

Les Recycleurs

Principes généraux

Accidents

Quelques machines

La plongée

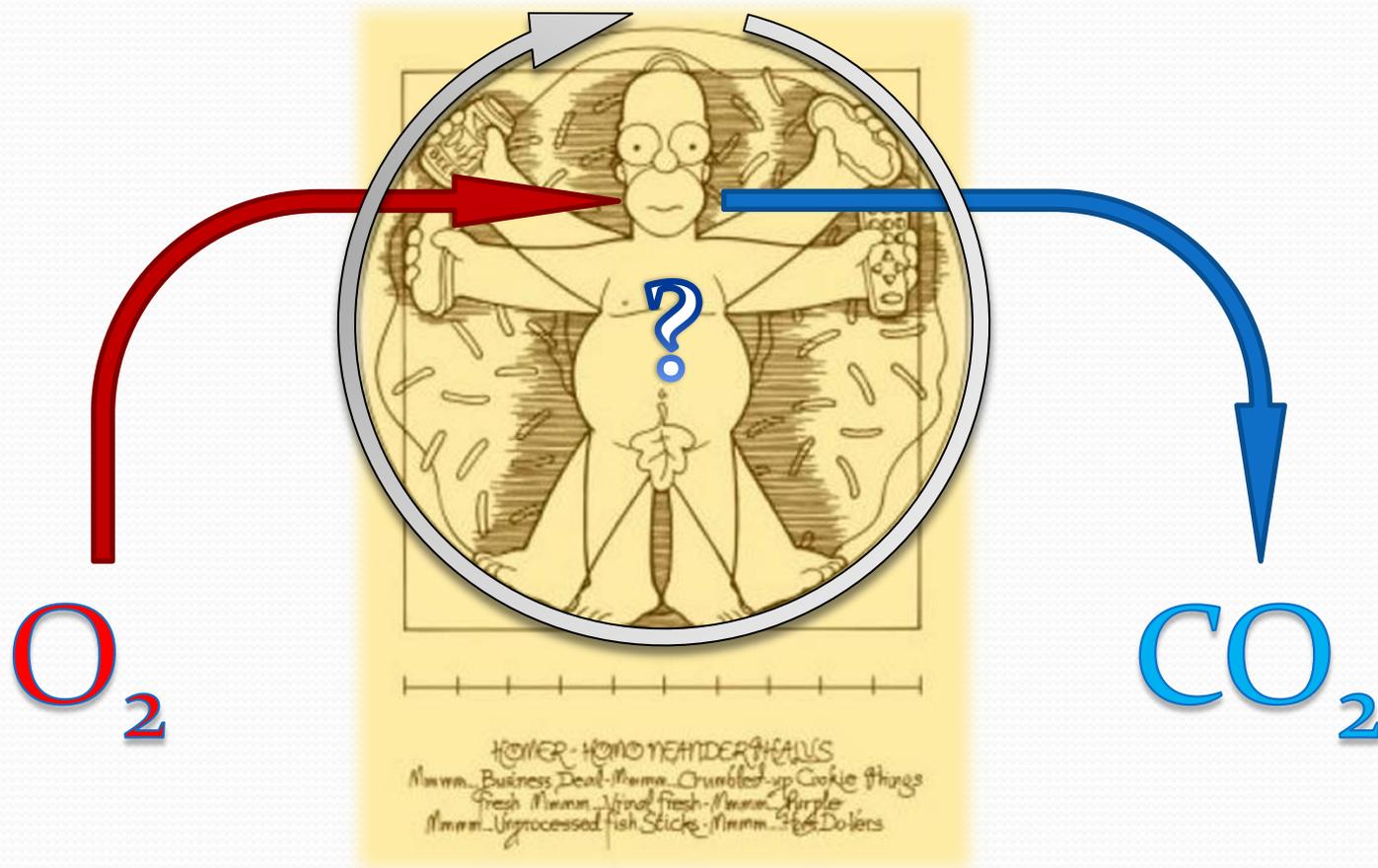
Principes généraux

Comment ça marche ?

Les familles recycleurs

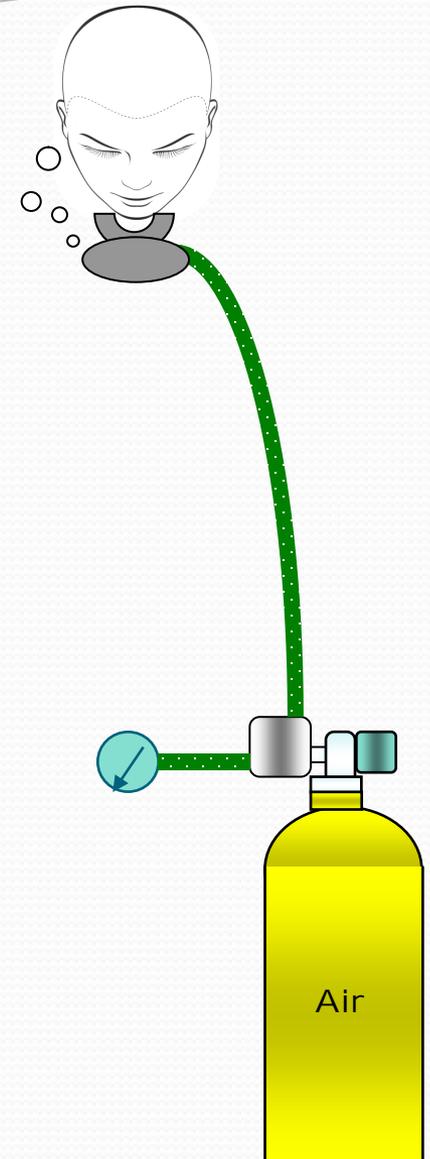
Fonctionnement de la chaux

Comment ça marche ?



