





Fabrication des mélanges gazeux respirables Technique et sécurisation

La Pommeraye
11 & 12 novembre 2006



Définitions

- Les mélanges exclusivement composés d'azote (N_2) et d'oxygène (O_2) dont la proportion d'Oxygène est comprise entre 22% et 99% sont appelés Nitrox.
- Les mélanges exclusivement composés d'azote (N_2), d'oxygène (O_2) et d'Hélium sont appelés TRIMIX



Le Nitrox dans les Clubs de Plongée

Pour en disposer plusieurs solutions s'offrent aux dirigeants des clubs:

▼ Acheter du Nitrox prêt à l'emploi et donc se limiter à des Nx standardisés:

Ø OAN 32

Ø OAN 36



Le Nitrox dans les Clubs de Plongée

▼ Fabriquer du Nitrox à la demande :

Par addition:

Ø En mélangeant de l'oxygène à de l'air

Ø En mélangeant de l'oxygène et de l'Azote



Le Nitrox dans les Clubs de Plongée

▼ Fabriquer du Nitrox à la demande :

Par Soustraction:

Ø Prélever une partie de l'azote



Le TRIMIX dans les Clubs de Plongée

Pour en disposer, les clubs ne peuvent pratiquement que fabriquer du TRIMIX à la demande :

Par addition:

- Ø En mélangeant de l'oxygène, de l'Hélium et l'air
- Ø En mélangeant de l'oxygène, de l'Hélium et de l'Azote.
- Ø En mélangeant du Nitrox, de l'Hélium et l'air



Description des méthodes utilisables

- Ø Flux continu : Mélange BP bi ou tri gaz
- Ø Stratification : Mélange HP bi ou tri gaz
- Ø Mixte : Stratification + Flux continu
- Ø Séparation : dissociation $N_2 \leftrightarrow O_2$



Domaine d'application

	Additive		Soustractive
	Par mélange BP Stick	Par Mélange HP (Stratification)	Par Membrane
Epuration gaz en amont	Non	Oui	Oui
Epuration gaz en aval	Oui	Non	Oui
Compresseur spéciaux	Non	Non	Oui
Limitation à 40% O ₂	Oui	Non	Oui
Permet la fabrication de Trimix en une passe	Oui	Non	Non
O ₂ médical autorisé	Non	Non	Non
Nécessité d'utiliser des blocs conformes aux normes Européennes	A partir de janvier 2007	A partir de janvier 2007	A partir de janvier 2007



Description des matériels utilisables

- Ø Stick (Flux continu)
- Ø Lyre (Stratification)
- Ø Mixtes (Flux continu + Stratification)
- Ø Séparation N_2/O_2 : Compresseur associé à une filtration à membrane polymère



STICKS

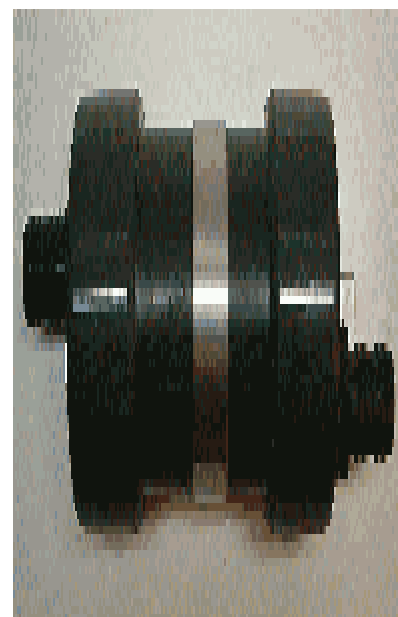
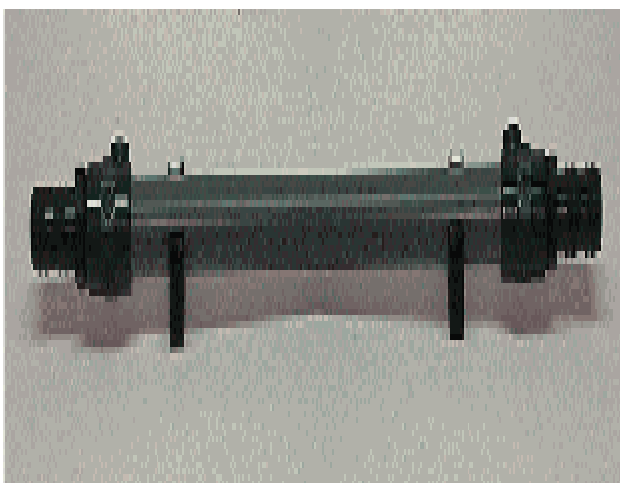
OU

BATON MELANGEUR



Les « sticks »

