



STATION DE GONFLAGE INDIVIDUELLE MOBILE



- Le matériel
- Installation dans un véhicule
- Fabrication du Nitrox
- Fabrication du Trimix
- Procédure d'utilisation
- Entretien et coûts
- Rentabilité

JEAN-CLAUDE TAYMANS



Document non libre de droit



Station de gonflage individuelle mobile

AVERTISSEMENTS

Gonfler soi-même ses bouteilles de plongée est un risque et ne peut être pratiquée que par des personnes correctement formées. Le non-respect des règles peut conduire à des blessures graves, des invalidités permanentes ou à la mort.

Ce livre ne remplace pas la formation et n'est pas un substitut à un encadrement professionnel.

L'auteur n'assume dès lors aucune responsabilité quant aux données et informations publiées dans cet ouvrage. L'auteur ainsi que l'éditeur ne peuvent encourir aucune responsabilité, légale ou contractuelle, pour les dommages éventuels encourus en raison de l'utilisation de cet ouvrage.

Toute reproduction d'un extrait quelconque de cet ouvrage, par quelque procédé que ce soit, notamment par photocopie, imprimerie, microfilm est interdite sans l'autorisation de l'auteur.

Copyright © Jean-Claude Taymans, tous droits réservés
2 Rue Mouzin – 7390 Wasmuël – Belgique
jctdive@gmail.com
D\Octobre 2020\Jean-Claude Taymans : Editeur
ISBN 978-2-930747-17-9



Table des matières

TABLEAU DES MISES À JOUR ET MODIFICATIONS.....	5
1. POURQUOI CE DOCUMENT ?	6
2. INVENTAIRE DES BESOINS.	7
3. LE MATÉRIEL	8
3.1. LE COMPRESSEUR	8
3.2. FABRICATION DU NITROX	20
3.3. FABRICATION DU TRIMIX.....	29
4. INSTALLATION DANS UN VÉHICULE.....	36
4.1. QUELLES BOUTEILLES DE GAZ UTILISER ?	40
4.2. MONTAGE DANS UNE REMORQUE	41
5.1. PROCÉDURE DE GONFLAGE	44
5.1. AVERTISSEMENT CONCERNANT L'OXYGÈNE.....	44
5.2. GONFLAGE AIR, NITROX ET TRIMIX	45
6. ESTIMATION ET COMPARAISON DES COÛTS.....	48
6.1. PRIX DES GONFLAGES DANS LE COMMERCE.....	48
6.2. COÛT DU MATÉRIEL ET AMORTISSEMENT	48
6.3. COÛT DES ENTRETIENS ET DE L'ÉNERGIE	49
7. RENTABILITÉ	50
7.1. HYPOTHÈSES	50
7.2. ESTIMATION DE LA RENTABILITÉ	51
8. BRUIT, LÉGALITÉ, TRANSPORT, ASSURANCE	52
8.1. BRUIT ET CONVIVIALITÉ	52



Station de gonflage individuelle mobile

8.2. ASPECTS LÉGAUX	54
8.3. TRANSPORT	55
8.4. ASSURANCES.....	55
9. ANALYSE DES RISQUES	56
9.1. DÉFINITIONS	58
9.2. MÉTHODE KINNEY	58
9.3. APPLICATION DE LA MÉTHODE KINNEY.....	62
10. ANNEXE	65
10.1. QUALITÉ DE L'AIR SUIVANT LA NORME EN12021.....	65
10.2. OXYGÈNE QUALITÉ DIVOX	65
10.3. HÉLIUM 4.6.....	66
10.4. ADRESSES UTILES	66
11. BIBLIOGRAPHIE	68

TABLEAU DES MISES A JOUR ET MODIFICATIONS.

Version	Date	Remarques
Vers. 1.00	Octobre 2020	Version originale
Vers. 1.01	Octobre 2020	Ajout paragraphes Transport et assurance Mise à jour suivant « Peer review » 3.1.1. Note complémentaire sur le tamis moléculaire 5.1. Procédure de gonflage 8.1. Bruit
Vers 1.02	Novembre 2020	Analyse des risques
	Janvier 2022	Dessin remorque, procédure d'arrêt



1. POURQUOI CE DOCUMENT ?

Régulièrement lorsque je gonfle mes bouteilles sur les parkings d'un site de plongée, des plongeurs viennent me poser des questions sur ma station de gonflage individuelle.

Les questions habituelles sont : Comment à tu fabriquer ta station ? Comment fait-on les entretiens et qui ? Où peut-on trouver les différents composants ? Peux-tu gonfler sur le site ? Est-ce que ce n'est pas dangereux ? Cela ne fait pas trop de bruit ? La question récurrente, qui revient dans toutes les discussions : Cela coûte combien ?

Il n'est pas facile de répondre rapidement à certaines questions sans les nuancer. Le titre du document est « Station de gonflage individuelle mobile ». Ce qui signifie : Que c'est une station de gonflage qu'on emporte sur les sites de plongée¹ dans un véhicule ou sur une remorque et que c'est une station de gonflage destinée à gonfler pour un nombre restreint de personnes à l'exclusion de l'ensemble d'un club de plongée² !

Une question fondamentale : Ai-je besoin d'une station de gonflage individuelle, a fortiori mobile ? Pour répondre à cette question, il faut faire un inventaire, le plus précis possible de ces besoins.

¹ Principalement des sites de plongée en partant du bord

² Note humoristique de l'auteur: Lorsqu'on a sa propre station de gonflage, on se fait rapidement des « vrais » « faux » amis dans le club de plongée.



2. INVENTAIRE DES BESOINS.

Pour décider de l'opportunité d'une station de gonflage et son dimensionnement, il convient de répondre à quelques questions :

- Combien de plongeurs vont bénéficier de la station ?
- Combien de gonflage annuel ?
- Quels gaz vais-je comprimer uniquement de l'air mais aussi du Nitrox et du Trimix ?
- Immédiatement après la plongée, combien de m³ faut-il gonfler en moyenne et combien de temps suis-je disposé à y consacrer ?
- Quels sont les possibilités financières et est-il concevable de demander un prêt ?
- A proximité directe des sites de plongée que je fréquente le plus couramment, y a-t-il un centre de gonflage ? Si oui ont-ils les gaz que je désire et à quel prix ?
- Près de mon domicile, y a-t-il un centre de gonflage qui peut me fournir les gaz que je désire et à quel prix ?
- A quelle distance se trouve le centre de gonflage, qui est susceptible de me fournir les gaz que je désire et à quel prix ?
- Les heures d'ouverture d'un centre de gonflage susceptible de me fournir les gaz que je désire sont-elles compatibles avec mes horaires ?
- Combien de temps puis-je consacrer pour aller gonfler dans un centre de gonflage ?
- Puis-je utiliser ma station de gonflage mobile à mon domicile ?
- Ai-je, a mon domicile un endroit sécurisé (garage...) pour entreposer ma station de gonflage mobile ?

On peut aussi être moins pragmatique et décider de faire sa station de gonflage mobile car on estime que c'est une facilité dont on n'a pas envie de se priver !



3. LE MATERIEL

En fonction des gaz que le plongeur compte utiliser, la conception de la station de gonflage sera plus ou moins complexe. Si on n'utilise que de l'air un compresseur suffit. Pour le Nitrox il faudra ajouter un stick simple et pour le Trimix un stick double. L'avantage du stick réside dans le fait qu'il est possible d'utiliser l'oxygène et l'hélium jusqu'à la « dernière goutte ». Avantage non négligeable étant donné le prix de l'hélium.

3.1. Le compresseur

Débit	6m ³ /h	12m ³ /h
Moteur (HP)	5,5	9
Masse (Kg)	40	95
Longueur (m)	0,7	1
Largeur (m)	0,4	0,5
Hauteur (m)	0,4	0,6
Surface sol (m ²)	0,28	0,5
Volume (m ³)	0,112	0,3

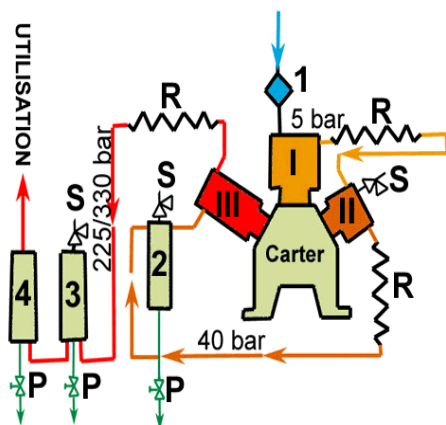


Le compresseur est l'élément central de la station de gonflage. Pour une station de gonflage individuelle mobile, le choix se porte essentiellement vers des compresseurs de 6m³/h à 12m³/h (100 l/min à 200l/min) 200 ou 300 bar suivant la pression nominale des bouteilles à gonfler. Cette capacité est suffisante pour assurer, avec un délai raisonnable, le gonflage des bouteilles de deux ou trois plongeurs.

La motorisation du compresseur est assurée par moteur thermique essence semblable aux moteurs de tondeuse. Les marques de moteur le plus couramment utilisés sont : Honda, Yamaha et Subaru. Les principaux fabricants de compresseurs mobiles sont Coltri, Bauer, Alkin, L&H, Nardi



Station de gonflage individuelle mobile

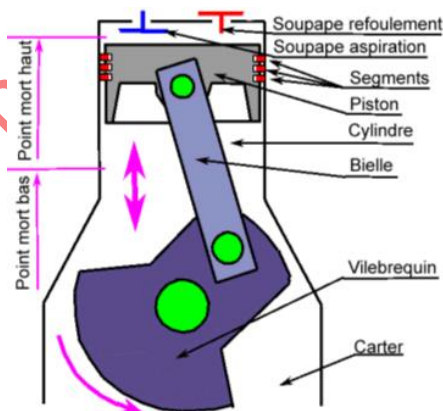


I=Premier étage
II=Deuxième étage
III=Troisième étage

R=Refroidisseur
S=Soupape de sûreté
P=Décharge de condensat

1=Filtre d'aspiration
2=Filtre intermédiaire
3=Séparateur huile & eau
4=Filtre

Les prix³ oscillent, suivant la marque et le fournisseur entre 2600 et 3200 euros. Dans ce créneau, Coltri à la part de marché la plus importante ! Les compresseurs utilisés, sont du type à pistons. Le compresseur de plongée se compose, schématiquement, d'un bloc de compression à trois ou quatre étages munis de soupapes de sûreté et séparés par des refroidisseurs ; D'un filtre d'aspiration destiné à éliminer les poussières, d'un séparateur d'huile et eau, d'un filtre à charbon actif. Séparateur et filtres sont pourvu d'une soupape de décharge des condensats.

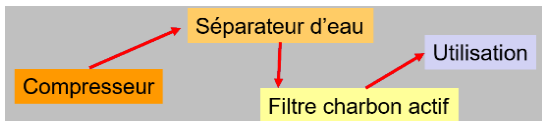


³ Prix 2020 TTC, moteur essence inclus.

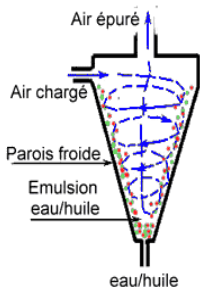


Station de gonflage individuelle mobile

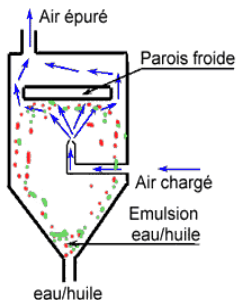
3.1.1. Séparateur d'eau et filtre à charbon actif



Séparateur cyclonique



Séparateur par impact



Séparateur d'eau et filtre à charbon actif sont des éléments indissociables et primordiaux pour la qualité de « l'air respirable »⁴ conforme à la norme [EN 12021](#). Pour l'efficacité optimale du filtre à charbon actif, il est impératif que le gaz comprimé soit le plus sec possible.

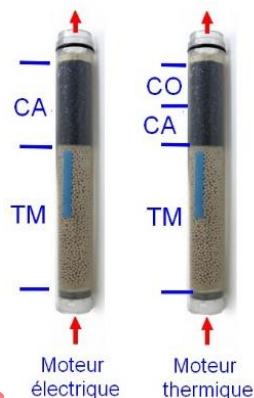
Le séparateur d'eau ou décanteur a pour objectif de réaliser une première élimination, assez grossière, de l'eau et des traces d'huile de lubrification dans le gaz respiratoire. L'air chaud chargé de particules est mis en mouvement tourbillonnaire par effet cyclonique. La combinaison entre la force centrifuge et la gravité séparent les particules d'huile contenues dans le gaz respiratoire. La vapeur d'eau se condense au contact des parois froides. On obtient un effet similaire en projetant le gaz respiratoire chaud directement sur une paroi froide. Le décanteur élimine 90 à 95% de l'huile et de la vapeur d'eau. Les condensats sont recueillis à la partie inférieure de l'appareil.

⁴ Lors de l'achat du compresseur, surtout si on achète sur internet, il faut s'assurer que le compresseur à un système de filtration pour « Air respirable ». En effet, des compresseurs vendus pour le paintball sont dépourvu de filtres.



Station de gonflage individuelle mobile

L'étape suivante consiste à affiner l'extraction de l'humidité résiduelle en faisant passer le gaz respiratoire sur un tamis moléculaire⁵. Celui-ci se présente sous la forme de petites billes blanche-brunâtre. Par la suite, le gaz respiratoire passe sur du charbon actif afin d'éliminer les traces d'huile et les odeurs. Pour les petits compresseurs le tamis moléculaire et le charbon actif se trouvent dans la même cartouche. Les deux produits sont séparés par une rondelle de feutre.