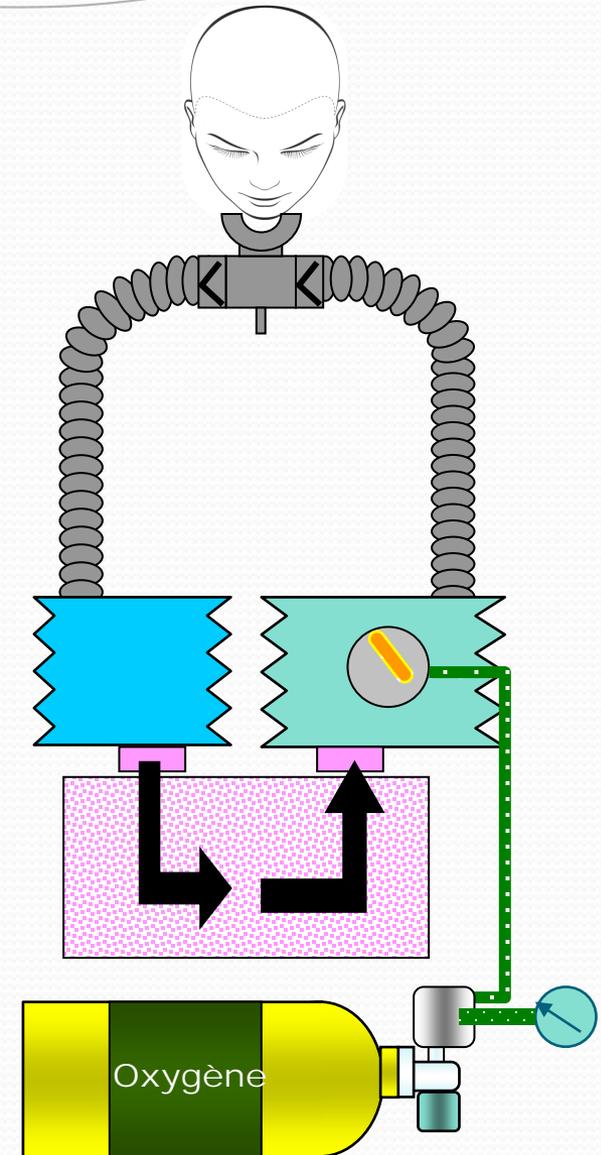
Les besoins du corps

- Apporter de l'oxygène
 - Oxygène pur
 - Nitrox
 - Air
- Se débarrasser du CO₂:
 - Vers l'extérieur
 - Chaux sodée

