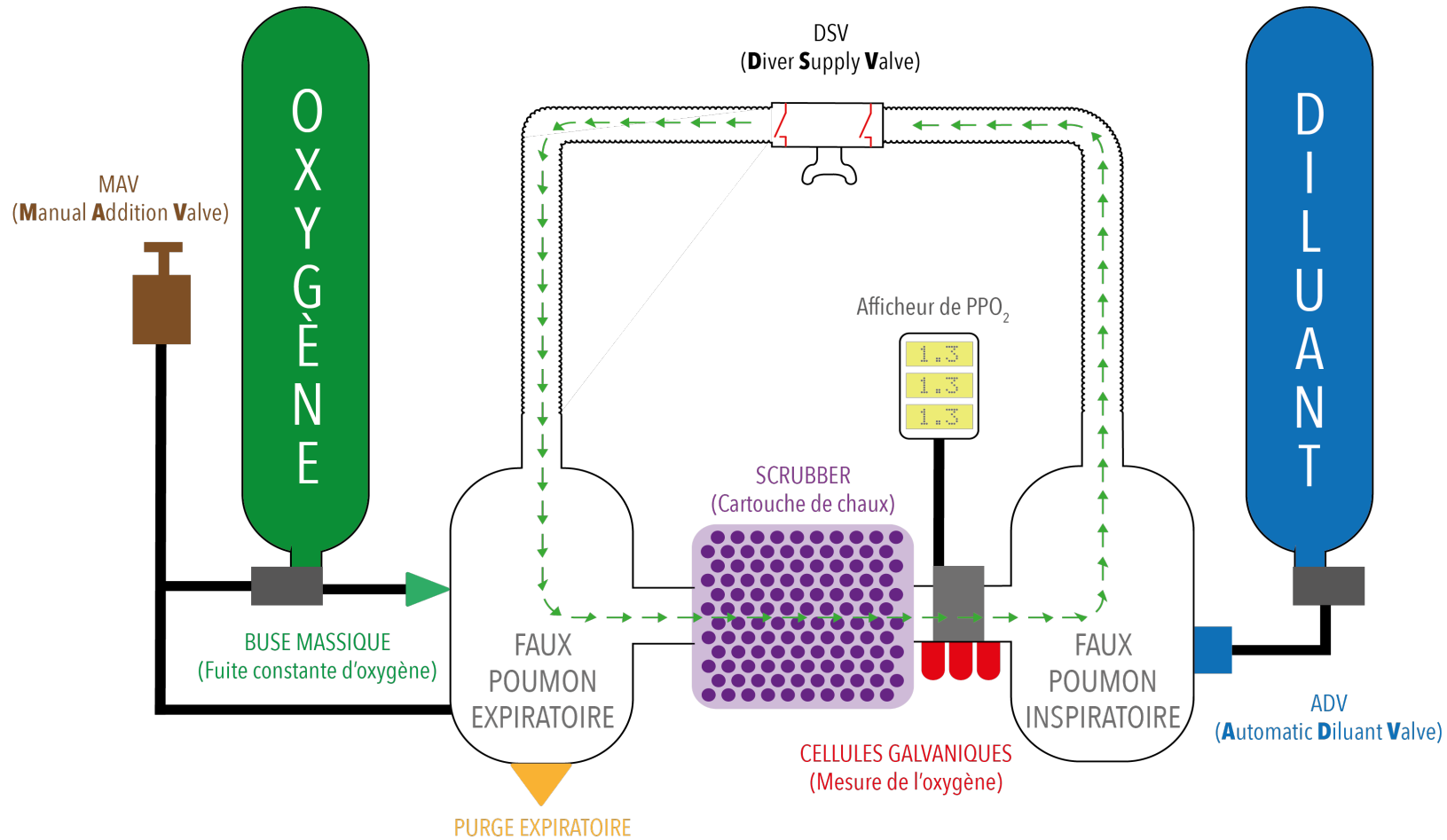
Prof.	O2	N2	Mix	END
5m	87%	13%	EAN87	0m
10m	65%	35%	EAN65	0m
15m	52%	48%	EAN52	5m
20m	43%	57%	EAN43	12m
25m	37%	63%	EAN37	18m
30m	33%	68%	EAN33	24m
35m	29%	71%	EAN29	31m
40m	26%	74%	EAN26	37m