Lors du remplacement de la cartouche, il faut être attentif à ne pas se tromper de sens.

Le charbon actif n'élimine PAS le monoxyde de carbone (CO). Il faut donc être très prudent lors du gonflage et éloigné l'aspiration d'air du pot d'échappement. A l'heure actuelle, des fabricants ont mis sur le marché des cartouches contenant un catalyseur⁶ qui transforme le monoxyde de carbone (CO) en dioxyde de carbone (CO₂). Ce catalyseur élimine aussi l'ozone, mais nécessite un gaz très sec ! Le tamis moléculaire absorbe légèrement le dioxyde de carbone (CO₂). C'est la raison pour laquelle certaines cartouches ont une couche de tamis moléculaire après le catalyseur.

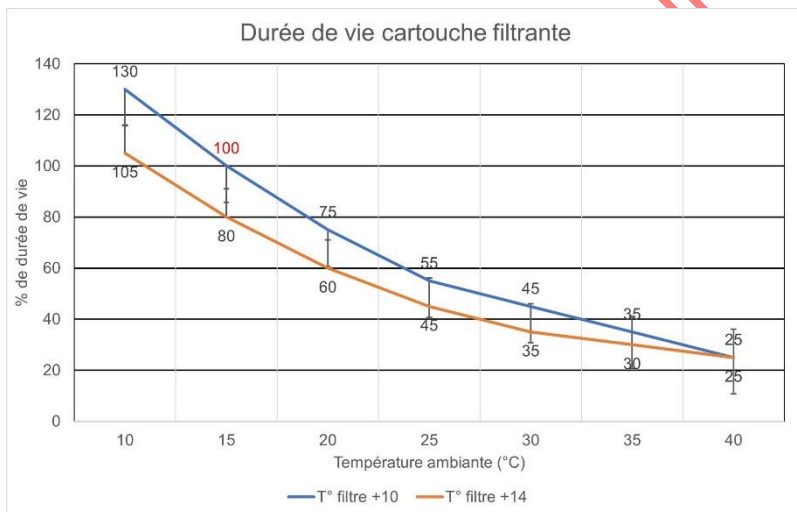
⁵ C'est un minéral à base de silice à structure cristalline tridimensionnelle. Les cavités ont la propriété d'adsorber les molécules d'eau.

⁶ L'HopCalite est un mélange contenant principalement de l'oxyde de cuivre (CuO), de l'oxyde de manganèse (MnO). Ce produit a été mis au point en 1920 à l'université Johns Hopkins et à l'université de Californie.



Station de gonflage individuelle mobile

La durée de vie d'une cartouche⁷ diminue avec la température du gaz respiratoire à l'entrée du filtre et la température à l'entrée du filtre est conditionnée par la température ambiante. En moyenne, la température à l'entrée du filtre est de 10 à 14°C supérieure à la température ambiante. L'indication de la durée de vie est souvent exprimée en Normo mètre cube (Nm³)⁸.



Le graphique donne une estimation, en pourcentage, de la durée de vie d'une cartouche filtrante par rapport aux conditions normales et pour un compresseur bien ventilé. L'indice 100% est pour une température ambiante de 15°C et une température à l'entrée du filtre de 25°C. La courbe bleue (T° filtre + 10)

⁷ Note de l'auteur : Il convient de se montrer prudent. Les indications des fabricants de cartouches et / ou des revendeurs peuvent être floues. On ne sait pas toujours si les indications font référence à la température ambiante ou à la température à l'entrée du filtre. Pour une même cartouche, il n'est pas rare de trouver, suivant le site, des durées de vie qui vont du simple au double !

⁸ Le Normo mètre cube (anciennement Normal mètre cube) exprime une quantité de gaz dans des conditions normales c'est-à-dire à la pression de 1 atm et à la température de 15°C (norme ISO 2533) ou 0°C (norme DIN 1343). Si la norme n'est pas précisée, l'indication reste floue !



Station de gonflage individuelle mobile

Correspond a une température d'entrée du filtre de 10°C supérieure à la température ambiante. La courbe orange (T° filtre + 14) Correspond a une température d'entrée du filtre de 14°C supérieure à la température ambiante.
Exemple : un constructeur donne pour sa cartouche une capacité de 130 Nm³ suivant la nomen ISO 2533. A la température ambiante de 25°C la capacité de la cartouche sera réduite entre 45 et 55% de sa capacité nominale. Elle ne pourra donc filtrer que 59 à 72 m³ de gaz respiratoire

Type de cartouche et utilisation		
Marquage	Composition	Utilisation recommandée
CA/TM/CO	Charbon actif / Tamis moléculaire / Catalyseur de CO	<u>Moteur thermique.</u> Air, Nitrox et Trimix au stick
CA/TM	Charbon actif / Tamis moléculaire	<u>Moteur électrique.</u> Air, Nitrox et Trimix au stick
CA	Charbon actif	Hélium, Argon

Les cartouches CA/TM/CO ont en moyenne une capacité de filtration inférieure de 15% par rapport aux cartouches CA/TM.

Lors du gonflage, il faut veiller à ce l'air puisse circuler librement autour du compresseur.

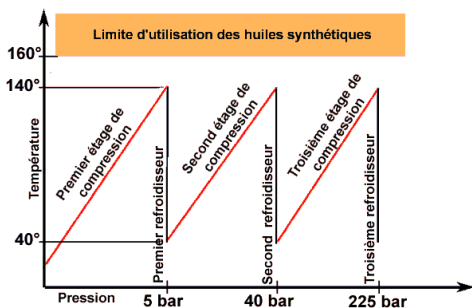
3.1.2 Lubrification et le refroidissement du compresseur

La lubrification et le refroidissement du gaz comprimé entre les différents étages du compresseur sont des fonctions essentielles. La vie du compresseur en dépend ! Dans le cas des petits compresseurs, la lubrification est assurée par barbotage. Lors de sa rotation, le vilebrequin va projeter l'huile qui se trouve dans le fond du carter sur les pièces en mouvements. Pour assurer une lubrification optimale, le carter doit être rempli correctement et le compresseur doit être à l'horizontal.

Trop ou pas assez d'huile affecte la qualité de la lubrification.

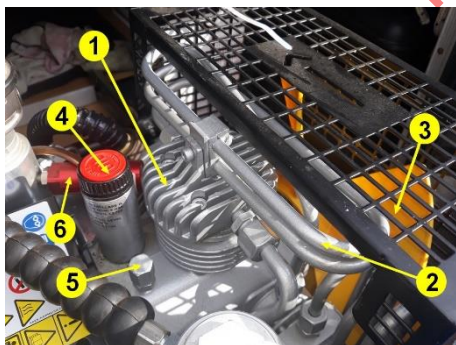


Station de gonflage individuelle mobile



A l'heure actuelle, on utilise principalement des huiles de synthèse⁹, qui résistent mieux aux hautes températures et qui ont une faible toxicité ! A haute température, l'action combinée de la température et de la pression partielle

d'oxygène (ppO_2) du gaz respiration peut désagréger l'huile et libérer des composés toxiques (COV)¹⁰. En pratique la température du gaz comprimé est limitée à 140°C. Au-delà les huiles se désagrègent et ne peuvent plus assurer une lubrification correcte des éléments mécaniques.



1. Carter
2. Serpentin de refroidissement
3. Ventilateur
4. Bouchon de remplissage et jauge d'huile
5. Mise à l'air du carter
6. Soupape de surpression

Il ne faut jamais mélanger des huiles différentes. Ne JAMAIS utiliser l'huile pour le moteur thermique dans le compresseur et

⁹ Contrairement à une idée très répandue, ce ne sont ni des huiles végétales, ni des huiles alimentaires. Une huile alimentaire peut être bue, sans trop de problèmes, mais pas inhalée dans les poumons (paraffinose) !

¹⁰ Composés Organiques Volatils



Station de gonflage individuelle mobile

vice versa. Utiliser de préférence l'huile préconisé par le fabriquant¹¹ !

Le refroidissement du compresseur est non seulement important pour garantir le bon fonctionnement de la machine, mais aussi et surtout pour ne pas compromettre la qualité du mélange respiratoire. Pour les compresseurs portable, le refroidissement est assuré par la circulation d'air autour de la machine. L'air pulsé par un ventilateur refroidi le carter et le gaz respiratoire qui passe dans une série de serpentins. Ces serpentins se trouvent entre les différents étages de compression. Le carter est muni d'ailettes pour assurer une meilleure évacuation de la chaleur.

3.1.3. Le filtre d'aspiration



L'air atmosphérique contient un nombre plus ou moins important d'impuretés : poussières, particules fines, cendre, sable... Celles-ci peuvent être abrasives et endommager rapidement les cylindres, soupapes et pistons du compresseur. Pour éviter ce genre de désagrément, on place sur l'aspiration du compresseur un

¹¹ Note de l'auteur : Depuis quelques années, les fabricants n'indiquent plus dans leurs manuels les huiles compatibles pour leurs compresseurs. Ils vendent, sous leur marque, à des prix prohibitifs des lubrifiants achetés ailleurs. Ni Bauer, ni Coltri, ni tous les autres ne distillent des lubrifiants, Aluchem, Shell... s'en charge à leur place ! Heureusement nos petits compresseurs n'utilisent pas beaucoup de lubrifiants, le prix au litre est donc d'une importance toute relative. Une huile assez universelle : Shell Corena S2 P150 (Bauer) et Alusynt CE 750 Plus (Coltri)



Station de gonflage individuelle mobile

filtre sec en papier plissé. Ce type de filtre présente l'avantage d'avoir une grande surface filtrante pour un volume réduit.

Il ne faut jamais faire tourner le compresseur sans ce filtre et il faut le nettoyer ou le remplacer régulièrement.

3.1.4. Soupape de surpression

La soupape de surpression est un élément primordial. Elle évite de gonfler les bouteilles au-delà de leur pression nominale. Le tarage doit correspondre à la pression maximale d'utilisation de la bouteille. Il ne faut jamais gonfler une bouteille 200 bar avec une soupape tarée pour une bouteille 300 bar, cela représente un danger mortel !

Il faut vérifier régulièrement le bon fonctionnement de cette soupape. On procède comme suit :

1. Connecter le compresseur à une bouteille de plongée. Cette bouteille restera fermée durant toute la vérification.
2. Après avoir ouvert les purges de condensat, lancer le moteur.
3. Fermer les purges de condensats. La pression va monter rapidement dans le circuit. A la pression de tarage de la soupape, celle-ci va s'ouvrir avec un bruit caractéristique. Si ce n'est pas le cas, cela signifie que la soupape est défectueuse.
4. Ouvrir les purges de condensat pour faire chuter la pression dans le circuit.

Pression (bar)	
Service	Tarage
200	225
232	250
300	330

Les soupapes de surpression sont tarées en usine. Il ne faut jamais modifier le tarage de la soupape.

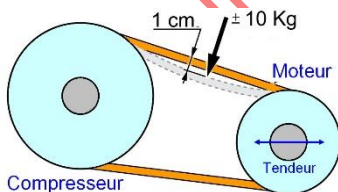


Station de gonflage individuelle mobile

3.1.5. Moteur et la transmission

Pour une station de gonflage individuelle mobile, l'entraînement du compresseur se fait forcément, en l'absence d'une ligne électrique, par un moteur thermique. Le plus généralement un moteur à essence ayant une puissance comprise entre 5,5 et 9 HP.

La liaison entre le moteur et le compresseur est assurée par un jeu de poulies et une courroie trapézoïdale. La vérification de la tension de la courroie doit se faire régulièrement. La courroie se tend en tirant simplement sur le moteur. Lorsqu'on tend la courroie, il faut veiller à maintenir le bon alignement des poulies, sous peine d'avoir une usure anormale de la courroie.



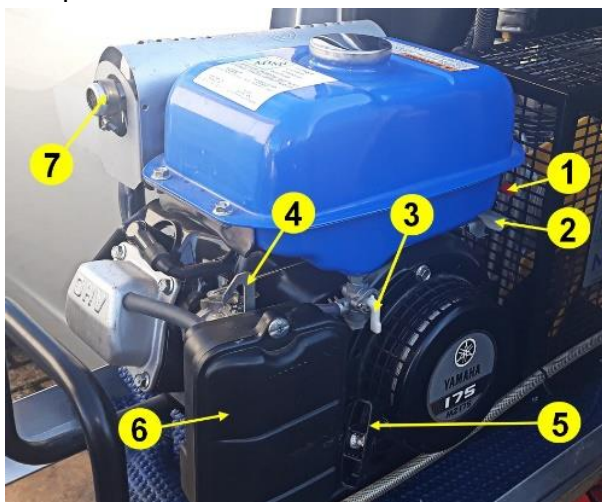
La lubrification du moteur se fait par barbotage dans l'huile se trouvant au fond du carter. Comme pour le compresseur :

Trop ou pas assez d'huile affecte la qualité de la lubrification. Il faut utiliser de l'huile pour moteur thermique quatre temps (Ne pas utiliser l'huile du compresseur) du type SAE 10W-30.



Station de gonflage individuelle mobile

Le lancement du moteur se fait à vide. Les purges de condensat doivent être ouvertes, de cette manière le compresseur démarre avec un minimum de charge.



