

# COMPRESSEURS & STATIONS DE GONFLAGE

(Mises à jour 2020)

## INTRODUCTION

### I AIR ET MÉLANGES RESPIRABLES

L'air  
Composition de l'air naturel  
Poids spécifique et densité  
Température  
Pression atmosphérique  
Pression relative  
Pression absolue  
Pression partielle et règles de Dalton  
L'air humide  
Loi et table de Regnault  
Variations de volume  
Variations de température  
Degré hygrométrique  
Point de rosée  
Les polluants  
Les contaminants naturels  
Les contaminants artificiels  
Cas particuliers  
Limites de l'air et mélanges respirables

### II LA COMPRESSION DE L'AIR

À volume constant  
À volume variable  
L'air comprimé  
Loi de Mariotte  
Chaleur dégagée ou absorbée  
Compression / Détente et température  
Conséquences et applications  
Équivalence travail chaleur  
Dilatation des gaz  
Loi de Charles ou de Gay-Lussac  
Pression des gaz  
Loi de Amontons

### III LES COMPRESSEURS À PISTONS

Le compresseur de base à un étage  
Fonctionnement  
Cycles de compression  
Le cycle idéal  
Le cycle théorique  
Le cycle réel  
Taux de compression  
Débit engendré  
Rendement volumique  
Le compresseur multi-étagé  
Taux de compression  
Débits  
Production de chaleur  
Production de particules métalliques

Production d'huile  
Production d'eau

### IV LES FILTRATIONS

Rappels  
Élimination de l'eau, brindilles et insectes  
Élimination des particules lourde  
Éliminations des poussières  
Élimination des condensats  
Purges manuelles  
Purges automatique  
Sécheur d'air  
Sécheur à réfrigération  
Filtrage des vapeurs d'huile et des odeurs  
Filtrage de la vapeur d'eau résiduelle  
Régénération automatique  
Par chauffage  
Par inversion alternée de flux  
Filtrage du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>)  
Filtrage du monoxyde de carbone (CO)  
Filtrage par catalyse  
Saturation des filtres  
Surveillance du colmatage  
Surveillance électronique  
Filtrage et pression  
Déverseur  
Clapets anti-retour  
Filtrage des particules  
Filtration dans un compresseur  
Les petits compresseurs  
Le contrôle de la qualité de l'air  
Analyse de laboratoire  
La valise de test à tubes réactifs  
La valise de test électronique

### VI LES RÉALISATIONS

Composants d'un compresseur  
Cylindres  
Pistons  
Segments  
Soupapes (Sièges et Clapets)  
Ressort de rappel  
Embiellage  
Serpentins de refroidissement  
Bouteilles de décantation  
Manomètres  
Soupapes de sûreté  
Débit des soupapes de sûreté  
Clapets anti-retour  
Vannes  
Électrovannes  
Compteurs horaires  
Boîtiers de surveillance électronique

Les moteurs  
Les courroies  
Systèmes de lubrification  
Le barbotage  
Le reniflard  
Le goutte à goutte  
La pompe "Basse pression"  
La pompe "Haute Pression"  
Inconvénients de la lubrification  
Toxicité des huiles  
Choix du lubrifiant  
Systèmes de refroidissement  
Refroidissement à air  
Refroidissement à eau  
Dessin des circuits d'un compresseur  
Documentation du compresseur  
Caractéristiques générales

### VI COMPRESSEUR À VIS ET À MEMBRANE

Compresseurs à vis  
Principe de fonctionnement  
Avantages  
Inconvénients  
Applications  
Compresseur à membrane  
Principe de fonctionnement  
Avantages  
Inconvénient  
Applications

### VII LA CONCEPTION DES STATIONS

Caractéristiques d'une station de gonflage  
Composition générale  
Risques potentiels  
Installation  
Le site  
Le local  
Le compresseur  
Évacuation de la chaleur  
Composants d'une station de gonflage  
L'installation électrique  
Coffret électrique  
Câbles électriques  
Boutons d'arrêt d'urgence  
La prise d'air  
Les canalisations  
Vannes  
Électrovannes \*  
Clapets anti-retour  
Détendeurs "Haute Pression"  
Les pressostats  
Capteurs de température  
Thermomètres