Paramétrage SP 0.7

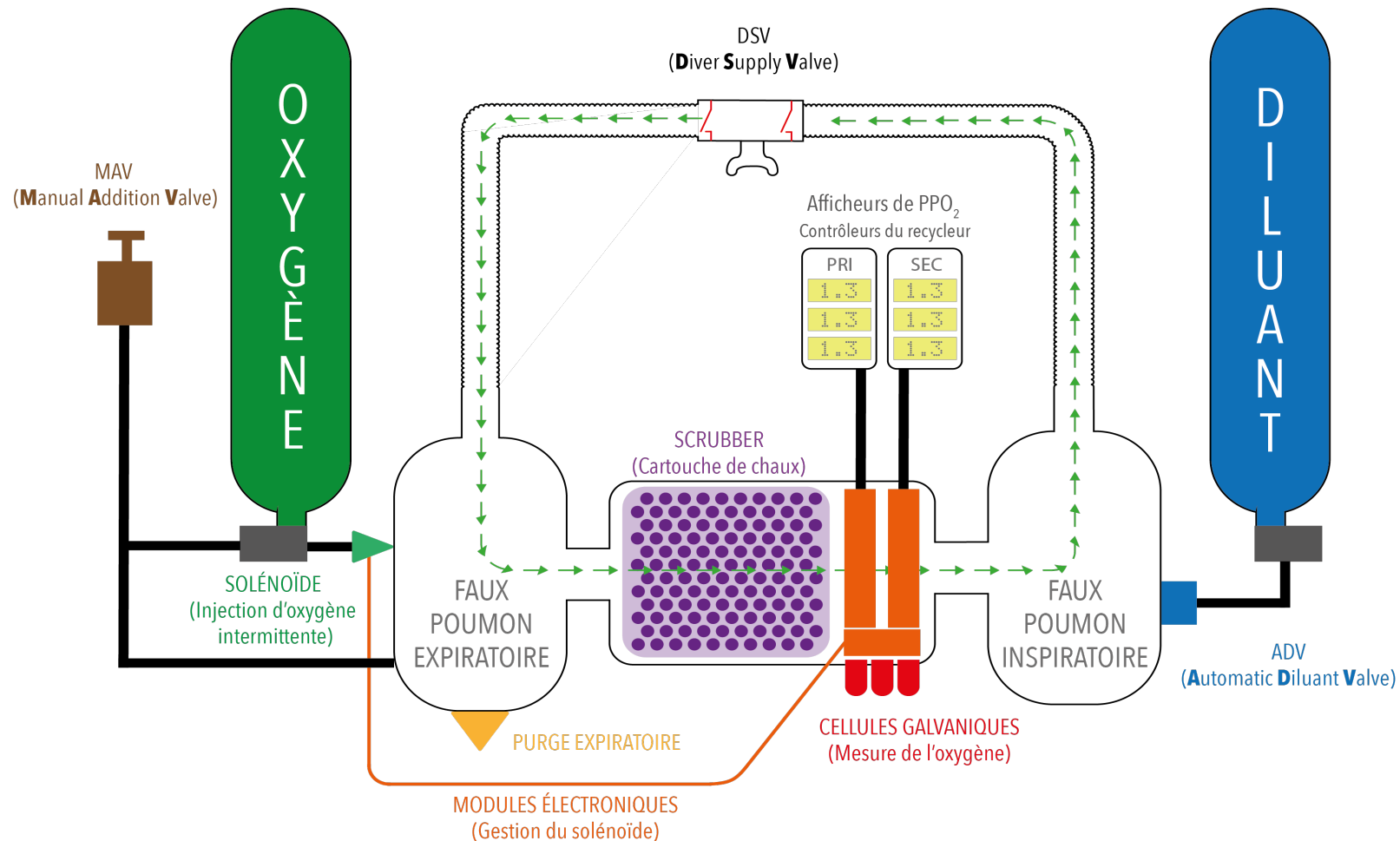
Prof.	O2	N2	Mix	END
5m	47%	53%	EAN47	0m
10m	35%	65%	EAN35	6m
15m	28%	72%	EAN28	13m
20m	23%	77%	EAN23	19m
25m	20%	80%	EAN25	25m
30m	18%	83%	EAN18	32m
35m	16%	84%	EAN16	38m
40m	14%	86%	EAN14	44m