1. Interrupteur de l'allumage. Mettre vers le bas (On) pour démarrer et vers le haut pour arrêter le moteur
2. Levier de vitesse. (Sur certains moteurs, ce levier est bloqué en usine pour obtenir la bonne vitesse de rotation du compresseur)
3. Robinet alimentation essence
4. Starter. A utiliser pour lancer le moteur à froid
5. Poignée du démarreur
6. Filtre à air
7. Pot d'échappement



Station de gonflage individuelle mobile

3.1.6. Purge et arrêt automatique

Prohibitif et tout à fait inutile pour une station de gonflage individuelle mobile étant donné que lors du gonflage le matériel est surveillé.

L'arrêt automatique en cas de fabrication de Nitrox au stick est totalement prohibé, car l'arrêt automatique ne coupe pas l'arrivée d'oxygène pur¹² sur un compresseur à moteur thermique

Pour éviter l'humidité dans la bouteille de plongée, il faut purger régulièrement les condensats du séparateur d'eau (Rep A) et du filtre à charbon actif (Rep B).

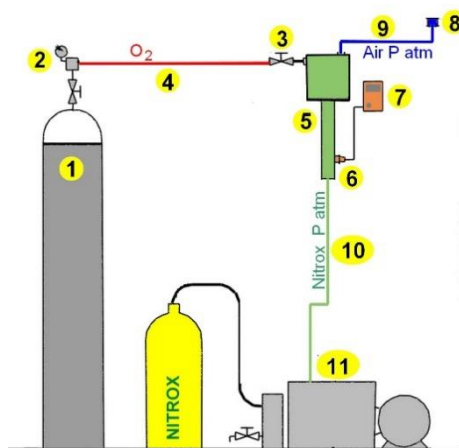


¹² L'arrêt automatique coupe simplement le circuit d'allumage du moteur essence



3.2. Fabrication du Nitrox

La fabrication du Nitrox au stick constitue la manière la plus économique de fabriquer un Nitrox contenant au maximum 40% d'oxygène. Néanmoins ce procédé présente des risques, puisqu'on travaille avec de l'oxygène pur ([Cf. § 5.1](#))



1. Bouteille¹³ O₂ – 200/300 bar
2. Manodétendeur / débitmètre
3. Micro-vanne de laminage
4. Flexible BP compatible O₂
5. Stick
6. Sonde mesure oxygène
7. Analyseur O₂
8. Filtre d'aspiration d'air
9. Flexible annelé
10. Flexible annelé
11. Aspiration du compresseur

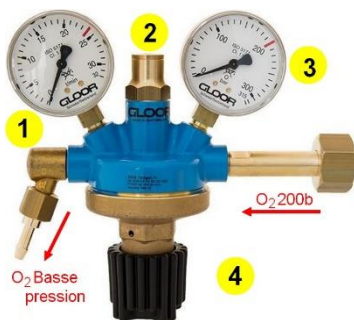
Il faut être particulièrement attentif en cas d'arrêt intempestif du compresseur étant donné que sur une station mobile, il n'y a pas d'électrovanne pour couper l'alimentation en oxygène.

¹³ Note de l'auteur : Les gaziers proposent souvent du Diveox (oxygène plongée) moins cher que le médical, mais nettement plus cher que la qualité 2.5. Cependant ce sont techniquement les mêmes gaz, purs à 99,5%. Les 0,5% étant des traces d'azote (N₂). Personnellement j'utilise depuis près de 30 ans du 2.5. A chacun de faire ses choix.



Station de gonflage individuelle mobile

3.2.1. Manodétendeur – débitmètre



1. Débitmètre
2. Soupape de surpression
3. Manomètre
4. Molette de réglage du débit

Le manodétendeur pour fonction de réduire la pression à une dizaine de bar au maximum. Il devra être compatible oxygène et équipé d'un débitmètre, d'une soupape de surpression et d'un manomètre. Ce matériel doit être

particulièrement costaud¹⁴, pour une application mobile, ce qui exclut les débitmètres en verre. Le choix des caractéristiques sont fonctions de :

- Pression dans la bouteille d'oxygène. 200 ou 300 bar
- Du débit d'oxygène qu'on doit obtenir. Ce débit est fonction du débit du compresseur. Ce débit peut se calculer avec la relation suivante :

$$Q_{O_2} = \frac{Q_c(0,01N_x - 0,21)}{0,79}$$

Q_{O_2} : débit d'oxygène en litre/minute (normaux)

Q_c : débit du compresseur en litre/minute (normaux)

N_x : % d'oxygène dans le Nitrox

l/min (m³/h)	Compresseur 6m³/h – $Q_c=100$			Compresseur 9m³/h – $Q_c=150$		
	Q_{O_2}	$Q_{O_2\text{moyen}}$	$Q_{\text{manodét}}$	Q_{O_2}	$Q_{O_2\text{moyen}}$	$Q_{\text{manodét}}$
NX30	12 (0,72)	18 (1,08)	30 (1,80)	17 (1,02)	27 (1,62)	50(3,00)
NX40	24 (1,44)			36 (2,16)		

¹⁴ Note de l'auteur : Personnellement j'utilise un manodétendeur industriel « Gloor », qui est une référence en la matière.

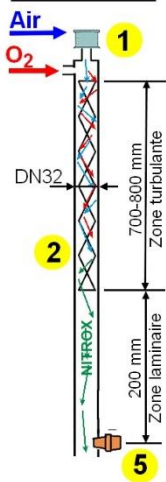


Station de gonflage individuelle mobile

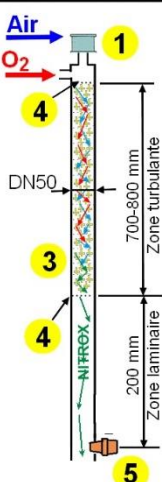
3.2.2. Stick

Le stick (cane) a pour but de mélanger, à la pression atmosphérique, de l'air avec de l'oxygène afin d'obtenir un mélange homogène à l'entrée du compresseur. La teneur en oxygène de ce mélange ne pourra pas dépasser 40%. Le stick n'est donc qu'un simple mélangeur. Le mélange peut se faire dans une boîte à chicanes, par l'intermédiaire d'une hélice ou même en utilisant les propriétés cycloniques des décanteurs. L'hélice pourra être remplacée par des croisillons de carreleur ou même un empilement de maillons de chaîne en PVC. Le compresseur étant une machine cyclique (flux pulsé) et le débit d'oxygène continu, pour éviter d'envoyer une rasade d'oxygène dans les cylindres du compresseur (peu de chance qu'il apprécie) il faut éloigner l'injection d'oxygène du compresseur. La colonne d'air servant ainsi d'amortisseur. Le Stick permet d'allonger artificiellement la colonne d'amortissement.

Stick à hélice



Stick à croisillons



1. Filtre à air
2. Hélice
3. Croisillons
4. Grille
5. Sonde O₂

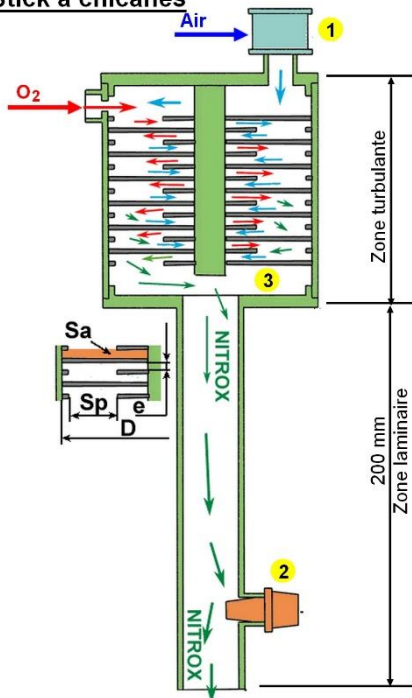
Le stick est composé de deux zones, une zone turbulente où l'air et l'oxygène sont mixés et une zone laminaire pour faciliter la mesure de la concentration en d'oxygène. Pour qu'un stick à hélice soit efficace il faut avoir au minimum cinq à six spirales sur une longueur de l'ordre de



Station de gonflage individuelle mobile

700 à 800 mm dans un tube DN32 (débit 6 à 12 m³/h). L'hélice peut être remplacé par des croisillons de carreleur en augmentant un peu le diamètre du tube (DN 50)

Stick à chicanes



1. Filtre à air
2. Sonde O₂
3. Chicanes

Le stick à chicane est nettement plus compact en longueur mais pas en diamètre. Pour qu'il soit efficace il faut au moins une dizaine de chicanes. Pour un débit entre 6 à 12 m³/h, les sections annulaires (Sa) et les sections de passage (Sp) doivent être de l'ordre de 350 mm² ce qui pour un diamètre D=100mm induit une distance (e) entre chicanes de 5 à 6 mm.

3.2.2.1. Avantages

- Pas de filtre supplémentaire
- Facile à déplacer
- Convient aux installations mobiles
- Procédé peu coûteux
- Convient à tous les types de compresseur



Station de gonflage individuelle mobile

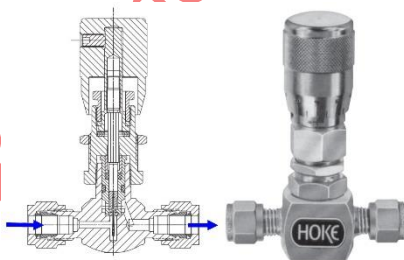
- Procédé très précis
- Matériel peu coûteux, de faible encombrement et facile à installer
- Possibilité de vider entièrement les bouteilles d'oxygène
- Convient parfaitement aux petites installations
- Procédé statique qui ne nécessite aucun entretien
- Mélange directement homogène, on peut l'utiliser sans délai d'homogenisation
- Peu de perte de charge, par rapport au filtre DnAx
- Pas d'entretien spécifique

3.2.2.2. Inconvénients

- Nitrox limité à 40%
- Dangerosité de la manipulation de l'oxygène pur ([Cf.§5.1](#)).

Le danger le plus important dans l'utilisation du Stick est de laisser par distraction la vanne de laminage ouverte à fond et d'ouvrir brutalement la vanne de la bouteille d'oxygène.

3.2.3. Micro-vanne de laminage



[Document LAA-France](#)

Cette vanne à pointeau ou à aiguille, permet de régler finement le débit d'oxygène et donc le pourcentage d'oxygène dans le Nitrox. Placée sur le stick, elle permet d'interrompre très rapidement l'alimentation en oxygène en cas de

défaillance du compresseur. Pour un fonctionnement optimal,



Station de gonflage individuelle mobile

la vanne doit être correctement dimensionnée. Il faut déterminer le plus précisément possible son coefficient de débit (C_v), ce qui pour un gaz n'est souvent qu'une approximation plus ou moins réaliste en fonction de l'exactitude des hypothèses de départ !

Le Coefficient de débit peut s'estimer à l'aide des relations suivantes :

$$C_v = \frac{Q}{1360 \sqrt{A}} \quad A = \frac{210 (P_1 - P_2) P_1}{d ((1,8 T) + 492)}$$

Avec :

P_1 : Pression absolue à l'entrée de la vanne (bar)

P_2 : Pression absolue à la sortie de la vanne (bar)

Q : débit du gaz dans des conditions normales (Nm^3/h)

T : Température du gaz ($^{\circ}\text{C}$)

d : Coefficient de densité du gaz

1 pour de l'air à 21°C et 1 atm : 1,05 pour N_2 et +/- 0,15 pour l'He¹⁵

Hypothèses :

$(P_1 - P_2) = 0,5$ $P_1 = 1,5$ bar (Maximum efficace)

$d = 1,05$ (l'oxygène est légèrement plus dense que l'air)

$T = 5^{\circ}\text{C}$ (estimation de la température après détente de l'oxygène)

$P_1 : 3$ bar (Suivant la soupape de surpression du détendeur)

Suivant ces hypothèses :

$$A = \frac{210 \times 1,5 \times 3}{1,05 ((1,8 \times 5) + 492)} = \frac{945}{522} = 1,81$$

$$\sqrt{A} = \sqrt{1,81} = 1,35$$

Avec ces données, le C_v pour des compresseurs de 6 à 9 m^3/h sera de l'ordre de 0,0008 à 0,0012. La régulation sera d'autant meilleure que le C_v de la vanne correspond à cette plage de

¹⁵ Valeur estimée à la « louche »



Station de gonflage individuelle mobile

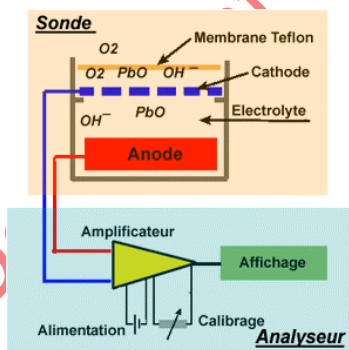
valeur. Le prix des vannes micrométriques est élevé. Souvent on se contente d'une vanne à pointeau « ordinaire » et le réglage se fait sur un ou deux tours au lieu de la vingtaine de tour d'une vanne micrométrique.

3.2.4. Filtre à air

La solution la plus simple est de déplacer le filtre à air du compresseur et le placer en amont du stick. De cette manière toute la ligne d'aspiration est protégée des impuretés contenues dans l'air atmosphérique.

3.2.5. Analyseur et sonde oxygène

La majorité des analyseurs utilisés sont à cellule électrochimique. Le capteur d'oxygène est basé sur l'effet de pile. La différence de potentiel entre l'anode et la cathode de cette pile sera proportionnel à la quantité d'oxygène qui va traverser une paroi semi-perméable. Il suffit d'un voltmètre gradué en pourcentage pour assurer la mesure. Mais ce type d'appareil nécessite un calibrage.