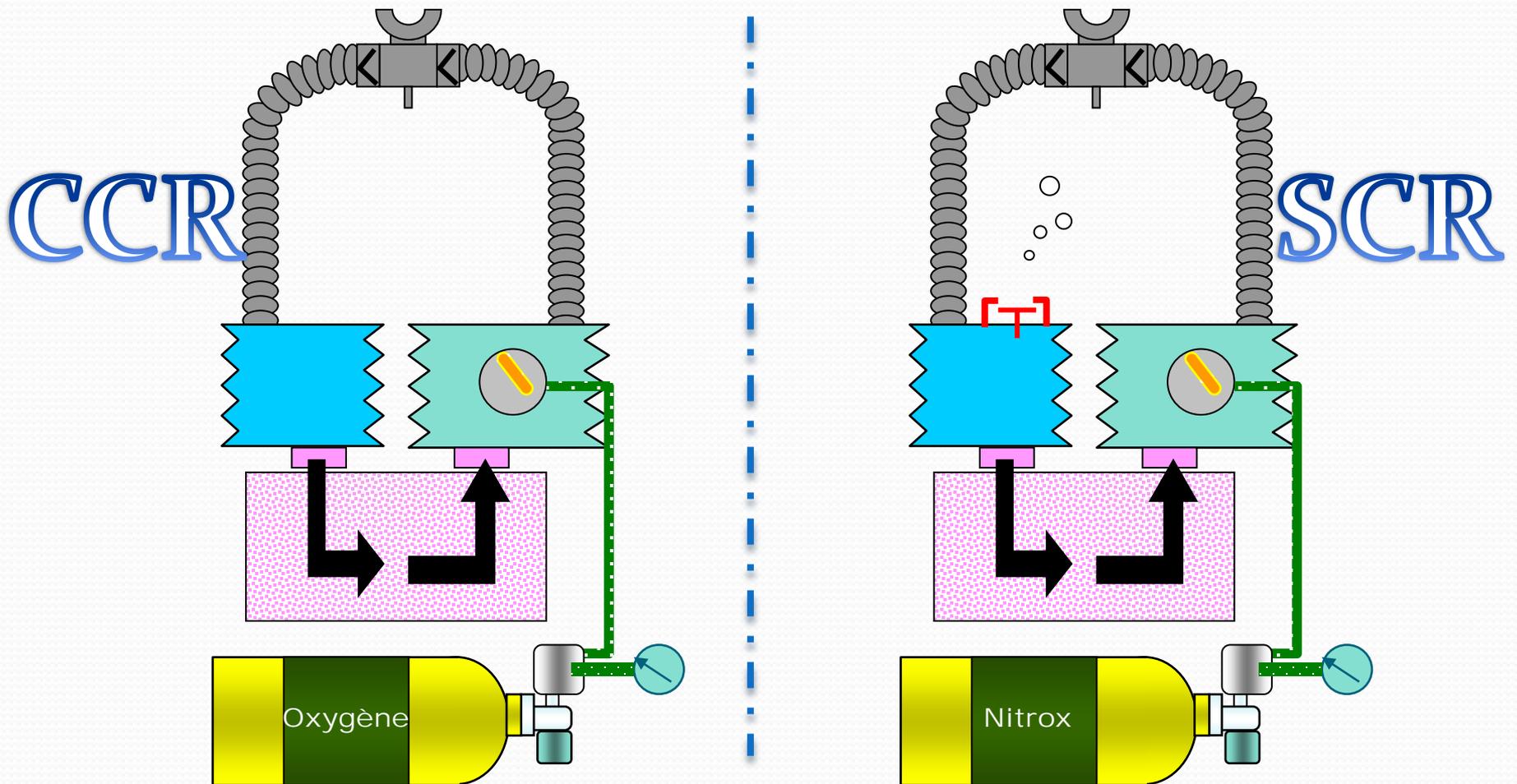


Les besoins du corps

- Apporter de l'oxygène
 - Oxygène pur
 - Nitrox
 - Air
- Se débarrasser du CO₂:
 - Vers l'extérieur
 - Chaux sodée



Les deux familles



SCR = Semi Closed Rebreather
CCR = Close Circuit Rebreather

Les types de SCR

- Débit massique constant :
 - un gicleur déverse en continu le mélange Nitrox dans la boucle respiratoire.



- Fuite proportionnelle :

- le volume de mélange Nitrox injecté est proportionnel à la consommation du plongeur.



Les types de CCR

- O₂ pur
- Gestion manuelle (mCCR)
- Gestion électronique (eCCR)
- Gestion hybride (hCCR)



Triton



Inspiration



Megalodon



Submatix

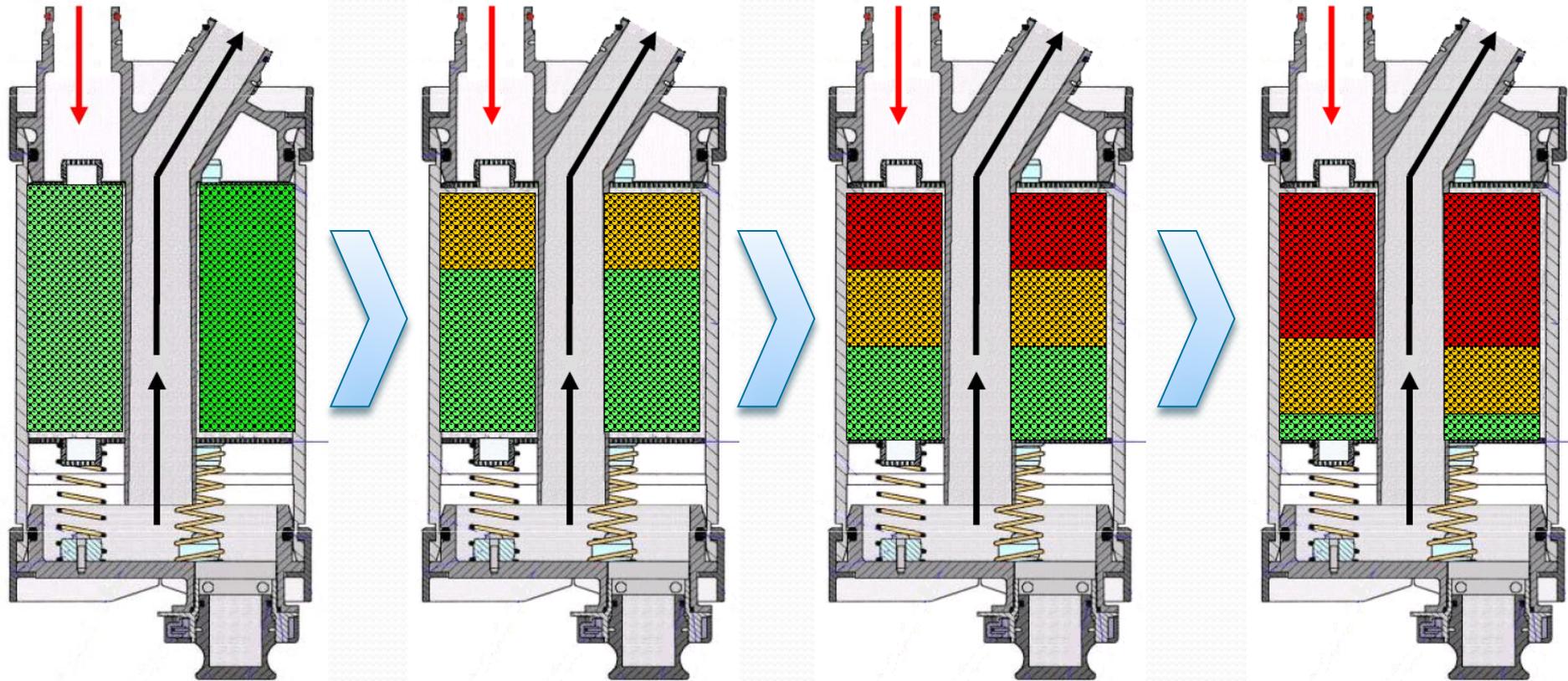


Joki



rEvo

Fonctionnement de la chaux



Fonctionnement de la chaux

- En granulés ou billes, légère humidité
- Canister de capacité de 1.2 à 4kg
- Autonomie maximale:
 - Donnée par le constructeur
 - Dolphin : 180 à 250 minutes
 - Ray : 70 à 110 minutes
 - Règle simplifiée: 100' pour 1kg de chaux (**indicatif**)
- Marche moins bien en basse températures
- **Le remplissage de la chaux est capital (voir accidents)**



