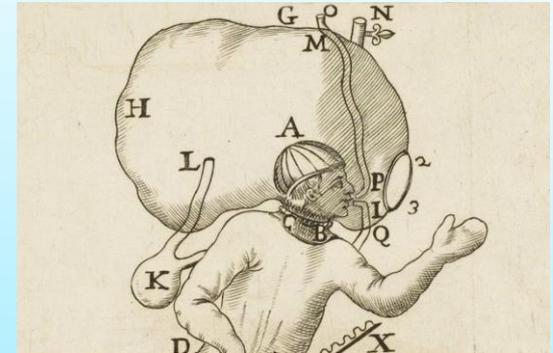


# DÉMYSTIFICATIONS LES RECYCLEURS



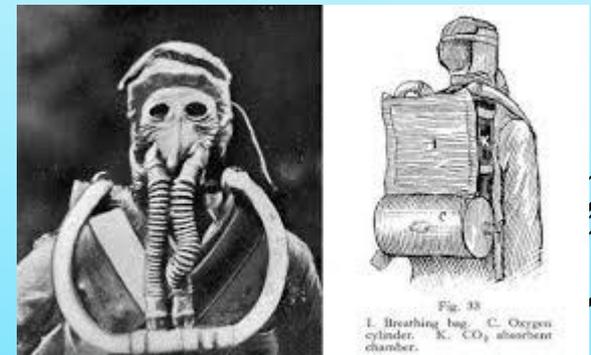
# L'HISTOIRE

1689 Giovanni Borelli imagine un dispositif sous-main de respiration à circuit fermé (CCUBA)



1878 Henry Fleuss est le premier utilisateur d'un recycleur à oxygène

1880 Utilisation opérationnelle dans le tunnel inondé de SEVERN par Alexander Lambert



# L'HISTOIRE

39-45 Les Italiens utilisent des recycleurs à Oxygène pour piéger les navires anglais. Les Anglais répondent par des recycleurs Nitrox (travail plus profond).

1968 Naissance de l'Electrolung de Walter Starck and John Kanwisher (Premier recycleur électronique à pression partielle constante grâce à l'invention de la cellule d'analyse Oxygène).

~1990 Après avoir été utilisé comme appareil de sauvetage ou militaire de nombreux fabricants proposent des systèmes pour la plongée loisir, sportive et technique.



# POURQUOI PLONGER EN RECYCLEUR ?

- Pour plonger en silence et sans bulles

- Approche de la faune
- Photographie



- Pour plonger plus longtemps

- Économe en gaz



- Pour plonger plus profond

- Réduction des coûts en gaz rares



# PRINCIPE

Sur le quai et à saturation :

- ▶ l'air inspiré contient 79 % d'azote et 21 % d'oxygène (la fraction d'oxygène notée  $FiO_2$ )
- ▶ l'air expiré contient 79 % d'azote ( $N_2$ ), ~ 17% d'oxygène ( $O_2$ ) et du dioxyde de carbone ( $CO_2$ )
- ▶ Le corps a donc consommé ~ 4 % d'oxygène pour fonctionner et créé des déchets ( $CO_2$ ). Cette consommation (~0,8 à 3 litres par minute) est liée aux besoins du métabolisme (efforts, froid, ...) et non à la profondeur.

Donc si nous puisons cet air dans un bloc, nous gaspillons ~96 % du gaz en bulles dans un circuit ouvert et ce gaspillage croît avec la profondeur.

**Et si on utilisait ce gaz ?**



# PRINCIPE

Pour ne pas perdre le gaz, je vais respirer dans un sac (Faux Poumon)

- Idée incomplète car l'oxygène s'appauvrit progressivement



Alors complétons avec de l'oxygène pour en maintenir un niveau suffisant

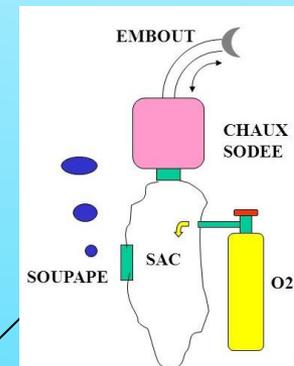
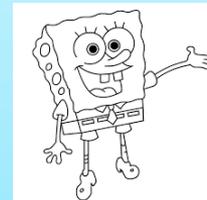
- C'est mieux mais l'accumulation de  $\text{CO}_2$  devient dramatique



Nettoyons le gaz avec une éponge à  $\text{CO}_2$  (Filtre à Chaux sodée)

- Youpi, cela fonctionne (mais ne testez pas car c'est un principe).

**Donc un recycleur c'est un sac (ou plusieurs) contenant une éponge (épurateur) dans lequel on ajoute régulièrement un peu d'oxygène.**



# LES DIFFÉRENTS TYPES DE RECYCLEUR

Derrière le terme générique de recycleur se cachent trois types (avec déclinaisons). Leur mode de fonctionnement diffère.

