

LE PLONGEUR RECYCLEUR

INTRODUCTION

- a. AVANTAGES DES RECYCLEURS
- b. CONTRAINTES LIEES A L'UTILISATION DES RECYCLEURS
- c. CONCLUSIONS



AVANTAGES DES RECYCLEURS

- Respiration confortable, gaz tiède et humide
- Équilibre indépendant de la respiration
- Discrétion
- Autonomie

CONTRAINTES LIEES A L'UTILISATION D'UN RECYCLEUR

- Préparation et nettoyage
- Lestage
- Coût de la plongée
- Valeur à l'achat

CONCLUSIONS

Les nombreux avantages liés à l'utilisation des recycleurs sauront certainement vous faire oublier les contraintes supplémentaires liées à son utilisation



HISTOIRE DES RECYCLEURS

- 1680 le premier recycleur
- 1879 premier recycleur de plongée
- 1881 utilisation de l'hydroxide de barrium comme absorbant du CO₂

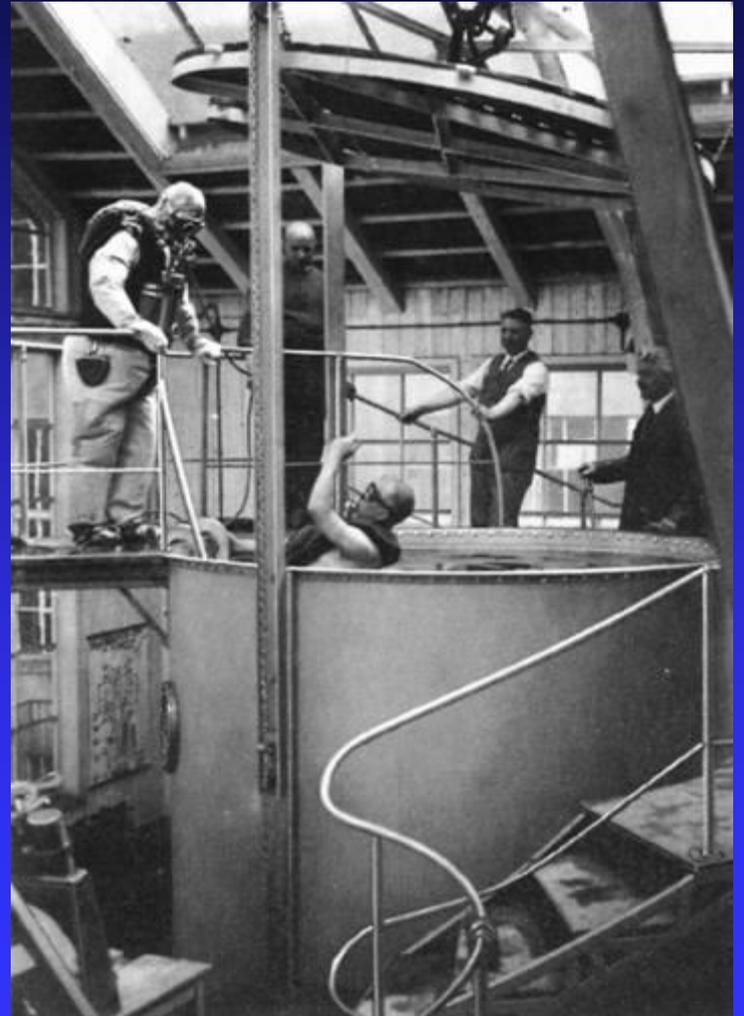
HISTOIRE DES RECYCLEURS

- 1907 la Sté Dräger met au point un recycleur pour évacuer les sous-mariniers en détresse



HISTOIRE DES RECYCLEURS

- 1913 la société Dräger teste un recycleur permettant de plonger à 80 mètres pour une durée de 40'



HISTOIRE DES RECYCLEURS



- 1937 Le photographe Hans Haas utilise un recycleur Dräger pour réaliser ses images

HISTOIRE DES RECYCLEURS

- 1939/1945 Les sociétés Pirelli, Davis et Dräger équipent leurs nageurs de combat de recycleurs
- 1946/1970 C'est l'époque des recycleurs à usage militaire



HISTOIRE DES RECYCLEURS

- 1970 Premier recycleur à circuit fermé et gestion électronique: l'Electrolung de la société Biomarine
- 1994 La société Dräger présente son premier recycleur dédié à la plongée loisirs: l'Atlantis I

HISTOIRE DES RECYCLEURS



- Puis arrivent le Buddy Inspiration (circuit fermé électronique) et le Dräger Ray en 1999