Dolphin



Ray

Comparatif avec le CO

	Circuit ouvert	Recycleur
Autonomie	Faible	Importante
Rapport autonomie/poids	Peu élevé	Elevé
Composition du gaz respiré	Fixe durant la plongée	Variable durant la plongée
Qualité du gaz respiré	Froid et sec	Chaud et humide
PPO ₂	Variable	Fixe ou variable svt la machine
CO ₂ dans le circuit respiratoire	Impossible ^b	Possible si négligence ^c
Poumon ballast	Oui	Non
Prix d'achat	Moins élevé	Plus élevé
Entretiens	Plus facile	Moins facile
Coût des entretiens	Moins important	Plus important

Les accidents

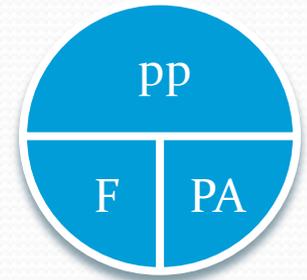
Hyperoxie

Hypoxie

Hypercapnie

Soupe caustique

Hyperoxie (rappels)



- Effet Paul Bert (CNS):
 - toxicité du **système nerveux central**
 - Limite à 100% de CNS
 - Baisse de 50% par tranche de 90 minutes

	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Tps max / plongée	720	570	450	360	300	240	210	180	150	120	45
Kp/plongée	0.139	0.176	0.223	0.278	0.334	0.417	0.477	0.556	0.667	0.834	2.223
Tps max / jour	720	570	450	360	300	270	240	210	180	180	150
Kp/jour	0.139	0.176	0.223	0.278	0.334	0.371	0.417	0.477	0.556	0.556	0.667

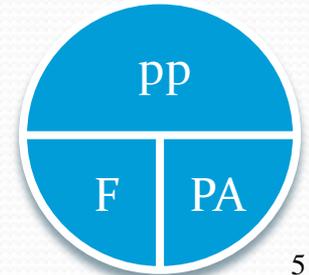
Limite réglementaire de ppO₂ à 1.6bar

Paul Bert (rappels)

- Symptômes internes:
 - Troubles visuels
 - Troubles auditifs
 - Troubles de l'équilibre
- Symptômes externes:
 - Troubles moteurs:
 - Phase clonique (contraction généralisée, 10'')
 - Phase tonique (convulsions, 2 à 3')
 - Phase de dépression (retour à la normale, 10')

Hyperoxie (rappels)

- Effet Lorrain Smith (OTU):
 - toxicité **pulmonaire**



$$KP = \left(\frac{PP_{O_2} - 0.5}{0.5} \right)^{\frac{5}{6}}$$

	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
Kp	0.00	0.27	0.47	0.66	0.84	1.00	1.17	1.33	1.48	1.63	1.78	1.93	2.07	2.22	2.36

# jours	max /jour	max total
1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	525	2100
5	460	2300
6	420	2520
7	380	2660
8	350	2800

# jours	max /jour	max total
9	330	2970
10	310	3100
11	300	3300
12	300	3600
13	300	3900
14	300	4200
15-20	300	-

Lorrain Smith (rappels)

- Symptômes internes :
 - Difficultés respiratoires
 - Irritation des voies aériennes
 - Œdème pulmonaire
- Symptômes externes :
 - Toux

Conduite à tenir

- S'assurer du maintien de l'embout en bouche
- Bail out?
- Retour « surface »
- Pas de mise sous O₂ tant que la personne convulse
- Déclenchement des secours (noter les OTU)

Prévention

- Paul Berth (CNS) :
 - Etre attentif
 - **Respecter la profondeur max (MOD)**
 - Augmenter les limites en cas de froid
- Lorrain Smith (OTU) :
 - Limiter les plongée à 2h maximum
 - Eviter les décompressions longues à ppO₂ élevée (ppO₂ max = 1.4 recommandé)



Connaître sa ppO₂

Hypoxie

- Cause :
 - $ppO_2 < 0.16\text{bar}$ → perte de conscience
 - $ppO_2 < 0.10\text{bar}$ → anoxie
- Symptômes :
 - Troubles cérébraux, endormissement
 - Troubles respiratoires
 - Perte de conscience



Accident le plus critique en recycleur

Hypoxie

- Conduite à tenir :
 - Remonter la ppO₂ (gaz connu)
 - Passage sur Bail Out
 - Remontée (**ne pas remonter sur la boucle**)
 - Déclenchement des secours (mise sous O₂ primordiale)

Hypoxie

- Prévention :
 - Cellule O₂ : être certain de leur validité
 - Valider ses mélanges avant la plongée
 - Vérification de la boucle (soupapes, recherche de fuites)
 - Ne jamais couper l'alimentation
 - Vérifier l'alimentation pendant la plongée (bulles, injection)