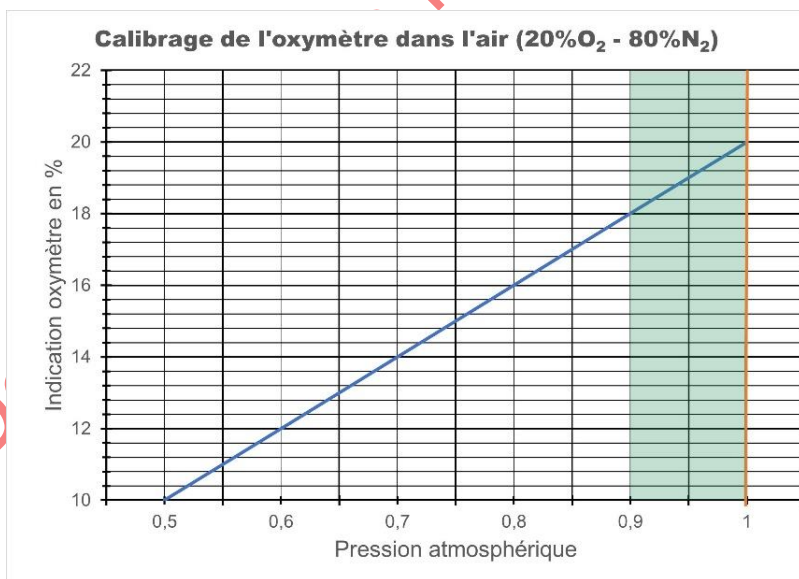
Le courant produit par la sonde est la conséquence des réactions chimiques qui ont lieu en son sein. L'oxygène s'infiltre au travers d'une membrane de téflon pour se dissoudre dans un liquide, l'électrolyte. Au contact de la cathode (plomb ou cadmium), il se produit une réaction qui produit des électrons. Simultanément l'anode s'oxyde en fournissant de l'énergie. La différence de potentiel entre l'anode et la cathode



Station de gonflage individuelle mobile

est proportionnelle à la quantité d'oxygène. La réaction d'oxydation mange la matière de l'anode ce qui explique que la durée de vie de la cellule est limitée. Dès que la matière de cette anode devient insuffisante la cellule tombe en panne de « carburant ». La production d'électrons engendre entre l'anode et la cathode un courant électrique (entre 10 et 25 mV) que l'on peut amplifier et mesurer. Un potentiomètre servant au calibrage de l'analyseur. L'alimentation de l'analyseur ne sert pas comme on le pense généralement à fournir de l'énergie à la sonde, mais sert uniquement à fournir de l'énergie au circuit électrique.

La durée de vie d'une cellule est de 24 à 30 mois. Même sans être connectée à l'analyseur la cellule travaille, les réactions chimiques se font et elles réduisent la durée de vie. Il ne faut jamais acheter directement des cellules de réserve.





Station de gonflage individuelle mobile

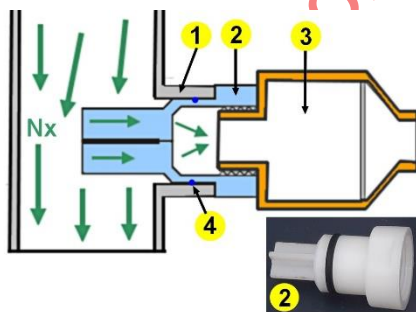
L'appareil ne mesure pas un % d'oxygène mais mesure la pression partielle de l'oxygène. Si la pression atmosphérique n'est pas égale à 1 bar il faut utiliser une correction lors du calibrage.

Les variations de température et d'humidité sont compensées par l'appareil.



[Document NTS](#)

Pour la fabrication du Nitrox au stick, le choix se portera vers un analyseur possédant une cellule séparée avec un temps de réponse court, une courbe de réponse linéaire et pouvant facilement se connecter sur le stick. La cellule R-17VAN de Teledyne associé à un analyseur Vandagraph VN202 ou le NTS OxyTester conviennent parfaitement.



1. Stick
2. Déviateur de flux
3. Sonde oxygène
4. Joint « O » Ring

La sonde se fixe dans le stick dans une zone à flux laminaire en aval de la zone de mélange. Le déviateur de flux (Flow Divertor) permet de canaliser une partie du flux vers la sonde et de réduire les turbulences afin d'assurer une mesure fiable.

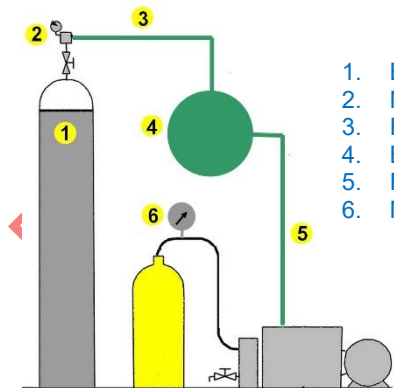


3.3. Fabrication du Trimix

Il existe plusieurs méthodes pour fabriquer du Trimix ([Cf §5.2](#)). Etant le prix de l'hélium le plongeur à intérêt à vider complètement la bouteille avant de la remettre au gazier. Ce qui implique qu'il va falloir faire passer de l'hélium dans le compresseur. Deux problèmes techniques se posent : Eviter la surchauffe et la cavitation dans les cylindres du compresseur

Pour éviter la surchauffe :

- Il faut particulièrement veiller à la circulation d'air autour du compresseur ;
- Gonfler durant les périodes les moins chaude de la journée ;
- Limiter le temps de fonctionnement du compresseur. Pour un compresseur individuel lorsqu'on comprime de l'hélium ou de l'argon : ne pas dépasser 30 à 45 minutes. Pour limiter le temps de fonctionnement du compresseur, on peut combiner les méthodes de gonflage : injecter directement une partie de l'hélium avec une lyre de transfert, puis faire l'appoint en comprimant l'hélium avec le compresseur.
- Ne pas injecter directement de l'hélium pur dans le compresseur mais du Trimix fabriquer à la pression atmosphérique. C'est la méthode du



1. Bouteille hélium
2. Manodétendeur hélium
3. Flexible annelé vers le ballon
4. Ballon
5. Flexible annelé vers le compresseur
6. Manomètre classe 1 ou 0,5

double stick.

La cavitation se produit lorsque les cylindres du compresseur ne sont pas suffisamment remplis. Il faut



Station de gonflage individuelle mobile

d'une part éviter ce phénomène et d'autre part, éviter de perdre trop d'hélium dans l'atmosphère. Le problème est que :

- Le compresseur est une machine cyclique. Le débit de celui-ci est donc variable tout au long de ce cycle
- Le débit de l'hélium est continu, l'injection d'hélium se faisant en permanence.

La solution consiste à utiliser un « ballon tampon »¹⁶ que l'on maintien gonflé en agissant sur le réglage de débit du manodétendeur.

La méthode du stick simple est une variante de la méthode classique de mélange par « pressions partielles ». Elle consiste à faire les appoints avec du Nitrox fabriqué au stick. Ce qui évite d'injecter de l'oxygène pur dans les bouteilles de plongée. La méthode du double stick est la plus « propre » :

- Elle permet de vider complètement les bouteilles d'hélium et d'oxygène ;
- De ne pas devoir injecter de l'oxygène pur dans la bouteille de plongée ;
- De faire passer du Trimix dans le compresseur et pas de l'hélium pur. Ce qui est plutôt favorable au refroidissement du compresseur.

Cependant, elle a les désavantages :

- De nécessiter plus d'équipement et donc un investissement plus important ;
- De devoir faire des calculs, qui sans être complexes, sont longs et éreintants ;
- De devoir faire un double réglage de débit. Ce qui peut être assez délicat si les micro-vannes de laminage sont mal dimensionnées.

¹⁶ Une vieille stab usagée fait parfaitement l'affaire. De plus elle possède une soupape de surpression.



Station de gonflage individuelle mobile

3.3.1. Méthode du stick simple

Après avoir introduit l'hélium dans la bouteille de plongée, on fait l'appoint avec du Nitrox ([Cf. 5.2](#)) pour obtenir le mélange désiré. Cela nécessite un petit calcul.

3.3.1.1. Réglage du débit oxygène

Le réglage grossier se fait sur le manodétendeur et le réglage fins avec les micro-vannes. La valeur à afficher sur l'analyseur se détermine par calcul. Soit :

$[O_{2i}] ; [He_i] ; [N_{2i}]$: Respectivement les % d'oxygène, d'Hélium et d'azote dans le mélange avant gonflage

$[O_{2f}] ; [He_f] ; [N_{2f}]$: Respectivement les % d'oxygène, d'Hélium et d'azote dans le mélange après gonflage

P_i = Pression dans la bouteille avant remplissage

P_f = Pression dans la bouteille après remplissage

Etape 1: Calculer les pressions partielles des composants initiaux et finaux.

$PP_{O_{2i}}$ = Pression partielle d'oxygène avant remplissage = $P_i \times [O_{2i}] / 100$

$PP_{O_{2f}}$ = Pression partielle d'oxygène après remplissage = $P_f \times [O_{2f}] / 100$

PP_{He_i} = Pression partielle d'hélium avant remplissage = $P_i \times [He_i] / 100$

PP_{He_f} = Pression partielle d'hélium après remplissage = $P_f \times [He_f] / 100$

$PP_{N_{2i}}$ = Pression partielle d'azote avant remplissage = $P_i \times [N_{2i}] / 100$

$PP_{N_{2f}}$ = Pression partielle d'azote après remplissage = $P_f \times [N_{2f}] / 100$

Etape 2: Calculer les pressions à ajouter dans la bouteille

$P_{O_2} = PP_{O_{2f}} - PP_{O_{2i}}$

$P_{He} = PP_{He_f} - PP_{He_i}$

$P_{N_2} = PP_{N_{2f}} - PP_{N_{2i}}$

Etape 3: Calculer le réglage de l'analyseur

$$Nx = \frac{100 P_{O_2}}{(P_{O_2} + P_{N_2})}$$



Station de gonflage individuelle mobile

Cette méthode de calcul à cause de la compressibilité de l'hélium et de la fiabilité des instruments engendre un manque de précision.

Il est IMPERATIF de mesurer avant de plonger le % d'oxygène et le % d'hélium au moins 24 heures après la réalisation du mélange.

Cette méthode ne fonctionne pas si :

- Des valeurs négatives ou nulles s'affichent dans les calculs préliminaires.
- Des valeurs négatives s'affichent dans les résultats.

Le mélange n'est pas fabricable si:

- Le Nitrox à utiliser est inférieur à 21% d'O₂ (diminuer la pression initiale)
- Le Nitrox à utiliser est supérieur à 40% d'O₂ (limite d'utilisation du stick)

Exemple numérique : Gonfler à 200 bar une bouteille pour obtenir un Tx 12/50 en partant d'un Tx 15/40 à la pression résiduelle de 30 bar

P _i = 30 bar		P _f = 200 bar			
[O _{2i}]	15	[He _i]	40	[N _{2i}]	45
[O _{2f}]	12	[He _f]	50	[N _{2f}]	38
Etape 1					
PP _{O2i}	30x15/100=4,5	PP _{Hei}	30x40/100=12	PP _{N2i}	30x45/100=13,5
PP _{O2f}	200x12/100=24	PP _{He_f}	200x50/100=100	PP _{N2f}	200x38/100=76
Etape 2					
P _{O2}	24-4,5=19,5	P _{He}	100-12=88	P _{N2}	76-13,5=62,5
Etape 3					
$N_x = \frac{100 \times 19,5}{(19,5 + 62,5)} = 23,8 \%$		Carte de gonflage			
Lien vers le calculateur		Ordre	Gaz	Pression	Manomètre
			Initial	30	30
		1	He	88	118
		2	Nx		200

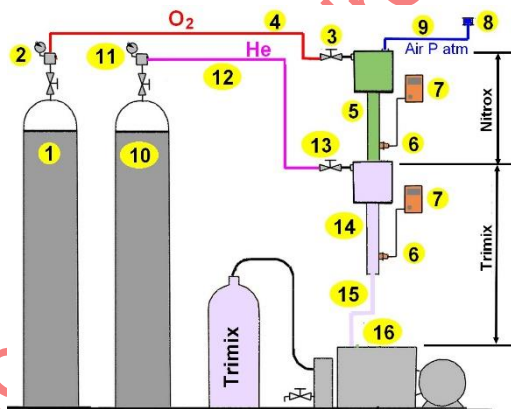


Station de gonflage individuelle mobile

3.3.2. Méthode du double stick

La méthode pour la fabrication du Trimix est similaire à celui pour la fabrication du Nitrox. Il faut utiliser deux sticks. La méthode « N »¹⁷ qui consiste à injecter en premier lieu l'oxygène puis l'hélium est la plus sûre en cas d'arrêt intempestif du compresseur¹⁸.

1. Bouteille¹⁹ O₂ – 200/300 bar
2. Manodétendeur-débitmètre O₂
3. Micro-vanne de laminage O₂
4. Flexible BP compatible O₂
5. Stick Fabrication Nx
6. Sonde mesure O₂
7. Analyseur O₂
8. Filtre d'aspiration d'air
9. Flexible annelé
10. Bouteille He¹⁷ – 200/300 bar
11. Manodétendeur-débitmètre He
12. Flexible BP compatible He
13. Micro-vanne de laminage He
14. Stick Fabrication Tx
15. Flexible annelé
16. Aspiration du compresseur



Le temps de réponse important des analyseurs d'hélium les rend incompatible pour la fabrication du Trimix. La fabrication du Trimix se fait à l'aide d'une double mesure de la teneur en oxygène et par calcul.