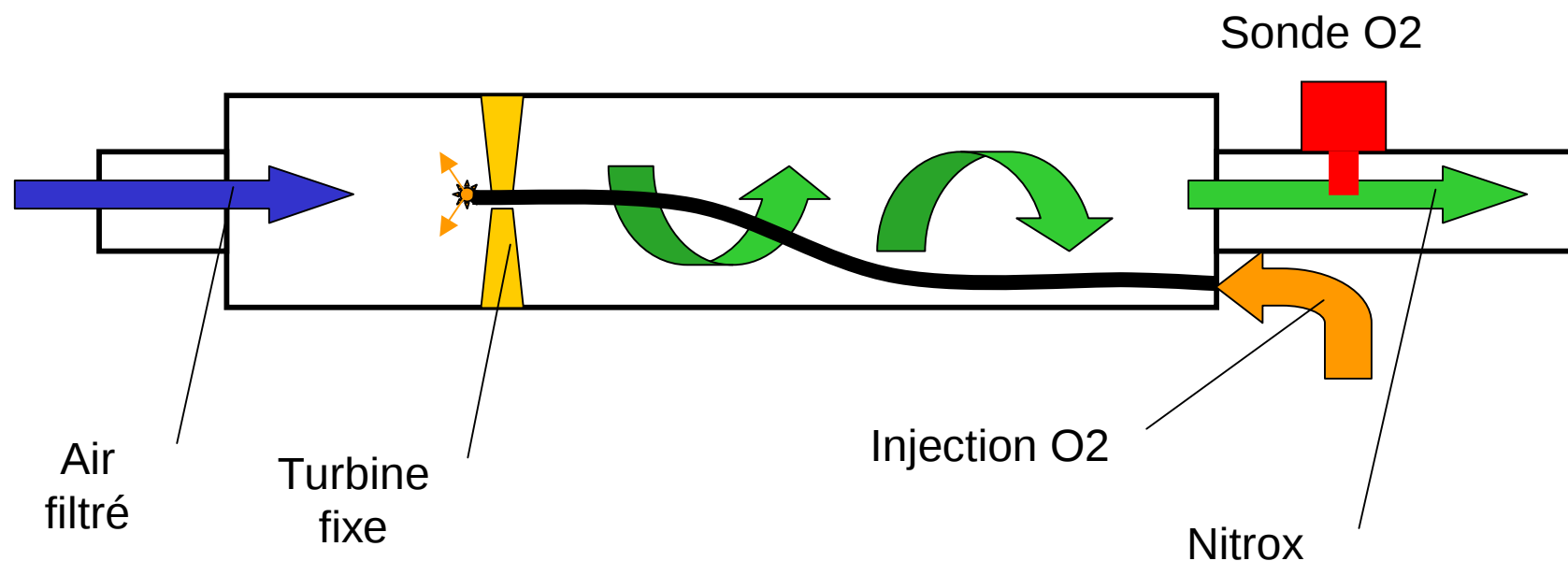
Ils se présentent sous la forme d'une enceinte généralement cylindrique dont le rapport Diamètre/Longueur est variable suivant les modèles.





Le stick

Il contient un système d'injection O₂ et un système de brassage (passif à chicanes , à vortex, actif à turbine)





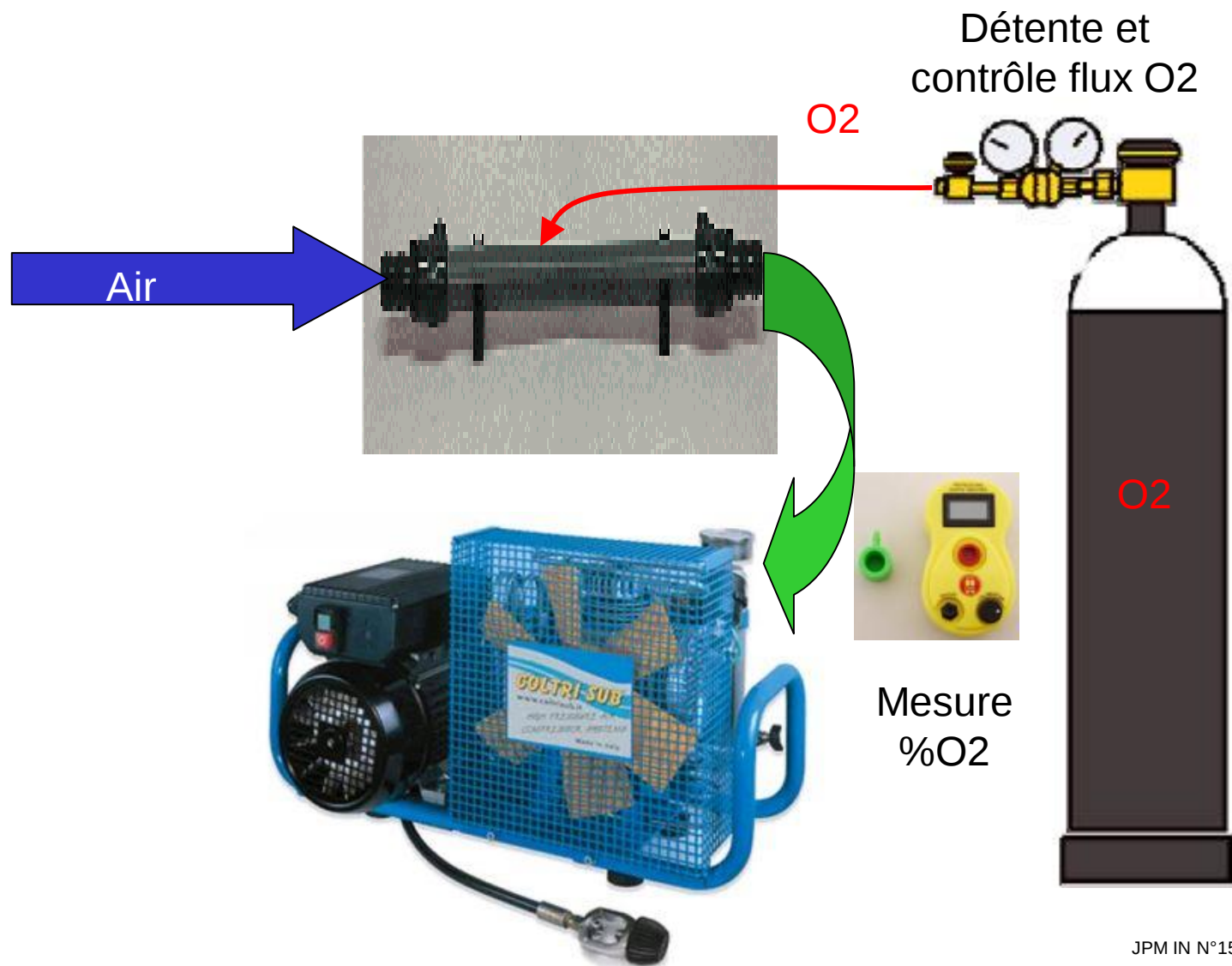
Le stick

Certains modèles
intègrent un système de
contrôle et protection





Mise en oeuvre





Risques Potentiels et Solutions

Événement	Conséquences	Risques	Solutions
Arrêt du compresseur	Accumulation Oxygène	Au redémarrage, fusion 1er étage	Electro-vannes
Mauvaise manipulation réglage flux O ₂	Taux O ₂ supérieur à 40%	Fusion 1er étage, risque de production CO / CO ₂	Utilisation d'injecteur calibré
	Taux O ₂ ne correspondant pas au taux désiré	Mélange inadapté à la profondeur	Respect des procédures de contrôle
Givrage détendeur	Taux O ₂ ne correspondant pas au taux désiré	Mélange inadapté à la profondeur	Respect des procédures de contrôle
	Risque d'un taux O ₂ supérieur à 40% au redémarrage	Fusion 1er étage, risque de production CO / CO ₂	Utilisation d'injecteur calibré au lieu de vanne pointeau