Hypercapnie

- Cause :
 - Production importante de CO₂ (effort)
 - Mauvaise élimination par la chaux
 - Défaillance fonctionnelle (soupapes)
- Symptômes:
 - Troubles de concentration, fatigue
 - Essoufflement, céphalées
 - Nausées, vomissements
 - Perte de conscience

Hypercapnie

- Conduite à tenir:
 - Cesser l'effort
 - Rincer la boucle
 - **Passage sur en Circuit Ouvert (Bail Out)**
 - O₂ en surface (attention à l'ADD)
- Prévention :
 - Effort maîtrisé
 - Préparation minutieuse du matériel

Soupe caustique

- Cause :
 - Passage d'eau dans la chaux suite à un défaut d'étanchéité
- Symptômes:
 - Brûlures des voies aériennes supérieures
 - Brûlures dans la bouche
 - Vomissements
 - Œdème pulmonaire

Soupe caustique

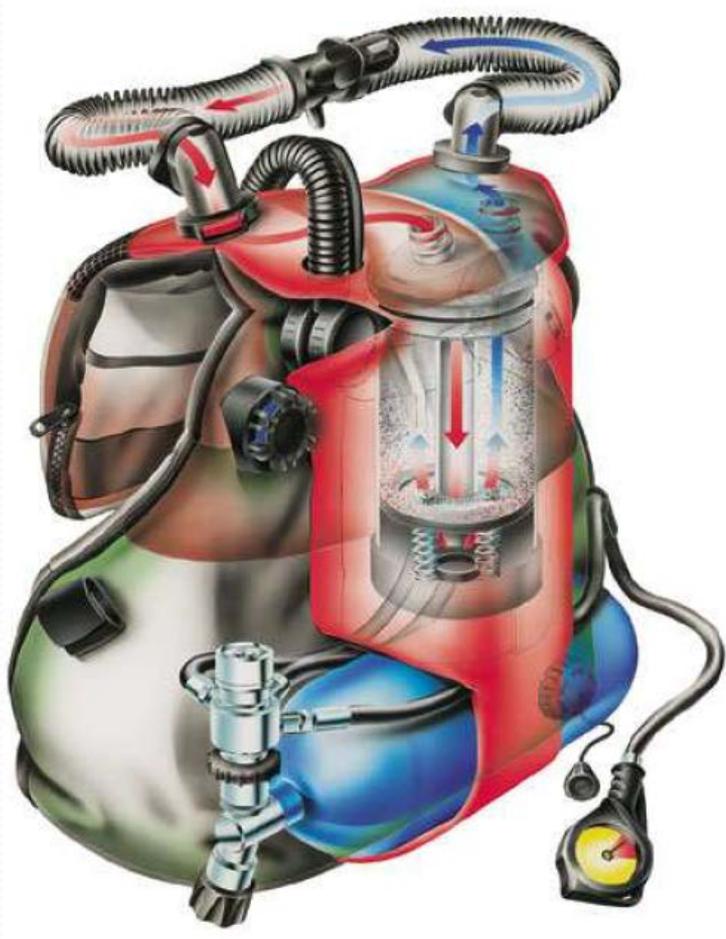
- Conduite à tenir:
 - Passage sur bail out
 - Rincer sa bouche (eau vinaigrée si disponible)
 - En cas d'ingestion : ne pas faire vomir, mettre sous O₂
- Prévention :
 - Tester d'étanchéité avant mise à l'eau
 - Tester l'étanchéité sous l'eau (bubble check)
 - Etre attentifs aux bloups bloups (ou glous glous)