¹⁷ « N » pour Nitrogen

¹⁸ La conduite avant d'arriver au compresseur est plus longue, donc la probabilité de ne pas avoir un point de flash (inflammation du lubrifiant du compresseur) est meilleure

¹⁹ Note de l'auteur : Les gaziers proposent souvent du Diveox (oxygène plongée) moins cher que le médical, mais nettement plus cher que la qualité 2.5. Cependant ce sont techniquement les mêmes gaz, purs à 99,5%. Les 0,5% étant des traces d'azote (N₂). Personnellement j'utilise depuis près de 30 ans du 2.5. A chacun de faire ses choix.

Il faut être très attentif à la qualité de l'Hélium. Ne JAMAIS utiliser de l'hélium pour ballon. Il est loin d'être pur. Utiliser au minimum la qualité 4.6. qui garantit une pureté à 99,996%.



Station de gonflage individuelle mobile

Le manodétendeur pour l'hélium devra en principe avoir un débit suffisant pour fabriquer un Tx 10/70²⁰ soit au minimum 70 l/min (4,2Nm³/h) pour un compresseur 6m³/h et 105 l/min (6,3Nm³/h) pour un compresseur 9m³/h. Généralement le débit maximum indiqués dans les catalogues des constructeurs sont donnés en Nm³/h pour de l'air. Il faut utiliser un facteur de conversion pour les autres gaz.

Facteur de conversion : O₂ = 0,95 He = 2,77

Exemple : si un détendeur à un débit de 40 Nm³/h pour de l'air il sera de 40x0,95=38 Nm³/h pour de l'oxygène et 111 Nm³/h pour de l'hélium

3.3.2.1. Réglage des débits oxygène et hélium

Le réglage grossier se fait sur le détendeur et les réglages fins avec les micro-vannes. Les valeurs à afficher sur les analyseurs se déterminent par calcul. Soit :

[O_{2i}] ; [He_i] ; [N_{2i}] : Respectivement les % d'oxygène, d'Hélium et d'azote dans le mélange avant gonflage

[O_{2f}] ; [He_f] ; [N_{2f}] : Respectivement les % d'oxygène, d'Hélium et d'azote dans le mélange après gonflage

P_i = Pression dans la bouteille avant remplissage

P_f = Pression dans la bouteille après remplissage

Etape 1 : Calculer les pressions partielles des composants initiaux et finaux.

PP_{O2i} = Pression partielle d'oxygène avant remplissage = P_i x [O_{2i}] / 100

PP_{O2f} = Pression partielle d'oxygène après remplissage = P_f x [O_{2f}] / 100

PP_{Hei} = Pression partielle d'hélium avant remplissage = P_i x [He_i] / 100

PP_{Hef} = Pression partielle d'hélium après remplissage = P_f x [He_f] / 100

²⁰ C'est un Trimix extrême. En effet il permet, en théorie, une plongée à 130m de profondeur avec un facteur narcotique (END) de 30m et une ppo₂ sur le fond de 1,2 bar



Station de gonflage individuelle mobile

Etape 2: Calculer les pressions à ajouter dans la bouteille

$$P_{O_2} = PP_{O_2f} - PP_{O_2i}$$

$$P_{He} = PP_{He f} - PP_{He i}$$

Etape 3: Calculer les réglages des analyseurs

$$\text{Analyseur 1} \equiv 100 P_{O_2} / (P_f - P_i - P_{He})$$

$$\text{Analyseur 2} \equiv 100 P_{O_2} / (P_f - P_i)$$

Exemple numérique : Gonfler à 200 bar une bouteille pour obtenir un Tx 15/50 en partant d'un Tx 10/70 à la pression résiduelle de 40 bar

$P_i = 40 \text{ bar}$		$P_f = 200 \text{ bar}$	
$[O_{2f}]$	15	$[He_f]$	50
$[O_{2i}]$	10	$[He_i]$	70
Etape 1			
$PP_{O_{2f}}$	$15 \times 200 / 100 = 30$	PP_{He_f}	$50 \times 200 / 100 = 100$
$PP_{O_{2i}}$	$10 \times 40 / 100 = 4$	PP_{He_i}	$70 \times 40 / 100 = 28$
Etape 2			
P_{O_2}	$30 - 4 = 26$	P_{He}	$100 - 28 = 72$
Etape 3			
Analyseur 1		$100 \times 26 / (200 - 40 - 72) = 29,5 \%$	
Analyseur 2		$100 \times 26 / (200 - 40) = 16,2 \%$	
Lien vers le calculateur			



4. INSTALLATION DANS UN VEHICULE.

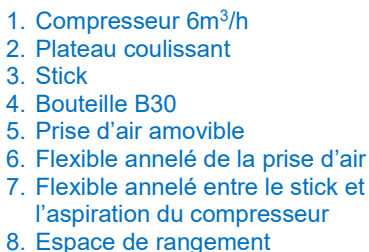
L'installation de la station de gonflage dans un véhicule ou sur une remorque doit suivre quelques règles, pour maintenir une bonne tenue de route et assurer un gonflage en sécurité :

- Il ne faut pas dépasser la charge maximale autorisée pour le véhicule ;
- Les charges dans le véhicule doivent être bien réparties ;
- Le centre de gravité doit être aussi bas que possible. Ce qui implique que les bouteilles seront transportées à l'horizontale ;
- Les bouteilles doivent être calées ;
- La prise d'air doit être plus haute et à l'opposé du pot d'échappement de manière à ce que le vent chasse les gaz d'échappement loin de la prise d'air ;
- Le pot d'échappement doit toujours être à l'extérieur du véhicule ;
- L'air doit pouvoir circuler librement autour du compresseur ;
- Lorsque les bouteilles d'oxygène ou d'hélium sont ouvertes le véhicule doit être bien ventilé pour éviter une accumulation accidentelle de ces gaz dans l'habitacle en cas de fuite. C'est particulièrement important pour l'oxygène qui est un comburant !

Le dessin montre l'installation que j'ai réalisé dans ma camionnette (Nissan NV-200). Dans la première version, il n'y avait pas de plateau coulissant. Ce qui est un gros inconvénient pour un plongeur solo qui doit sortir seul le compresseur du véhicule ! Le compresseur est une machine vibrante qui produit des charges dynamiques qui vont se transmettre aux glissières du plateau coulissant.



- De choisir des glissières qui reprennent au moins 2,5 à 3 fois le poids du compresseur, qui ont des arrêts en bout de course et qui sont suffisamment longue pour au moins amener le moteur du compresseur hors du véhicule ;
- De vérifier le bon état des silentblochs du compresseur.

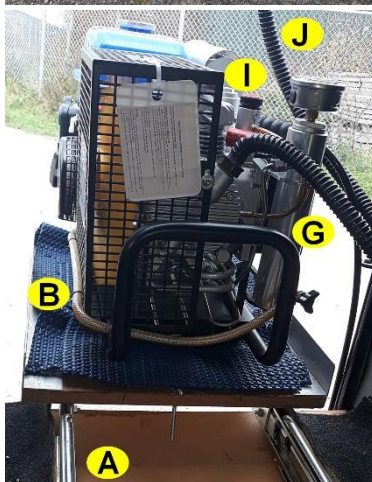
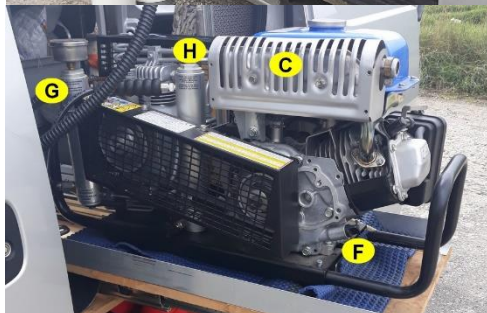
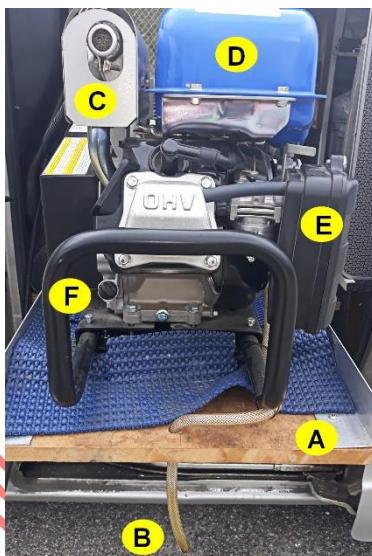


Afin de ne pas salir le plateau avec le condensat, un tuyau a été prévu (Rep B). Tuyau passant au travers du plateau. Les simples glissières de tiroir, ne conviennent pas du tout. Leurs charges admissibles sont trop faibles pour assurer la sécurité et le maintien du compresseur.



Station de gonflage individuelle mobile

Nouvelle version



- A. Plateau coulissant
- B. Tuyau évacuation des condensats
- C. Pot d'échappement
- D. Réservoir carburant
- E. Filtre à air du moteur
- F. Jauge niveau d'huile du moteur
- G. Séparateur d'eau
- H. Filtre charbon actif
- I. Jauge niveau d'huile du compresseur
- J. Tuyau annelé vers le stick

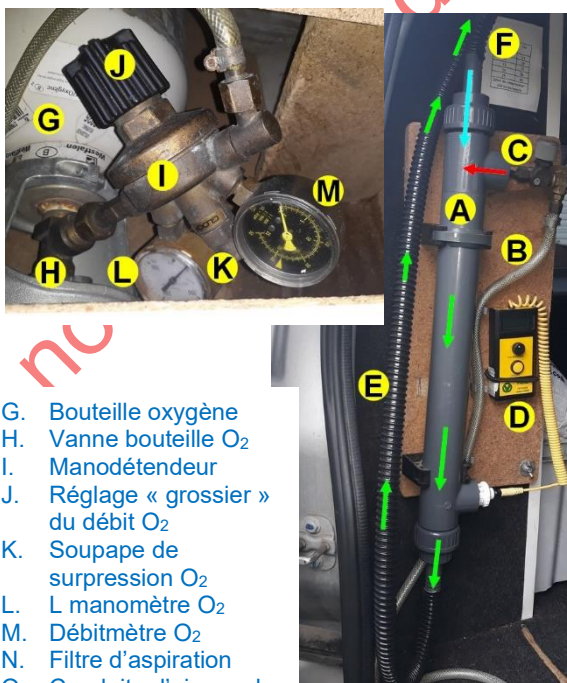


Station de gonflage individuelle mobile

J'ai relevé légèrement le compresseur pour les raisons suivantes :

- Dégager des espaces de rangement pour les bouteilles, chariot de transport des bouteilles, bac pour le lestage, outillage...
- Faciliter les entretiens courants du compresseur.
- Relever le pot d'échappement (Rep C) pour le mettre hors d'atteinte des enfants en bas âge.

Une trappe permet l'accès facile aux manodétendeurs ainsi qu'aux vannes des bouteilles. Celles-ci se trouvent près du stick, afin d'avoir toutes les commandes destinées à régler la richesse du mélange à portée de main.



- | | |
|--|---|
| A. Stick | G. Bouteille oxygène |
| B. Ligne Oxygène | H. Vanne bouteille O ₂ |
| C. Vanne de laminage, réglage fin du débit | I. Manodétendeur |
| D. Analyseur avec sonde oxygène | J. Réglage « grossier » du débit O ₂ |
| E. Conduite Nitrox vers le compresseur | K. Soupape de surpression O ₂ |
| F. Conduite d'aspiration d'air, vers l'extérieur | L. L manomètre O ₂ |
| | M. Débitmètre O ₂ |
| | N. Filtre d'aspiration |
| | O. Conduite d'air vers le stick |





Station de gonflage individuelle mobile



Le filtre d'aspiration qui est ramené à l'extérieur, lors du gonflage, se place vers l'avant ou l'arrière du véhicule en fonction de la direction du vent.



Ancienne version. Pas très confortable, avec un compresseur qui a tourné 18 ans !

4.1. Quelles bouteilles de gaz utiliser ?

Pour une station de gonflage mobile, le poids et l'encombrement des bouteilles sont primordiaux.

Poids des bouteilles						
<i>Voir note</i>	B20		B30		B50	
Pression service (bar)	200	300	200	300	200	300
Volume gaz (Nm ³)	4	6	6	9	10	15
Longueur (m)	1	1	1,2	1,2	1,7	1,7
Diamètre (m)	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25
Masse bouteille vide (Kg)	25	35	40	50	60	70
Masse de gaz (O ₂) (Kg)	5	8	8	12	14	20
Masse bouteille remplie (Kg)	30	43	48	62	74	90

Note : Données approximatives. Elles peuvent varier d'un fournisseur à l'autre

Personnellement, j'ai renoncé aux bouteilles B50 beaucoup trop lourdes à manipuler, pour les glisser dans l'espace prévu dans ma



Station de gonflage individuelle mobile

camionnette. J'ai opté pour des bouteilles B30 – 200 bar qui sont toujours de stock chez mon gazier. J'ai prévu l'espace pour trois B30. Dans l'étude, on peut envisager trois cas :

- Système léger : Compresseur 6 m³/h, une B30-200 bar
- Système moyen : Compresseur 6 m³/h, deux B30-300 bar
- Système lourd : Compresseur 12 m³/h + plateau coulissant et trois B30-300 bar

Désignation	Léger (1xB30-200b)	Moyen (2xB30-300b)	Lourd (3xB30-300b)
Compresseur	40	40	95
Bouteille	48	124	186
Plateau coulissant	-	-	25
Stick + Divers	5	5	5
Total (Kg)	93	169	311

Pour un utilitaire léger, la solution lourde représente 40 à 50% de la charge utile. En tenant compte du reste du matériel, cela commence à faire beaucoup !