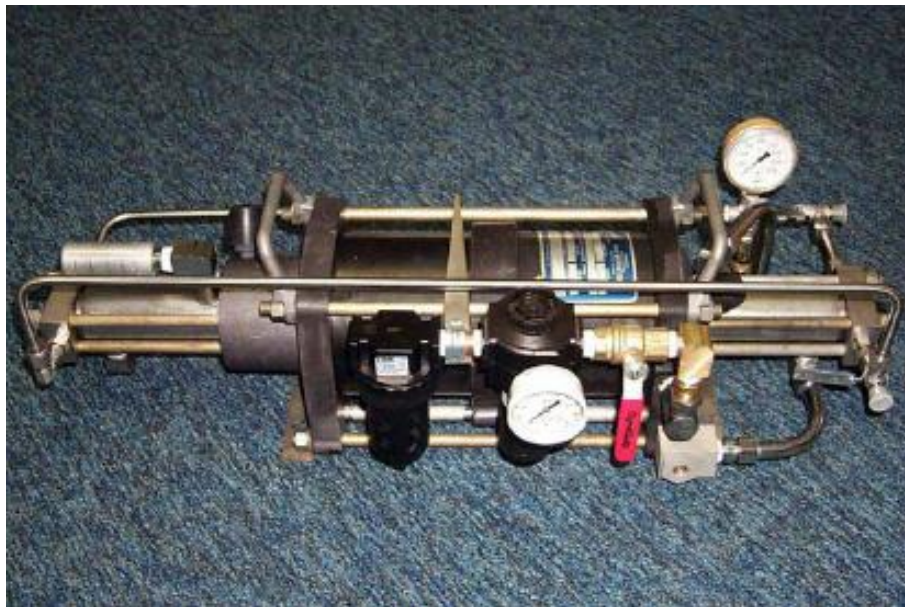
Eléments pratiques et économiques

- Le mélange par Stick permet d'utiliser les blocs d'O₂ ou d'Hélium jusqu'à 5 bars sans avoir à se servir d'un sur presseur.
- Le mélange peut être stocké dans des blocs tampons.
- Plusieurs blocs peuvent être chargés avec le même mélange.



SURPRESSEUR

Un surpresseur est un compresseur linéaire à 1 étage généralement activé par une source d'air comprimé





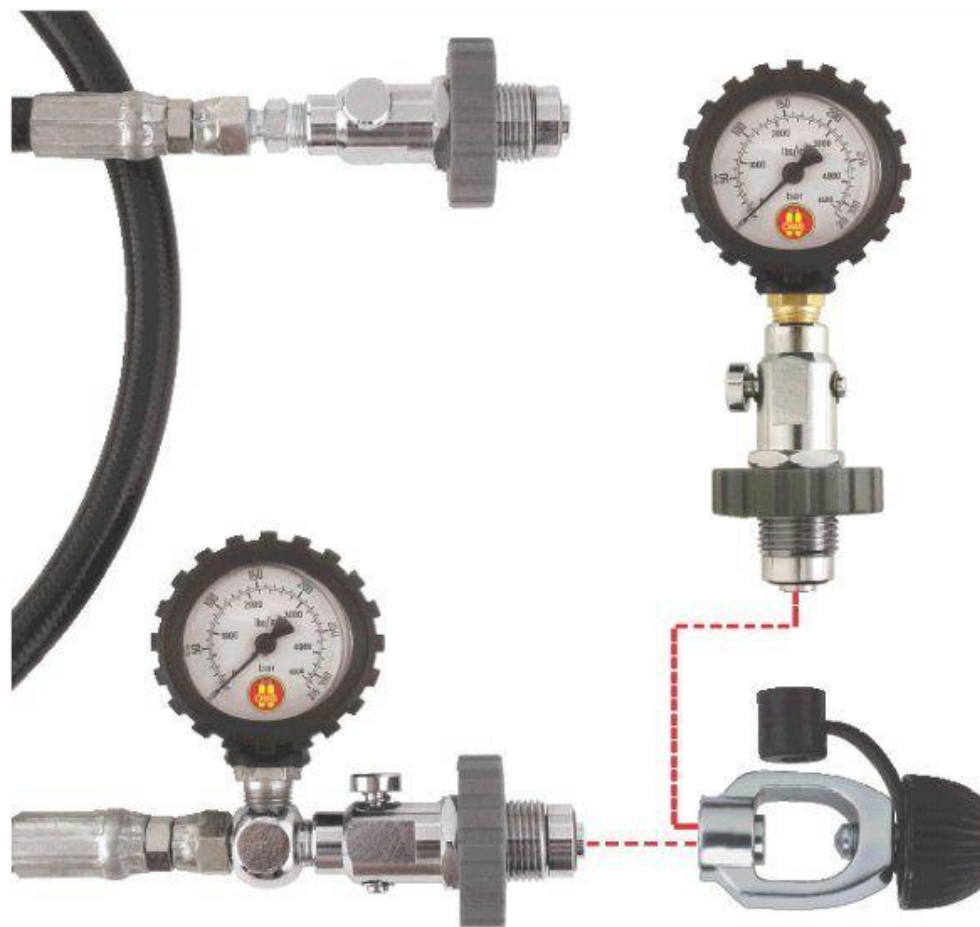
LYRES



Les Lyres

Elles se présentent sous la forme de tuyauterie souple HP, compatible Oxygène, avec des connecteurs adaptés aux blocs sur lesquelles elles se connectent.