Compteurs  
Débitmètres  
Systèmes de décharge de pression  
Soupapes de sûreté  
Disques d'éclatement1  
Les bouteilles tampons  
Harmonisation des bouteilles  
Chariots de manutention  
Le poste de chargement  
Les flexibles  
Anti-fouet  
Les ingrédients  
Les stations fixes  
Installation piscine  
Installation bord de mer ou fosse de plongée  
Affichages  
Station manuelle  
Station automatisée  
Fosse subaquatique de Chanterreines  
Station de sécurité  
Agencement d'un club  
Les stations mobiles  
A l'air libre  
Sur remorque  
Sur bateau  
Débit et montée en pression  
Dans la station  
Dans les bouteilles  
Réserve d'air d'une station avec tampons  
Charger à la bonne pression

### VIII PRODUCTION DE MÉLANGES

Les mélanges binaires \*  
L'acheter tout fait  
Procéder à des transvasements  
Réaliser le mélange par flux continu  
Utiliser un filtre à membrane perméable  
Les surpresseurs  
Les mélanges ternaires  
Accessoires  
Chargement des mélanges  
La nature des matériaux

### IX CALCULS RELATIFS AUX GONFLAGES

Paramètres de calculs  
Les temps morts  
Gonflage avec compresseur et une rampe  
Temps total de gonflage  
Débit de remplissage du compresseur  
Bouteilles gonflables dans un temps donné  
Gonflage avec 2 rampes alternées  
Temps de gonflage  
Débit de remplissage du compresseur

Bouteilles chargeables dans un temps donné  
Gonflage avec bouteilles tampons seules  
Volume en eau des tampons  
Nombre de bouteilles que l'on peut gonfler  
Temps de recharge des tampons  
Débit nécessaire du compresseur  
Gonflage à l'aide d'une station automatisée  
Temps de gonflage rapide  
Calcul du volume en eau des tampons  
Nombre de bouteilles gonflables rapidement  
Gonflage échelonné  
Gonflage nitrox par transvasements

### X LA MAINTENANCE

Maintenance préventive  
La notice d'entretien  
Le cahier d'entretien  
Fiches d'inspection  
Le cahier de gonflage  
L'inspecteur  
Maintenance préventive par composant  
Guide d'entretien périodique  
Maintenance curative  
Maintenance corrective par composant  
Télé dépannage  
Guide de dépannage des compresseurs  
Exemple de guide de dépannage  
En cas d'accident

### XI ANNEXES

Réglementation  
Tableaux divers  
Différents symboles normalisés  
Consignes de gonflage  
Adresses et organismes utiles  
Principaux fournisseurs  
Bibliographie  
Liste des figures  
Liste des gravures et photos

## LIVRE D'OR

**COMPRESSEURS**  
**et**  
**STATIONS DE GONFLAGE**

**pour**  
**la plongée subaquatique**

Édition 2019



***Gravure 1 - Scaphandrier avec sa pompe***

À la mémoire de Pierre Yves LE BRIS  
Président du Club Concarnois de Plongée  
victime d'une explosion sur un compresseur  
à Concarneau le 15 août 1983

© Henri LE BRIS

AUTEUR AUTO-ÉDITÉ

(du même auteur)

[LES BOUTEILLES DE PLONGÉE 2019](#)

**COMPRESSEURS ET STATIONS DE GONFLAGE 2019**

[PRINCIPES DES DÉTENDEURS 2019](#)

[LES INSTRUMENTS DE PLONGÉE 2019](#)