Quelques machines

Le Ray

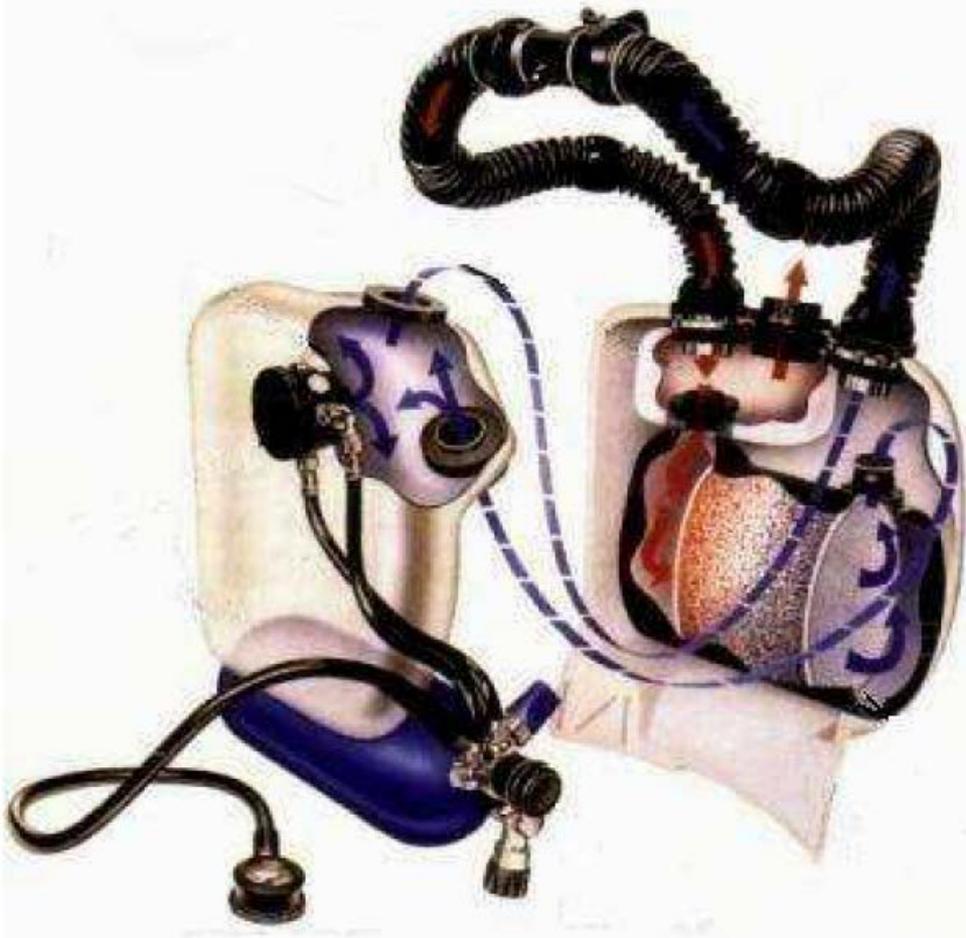
Le Dolphin

Le Ray



- Nitrox 50 uniquement
- Profondeur max = 22m
- Autonomie 70 minutes
- 1.25kg de chaux Divesorb
- Vol. respiratoire de 7.5l
- Flottabilité de 20l
- Oxygauge (option)

Le Dolphin



- Nitrox 40 à 60
- Profondeur max = 22m
- Autonomie :
 - 125 min EAN60
 - 95 min EAN50
 - 67 min EAN40
- 2.2kg de chaux Divesorb
- Vol. respiratoire de 10.5l
- Oxygauge (option)

La plongée

Fraction d'O₂ dans la boucle

Débits massiques

Quelques calculs

Planification

Stratégies de Bail Out

Préparatifs

Points importants

Fraction d'O2 dans la boucle

- Plus l'activité est élevée, plus le volume d'O2 requis (VO2) est important.

Activité	VO2
Repos	0.30
Faible	0.50-0.75
Moyenne	1.00-1.50
Forte	1.75-2.50

- Plus la VO2 est élevée, moins il y a d'O2 dans la boucle.

- O2 en entrée dépend du débit et du pourcentage dans le bloc.

$$F_{iO_2} = \frac{Q_s \times F_{sO_2} - VO_2}{Q_s - VO_2}$$

Pour mode actif

$$F_{iO_2} = 1 - (1 - F_{sO_2}) \times \frac{P + \xi \times \lambda}{P + \lambda}$$

Pour mode passif

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi = \frac{V_i}{V_e} \in [10;15] \\ \lambda = \frac{21 - V_{L0}}{100} \in [0.03;0.06] \end{array} \right.$$

Les débits massiques

- Le minimum pour 2.5l/min :
- Les données constructeurs :

$$Q_s = \frac{200}{F_{O_2} - 21}$$

- Dolphin :

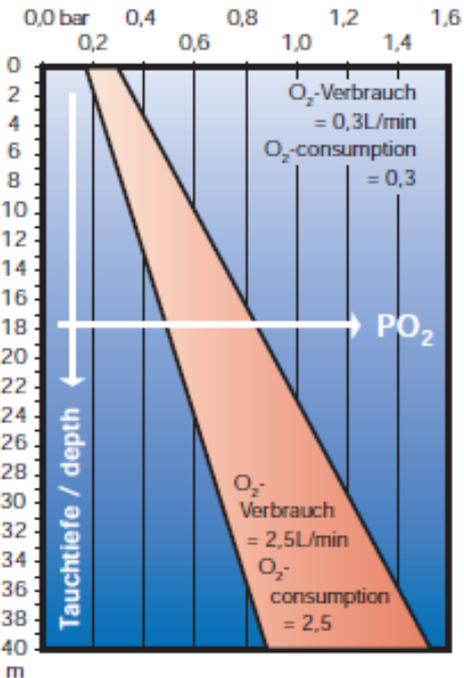
FiO ₂	32	40	50	60
Débit moyen	15.6	10.4	7.3	5.8

- Ray :

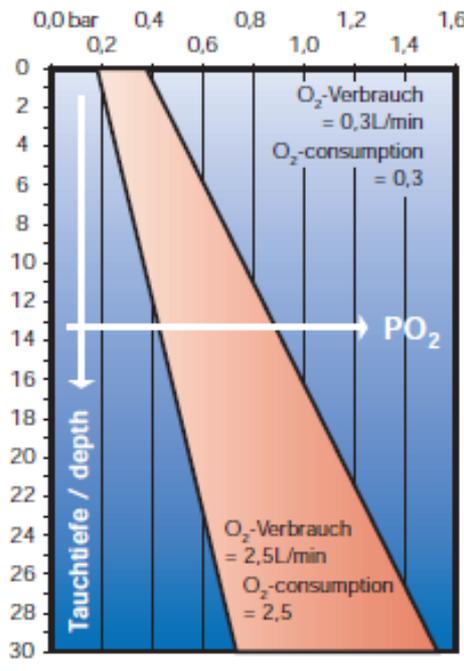
Pression	min	max
50	6.50	8.90
100	6.75	9.30
150	7.25	10.00
200	7.75	10.80