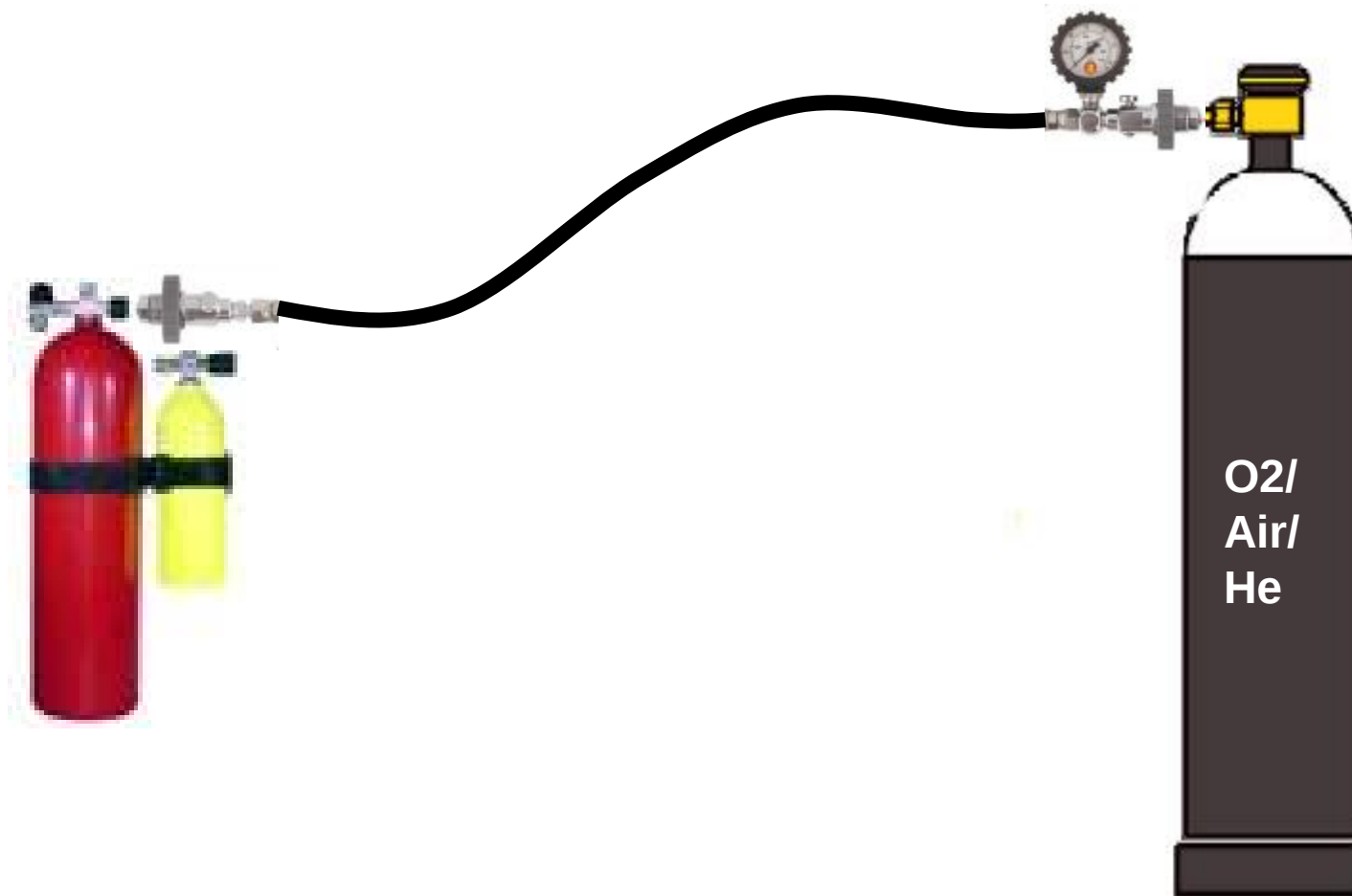
Un système de purge et de mesure de pression de haute qualité y sont associées





Mise en oeuvre

contrôle
flux O₂





Risques Potentiels et Solutions

Événement	Conséquences	Risques	Solutions
Matériel non "service Oxygène"	Enflammation des graisses	Ignition spontanée, incendie, fusion de métaux	N'utiliser que des matériels "service oxygène" sur l'ensemble de la chaîne
Mauvaise manipulation du bloc Oxygène	Ouverture de la bouteille source en premier => Jet d'O ₂ haute pression sur robinetterie fermée du bloc à charger	"Formation de point chaud", Ignition spontanée, incendie, fusion de métaux	Respect des procédures de chargement, ouverture du bloc cible en premier, limitation débit O ₂ .
	Ouverture de la bouteille source lyre non connecté	Saturation d'O ₂ du milieu, ignition spontanée	Respect des procédures de chargement
Injection d'air HP non filtrée	Présence d'huile, pollution du bloc "Service O ₂ "	Ignition spontanée, incendie, fusion de métaux	Surfiltration de l'air composant le mélange



Incendie station





Éléments pratiques et économiques

- L'utilisation de lyre permet fabriquer des Nitrox avec une teneur supérieure à 40% O₂ ou de transvaser de l'oxygène pur
- Le mélange est fabriqué bloc par bloc avec des risques de variations de teneur en O₂ ou He entre blocs
- Sans surpresseur, la pression résiduelle des blocs nous oblige à effectuer des transvasements entre blocs de service pour utiliser la plus grande partie de l'oxygène et/ou de l'Hélium.



Eléments pratiques et économiques

- Des formules, des abaques, des programmes permettent de déterminer les quantités d'oxygène, d'air, Nitrox, d'Hélium pour fabriquer tout les types de mélanges utilisables en plongée loisir.
- Pour le Trimix, il est possible de transvaser l'hélium avec une lyre, puis de compléter avec un Nitrox en flux continu, ce qui économise une « passe » et du temps.