L'ADV ouvert va contrer cet effet en ajoutant du diluant dans les poumons.
L'END sera alors celui du diluant injecté dans la boucle

TYPES DE CCR – MCCR



TYPES DE CCR – ECCR



TYPES DE CCR – HCCR

Mélange de mCCR et eCCR

- Injection d'oxygène par **buse massique** ET **solénoïde**
- Plus de possibilités de réchappe en cas de panne électronique
- Moins d'injections d'oxygène donc économie de batterie
- Courbe de PPO₂ plus lisse
- Cumule les problèmes des eCCR et mCCR

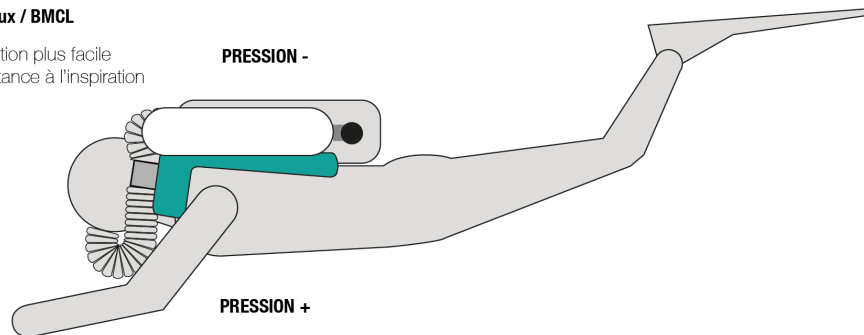


FAUX-POUMONS

La position des faux poumons influence le travail respiratoire (WOB)

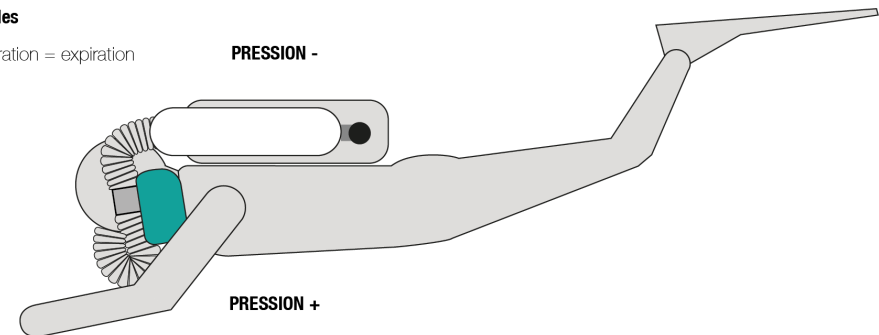
Dorsaux / BMCL

Expiration plus facile
Résistance à l'inspiration



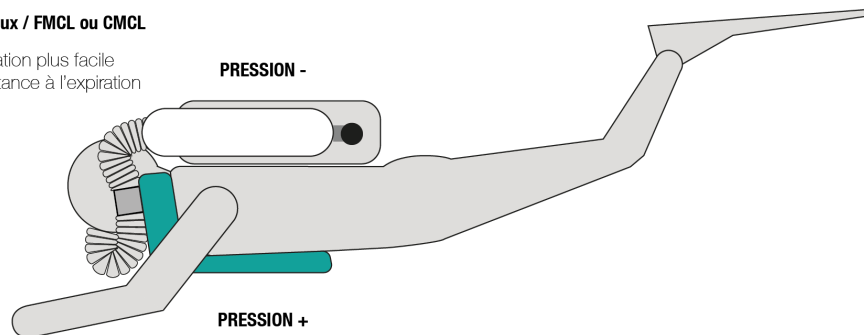
Epaules

Inspiration = expiration



Frontaux / FMCL ou CMCL

Inspiration plus facile
Résistance à l'expiration



Les faux poumons dorsaux ont tendance à favoriser les oedemes d'immersion du fait de leur résistance à l'inspiration