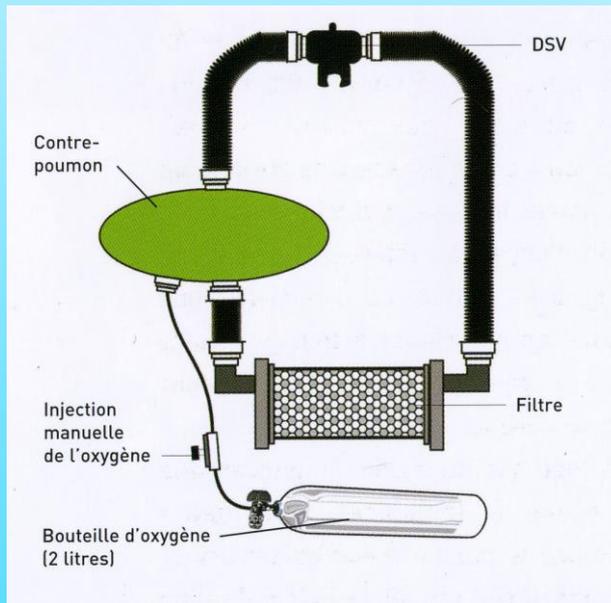
- ▶ Recycleurs Oxygène (Fermé)
- ▶ Recycleurs Semi Fermés (Semi-closed Circuit Rebreather ou SCR)
  - Actifs
  - Passifs
- ▶ Recycleurs Fermés (Closed Circuit Rebreather ou CCR)
  - Manuels (mCCR)
  - Electroniques (eCCR)
  - Hybrides (hCCR)



# LES DIFFÉRENTS TYPES DE RECYCLEUR

## Recycleurs Oxygène

Le plus simple des recycleurs mais le seul gaz emporté étant de l'oxygène pur, la profondeur est limitée à 6 mètres (toxicité de l'O<sub>2</sub>). Ils ont surtout été utilisés par les militaires.



# LES DIFFÉRENTS TYPES DE RECYCLEUR

## Recycleurs Semi-fermés (SCR)

Afin d'évoluer à une plus grande profondeur, le gaz d'apport ne sera pas de l'oxygène pur mais un Nitrox riche en  $O_2$  compatible de la profondeur d'évolution.

De ce fait l'azote (non utilisé par le métabolisme) apporté en même temps que l'oxygène va augmenter le volume du circuit respiratoire qui devra être déchargé (purge partielle) à intervalles réguliers.

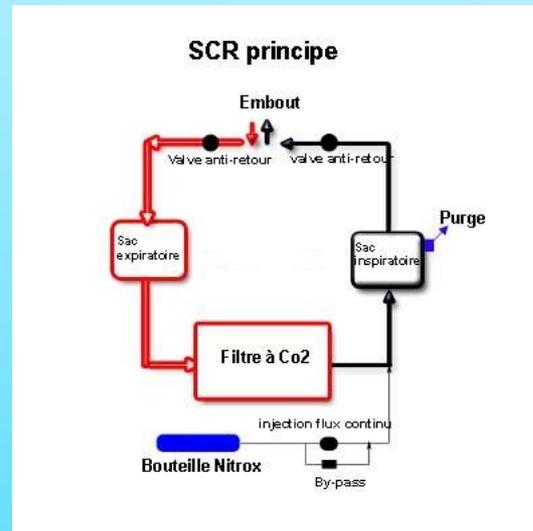
Ce type de recycleur travaille à  $FiO_2$  constante (Fraction Oxygène) (comme si l'on plonge avec un Nitrox fond).



# LES DIFFÉRENTS TYPES DE RECYCLEUR

## Recycleurs Semi-fermés (SCR) actifs

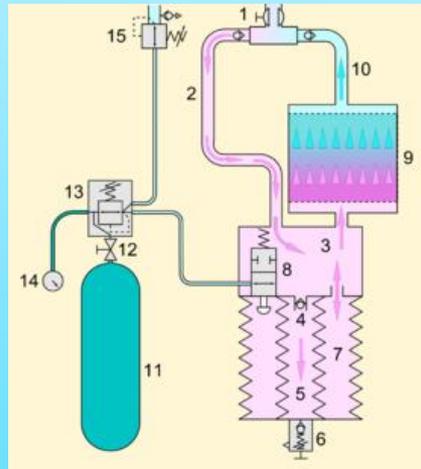
- L'apport de gaz est réalisé par une injection constante de gaz via une buse à débit réglable.
- Une décharge de gaz (bulles) est réalisée environ toutes les 4 ou 5 respirations. De fait la consommation est d'environ le tiers de celle en circuit ouvert (SCUBA)



# LES DIFFÉRENTS TYPES DE RECYCLEUR

## Recycleurs Semi-fermés (SCR) passifs

- Le rythme respiratoire du plongeur va déclencher automatiquement l'apport de gaz via une commande mécanique (rep 8).
- Une décharge de gaz (bulles) est réalisée selon le besoin. De fait la consommation est inférieure à celle d'un SCR actif



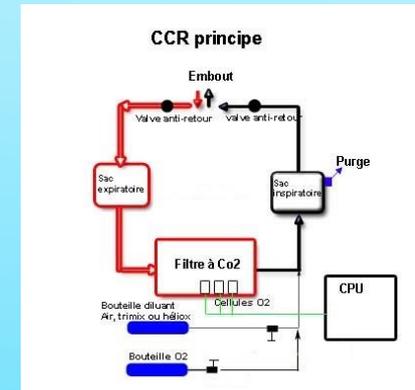
# LES DIFFÉRENTS TYPES DE RECYCLEUR

## Recycleurs Fermés (CCR)

Élément essentiel la cellule d'analyse Oxygène (composant électro-chimique) permet de mesurer en continu la quantité d'oxygène dans un mélange (la Pression partielle Oxygène notée  $PpO_2$ ).