SCR et ppO₂

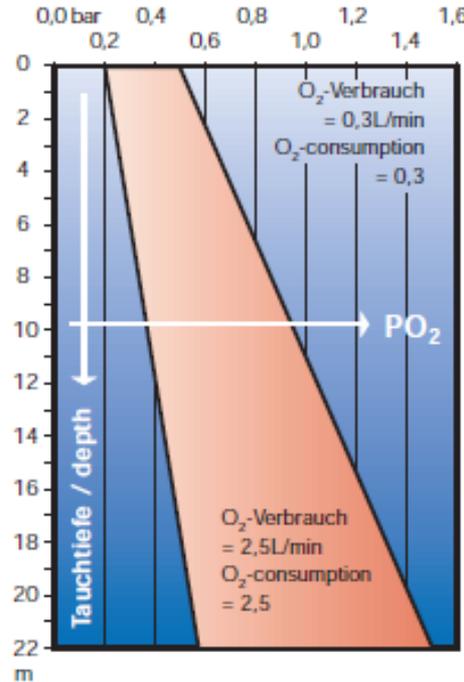
Nitrox 32% O₂



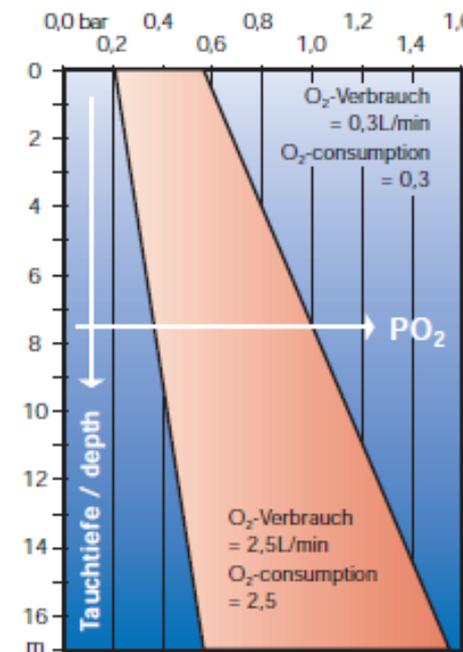
Nitrox 40% O₂



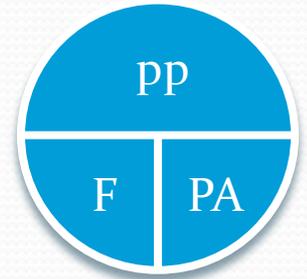
Nitrox 50% O₂



Nitrox 60% O₂



Quelques calculs

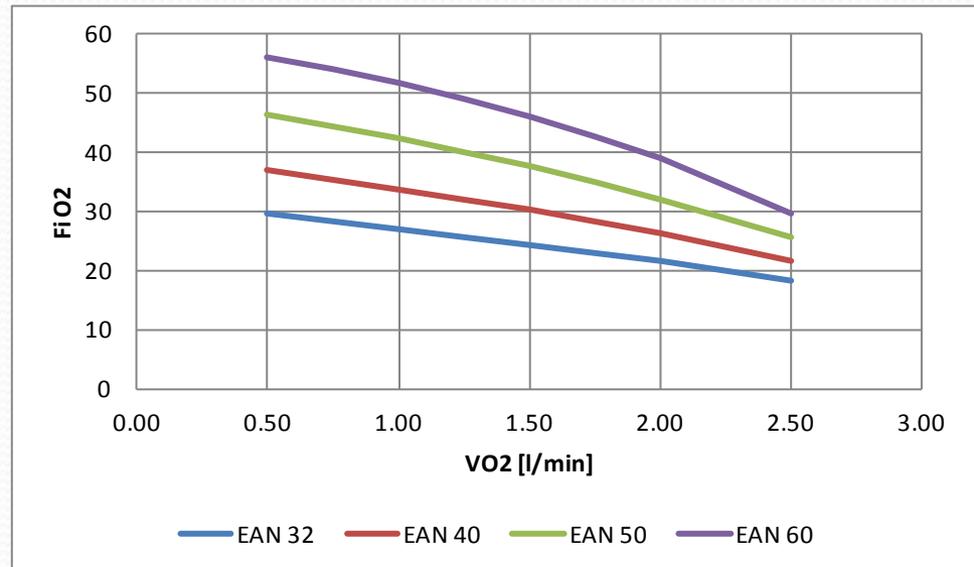


- Fraction d'O₂ optimale pour la plongée planifiée :

$$F_{sO_2} = \frac{pp_{O_2}}{\frac{p}{10} + 1}$$

- Evolution de la FiO₂ avec l'effort :

- MOD ?
- Déco ?
- Exemple avec 50%



Quelques calculs

FiO ₂	32	40	50	60
Débit moyen	15.6	10.4	7.3	5.8

- Je prends une buse de 32% avec un Nitrox 50% :
 - Débit de 15.6l/min et avec effort modéré (1.50l/min) :

$$F_{iO_2} = \frac{15.6 \times 0.50 - 1.5}{15.6 - 1.5} = 45\%$$

- Ok mais je consomme beaucoup (15.6l/min)
- Je prends une buse de 50% avec un Nitrox 32% :
 - Débit de 7.3l/min et avec effort modéré (1.50l/min) :

$$F_{iO_2} = \frac{7.3 \times 0.32 - 1.5}{7.3 - 1.5} = 14\%$$

Danger ! → A débit faible, Nitrox riche !

Faites le calcul avec un effort important pour voir !