MEMBRANES



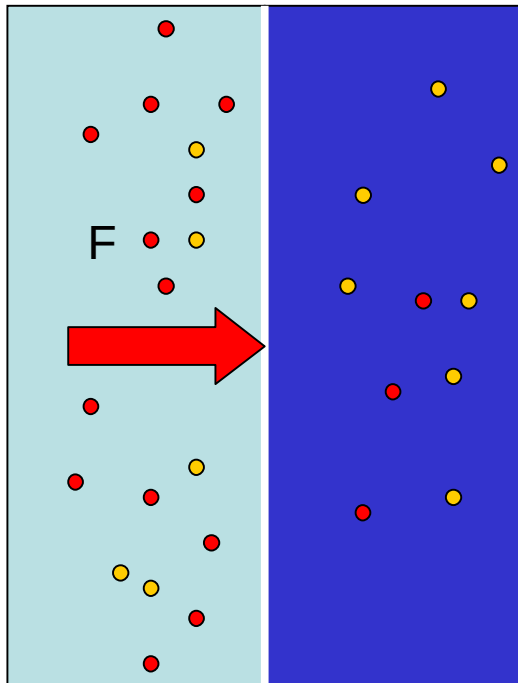
Principe

- Deux types de membranes existent pour la séparation gazeuse, les membranes poreuses de facteur séparateur faible et les membranes **non poreuses** qui nous intéressent plus particulièrement.
- Une membrane à perméabilité sélective est une barrière qui permet le passage plus ou moins sélectif d'un gaz sous l'action d'une force entre les deux volumes qu'elle sépare.



Principe

- La perméabilité de cette membrane est directement proportionnelle à l'intensité de cette force.



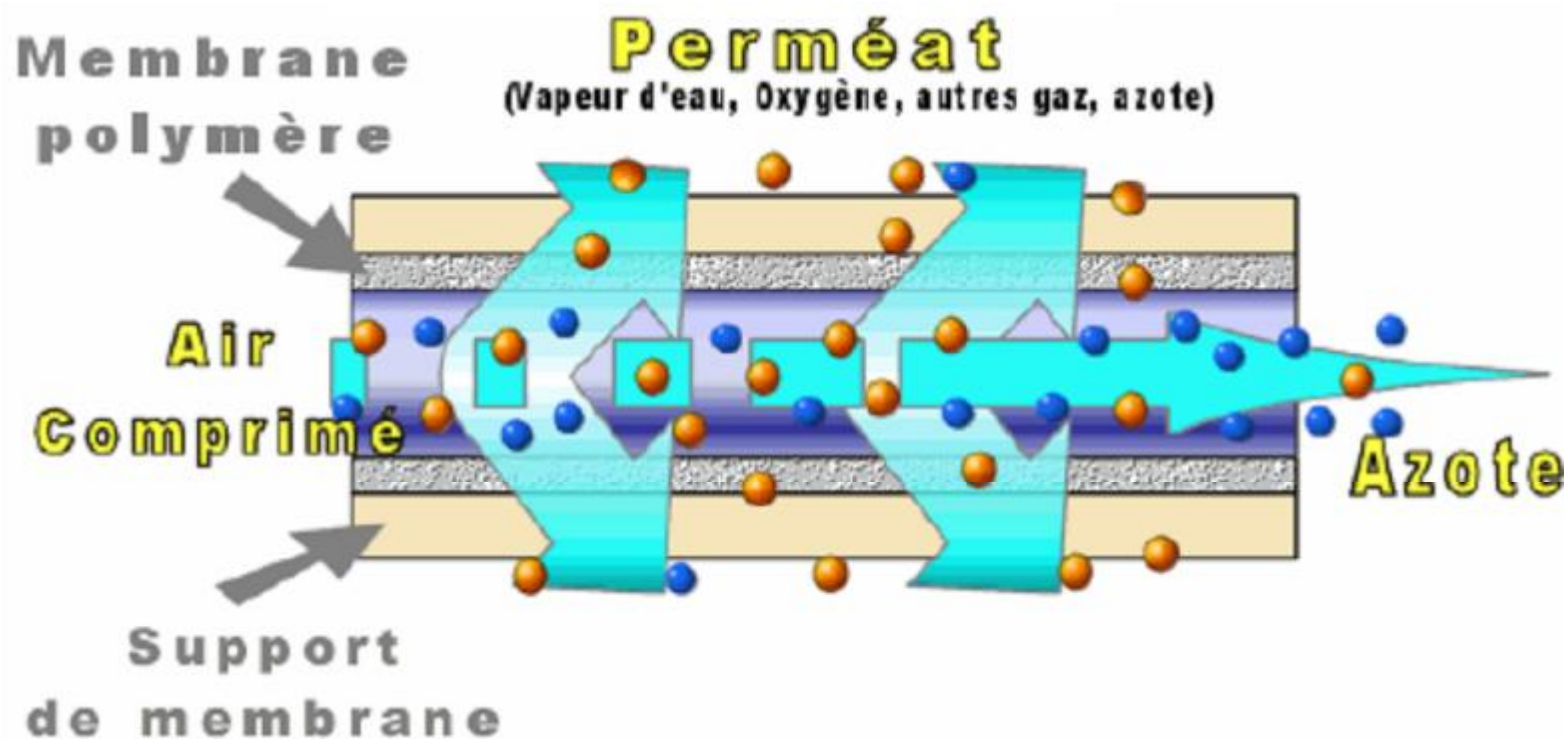
Les gaz ne traversent pas les membranes de la même façon en fonction de leur vitesse de diffusion et de leur «perméation ».

Ce phénomène se décompose en trois étapes:

- Ø Dissolution des molécules des gaz coté «MP »
- Ø Diffusion à travers la membrane
- Ø Désorption coté BP



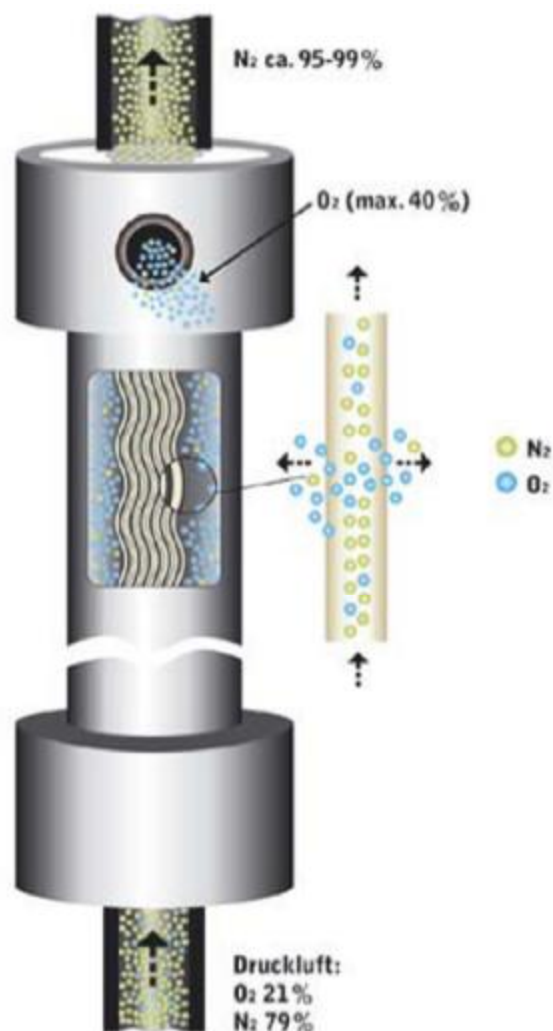
Principe



Diamètre extérieur de la fibre : 120 microns
Diamètre intérieur de la fibre : 80 microns