4.2. Montage dans une remorque

Si on ne dispose pas d'utilitaire léger, une solution consiste à monter l'installation dans une remorque. Toutes les remarques faites pour l'installation dans un véhicule restent, bien entendu, valables pour une installation dans une remorque.

Je pense que l'idéal est d'avoir une remorque avec un capot ou au minimum une bâche pour protéger

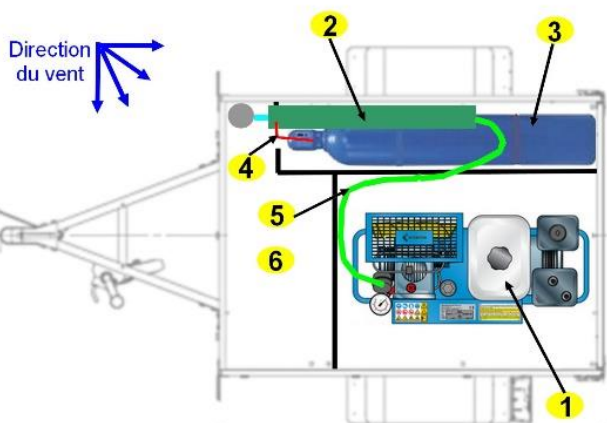
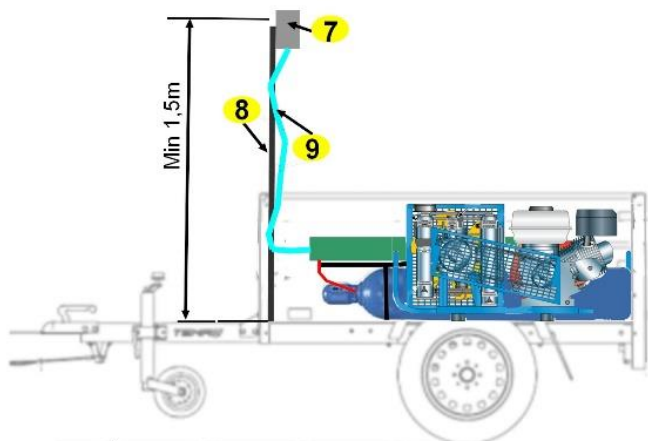


<https://www.univers-remorques.fr/>



Station de gonflage individuelle mobile

l'installation des intempéries mais surtout pour la protéger des malveillances. Pour un « système léger » un plateau de 150x100 cm et des ridelles de 45cm est l'idéal. Pour assurer une bonne ventilation du compresseur et l'évacuation des gaz d'échappement la ridelle arrière doit être basculante.





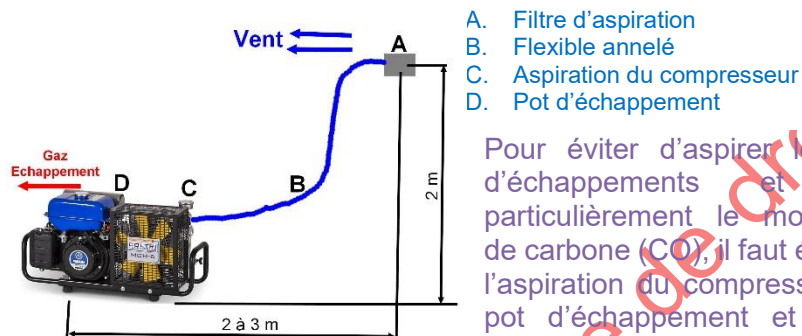
Station de gonflage individuelle mobile

1. Compresseur 6m³/h
2. Stick
3. Bouteille d'oxygène
4. Flexible O₂ entre le manodétendeur et la vanne de laminage du stick
5. Flexible annelé entre le stick et l'aspiration du compresseur
6. Espace de rangement
7. Filtre d'aspiration
8. Cane
9. Flexible annelé aspiration d'air

Document non libre de



5.1. PROCEDURE DE GONFLAGE



vent chasse les gaz d'échappement dans le sens opposé à la prise d'air.

Pour éviter d'aspirer les gaz d'échappements et plus particulièrement le monoxyde de carbone (CO), il faut éloigner l'aspiration du compresseur du pot d'échappement et placer celle-ci de manière à ce que le

5.1. Avertissement concernant l'oxygène

La fabrication du NITROX nécessite l'utilisation d'oxygène pur. Son utilisation peut présenter des risques d'explosion ou d'incendie et ne peut se faire que par des personnes bien formées et conscientes des risques inhérents à son utilisation.

5.1.1. A ne JAMAIS faire

- Utiliser des graisses non prévues pour l'oxygène pur. Si c'est possible il vaut mieux ne pas utiliser de graisse du tout.
- Fumer ou avoir un feu à flammes non couvertes à proximité de l'oxygène.
- Ne jamais faire passer un gaz contenant plus de 40% d'oxygène dans un compresseur à pistons.
- Ne jamais ouvrir les vannes ou robinets brutalement.



Station de gonflage individuelle mobile

- Ne jamais utiliser un matériel de fabrication ou de transfert non dégraissé.

5.1.2 A TOUJOURS faire

- Utiliser un matériel de fabrication et de transfert parfaitement dégraissé.
- Dégraisser régulièrement le matériel de fabrication et de transfert.
- Avoir une installation propre dans un local ou véhicule propre hors poussières. Toutes les poussières peuvent exploser dans un courant d'oxygène pur.
- Toujours ouvrir les vannes et robinets progressivement.
- Eviter les vannes à boules. Préférer des vannes ayant une ouverture plus progressive.
- Veillez à ce que personne ne fume ou n'allume une flamme à proximité.
- Pour le passage dans un compresseur vérifiez que le pourcentage d'oxygène est de maximum 40% et que le mélange est bien homogène. La prudence consiste à ne pas dépasser 36% d'oxygène dans le mélange.

5.2. Gonflage air, Nitrox et Trimix

5.2.1. Procédure de mise en route

1. Vérifier si toutes les vannes du circuit d'oxygène sont fermées, y compris la micro-vanne de laminage.
2. Ouvrir les vannes de décharge des condensats du compresseur.
3. Connecter la bouteille de plongée qui reste fermée à ce stade.
4. Lancer le moteur.



Station de gonflage individuelle mobile

- a. Ouvrir la vanne d'arrivée d'essence du moteur est en position ouverte.
- b. Mettre l'interrupteur d'allumage du moteur sur « On ».
- c. Démarrer le moteur, au besoin utiliser le starter.
5. Vérifier le calibrage du (des) analyseur(s) O₂ (20,9%).
 - a. Analyseur 1 (*).
 - b. Analyseur 1 et 2 (**).
6. Fermer les vannes des condensats.
7. Faites monter le compresseur en pression, jusqu'à l'ouverture de la soupape de surpression (procédure de vérification du bon fonctionnement de la soupape).
8. Ouvrir la bouteille de plongée.
9. Ouvrir la bouteille la bouteille d'O₂. La micro-vanne de laminage reste fermée à ce stade (*).
10. Ouvrir la bouteille la bouteille d'He. La micro-vanne de laminage reste fermée à ce stade (**).
11. Ajuster la richesse du mélange en ouvrant très délicatement la (les) micro-vanne (s) de laminage.
 - a. Micro-vanne du stick 1 (*).
 - b. Micro-vanne des sticks 1 et 2 (**).
12. A faire régulièrement durant le gonflage :
 - a. Purger régulièrement les condensats.
 - b. Vérifier très régulièrement la richesse du mélange. La vitesse de rotation d'un moteur thermique n'est pas constante, elle varie avec sa charge. Et la charge varie en fonction de la pression dans la bouteille de plongée. Il est donc possible de devoir ajuster la richesse du mélange durant le gonflage. (*)(**).

(*) Uniquement pour un gonflage Nitrox

(**) Uniquement pour un gonflage Trimix au double stick



Station de gonflage individuelle mobile

5.2.2. Procédure d'arrêt

1. Lorsque la pression de gonflage est atteinte, fermer la bouteille de plongée.
2. Ouvrir les vannes de décharge des condensats.
3. Fermer la bouteille d'O₂ (*) et d'He (**).
4. Dès que les analyseurs indiquent le % d'oxygène de l'air atmosphérique (20,9) (*)(**) fermer la (les) micro-vanne(s) de laminage.
5. Attendre au moins 30 secondes que le circuit est totalement vidé de l'oxygène et/ou de l'hélium.
6. Couper le moteur en mettant l'interrupteur d'allumage du moteur sur « Off ». Il est conseillé de réduire la vitesse du moteur avant de couper l'allumage. Cela évite d'avoir un mélange riche dans les cylindres au moment de l'arrêt.

(*) Uniquement pour un gonflage Nitrox

(**) Uniquement pour un gonflage Trimix



6. ESTIMATION ET COMPARAISON DES COÛTS

6.1. Prix des gonflages dans le commerce

Les prix repris dans le tableau sont les prix moyens de 2020 pour une bouteille de 15 litres – 200 bar. Suivant les régions, ces prix peuvent fortement varier. Il n'a pas été tenu compte des stations de gonflage automatique en Zélande, étant donné que trop peu de ces installations délivrent du Nitrox.

Prix moyen en euros / Prix par m ³							
France		Pays-Bas (Zeeland)		Belgique		Moyenne des 3 pays	
Air	Nx 32	Air	Nx 32	Air	Nx 32	Air	Nx 32
6/2	12/4	5/1,67	7/2,33	5/1,67	9/3	6/2	9,3/3,1

6.2. Coût du matériel et amortissement

	Commercial			Construction artisanale
	min	max	moyen	
Compresseur 6m ³ /h essence	2600	3800	3200	-
Stick Nitrox			700	400
Double stick Trimix			1500	700
Plateau coulissant 600 mm			700	320
Remorque 1,5x1m – 500 kg	800	1200	1000	-

Valeur d'amortissement								
Air			Nitrox			Trimix		
Min	Max	Moyen	Min	Max	Moyen	Min	Max	Moyen
2600	3800	3200	3000	4500	3750	3300	5300	4300

Il n'a pas été tenu compte ni de l'achat d'une remorque, ni de l'achat d'un plateau coulissant qui n'est pas strictement indispensable pour un compresseur de 6m³/h.



Station de gonflage individuelle mobile

6.3. Coût des entretiens et de l'énergie

Désignation	Temps (Heures)	Volume (m ³)	Prix (€)	Prix par m ³ (€/m ³)
Compresseur				
Cartouche filtrante – Charbon actif	20 ^(a)	120	30/50	0,25/0,42 ^(b) 0,34 ^(g)
Filtre d'aspiration	100	600	30	0,05
Huile 0,4 litres – 36 € / litres	50	300	15	0,05
Moteur				
Huile 0,6 litres 10 € / litres	100	600	6	0,01
Filtre à air	50	300	17	0,06
Bougie	100	600	5	0,01
Courroie	250	1500	12	0,01
Stick Nitrox				
Cellule O ₂	2 ans	600 ^(c)	60	0,1
Oxygène 4 €/m ³ ^(d) 0,18m ³ O ₂ /m ³ Nx ^(e)				0,72
Energie				
Essence 95 (1,3 €/litre) 0,5 l/h				0,11
Entretien en usine				
Gros entretien (clapets, segments...)	500	3000 ^(h)	600 ^(f)	0,2

(a) Température ambiante 20°C

(b) Le prix peut être divisé par 3 si on reconditionne soit même les cartouches

(c) Basé sur 100 gonflages par an – bouteille de 15l vide

(d) Prix en Belgique : Divox – B50 à 300 bar. Le prix est divisé par deux pour de l'O₂ 2.5 industriel (en pratique, c'est le même gaz que le Divox)

(e) Moyenne entre un Nx30 et un Nx40

(f) Prix estimé au quart de la valeur de la machine, hors TVA

(g) Prix moyen

(h) Ce qui correspond au gonflage de +/- 1300 bouteilles 15l – 200 bar

Hors amortissement du matériel et hors gros entretien à 500 heures, le m³ d'air coûte en moyenne 0,64 € et 1,46 € pour du Nitrox en fonction du prix de l'oxygène.



7. RENTABILITE

7.1. Hypothèses

Il n'est évident d'estimer la rentabilité d'une station de gonflage individuelle mobile par rapport aux gonflages dans le commerce, tant les paramètres dont il faut tenir compte sont nombreux et fluctuants. Il a donc fallu émettre diverses hypothèses simplificatrices :

- Il n'est pas tenu compte de l'inflation ;
- Il n'est pas tenu compte, d'un éventuel, prix de revente de l'installation ;
- Il n'a pas été tenu compte d'un financement éventuel, ni de la perte de revenu de l'argent si la station a été autofinancée ;
- Le prix de gonflage est basé sur une moyenne entre la France, la Belgique et la Pays-Bas. Ce sont les pays où les belges et les français du Nord plongent régulièrement ;
- Pour les déplacements, on n'a tenu compte que des frais de carburant et des frais d'entretien sans tenir compte de l'amortissement du véhicule ;
- La consommation moyenne d'un utilitaire léger est estimée à 6 litres de diesel aux 100 km au prix de 1,35 €/l (Prix en Belgique). Les frais d'entretien d'un utilitaire léger sont estimés à 6 €/100 km²¹. Soit globalement 0,14 €/km
- Les valeurs d'amortissement du matériel sont basées sur des prix moyens ;
- On considère qu'à chaque gonflage effectué par la station de gonflage individuelle, on injecte 2,5 m³ de gaz dans la bouteille. Dans les magasins, le gonfleur considère

²¹ Consommation et frais réel de ma camionnette



Station de gonflage individuelle mobile

systématiquement que la bouteille est vide quel que soit la pression résiduelle ;

- Il n'a pas été tenu compte des stations de gonflage commerciales automatiques ou le plongeur paye l'air au m³ étant donné qu'elles ne sont présentes qu'en Zélande et qu'elles délivrent rarement du Nitrox ;
- On considère que lorsque le plongeur se déplace pour aller au magasin, il ne gonfle qu'une bouteille de 15 l à 200 bar.