LES RISQUES – 3 “H”

Hyperoxie

- La PPO_2 constante est gérée mécaniquement, manuellement ou électroniquement
- Panne électronique (*solénoïde bloqué ouvert*), injection manuelle oxygène trop généreuse, PPO_2 maintenue trop haut

Hypoxie

- Bouteille d'oxygène fermée, panne d'oxygène, non surveillance des PPO_2

Hypercapnie

- Mauvais remplissage du scrubber, chaux usée, effort trop important (*capacité d'absorption de la chaux sur le flux expiratoire dépassée*)



LES RISQUES – COCKTAIL CAUSTIQUE

La réaction chimique de la chaux sodée avec le CO₂ crée, outre de l'eau et de la chaleur, de la soude.

Boucle non étanche ou défectueuse, toute entrée d'eau au contact de la chaux va produire un mélange caustique pH 12-14

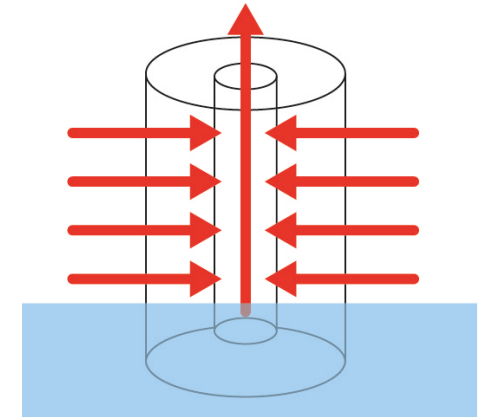
- Mélange caustique très alcalin (détérioration de l'aluminium)
- Irritation grave des voies respiratoires et de la bouche
- Vapeurs extrêmement irritantes



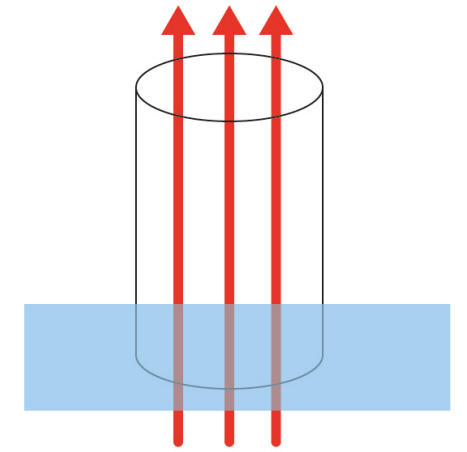
A survey of caustic cocktail events in rebreather divers

Peter Buzzacott, Grant Z Dong, Rhiannon J Brenner, Frauke Tillmans

Diving and Hyperbaric Medicine Volume 52 N°2 June 2022



Radial



Axial



Jérôme HONTARREDE – DEJEPS Instructeur recycleur et plongée souterraine

L'ACCIDENTOLOGIE EN CCR



Tillmans found rebreather divers are dying at a rate of

2–4 PER 100,000 DIVES,

which is not substantially different from the analysis made by Dr. Andrew Fock at RF3. Fock estimated that the risk of dying on a rebreather was 5–10x the risk of open circuit scuba.

(Fock AW Analysis of recreational closed-circuit rebreather deaths. 1998-2010. Diving Hyperb Med 2013 Jun;43(2):78-85)

Based on information from

20 OF 24 CCR MANUFACTURERS,

Tillmans estimated between

**25,000 TO 35,000
REBREATHER UNITS**

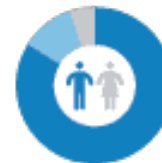
are on the market today.