LES RECYCLEURS

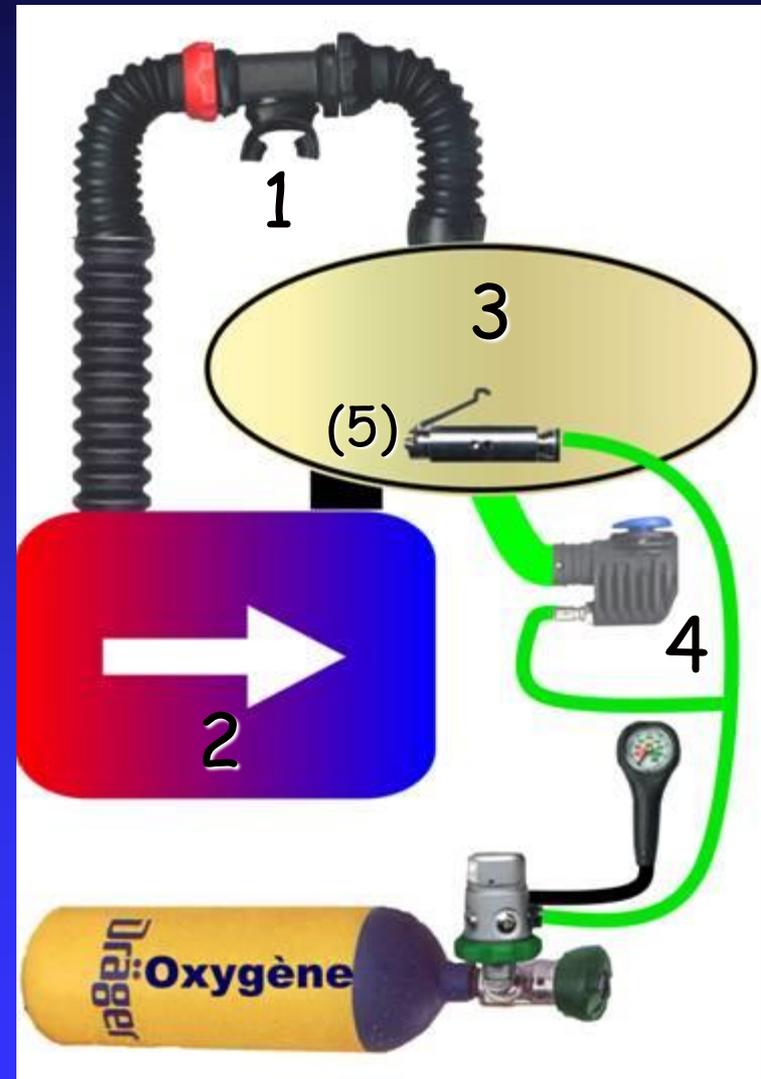
- a. PRINCIPE
- b. LE CIRCUIT FERME OXYGENE
- c. LE CIRCUIT SEMI-FERME
- d. LE CIRCUIT FERME ELECTRONIQUE

PRINCIPE DU RECYCLEUR

- Le plongeur respire dans un sac
- Le CO_2 produit est fixé par un absorbant
- L' O_2 métabolisé par le plongeur est renouvelé par injection dans le circuit

LE CIRCUIT FERME OXYGENE

1. Embout à soupapes anti-retour
2. Cartouche de chaux
3. Sac respiratoire
4. Injecteur manuel d'oxygène
5. Détendeur anti-placage (optionnel)



LE CIRCUIT FERME OXYGENE

AVANTAGES:

- Simplicité
- Absence de bulle
- Autonomie

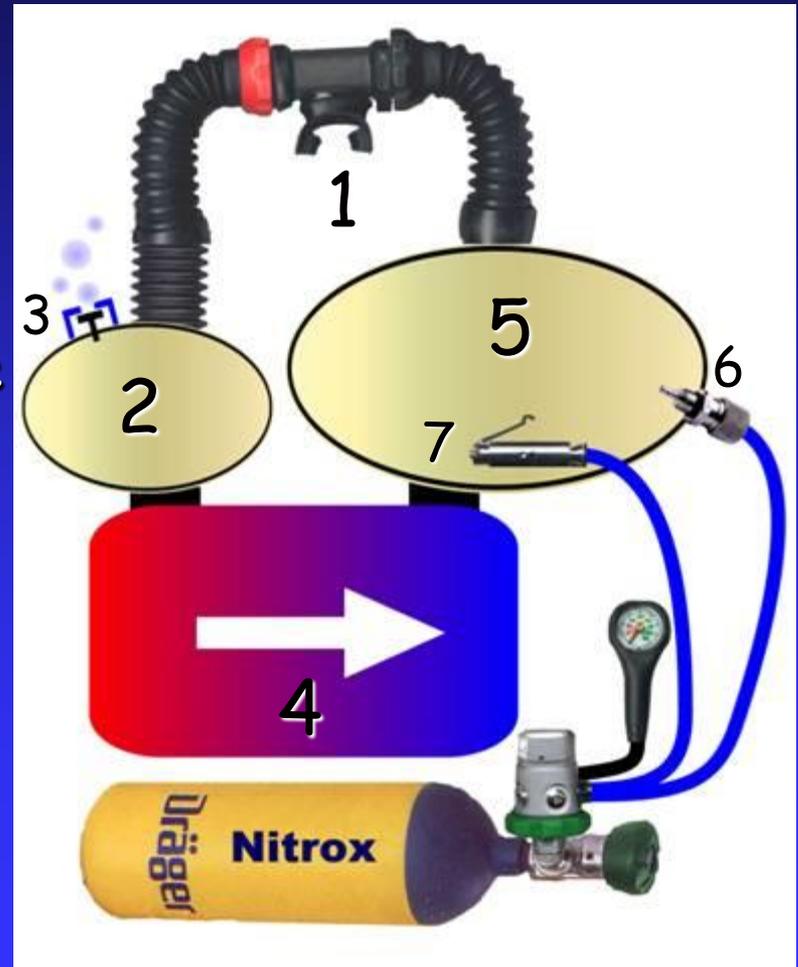
INCONVENIENTS:

- Profondeur d'utilisation limitée



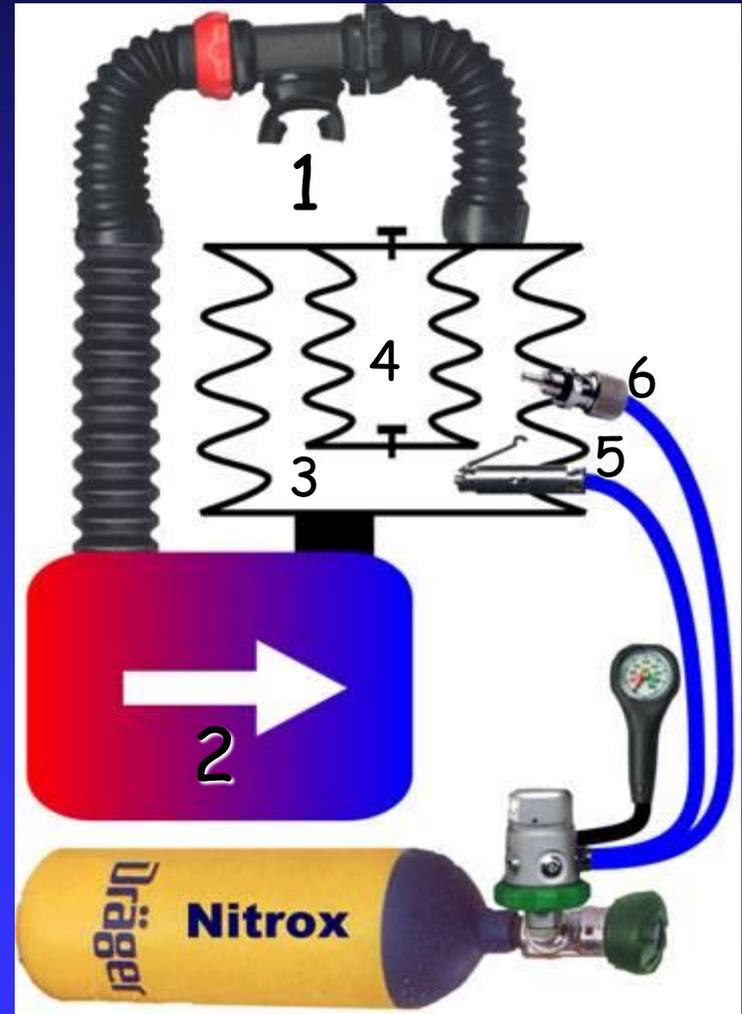
LE CIRCUIT SEMI-FERME

1. Embout à soupapes anti-retour
2. Sac expiratoire
3. Soupape de décharge
4. Cartouche de chaux
5. Sac inspiratoire
6. Injecteur calibré de mélange nitrox
7. Détendeur anti-placage



LE CIRCUIT SEMI-FERME

1. Embout à soupapes anti-retour
2. Cartouche de chaux
3. Soufflet inspiratoire
4. Soufflet de décharge
5. Détendeur anti-placage
6. Injecteur calibré de mélange nitrox



LE CIRCUIT SEMI-FERME

AVANTAGES:

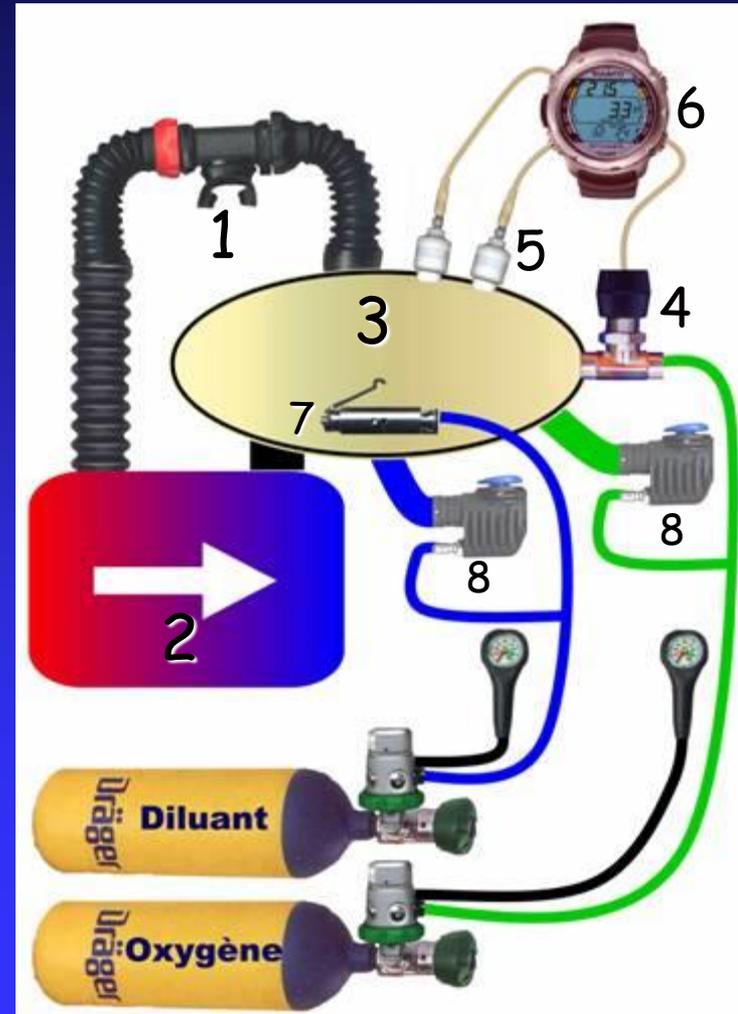
- Simplicité
- fiabilité
- Peu de bulles
- Bonne autonomie
- Utilisation possible entre 0 et 40 mètres
- Tous les avantages de la plongée au nitrox