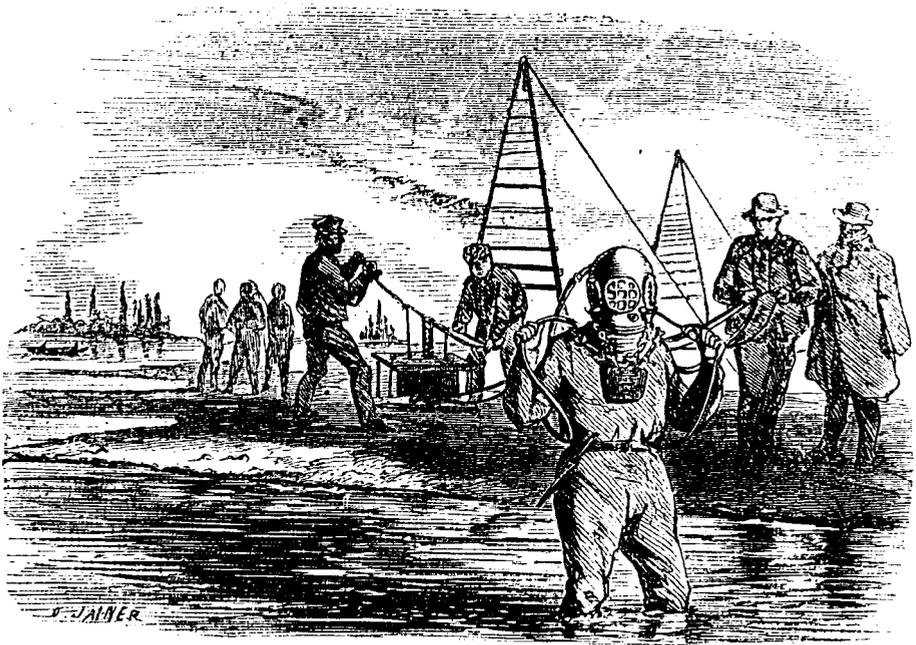
[RETOUR À L'ACCUEIL](#)

Gravures anciennes  
Archives Philippe ROUSSEAU

**Avertissements :**

- Les informations et indications données dans cet ouvrage n'ont rien d'exhaustif. Elles ne sont données qu'à titre indicatif et ne sauraient engager la responsabilité de l'auteur. Celui-ci ne pourra être tenu pour responsable de toute erreur, omission ou lacune qui aurait pu s'y glisser ainsi que des conséquences, quelles qu'elles soient, qui résulteraient de leur utilisation.

- Le code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation, traduction ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement écrit de l'auteur ou des ses ayants droit est illicite et constitue une contrefaçon, aux termes des articles L.335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle.



*Gravure 2 - Équipement français Cabirol 1859*

## **INTRODUCTION**

Une station de gonflage est le talon d'Achille d'un club ou d'un centre de plongée. Une mauvaise installation, un mauvais entretien ou une mauvaise utilisation peut avoir des conséquences désastreuses pour son fonctionnement mais aussi pour la sécurité des biens et du personnel qui se trouvent dans son environnement.

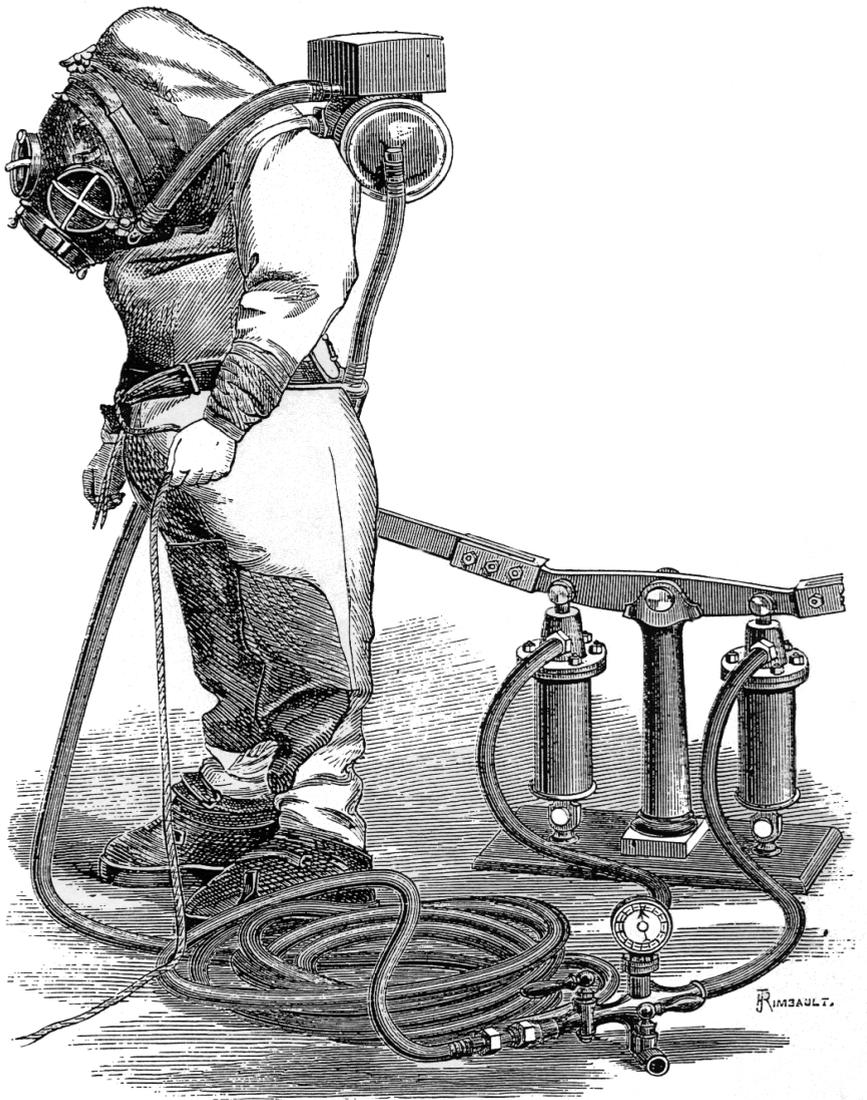
Nous avons écrit cet ouvrage pour informer les décideurs, les responsables, les installateurs mais aussi pour fournir les éléments nécessaires à la formation de ceux qui interviennent sur de telles installations qu'ils soient bénévoles ou professionnels : Personnel d'entretien ou de gonflage ; Techniciens en Inspection Visuelle ; Moniteurs ; Plongeurs ...