Principe



Le flux de gaz amont est appelé « Charge »

Le composé traversant la membrane est appelé « Perméat »

Le résidu composé à la sortie de la cartouche est appelé « Retentât »

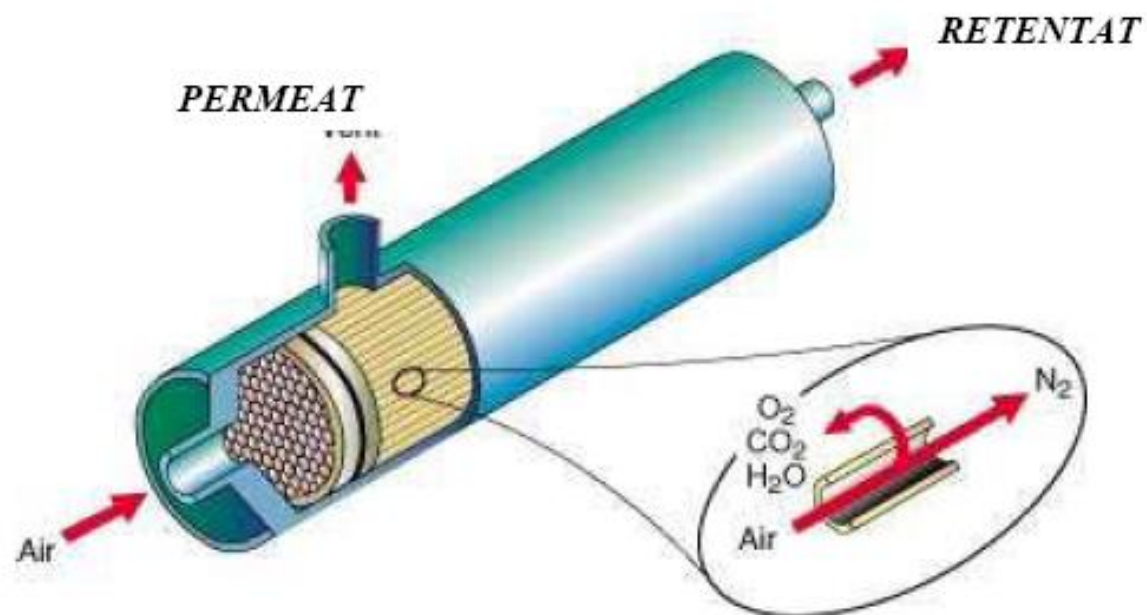
Le coefficient de perméabilité d'un gaz est le produit du coefficient de solubilité et du coefficient de diffusion.

Le coef. de diffusion est d'autant plus élevé que la molécule est petite.

Le coef. De solubilité est d'autant plus élevé qu'elle peut se condenser facilement (fonction de la taille)



Principe





Principe

- Ces membranes sont formées en tubes, qui agrégées, forment une cartouche de séparation



Par cartouche, il y a environ 400 Km de fibres....



Principe

- Il est facile de déduire :
 - Ø Que les gaz ne réagissent pas de la même façon et que la modification des paramètres delta pression et température permette d'ajuster la composition du perméat.
 - Ø Qu'une concentration de 100% n'est pas atteignable par cette méthode



Principe

Diamètre cinétique de quelques gaz		
Gaz		Diamètre (pm)
Helium	He	260
Dioxyde de carbone	CO ₂	330
Argon	Ar	340
Oxygène	O ₂	346
Azote	N ₂	364