More than

**241 REBREATHER
DIVERS HAVE DIED**

since RF3 (2012)



Using data from the DAN hotline, RF4 participants, and a related survey, Tillmans estimated mean age of CCR divers is

42–46 YEARS,

the CCR diving population is between

84% AND 95% MALE,

and certified for an average of

6 YEARS.

PREPARATION ET UTILISATION

Checklists

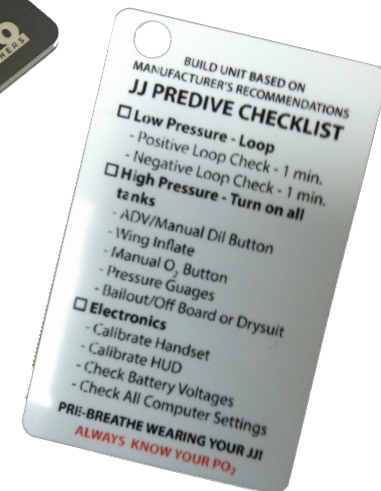
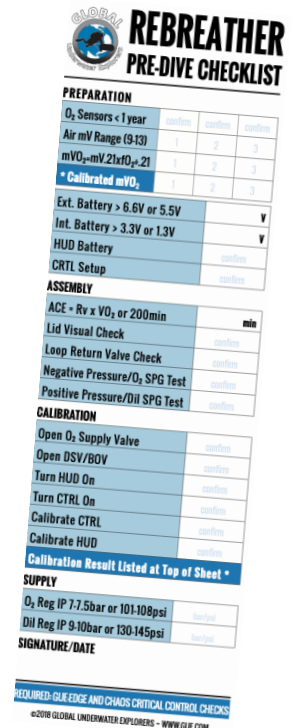
- Assemblage de la machine
- Pré-plongée (*EDGE, GVI, clockwise etc.*)
- Dé-assemblage de la machine