7.2. Estimation de la rentabilité

Le tableau indique le nombre de gonflage à effectuer pour que le prix du gonflage par une station de gonflage individuelle mobile et le prix du gonflage dans un magasin s'équilibrent, en tenant compte des déplacements.

Déplacement Aller / Retour	10 km		30 km		50 km		70 km	
	Air	Nx	Air	Nx	Air	Nx	Air	Nx
Minimum	450	400	300	300	250	250	200	200
Maximum	650	600	450	450	350	350	300	300

Paramètres de calcul du tableau

Frais : 0,14 €/Km Déplacement : Variable 10,30,50,70 Km

Bouteille : 15 litres - 200 bar Pression résiduelle : 50 bar

Prix moyen du gonflage air en magasin : 6 €/bouteille

Prix moyen du gonflage Nx en magasin : 9,3 €/bouteille

Prix énergie, entretien, consommables gonflage air : 0,64 €/m³

Prix énergie, entretien, consommables gonflage Nitrox : 1,46 €/m³

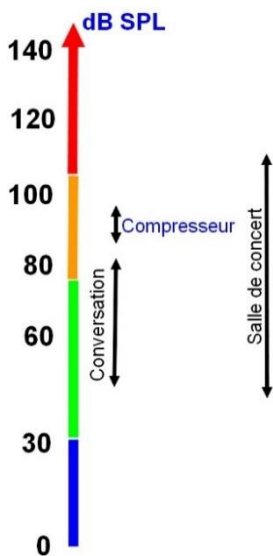
Amortissement de la station de gonflage	Air	Nitrox
Prix minimum (€)	2600	3000
Prix maximum (€)	3800	4500

[Calculateur des coûts et de la rentabilité](#)



8. BRUIT, LEGALITE, TRANSPORT, ASSURANCE

8.1. Bruit et convivialité



Le reproche le plus important que l'on fait à ce type de station de gonflage, c'est le bruit ! Le bruit n'est pas dû à compresseur en lui-même, mais au moteur thermique. C'est un bruit identique à celui d'une tondeuse à gazon ! Le bruit est subjectif un moteur qui tourne avec un niveau sonore de 70 dB sera plus dérangeant qu'une conversation ou de la musique au même niveau sonore. Ce n'est qu'une question de perception. Le niveau sonore d'un compresseur équipé d'un moteur thermique est, suivant les catalogues, de l'ordre de 82 à 84 dB (A)²² mesurée à 1m de distance. En réalité j'ai mesuré 80 à 82 dB SPL²³ à 1m de distance avec mon compresseur équipé d'un moteur Yamaha. Cette mesure, au sonomètre, n'est pas pondérée. Le niveau sonore décroît rapidement lorsqu'on s'éloigne du compresseur. Cette décroissance peut s'estimer à l'aide de la relation :

$$\Delta NS = 20 \log \left(\frac{\text{Pos ref}}{\text{Pos}} \right)$$

Avec :

ΔNS : Variation du niveau sonore (dB)

log : logarithme base 10

Pos ref : Position de référence soit 1m

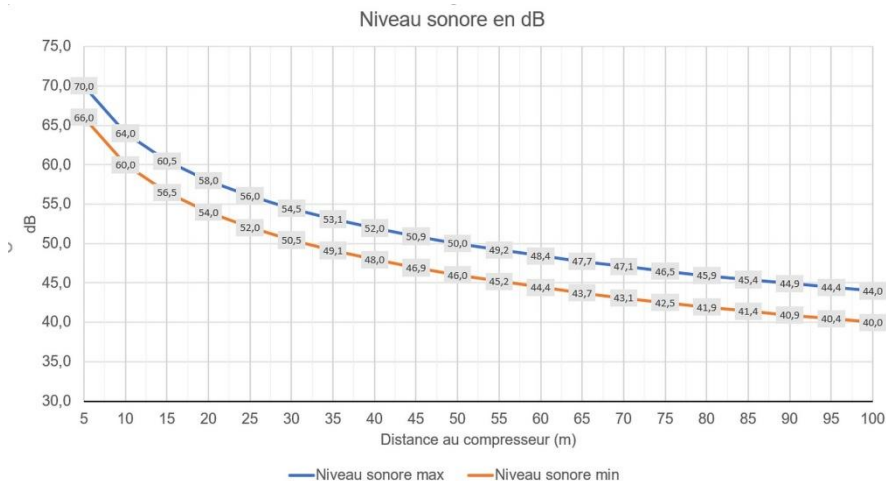
Pos : Position par rapport au compresseur (m)

²² Mesure du niveau sonore pondérée suivant la norme CEI 61672-1

²³ Sound Pressure Level: Niveau de puissance sonore, mesurée avec une application sur le smartphone (Ce n'est pas une mesure de laboratoire)



Station de gonflage individuelle mobile



Le graphique montre l'atténuation du niveau sonore en fonction de la distance entre l'observateur et un compresseur ayant un niveau sonore compris entre 80 et 84 dB SPL à un mètre de distance.

En examinant ce graphique, on se rends compte qu'à une distance de 15 à 25m le compresseur ne fait pas plus de bruit qu'une conversation un peu forte (60 à 52 dB SPL). Comme le bruit peut être dérangement, même à plus de 25m de distance, j'essaie toujours de gonfler loin des habitations et en étant isolé des autres personnes sur le parking. Y compris des autres plongeurs²⁴.

Il est possible de diminuer le bruit en soudant un silencieux de motocyclette sur le pot d'échappement. Les cylindrées du moteur du compresseur et celui de la motocyclette doivent être similaire.

²⁴ Histoire vécue en Zélande : Il y aura toujours la possibilité, que dans un groupe de plongeurs, un « gros bras » essaie de vous intimider par jalousie. Si vous proposez de gonfler sa bouteille gratuitement subitement, par un coup de baguette magique de la fée clochette, le compresseur ne fera plus de bruit !



Station de gonflage individuelle mobile

Ce montage risque de diminuer légèrement le rendement et la puissance effective du moteur.

La température du pot d'échappement peut occasionner des brûlures assez sérieuses. Il faut être attentif à ce que des enfants ou des animaux de compagnies, guidés par la curiosité, ne s'approchent pas du compresseur. Principalement lorsque celui-ci vient juste d'être mis à l'arrêt avec le moteur encore chaud.

8.2. Aspects légaux

Un petit point de droit qui est de mise dans l'ensemble des pays démocratiques « Tout ce qui n'est pas expressément interdit est autorisé »²⁵. Une interdiction peut prendre la forme d'une loi, d'un décret, d'un arrêté ou d'une mention dans un ROI²⁶ si le site est privé.

Il convient de vérifier s'il n'y a pas de contrainte légale à utiliser une machine avec un moteur thermique. Les interdictions sont souvent liées aux nuisances sonores. Généralement lorsqu'il y a interdiction, c'est le dimanche et parfois le samedi dans certaines communes. Dans nos carrières de plongée, c'est pratiquement toujours interdit et notifié dans le Règlement d'Ordre Interne. Logique puisque nombre de ces carrières possède un centre de gonflage !

²⁵La question « oui mais est-ce autorisé ? » est une mauvaise question. Elle doit être remplacée par « est-ce que c'est interdit ? » et si oui en vertu de quoi ?

²⁶ Règlement d'Ordre Interne



8.3. Transport

La section 1.1.3.6. de l'ADR²⁷ détermine les quantités de gaz transportables à partir desquelles on rentre dans la réglementation. Ces quantités dépendent de la nature du gaz et de sa dangerosité. Sans rentrer dans la réglementation ADR on peut transporter 20 bouteilles B50 à 200 bar. Ces bouteilles peuvent comporter des bouteilles d'oxygène, d'hélium et d'argon. On est vraiment loin du compte !

8.4. Assurances

Le plongeur de loisir, c'est-à-dire n'exerçant aucune activité réénumérée dans le domaine de la plongée à tout intérêt à vérifier qu'en cas de dégâts ou de blessures infligées à un tiers :

- Si son RC familiale le couvre dans le cadre de l'utilisation d'un compresseur haute pression ;
- Si en étant membre en ordre de cotisation, d'une organisation ou une fédération²⁸ de plongée, l'assurance de celle-ci vous couvre dans le cadre de l'utilisation d'un compresseur de plongée personnel et sous quelles conditions ;
- Dans quelle mesure ce volet, très spécifique, est inclus dans la cotisation et quel sont les montants assurés.

Dans le cadre d'une activité réénumérée, la RC familiale ne couvre pas et il en va de probablement de même pour les assurances des fédérations ou organisations de plongée. Dans ce cas, il faudra opter pour une assurance spécifique. Par

²⁷ Accord for Dangerous goods by Road – dernière mise à jour : 2019

²⁸ Toutes les organisations ne prennent pas obligatoirement une assurance pour leurs membres.



exemple l'assurance [DAN pro](#)²⁹. Les plongeurs de loisir peuvent aussi prendre ce type d'assurance. L'avantage de cette assurance est qu'elle couvre les blessures que vous-même vous encourez et pas seulement les tiers. Elle comprend également une protection juridique comprenant le remboursement des coûts juridiques, y compris pour les dossiers techniques liés aux poursuites civiles et criminelles découlant de vos activités de plongée. Les assurances [DAN pro](#) couvrent en RC jusqu'à quatre millions d'euros !

9. ANALYSE DES RISQUES

L'analyse des risques est une science largement répandue dans le milieu industriel et notamment au niveau de la plongée professionnelle³⁰. Cette analyse vise à identifier les risques (danger), les facteurs de risques, les quantifier et les prévenir d'une manière systématique. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer le risque, la plus courante est la méthode Kinney.

La première difficulté consiste à faire l'inventaire des facteurs de risque. Il n'est pas facile de ne rien oublier ! La seconde difficulté, qui est de loin la plus gênante consiste à calculer le « score ». Celui-ci peut fortement varier en fonction de l'observateur, de son expérience, de sa sensibilité, de sa formation, de son niveau d'études, de son expérience de terrain... D'après l'étude de Malchaire J. & Koob J-P³¹, le « score » varie en fonction de l'observateur dans une fourchette de 1 à 15.

Le tableau à la page suivante, donne l'organigramme de la marche à suivre

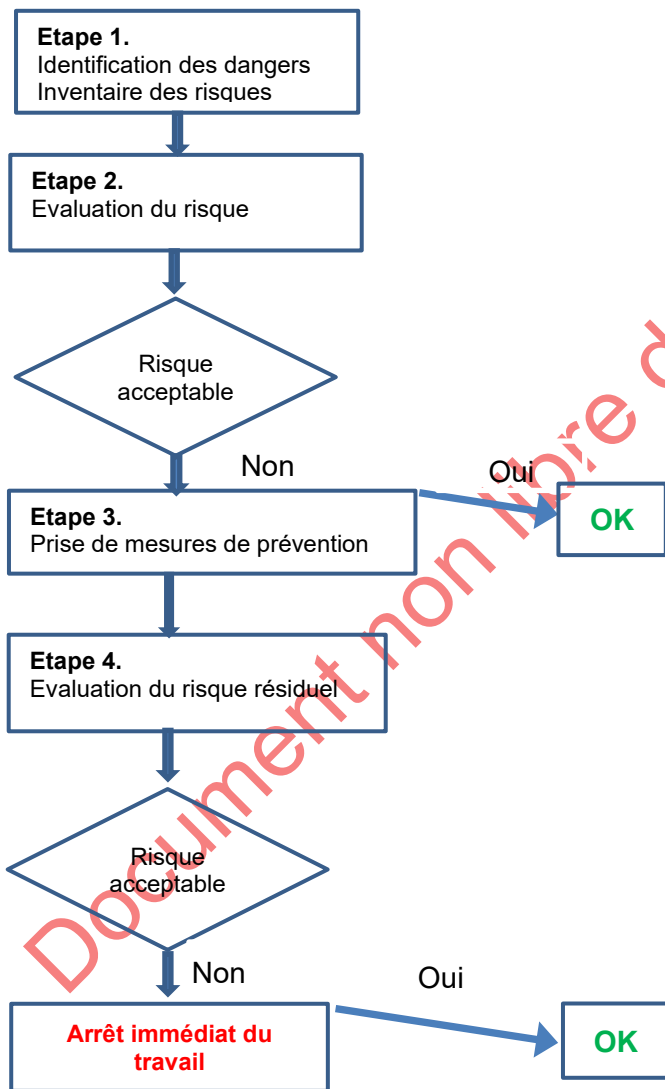
²⁹ Divers Alert Network

³⁰ Opérateur en Travaux Subaquatiques

³¹ [Fiabilité de la méthode Kinney d'analyse des risques](#) - Malchaire J. & Koob J-P – UCL



Station de gonflage individuelle mobile





9.1. Définitions

- **Danger** : Tout élément qui peut mettre en péril l'intégrité physique et la sécurité du plongeur.
- **Exposition** : durée d'exposition au danger.
- **Dommage** : Atteinte à l'intégrité physique ou psychologique du plongeur.
- **Risque** : Probabilité pour qu'un « Dommage » se produise.
- **Risque résiduel** : Risque qui subsiste lorsque les mesures de prévention ont été prises.
- **Facteur de risque** : Élément ou événement qui peut engendrer un « Dommage ».
- **Prévention** : Toutes mesures pour limiter le « Risque », éviter les « Dommages » ou les atténuer.
- **Probabilité** : Paramètre variable en fonction de la nature du « Risque ».