Nota : la  $PpO_2 = FiO_2 \times$  Pression absolue.

Dès lors en pilotant séparément un bloc de diluant (gaz pauvre en  $O_2$  : air, trimix, ...) pour compléter strictement le volume du circuit respiratoire (notamment à la descente (loi de Mariotte)) et un bloc d' $O_2$  pour ajuster la  $PpO_2$  grâce à la cellule d'analyse Oxygène, il devient possible de maintenir cette  $PpO_2$  constante sans augmenter le volume du circuit respiratoire. Il n'y a donc plus de gaz à purger (sauf à la remontée (loi de Mariotte)).



# LES DIFFÉRENTS TYPES DE RECYCLEUR

## Recycleurs Fermés (CCR)

Ce type de recycleur travaillant à  $PpO_2$  constante, la  $FiO_2$  va constamment évoluer en fonction de la profondeur (de plus en plus riche en  $O_2$  en se rapprochant de la surface) .

Le mélange gazeux est donc constamment optimisée pour la décompression (comme si l'on plonge avec de nombreux blocs de Nitrox de décompression) d'où une réduction notable des temps de paliers.



Circuit Ouvert



Circuit fermé

Les différents modes d'ajout de l'oxygène sont à l'origine des sous type de CCR

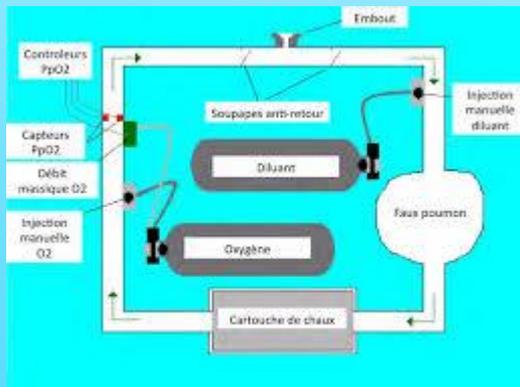


# LES DIFFÉRENTS TYPES DE RECYCLEUR

## Recycleurs Fermés Manuels (mCCR)

Dans ces CCR, les plus simple :

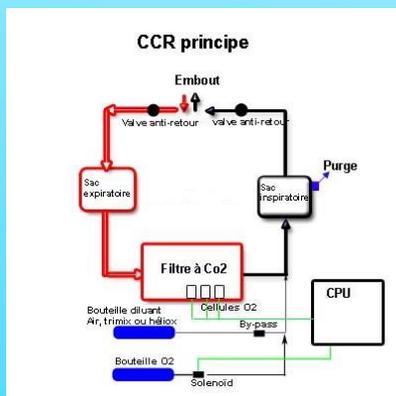
- ▶ un apport d'oxygène est réalisé par une injection constante et fixe via une buse (débit massique) et le plongeur ajuste manuellement sa PpO2 en fonction de l'indication de ses cellules d'analyse Oxygène.
- ▶ L'ajout de diluant est réalisé automatiquement (commande mécanique s'apparentant à un 2<sup>ème</sup> étage de détendeur) et/ou manuellement par le plongeur



# LES DIFFÉRENTS TYPES DE RECYCLEUR

## Recycleurs Fermés Électronique (eCCR)

- ▶ L'apport d'oxygène est réalisé par une électrovanne pilotée par l'ordinateur de plongée.  
L'ordre d'injection est élaboré en comparant la  $PpO_2$  mesurée par les cellules d'analyse Oxygène et une  $PpO_2$  de consigne.  
Le plongeur peut aussi ajuster manuellement.
- ▶ L'ajout de diluant est réalisé automatiquement (commande mécanique s'apparentant à un 2<sup>ème</sup> étage de détendeur) et/ou manuellement par le plongeur



# LES DIFFÉRENTS TYPES DE RECYCLEUR

## Recycleurs Fermés Hybrides (hCCR)

- ▶ L'apport d'oxygène est réalisé simultanément comme dans un mCCR et dans un eCCR (Débit massique, électrovanne et commande manuelle).
- ▶ L'ajout de diluant est réalisé automatiquement (commande mécanique s'apparentant à un 2<sup>ème</sup> étage de détendeur) et/ou manuellement par le plongeur



# EN SAVOIR PLUS

N'hésitez pas à vous rapprocher des plongeurs « recycleur » pour les interroger et compléter cette très succincte présentation.

Par ailleurs, parmi les nombreux sites web, celui-ci me semble intéressant :  
<http://recycleur.free.fr/index.php/recycleurs>