Classification des gaz en fonction de leur aptitude à la perméation



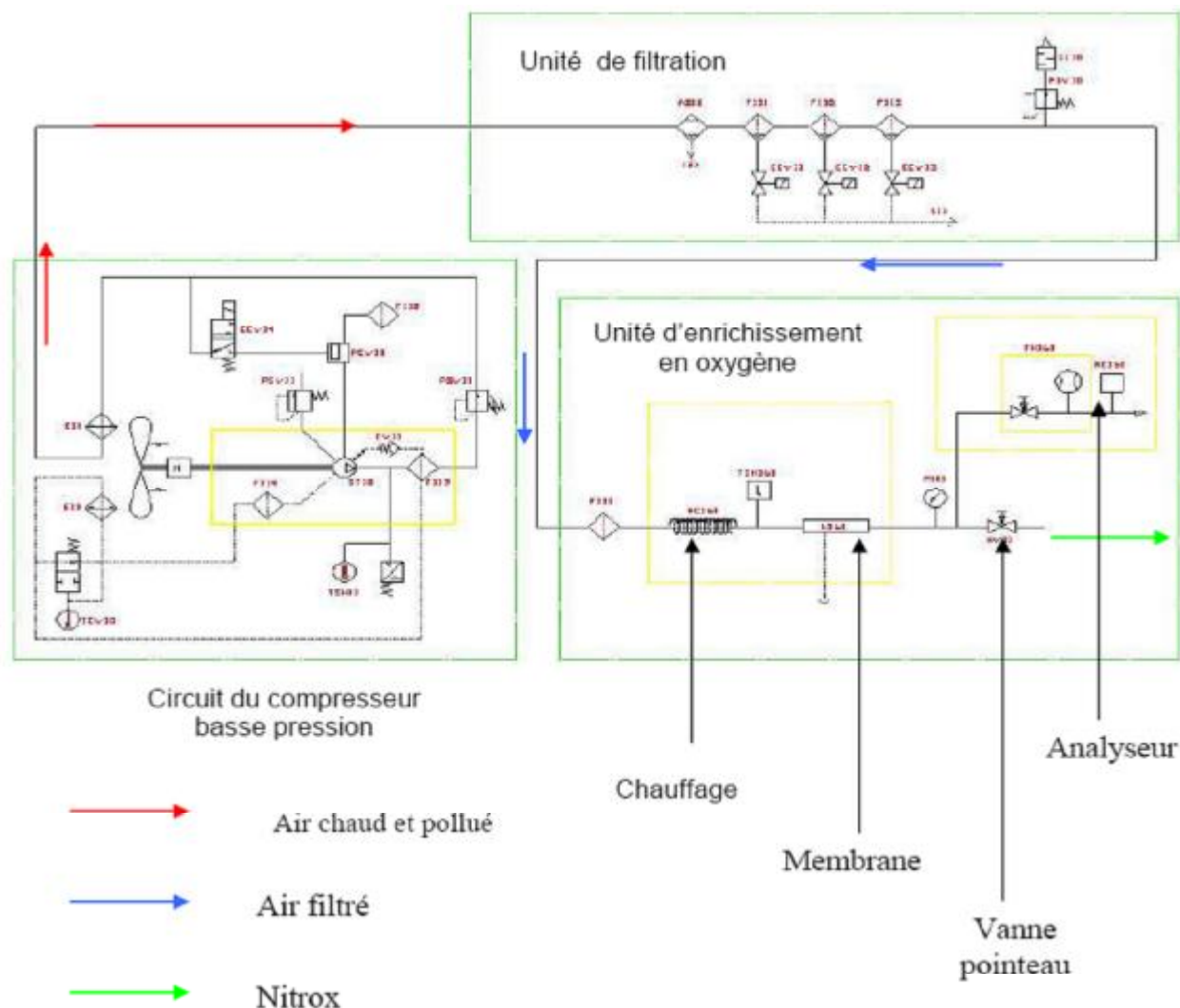


Structure d'une unité de production Nitrox

- Nous trouverons:
 - Ø Un compresseur Basse pression
 - Ø Une unité d'asséchage et de filtrage
 - Ø Une unité de chauffage et séparation
 - Ø Un compresseur HP
 - Ø Une unité de régulation des rapport BP/HP
f(%).
 - Ø Une unité de filtrage final

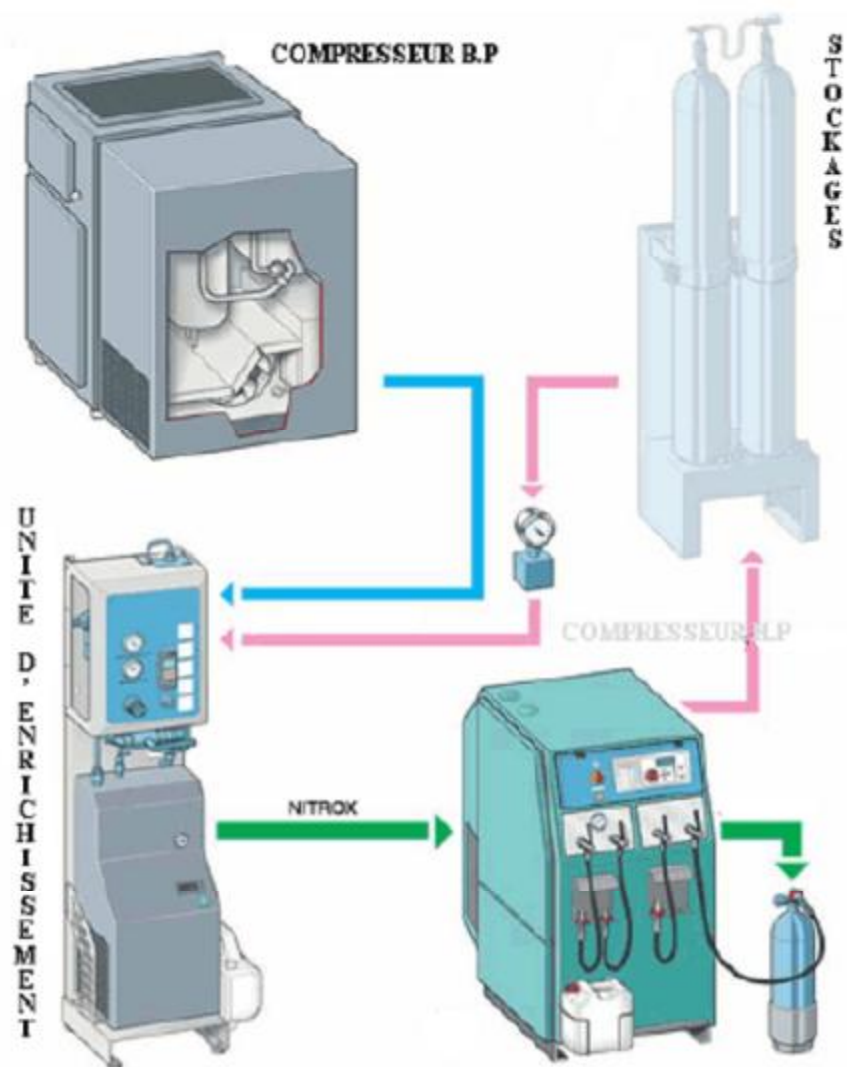


Structure d'une unité de production





Structure d'une unité de production





Quelques modèles disponibles



NXG (Cirrus)



Station de gonflage de BECON les GRANITS





Station de gonflage du Centre Fédéral de TREBEURDEN





Quelques modèles disponibles



B-TROX de chez Bauer



MCH14 COLTRI

JPM IN N°156 Page 41



Quelques modèles disponibles



MIX MASTER (Bargaz)



GX série NRC



Les Systèmes de Mesure



Les systèmes de mesure

Précision:

La précision des voltmètres utilisés dans les mesureurs est de 1 point pour 20.000

Les linéarités sont meilleures que 0,5% sur la totalité de l'échelle.

Les capteurs d'oxygène ont un écart de linéarité de 4%.

Les capteurs d'hélium sont linéaires.