9.2. Méthode Kinney

La Méthode Kinney est une méthode d'hierarchisation des risques et pas une méthode de dépistage des risques. Elle présente l'avantage d'être facile, rapide et de quantifier le risque.

Le postulat de départ indique que le Risque est proportionnel à la probabilité (P), à l'exposition (E) et la gravité des conséquences possibles (G). Ce qui conduit à écrire la formule suivante :

$$R = G \times E \times P$$

Cette formulation ne tient pas compte de la formation et de l'expérience. Malchaire J. & Koob J-P³² proposent d'en tenir

³² [Fiabilité de la méthode Kinney d'analyse des risques](#) - Malchaire J. & Koob J-P – Université catholique de Louvain



Station de gonflage individuelle mobile

compte en affectant la formule précédente d'un facteur (F), sans toutefois donner un tableau de valeur. La relation devient donc :

$$Rk = G \times E \times P \times F$$

Avec :

- R : Risque estimé suivant la méthode Kinney.
- G : Gravité des conséquences possibles (Dommage).
- E : Durée d'exposition au facteur de risque.
- P : Probabilité d'émergence du dommage pendant la durée d'exposition.
- F : Facteur qui tient compte de la formation et de l'expérience.

Des tableaux donnent pour ces trois facteurs des valeurs numériques³³. L'estimation du « score » du risque est le produit de ces facteurs. Le score ainsi obtenu peut être nuancé en fonction de la formation, l'expérience et la pratique régulière ou non du plongeur. Ce score permet à tout un chacun d'estimer si le risque est acceptable ou non.

³³ Les tableaux originaux donnaient une échelle de coût. Dans le cadre de la plongée solo, je n'ai pas trouvé utile de les reprendre. D'autant plus que les originaux datent de 30 ans, sans mise à jour des valeurs !



Station de gonflage individuelle mobile

9.2.1 Tableaux des facteurs G, E et P

9.2.1.1. La « Gravité » (G)

Gravité	Conséquences	Valeur
Catastrophique	Nombreux morts	100
Désastre	Quelques morts	40
Très grave	Un mort	15
Sérieux, grave	Blessure sérieuse, invalidité permanente	7
Important	Blessure incapacitante	3
Incident	Petite blessure non incapacitante	1

9.2.1.2. L'« Exposition » (E)

Exposition	Valeur
En continu	10
Régulièrement, de l'ordre d'une fois par jour	6
De temps à autre, de l'ordre d'une fois par semaine	3
Parfois de l'ordre, d'une fois par mois	2
Quelques fois par an	1
Maximum une fois par an	0,2



Station de gonflage individuelle mobile

9.2.1.3. La « Probabilité » (P)

Probabilité	Valeur
Probable	10
Possible	6
Inhabituel mais possible	3
Petite possibilité dans des cas limites	1
Concevable mais peu probable	0,5
Pratiquement impossible	0,2
A peine concevable	0,1

9.2.2 Tableaux de l'évaluation du « Risque » (R)

En fonction du « score » ce tableau indique le degré d'acceptabilité du risque.

Valeur	Evaluation	Action
$R_k > 400$	Risque très élevé	Risque tout à fait inacceptable
$200 < R \leq 400$	Risque élevé	Mesures de correction impératives
$70 < R \leq 200$	Risque important	Adopter des mesures de correction
$20 < R \leq 70$	Risque moyen	Attention particulière requise
$R_k < 20$	Risque faible	Acceptable



9.3. Application de la méthode Kinney

Risque	Facteurs / score				Préventions	Risque résiduel			
	G	E	P	R		G	E	P	R
Eclatement bouteille	40	3	1	120	- Formation au blending. - Contrôle régulier de l'état des bouteilles. - Vérification du bon fonctionnement de la soupape surpression du compresseur. - Ne pas rester près du compresseur, éloigner les curieux.	15	3	0,2	9
Eclatement flexible de gonflage	7	3	3	63	- Flexible microperforé - Cable de sécurité anti-fouettement. - Vérification de l'état du flexible (hernie...).	7	3	0,5	10,5
Air vicié	15	3	6	270	- Formation au blending. - Remplacement du filtre à charbon actif régulier. - Filtre avec HopCalite - Registre de gonflage avec information sur les entretiens. - Vider les bouteilles contaminées. - Position correcte du pot d'échappement par rapport au vent.	15	3	0,2	9
Gaz d'échappement dans le véhicule	15	3	1	45	- Formation au blending. - Sortir le compresseur du véhicule. - Aérer le véhicule. - Position correcte du pot d'échappement par rapport au vent.	15	3	0,2	9



Station de gonflage individuelle mobile

Risque	Facteurs / score				Préventions	Risque résiduel			
	G	E	P	R		G	E	P	R
Nx et Tx Fuite d'oxygène dans le véhicule – risque d'incendie (*) En fonction du nombre de personnes dans le véhicule	15 à 40 (*)	3	1	45 à 120	- Formation au blending. - Fermer la bouteille O ₂ après le remplissage - Purger le circuit O ₂ après le remplissage.	15 à 40	3	0,2	9 à 24 (*)
Nx et Tx Fuite d'hélium dans le véhicule	1	3	1	3	- Formation au blending. - Fermer la bouteille He après le remplissage, purger le circuit Tx après le remplissage.	1	3	0,2	0,6
Nx et Tx Augmentation anormale du % d'O ₂ dans le stick – Risque incendie	40	3	3	360	- Formation au blending. - Contrôle régulier de l'état des bouteilles. - Fermer la vanne de laminage avant d'ouvrir la bouteille d'O ₂ . (a fermer après la purge du circuit lors du gonflage précédent). Ne pas rester près du compresseur, éloigner les curieux. A chaque instant se tenir prêt à couper l'arrivée d'O₂ Surveillance permanente lors du gonflage	15	3	0,2	9
Nx et Tx Arrêt intempestif du compresseur Risque incendie par augmentation de l'O ₂ dans le circuit	40	3	3	360	- Formation au blending - Vérifier les niveaux d'huile du moteur et du compresseur. - Vérifier la courroie de transmission (usure et tension). - Entretien du moteur.	15	3	0,2	9



Station de gonflage individuelle mobile

Risque	Facteurs / score				Préventions	Risque résiduel			
	G	E	P	R		G	E	P	R
					- Ne pas rester près du compresseur, éloigner les curieux. - A chaque instant se tenir prêt à couper l'arrivée d'O ₂ - Surveillance permanente lors du gonflage				
Brûlure par le pot d'échappement	1	3	6	18	- Ne pas rester près du compresseur, éloigner les curieux.	1	3	3	9

Note : le tableau est basé sur l'expérience de l'auteur est n'est donné qu'à titre didactique. La probabilité (P) a été estimée avec le plus de rigueur possible. Néanmoins, comme expliqué au chapitre précédent, celle-ci dépend grandement du ressenti. De ce fait il y a toujours une part de subjectivité. L'exposition (E) a été estimée en fonction d'un plongeur régulier qui gonfle au minimum 5 fois par mois.

Chacun devra adapter les facteurs en fonction de son style de plongée et des circonstances locales.



10. ANNEXE

10.1. Qualité de l'air suivant la norme EN12021

Depuis 1999 la CEE a défini dans sa norme EN 12021 la qualité minimale que doit avoir l'air respirable :

- Vapeur d'eau : entre 40 et 200 bar 50 mg/Nm³
- Vapeur d'eau : à 300 bar 35 mg/Nm³
- Vapeur d'huile : à 200 bar 0,5 mg/Nm³
- Dioxyde de carbone (CO₂) : maximum 500 ppm³⁴
- Monoxyde de carbone (CO) : maximum 15 ppm

10.2. Oxygène qualité Divox

Le Divox n'est soumis à aucune norme. Néanmoins on considère que :

- Pureté : 99,5 %
- Dioxyde de carbone (CO₂) < 5,0 ppm Vol.³⁵
- Monoxyde de carbone (CO) < 0,2 ppm Vol.
- Fluor-Chlore-Hydrocarbure < 2,0 ppm Vol.
- Humidité < 5,0 ppm Vol.
- Hydrocarbure < 30,0 ppm Vol.
- Huile 0,1 < mg Nm⁻³

³⁴ Ppm: partie par million, sous-entendu en unité de masse.

³⁵ Partie par million en unité de volume



Station de gonflage individuelle mobile

10.3. Hélium 4.6

- Pureté: 99,996 %
- Azote (N₂) < 20 ppm Vol.
- Oxygène (O₂) < 5 ppm Vol.
- Humidité < 5ppm Vol.
- Hydrocarbures < 1 ppm Vol.

10.4. Adresses utiles

9.4.1. Compresseurs (fabriquants)

Coltri	Via dei Colli Storici, 177, 25015 Desenzano del Garda (BS) Italy	Système Nx-filtre DnAx
Bauer	Wolfratshauser Str. 80 81379 Munich, Allemagne	
Alkin	Cüneytbey Mh., Tabas Yolü Küme Evleri No:3 Menderes Izmir Turquie	
L&H	Lenhardt & Wagner GmbH An der Tuchbleiche 39 68623 Hüttenfeld / Germany	
Nardi	Via Marco Polo,2 36075 - Montecchio Maggiore Vicenza - Italia	

10.4.2. Compresseurs (revendeurs, entretiens, consommables)

MTMI	68 bis, rue de Bradford 59200 Tourcoing - France	Gros entretiens et revendeur Coltri, Bauer - consommables
Lefebvre	Chaussée de Bruxelles 88, 7500 Tournai, Belgique	Entretien moteur HONDA
Innove	ZA L'Argot 2 impasse Artisanat 26120 Montvendre - France	Consommables
Tekplongée	1 rue du Bénélux 44300 Nantes France	Gros entretiens et revendeur Coltri - consommables
AF Belgium	Chaussée de Tubize 485 F - 1420 Braine-L'Alleud - Belgique	Gros entretiens et revendeur Coltri
Alkin France	Rue de l'ancienne forge - 26600 Chanos Curson - France	Gros entretiens et revendeur Alkin



Station de gonflage individuelle mobile

10.4.3. Analyseur O₂

Vandagraph	15 Station Road Crosshills Keighley West Yorkshire BD20 7DT -,UK	Fabricant
NTS	200 Chemin de Balat - 82000 Montauban - France	Fabricant
Innodive	ZA L'Argot 2 impasse Artisanat 26120 Montvendre - France	Revendeur
Diving Equipment	6 Rue des Frères Peugeot 31130 Balma – Toulouse - France	Revendeur
LM NT	Rue de l'ancienne forge - 26600 Chanos Curson - France	Revendeur

10.4.4. Stick

NTS	200 Chemin de Balat - 82000 Montauban - France	Fabricant
Diving Equipment	6 Rue des Frères Peugeot 31130 Balma – Toulouse - France	Revendeur
Bigata	50 Avenue René Antoune 33320 Eysines - France	Revendeur
LM NT	Rue de l'ancienne forge - 26600 Chanos Curson - France	Fabriquant

10.4.5. Matériel divers pour oxygène

Bigata	50 Avenue René Antoune 33320 Eysines - France	Revendeur
Gloor	Kirchbergstrasse 111 CH-3400 Burgdorf - Suisse	Fabricant Manodétendeur
Ateliers Marin	Z.I. Chemin de l'Etoile 5 B-7060 Soignies	Revendeur Détendeurs, vannes O ₂

10.4.6. Gaziers

Messer	Borsbeeksebrug 28 - 2600 Antwerpen -Belgique
Ijsfabriek Strombeek	Broekstraat 70 -1860 Meise - Belgique
Air liquide Benelux	44 avenue du Bourget - 1140 Bruxelles - Belgique
Air Product	J.F.Willemsstraat 100 - 1800 Vilvorde -Belgique
Westfalen	Watermolenstraat 11 - 9320 Alost - Belgique
Air liquide France	75 quai d'Orsay 75321 Paris - France



11. BIBLIOGRAPHIE

- Manuel d'utilisation Coltri MCH6
- Manuel d'utilisation Bauer Junior
- Manuel d'utilisation Honda GX160
- Manuel d'utilisation Yamaha MZ175
- Manuel d'utilisation Vandagraph VN202
- Norme CEE EN12021
- Catalogue Bigata
- Catalogue et fiches techniques Gloor
- Catalogue micro-vannes Hoke
- Catalogue micro-vannes Swagelok

- Jacques Vettier -- Nitrox Trimix , ed Ulmer 2003
- D Rutkowski -- NITROX Manual, Hyberbaric International, Key Largo, FL. 1989
- L Somers -- Enriched air NITROX diver instructor's manual, IANTD, Miami, FL. 1992
- US Navy Diving Manual