INCONVENIENTS:

- Préparation, nettoyage
- Gonflage nitrox
- Coût à la plongée
- Coût à l'achat

LE CIRCUIT FERME A GESTION ELECTRONIQUE

1. Embout à soupapes anti-retour
2. Cartouche de chaux
3. Sac inspiratoire
4. Electrovanne
5. Sensors oxygène
6. ordinateur
7. Détendeur anti-placage
8. Injecteur manuel



LE CIRCUIT FERME A GESTION ELECTRONIQUE

AVANTAGES:

- Profondeur d'utilisation
- Autonomie
- Absence de bulle
- Économie de gaz (He)

INCONVENIENTS:

- Complexité
- Préparation, nettoyage
- Gonflages
- Coût à l'achat
- redondance

DIFFERENTS CHOIX TECHNIQUES

- Les sacs respiratoires
- La cartouche de chaux
- L'absorbant



POSITION DES SACS RESPIRATOIRES

- Sur le dos: favorise l'expiration
dolphin, DC55...
- Sur les épaules
ray, buddy inspiration...
- Sur le ventre: favorise l'inspiration
oxygens, larV...

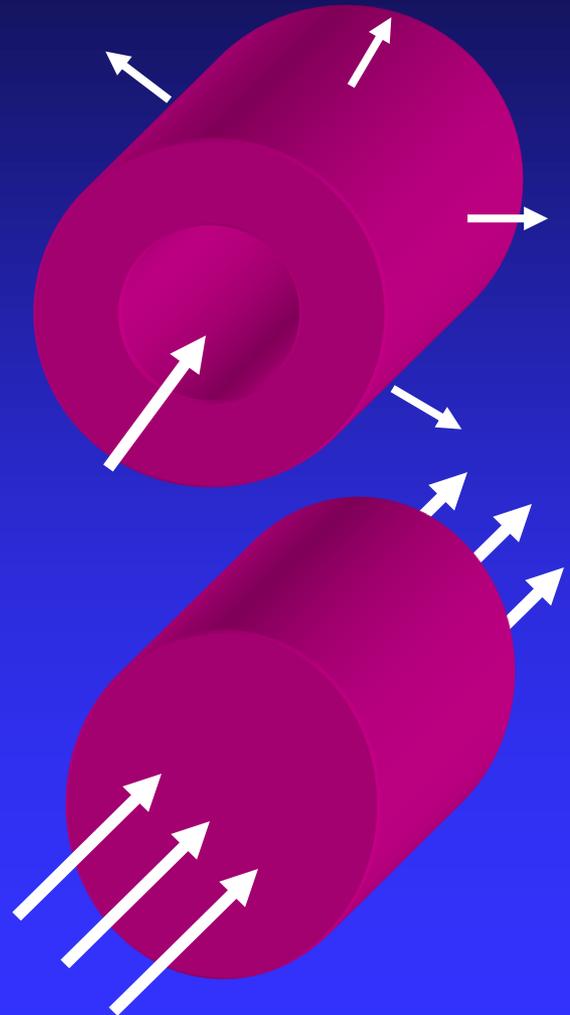
LA CARTOUCHE DE CHAUX

■ SYSTEME RADIAL:

Le gaz entre au centre de la cartouche et traverse une couronne d'absorbant

■ SYSTEME AXIAL:

Le gaz traverse la cartouche



L'ABSORBANT

- 1680 Giovanni BORELLI utilise le principe de la condensation
- 1726 Stephen HALE essaye l'eau salée + la sauce tartare
- 1881 Achilles KHOTINSKI dépose un brevet pour l'utilisation de l'hydroxide de barium comme absorbant

L'ABSORBANT

De nos jours:

- Hydroxide de lithium, très efficace mais cher et toxique si mélangé à l'eau
- Chaux sodée (Sofnolime et Dräger Divesorb) absorption: inférieure de 40% à l'hydroxide de lithium, mais meilleur marché et moins toxique en cas de mélange avec l'eau

LE DOLPHIN DE DRÄGER

- a. VUE ECLATEE
- b. CARACTERISTIQUES
TECHNIQUES

VUE ECLATEE DU DOLPHIN



CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

- Capacité de la cartouche de chaux: 2,25Kg
- Volume total du circuit respiratoire: 10,5L
- Volume ventilatoire: 4,5L-7,1L
- Capacité du bloc fond: 4L ou 5L
- Poids dans l'air: 17Kg
- Poids dans l'eau: -1Kg
- Injecteurs: 40%, 50% et 60%
- Options: injecteurs 32% et O₂ pur, bloc 2L + détendeur de secours