Du fait de l'étalonnage, la précision de la mesure est parfaite pour une valeur égale à la valeur de référence.



Les systèmes de mesure

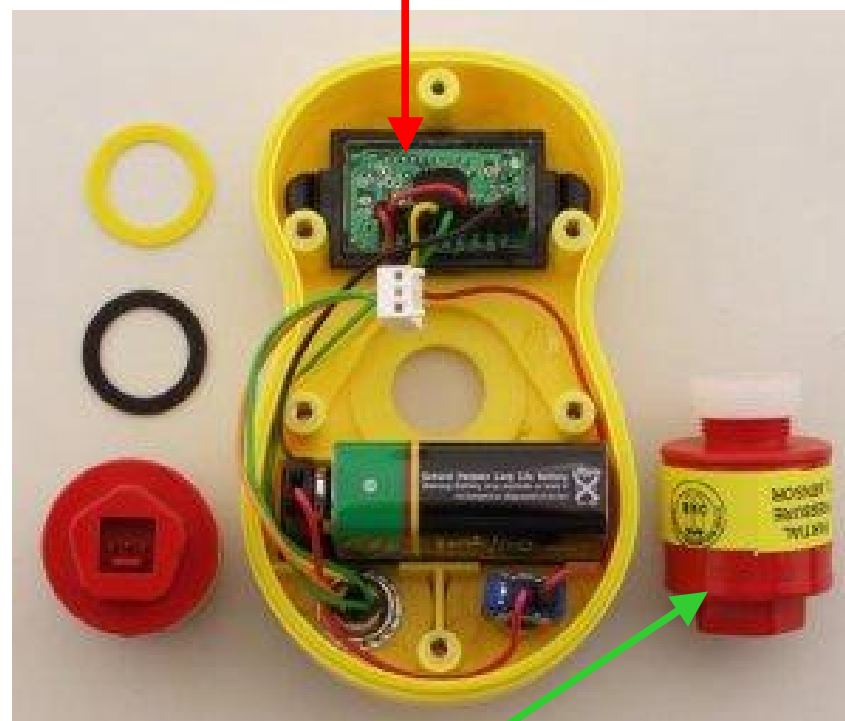
Oxygène:

Le capteur (sonde) une pile dont la tension de sortie est fonction de la concentration en O₂.

Ce capteur vieillit naturellement car cette tension est le résultat d'une oxydation.

Un tarage avant chaque campagne de mesure est nécessaire, et une température constante est conseillée

Voltmètre



Sonde



Les systèmes de mesure

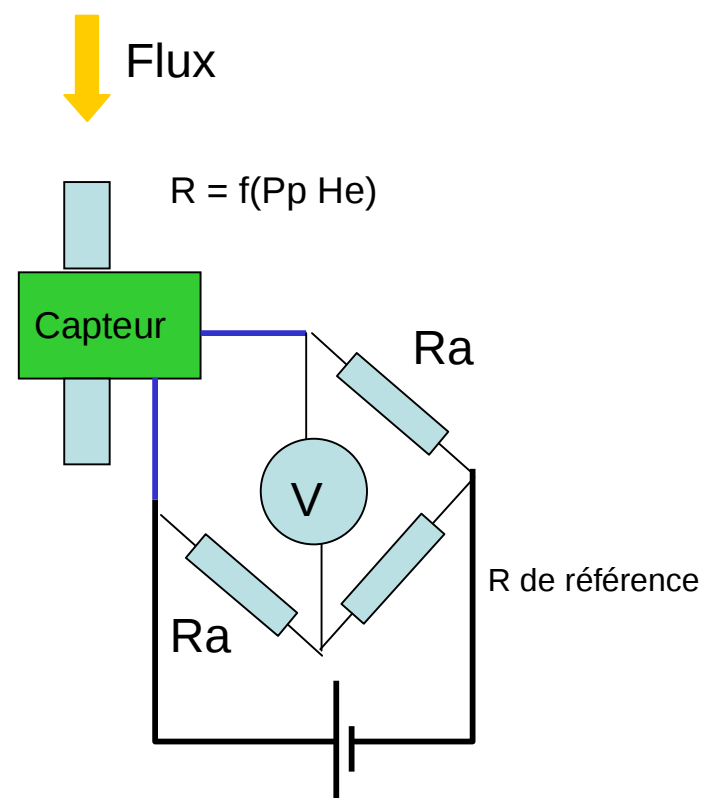
Hélium:

Le capteur mesure la différence de résistance entre une résistance plongée dans une enceinte remplie d'hélium et une résistance plongée dans le mélange à mesurer.

Une tension fonction de cet écart de résistance est générée et mesurée par un voltmètre.

La mesure est donc sensible à la température, à l'humidité et à la vitesse du flux.

Un tarage avec un flux de référence est nécessaire pour stabiliser les conditions de mesure.





Les systèmes de mesure

Événement	Conséquences	Risques	Solutions
Pression supérieur à 1b	Valeur erronée et majorée	Hypoxie	régulation du flux par injecteur, chambre de mesure de volume important, étalonnage systématique
Pile HS	Valeur PpO2 erronée minorée	Hyperoxie	Respect des procédures de contrôle. Mise en doute systématique des mesures. Vérifier l'état de la pile
	Valeur PpHe erronée minorée	Procédure décompression inadaptée	
Défaut capteur	Valeur PpO2 erronée minorée	Hyperoxie	Respect des procédures de contrôle. Mise en doute systématique des mesures
	Valeur PpHe erronée minorée	Procédure décompression inadaptée	



Remerciements

- **Philippe Martinod (INS):**
Mémoire: le Nitrox à la source, Séparation des gaz par membrane polymère.
- **Jean JASTRZEBSKI (IR):**
Exploitant de la station multi gaz; multi solution de Bécon les Granits, spécialiste fabrication TRIMIX.
- **Laurent BOYER (IN):**
Directeur Centre Fédéral de Trébeurden, exploitant générateur Nitrox
- **Joël PRAX:**
Directeur commercial Diving equipment
- **Sylvain Pujolle (IR) :**
Responsable site oxymètre
http://sylvain.fish.free.fr/PM_428_HACK/Page1.htm



MERCI