Planification

- Plongée de 40' à 30m (ppO₂ max = 1.6bar)



-
- The diagram shows a red line representing a dive profile. It starts at the surface, descends vertically to a depth of 40 feet (indicated by a green '40'' label), then ascends to 30 meters (indicated by a red '30m' label on the left), and finally ascends to the surface. A horizontal segment at the 10-foot depth is labeled '10'' in yellow. The six planning steps are listed along the profile:
- 1 – Choix du Nitrox
 - 2 – Calcul de la FiO₂
 - 3 – Calcul de la déco
 - 4 – Vérification de l'autonomie
 - 5 – Calcul du Bail Out
 - 6 – CNS & OTU

Planification

- Plongée de 40' à 30m (ppO₂ max = 1.6bar)



1 – Choix du Nitrox :

$$F_sO_2 = 1.6 / (30/10 + 1) = 40\% \rightarrow \text{choix d'un Nitrox 40\%}$$

2 – Calcul de la FiO₂

La buse adaptée existe, je la prends.

$$F_iO_2 = (10.4 \times 0.40 - 1.50) / (10.4 - 1.50) = 30\%$$

3 – Calcul de la déco :

$$\text{Prof.équiv.} : (30/10 + 1) \times (1 - 0.30) / 0.8 = 3.5 \rightarrow 25\text{m}$$

Lecture tables : 40' @ 25m → 10' @ 3m

FiO ₂	32	40	50	60
Débit moyen	15.6	10.4	7.3	5.8

30m

40'

10'

Planification

- Plongée de 40' à 30m (ppO₂ max = 1.6bar)



4 - Vérification de l'autonomie

Débit d'une buse 40% : 10.4l/min

Consommation totale : $55 \times 10.4 = 572\text{l}$ (5l @ 200bar = 1000l)

Temps total < 70'

5 - Calcul du Bail Out

2' @ 15m → $2 \times (15/10+1) \times 20 = 100\text{l}$

10' @ 3m → $10 \times (3/10+1) \times 20 = 260\text{l}$

3l @ 200 bar suffisant

30m

40'

10'

Planification

- Plongée de 40' à 30m (ppO₂ max = 1.6bar)



10'
6 - CNS & OTU
On prends la FsO₂

Prof.	Temps	ppO ₂	OTU	CNS
30	40	1.6	77	89
15	2	1.0	2	1
3	10	0.52	3	1
6	10	0.64	5	2
Total max			82/850	91/100

30m

40'

Planification

- Plongée de 40' à 30m (ppO₂ max = 1.4bar)



10'

1 – Choix du Nitrox

2 – Calcul de la FiO₂

3 – Calcul de la déco

4 – Vérification de l'autonomie

5 – Calcul du Bail Out

40'

6 – CNS & OTU

30m

Planification

- Plongée de 40' à 30m (ppO₂ max = 1.4bar)



19'

1 – Choix du Nitrox :

$$F_{sO_2} = 1.4 / (30/10 + 1) = 35\% \rightarrow \text{choix d'un Nitrox } 35\%$$

3 – Calcul de la FiO₂

Choix d'une buse de 32% (35% entre 32 et 40 et 32 débite plus)

$$F_{iO_2} = (15.6 \times 0.35 - 1.50) / (15.6 - 1.50) = 28\%$$

2 – Calcul de la déco :

$$\text{Prof.équiv.} : (30/10 + 1) \times (1 - 0.28) / 0.8 = 3.6 \rightarrow 26m$$

Lecture tables : 40' @ 28m → 19' @ 3m

FiO ₂	32	40	50	60
Débit moyen	15.6	10.4	7.3	5.8

30m

40'

Planification

- Plongée de 40' à 30m (ppO₂ max = 1.4bar)



4 - Vérification de l'autonomie

Débit d'une buse 32% : 15.6l/min

Consommation totale : $64 \times 15.6 = 998\text{l}$ (5l @ 200bar = 1000l)

Temps total < 70'

5 - Calcul du Bail Out

2' @ 15m → $2 \times (15/10+1) \times 20 = 100\text{l}$

10' @ 3m → $10 \times (3/10+1) \times 20 = 260\text{l}$

3l @ 200 bar suffisant

30m

40'

19'

Planification

- Plongée de 40' à 30m (ppO₂ max = 1.6bar)



6 – CNS & OTU
On prends la FsO₂

Prof.	Temps	ppO ₂	OTU	CNS
30	40	1.4	65	27
15	2	0.9	2	1
3	10	0.5	-	-
6	10	0.6	3	1
Total max			67/850	28/100

Stratégies de Bail Out

- Le principe est de pouvoir terminer sa plongée en considérant sa machine inopérante juste avant la remontée.
- Attention avec un Bail Out en direct sur sa bouteille : il n'y a qu'un seul premier étage → s'il y a défaillance, il n'y a plus de secours.
- Ne pas être trop optimiste sur les consommations.

Préparatifs

- Chaux (chargement du canister)
 - Bien tasser (éviter le tunnelage)
 - Ne pas hésiter à changer la chaux
 - Respirer 5' afin de vérifier le fonctionnement de la chaux
- Vérification de l'étanchéité
 - Test de surpression
 - Test de dépression



Les points importants

- Toujours connaître sa ppO_2 :
 - Vérifier ses mélanges
 - Partir avec la bonne buse
 - Planifier sa plongée
- Procédures :
 - Calculer sa MOD avec le Nitrox
 - Calculer sa déco en tenant compte de la FiO_2
 - Calculer son autonomie à partir du débit massique