PRINCIPES TECHNIQUES RETENUS SUR LE DOLPHIN

- Position des sacs respiratoires
- Injection de gaz
- Fixation du CO_2
- Pièges à eau

POSITION DES SACS RESPIRATOIRES

- Sacs positionnés sur le dos
- Favorise l'expiration



SYSTEME D'INJECTION

- Injecteur 40%
 - Injecteur 50%
 - Injecteur 60%
 - Injecteur 32%*
 - Injecteur 100%*
 - Détendeur anti-placage
- (* en option)



LA FIXATION DU CO₂

- a. LA CARTOUCHE DU DOLPHIN
- b. L'ABSORBANT DRÄGER
- c. COMPOSITION ET REACTION
CHIMIQUE

LA CARTOUCHE DU DOLPHIN

- Système axial
- Chicane de déviation du gaz
- Grille sur ressorts anti court-circuit
- Pièges à eau



L'ABSORBANT DRÄGER

- Efficacité du dive sorb
- Forme des granulés
- Stockage du dive sorb



COMPOSITION

Composition typique de la chaux sodée:

- 4% hydroxide de sodium NaOH
 - 1% hydroxide de potassium KOH
 - 94% hydroxide de calcium Ca(OH)_2
 - 1% silice (agent de liaison)
 - Légère hydratation pour démarrer la réaction chimique
- (+ Additif pour indiquer le niveau de saturation par un changement de couleur)

REACTION CHIMIQUE



- Le CO réagit avec l'eau pour former un acide faible, l'acide carbonique
- L'acide carbonique réagit avec une base pour produire des sels (la chaux éteinte), de l'eau et de la chaleur

FACTEURS D'ABSORPTION DU CO₂

- Nature de l'absorbant
- Température de l'absorbant
- Degré d'hygrométrie de l'absorbant
- Volume de la cartouche
- Anatomie de la cartouche
- Niveau d'activité du plongeur

AUTONOMIE DE LA CARTOUCHE DU DOLPHIN

- En utilisant le Dive-Sorb:
 - autonomie \cong 2 heures avec la température de la chaux comprise entre 0° C et 30° C
- L'autonomie est modifiée par:
 - La température ambiante
 - L'effort fourni par le plongeur
- Possibilité d'utiliser l'insert de demi remplissage

LES PIEGES A EAU

- Ils sont présents tout le long de la boucle respiratoire:
 - Dans les anneaux des tuyaux
 - Dans les raccords sur les sacs respiratoires
 - Dans la cartouche de chaux

PLANIFICATION

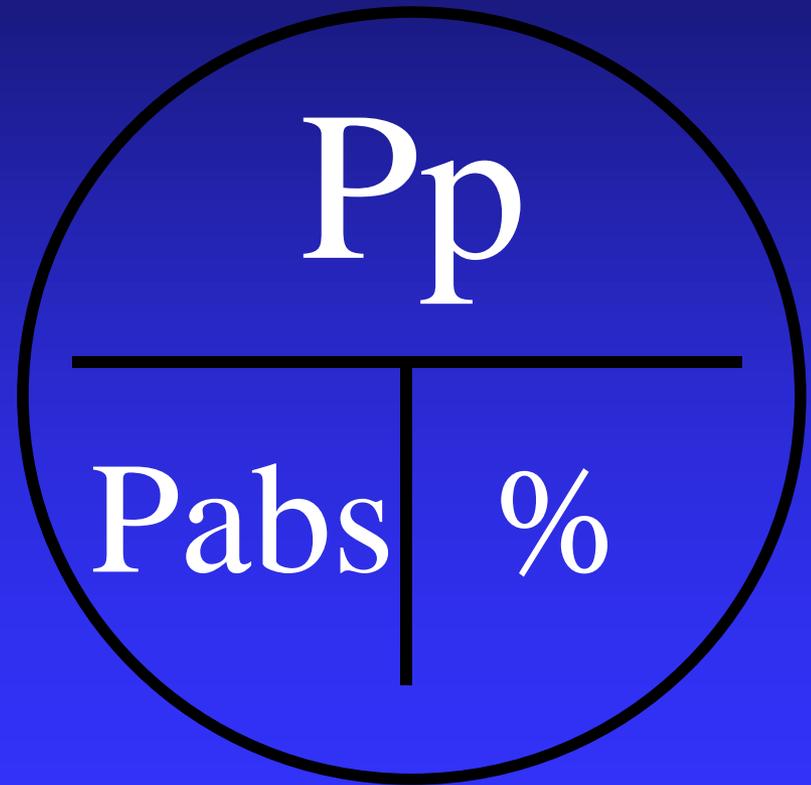
- a. GESTION DU POURCENTAGE D'OXYGENE DANS LA BOUCLE
- b. GESTION DU GAZ CARBONIQUE

RAPPELS SUR LES PRESSIONS PARTIELLES

- LOI DE DALTON:

$$P_p = P_{abs} \times \%$$

- REGLE DU T:



LES VALEURS LIMITEES DE PpO2

PLONGEE LOISIRS	PLONGEE TECHNIQUE	MELANGE DE DECOMPRES SION
1,4 bar	1,5 bar	1,6 bar

LE MELANGE RESPIRE

IL EST FONCTION DE:

- La consommation physiologique d'oxygène du plongeur
- La fraction d'oxygène contenue dans le gaz injecté
- Du débit de l'injecteur sélectionné

LA CONSOMMATION METABOLIQUE D'OXYGENE

TRES VARIABLE SELON LE NIVEAU
D'ACTIVITE:

- 0,5L/mn au repos
- 1à2L/mn lors d'exercice modéré
- 3L/mn lors d'activité soutenue
- +4L/mn lors d'activité intense

LE NITROX INJECTE ET L'INJECTEUR SELECTIONNE

- Le mélange injecté sera choisi en fonction de la plongée prévue
- Injecteurs disponibles:
40%, 50% et 60%
- En option: 32% et 100%

DEBITS DES INJECTEURS

	Débit minimum	Débit nominal	Débit maximal
32%	14,2 L/mn	15,5 L/mn	16,9 L/mn
40%	9,4 L/mn	10,4 L/mn	11,3 L/mn
50%	6,55 L/mn	7,3 L/mn	7,95 L/mn
60%	5,1 L/mn	5,7 L/mn	6,4 L/mn
100%	1,4 L/mn	1,7 L/mn	2 L/mn

CALCUL DE LA FRACTION D'OXYGENE DANS LE SAC INSPIRATOIRE

$$F_{O_2} = \frac{(f_{O_2} \times D) - V_{O_2}}{D - V_{O_2}}$$

FRACTION D'OXYGENE DANS LE SAC INSPIRATOIRE

VO2	Nx 60% Inj.: 5,7L/mn	Nx 50% Inj.: 7,3L/mn	Nx 40% Inj.: 10,4L/mn	Nx 32% Inj.: 15,5L/mn
2,5	29%	24%	21%	19%
2	38%	31%	26%	22%
1,5	46%	37%	30%	25%
1	51%	42%	34%	27%
0,5	56%	46%	37%	30%

CALCUL DE LA PROFONDEUR MAXIMALE

- Déterminée par le gaz injecté dans le circuit
- PpO2 maximum de 1,5 bar
- On utilisera la formule:

$$\text{Prof max} = \left(\frac{PpO_2}{FO_2} - 1 \right) \times 10$$

CHOIX DU MEILLEUR MELANGE

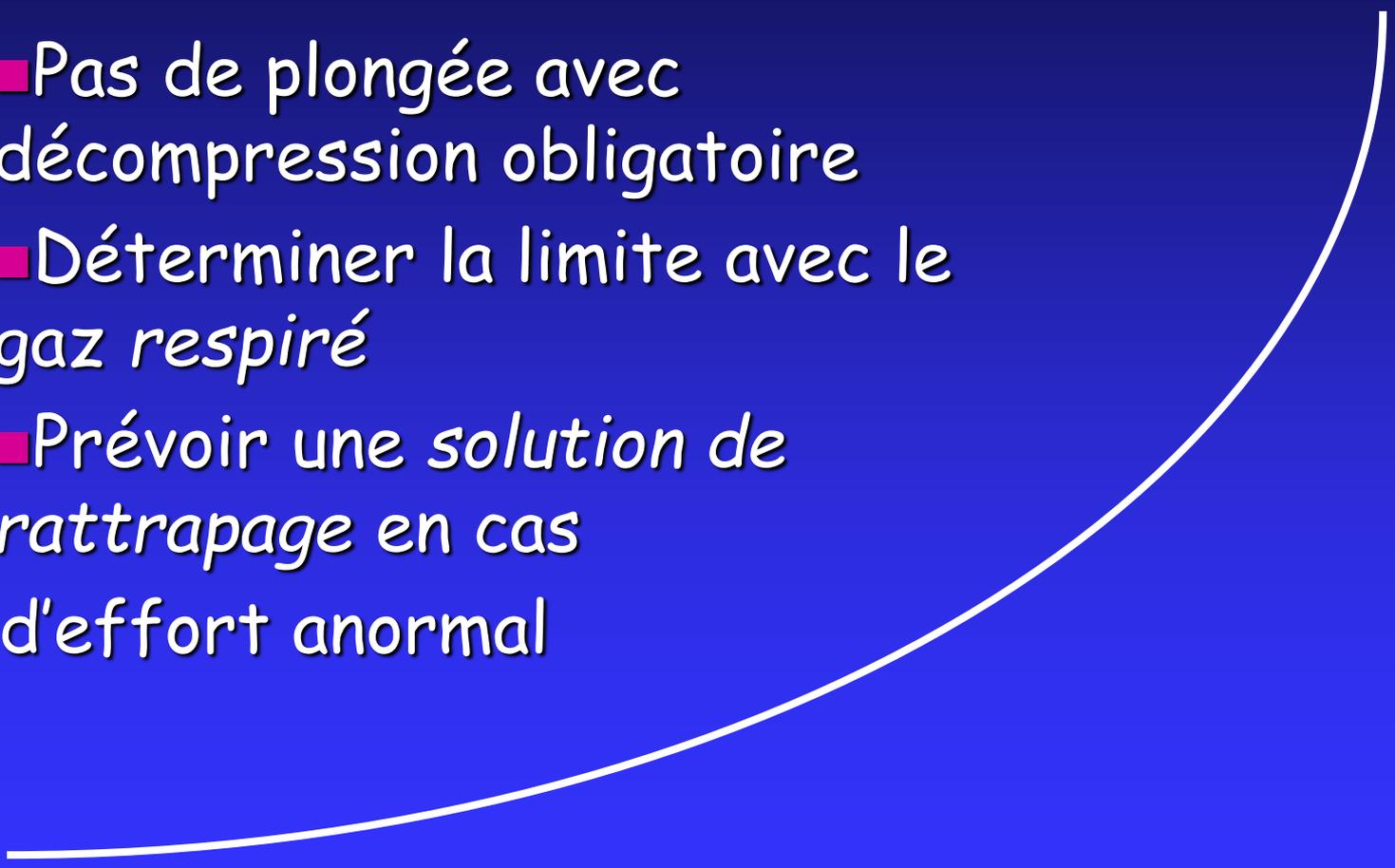
- La profondeur est déterminée par avance
- PpO2 maximum de 1,5 bar
- On utilisera la formule:

$$FO_2 = \frac{PpO_2}{P_{abs}}$$

CALCUL DE LA PROFONDEUR EQUIVALENTE AIR

- Déterminée à partir du gaz respiré
- Méthode de calcul:
 1. Calculer la P_{pN_2} respirée
 2. Déterminer à quelle profondeur on aurait la même P_{pN_2} en respirant de l'air

COURBE DE SECURITE

- Pas de plongée avec décompression obligatoire
 - Déterminer la limite avec le gaz *respiré*
 - Prévoir une *solution de rattrapage* en cas d'effort anormal
- 

PLONGEE AVEC DECOMPRESSION OBLIGATOIRE



Nécessite un procédure de rattrapage sur le gaz injecté:

1. bloc fond avec robinetterie double et détenteur de secours
2. Planification de la durée maximale de décompression avec calcul d'autonomie en circuit ouvert

L'HYPOXIE

- Risque majeur avec le recycleur
- $PpO_2 < 0,16$ bar: premiers signes
- $PpO_2 < 0,10$ bar: troubles sérieux
- Symptômes: euphorie, incoordination motrice, pensées confuses, inconscience et mort

L'HYPOXIE

CAUSES:	PREVENTIONS:
Mauvais mélange injecté	Analyser son bloc selon la procédure définie
Mauvais injecteur sélectionné	Respecter la liste de contrôle lors du montage de l'appareil
Injecteur bouché	Vérifier le débit de l'injecteur avant toute mise à l'eau
Pression du gaz d'alimentation trop faible	Surveiller avec attention son manomètre
Robinet fermé	Être attentif au lâcher de bulle en fin d'expiration et faire un contrôle des bulles au commencement de toute plongée

AUTONOMIE

- Fonction de l'injecteur utilisé
- Fonction de la capacité du bloc
- Conserver une réserve 50 bar
- Les variations de niveau de plongée diminuent l'autonomie
- L'expiration par le nez diminue l'autonomie

AUTONOMIE

- FORMULE:

$$\frac{(P_{\text{dép}} - 50) \times V_{\text{bloc}}}{\text{débit de l'injecteur}}$$

EXEMPLES D'AUTONOMIES

(P départ: 200bar, réserve: 50 bars)

	Bloc 4L	Bloc 5L	Bloc 8L
Inj. 32%	38mn	48mn	77mn
Inj. 40%	57mn	72mn	115mn
Inj. 50%	82mn	102mn	164mn
Inj. 60%	105mn	131mn	210mn
Inj. 100%	400mn	500mn	800mn

L'HYPERCAPNIE

- Causes possibles
- Symptômes
- Conduite à tenir
- Prévention

CAUSES POSSIBLES

- Effort inconsideré
- Expiration par le nez
- Autonomie de la cartouche dépassée
- Absorbant éventé
- Eau dans l'absorbant

SYMPTÔMES

- Envie réflexe d'inspirer
- Accélération du rythme ventilatoire
- Maux de tête
- nausée

CONDUITE A TENIR

- Le CO₂ est un facteur favorisant de l'hyperoxie et de l'accident de décompression
- Quitter l'embout du recycleur, et prendre le détendeur de secours pour regagner la surface

PREVENTION

- Mesurer ses efforts
- Ne pas expirer continuellement par le nez
- Respecter la durée maximale d'utilisation de la cartouche
- Utiliser un absorbant non éventé

LE LESTAGE

- Flottabilité des faux poumons
- Absence de poumon-ballast
- Augmenter le lestage par rapport au circuit ouvert
- Poches à lest intégrées



RECYCLEURS: ANALYSE DES RISQUES

RISQUE	HYPERCAPNIE	HYPEROXIE	HYPOXIE
Circuit ouvert	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE
Circuit fermé O2	FAIBLE	MODERE	FAIBLE
Circuit semi-fermé	FAIBLE	FAIBLE	MODERE
Circuit fermé électronique	FAIBLE	ELEVE	MODERE