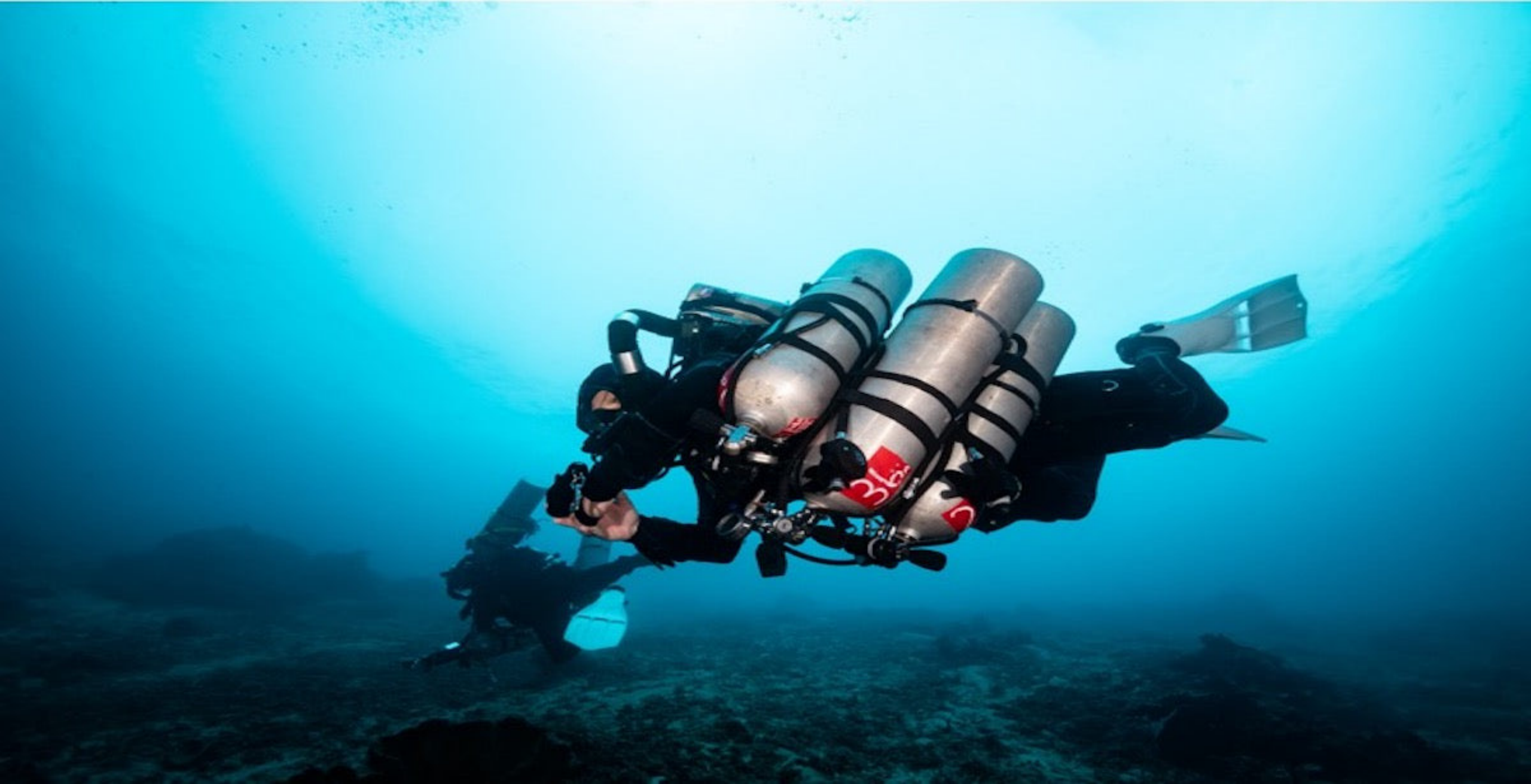
Bailouts

- Quantité de gaz suffisante pour terminer la plongée depuis le point le plus engagé (*gestion du problème + remontée + paliers*)
- Mélanges différents en fonction de la plongée

Vérifications

- Contrôle de la PPO_2 toutes les 2/4 minutes pendant la plongée
- Afficheur principal + HUD





LE MARCHE DU CCR

24 fabricants et 37 modèles différents



UN PEU D'HISTOIRE

1680 : Giovanni Borelli conçoit le recycleur à circuit fermé. Il pensait que la recirculation de l'air dans un tube de cuivre refroidi par de l'eau de mer permettrait aux impuretés de se condenser.

1726 : Stephan Hale met au point un dispositif permettant de survivre aux catastrophes dues aux mines. Le casque contenait une doublure en flanelle trempée dans du sel marin et du tartre comme épurateur (premier épurateur chimique).



UN PEU D'HISTOIRE

1878 : Henry Fleuss et la société Siebe Gorman obtiennent un brevet pour un dispositif de recirculation utilisant de l'oxygène pur. Un an plus tard, il utilise ce dispositif pour la première plongée à l'air enrichi (nitrox).

C'est un masque en caoutchouc relié à un sac respiratoire, avec (estimé) 50-60% d'O₂ alimenté par un réservoir en cuivre et un fil de corde trempé dans une solution de potasse caustique, le système donnant une durée d'environ trois heures.

Fleuss a testé son appareil en 1879 en passant **une heure immergé** dans un réservoir d'eau, puis une semaine plus tard en plongeant à une profondeur de 5,5 m en eau libre.



UN PEU D'HISTOIRE

1940-1944 : Les Italiens utilisent des recycleurs O₂ contre les Britanniques à Gibraltar. Les Britanniques ripostent avec des recycleurs EAN contenant des mélanges de 32,5, 40 et 60 % d'oxygène. La capacité de profondeur accrue de ces mélanges par rapport à l'oxygène pur donne aux Britanniques un net avantage militaire dans leur défense de Gibraltar.

1970 : Biomarine Industries (une entreprise dérivée de General Electric (GE)) lance le recycleur à gaz mixte CCR 1000, un prédécesseur du Mk 15/16 de Carleton Technology utilisé par la marine américaine.

1990 : Bill Stone teste le prototype de recycleur Cis-Lunar entièrement redondant sur le projet Wakulla Springs



BIBLIOGRAPHIE

- *DAN RF4 survey 2023* – Dr Frauke Tillmans
- *Cours recycleurs ISC - Gestion de la chaux* – Jérôme Hontarrede

Crédits images :

Alexandre Hache

In Depth magazine

Jérôme Hontarrede

Laurent Ballesta

DAN – Divers Alert Network