Ce document ne prétend pas remplacer les manuels fournis par les constructeurs mais plutôt les compléter et faciliter leur compréhension dans leur diversité.

Il permettra de préparer l'installation des équipements avec les différentes parties concernées. Il complétera, en particulier, les notices d'entretien pour : planifier, contrôler ou exécuter les opérations de maintenance.

### **Remerciements**

Je remercie tous ceux qui m'ont aidé dans l'élaboration de cet ouvrage : Stéphane Arnoffi, de la société "CompAIR-Luchard" ; Malo Le Breton, de la société "ATOC Compresseurs" ; Philippe Rousseau, Jean Pierre Montagnon et Guy Zonberg, Instructeurs Nationaux qui m'ont permis de l'améliorer tant sur le fond que sur la forme.



*Gravure 3 - Équipement Rouquayrol et Denayrouze 1864*

## CHAPITRE I

### L'AIR ET LES MÉLANGES RESPIRABLES

#### I-1 L'air

##### **I-1-1 Composition de l'air naturel**

Le tableau ci-dessous donne la composition de l'air naturel suivant la norme ISO 2533 de 1975. Ces proportions peuvent toutefois varier en fonction du lieu de prélèvement.

Composants	% en masse d'air sec	% en volume d'air sec
Oxygène (O <sub>2</sub> )	23,14	20,947 6
Azote (N <sub>2</sub> )	75,52	78,084
Argon (Ar)	1,288	0,934
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	0,048	0,031 4
Hydrogène (H <sub>2</sub> )	0,000 003	0,000 050
Néon (Ne)	0,001 270	0,001 818
Hélium (He)	0,000 073	0,000 524
Krypton (Kr)	0,000 330	0,000 114
Xénon (Xe)	0,000 039	0,000 008 7

##### **I-1-2 Poids spécifique et densité**

Pour une pression de 1013 millibars, le poids spécifique de l'air, c'est-à-dire le poids d'un litre est de 1,2928 grammes soit 1,2928 kilogrammes par mètre cube à 0° C. Du fait de la dilatation, ce poids passe à 1,1897 grammes par litre à 20°C. On notera que par définition, l'air étant pris comme référence pour les gaz, sa densité est de 1. (Pour les liquides, c'est l'eau pure qui sert de référence) Les calculs liés à un [système pneumatique](#) utilisent sa [masse volumique](#), qui est de 1,293 kg /Nm<sup>3</sup> (1 Nm<sup>3</sup> = 1 normomètre cube indique une mesure établie à la pression atmosphérique normale de 1,013.10<sup>5</sup> Pa = 1bar et 0°C de [température](#)).

### I-1- 3 Température

La température traduit le degré d'agitation des molécules d'un corps. Lorsqu'on chauffe un gaz dans un volume indéformable, l'augmentation de pression qui en résulte correspond à l'augmentation de l'agitation des molécules qui frappent les parois.