COMPARAISON: RECYCLEUR/CIRCUIT OUVERT

DYSFONCTION- NEMENT	CIRCUIT OUVERT	RECYCLEUR
SYMPTOMES	IMMEDIATS ET CLAIRS	PEU EVIDENTS OU AVEC RETARD
MODIFICATION DU MELANGE RESPIRE	JAMAIS	SOUVENT
SOLUTION DE RATTRAPAGE	AISEE	PAS EVIDENTE

LES PROCEDURES DE SECOURS

- Bruit d'eau dans le circuit
- Expiration difficile
- Mauvais goût dans la bouche
- Baisse anormale de la PpO2 dans le circuit
- Mauvaises sensations



PROCEDURE DE SECOURS:

Fermer et lâcher l'embout

Respirer sur le détendeur de secours

PREPARATION DE L'APPAREIL

- a. Préparation des sacs respiratoires
- b. Remplissage de la cartouche
- c. Préparation de la cartouche
- d. Préparation des tuyaux annelés
- e. Préparation de l'oxygauge
- f. Vérification du bloc de mélange fond
- g. Préparation du système d'injection
- h. Test d'étanchéité positive
- i. Test d'étanchéité négative
- j. Contrôle du système de secours

PREPARATION DES SACS RESPIRATOIRES

POUR CHAQUE SAC:

- Contrôler visuellement le bon état des sacs
- Obturer l'orifice d'égoutage avec la vis en plastique
- Mettre les sacs en place dans la « coquille »



REEMPLISSAGE DE LA CARTOUCHE

- Vérifier la propreté de la cartouche
- Utiliser de la chaux correctement stockée
- Positionner la chicane
- Remplir jusqu'au repère
- Tasser correctement la chaux
- Rétablir éventuellement le niveau

PRÉPARATION DE LA CARTOUCHE

- Vérifier l'état et la propreté du joint de couvercle
- Vérifier la propreté de la portée du joint sur la cartouche
- Serrer la vis du couvercle à la main
- Vérifier l'étanchéité de la cartouche
- Mettre en place la cartouche

PREPARATION DES TUYAUX ANNELES

- Contrôler visuellement l'état des tuyaux annelés
- Ouvrir l'embout
- Inspirer et expirer à chaque extrémité du tuyau annelé pour vérifier le bon fonctionnement des soupapes
- Mettre en place le tuyau annelé

PREPARATION DE L'OXYGAUGE

- Vérifier les contacts de la cellule
- Vérifier la propreté des pistes de la cellule
- Mettre en place la cellule
- Mettre en route l'oxygauge et vérifier sa bonne calibration
- Engager le boîtier de la cellule dans son connecteur



VERIFICATION DU BLOC DE MELANGE FOND

- Réaliser une première analyse du mélange
- La deuxième analyse du mélange doit être réalisée par l'utilisateur final
- L'utilisateur final marquera son bloc

PREPARATION DU SYSTEME D'INJECTION

- Positionner les flexibles du détenteur
- Connecter l'injecteur correspondant au gaz
- Connecter le bloc de mélange fond après analyse et marquage
- Vérifier la pression du gaz
- Vérifier le débit de l'injecteur
- Connecter le porte injecteurs au sac

TEST D'ETANCHEITE POSITIVE

- Durcir la soupape de décharge
- Gonfler la boucle respiratoire à la bouche et fermer l'embout
- Vérifier la tenue avec un poids de 2 kilos posé sur les sacs

TEST D'ETANCHEITE NEGATIVE

- Vider le circuit par l'embout
- Abaisser la membrane de la palette ou écraser les tuyaux annelés
- Fermer l'embout
- La membrane reste basse ou les tuyaux écrasés
- Rouvrir et refermer l'embout
- Rabattre la protection des sacs

CONTRÔLE DU SYSTEME DE SECOURS

- Contrôler la pression du bloc secours
- Contrôler le fonctionnement de l'inflateur du gilet
- Contrôler le bon fonctionnement du détendeur de secours
- Vérifier la présence d'un système d'attache du détendeur de secours



LA RESPIRATION

- Le gaz respiré est chaud et humide
- La respiration doit être douce et d'amplitude mesurée
- La soupape de décharge doit laisser s'échapper un peu de gaz à la fin de chaque expiration
- L'expiration par le nez augmente la consommation de gaz et les résistances respiratoires
- La salive doit être avalée

LA FLOTTABILITE

- Le poumon-ballast n'existe plus!
- Une expiration par le nez peut momentanément diminuer la flottabilité
- Le lestage doit compenser la flottabilité de la boucle respiratoire

LE DEBUT DE LA PLONGEE

AVANT LA PLONGEE:

- Ouvrir son bloc fond
- Mettre son embout en bouche

IMMEDIATEMENT APRES L'IMMERSION:

- Vérifier l'absence de bulle sur l'appareil
- Vérifier la purge par la soupape de décharge à la fin de chaque expiration

PENDANT LA DESCENTE

- Vérifier le bon fonctionnement du détendeur anti-placage

NETTOYAGE- DESINFECTION

- La boucle respiratoire est le milieu idéal pour la prolifération des bactéries
- Ventiler la boucle après chaque plongée
- Désinfecter et rincer chaque jour
- Étendre et laisser sécher dans un endroit propre et sec
- Surveiller l'état des joints toriques
- Lubrifier sans excès avec de la graisse oxygène