L'unité de température est le degré Celsius dont le symbole est "°C". On trouvera aussi parfois le degré Fahrenheit d'origine anglaise, dont le symbole est "°F".

Pour information :

$$T^{\circ}Celsius = \frac{5}{9}(T_{\circ F} - 32)$$

$$T^{\circ}Fahrenheit = \frac{9}{5}T_{\circ C} + 32$$

À la pression absolue de 1013,25 millibars :

- Zéro degré Celsius correspond à la glace fondante.
- Cent degrés Celsius correspondent à la vaporisation de l'eau.

Pour bien saisir la suite de cet ouvrage, il est utile de comprendre ce qu'est la température absolue. Lorsqu'on refroidit un corps à -273,15 degrés Celsius, l'agitation moléculaire et donc la pression deviennent théoriquement nulles. Cette température constitue la référence de la température absolue, on l'appelle le zéro absolu.

En fait, les scientifiques ne savent pas très bien ce qui se passe au zéro absolu. Il semble que les lois de la physique ne soient plus les mêmes.

L'unité de température absolue est le kelvin dont le symbole est "K" :

Un kelvin égale un degré Celsius.

Zéro degré Celsius correspond à 273,15 kelvins.

Zéro kelvin correspond à - 273,15 degrés Celsius.

#### **Remarques :**

- On écrit ou on parle de kelvins, pas de degrés kelvins.
- Si nous évoquons quelques unités Anglo-saxonnes, dites aussi impériales, c'est parce que nous les retrouvons de temps en temps dans le matériel de plongée.

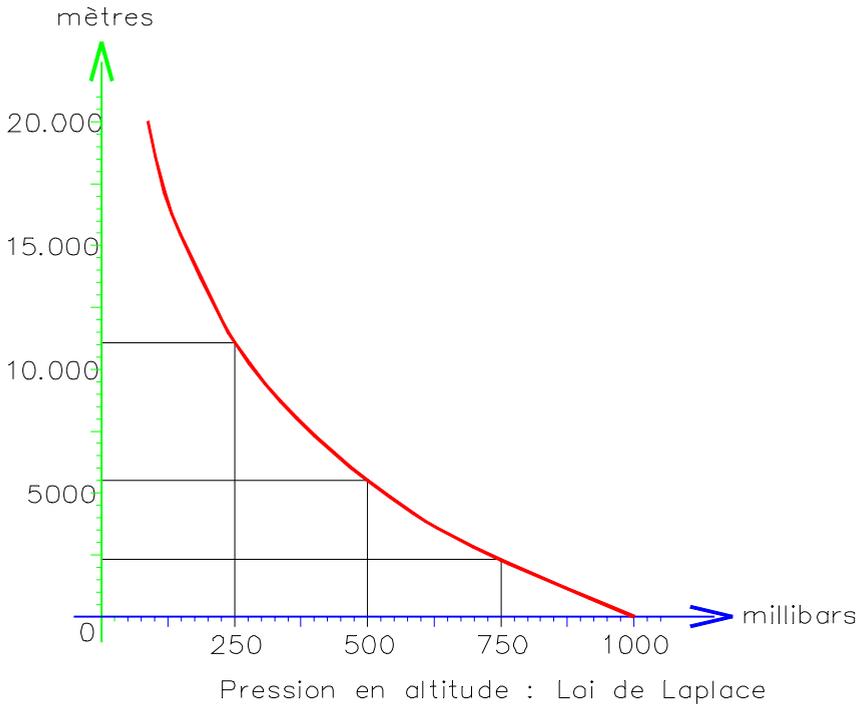
### I-1-4 Pression atmosphérique

L'unité de pression est le pascal (Pa) ou newton par m<sup>2</sup> qui vaut 10<sup>-5</sup> bars. C'est une valeur très petite. Pour des raisons pratiques, on utilise couramment un multiple, l'hectopascal ou le millibar. (Un hectopascal égal un millibar ou 10<sup>2</sup> Pa, ce qui équivaut pratiquement à 1 centimètre de hauteur d'eau douce)

Les Anglo-saxons utilisent le PSI. (Pound per Square Inche) Un bar égal 14,50 PSI ; Un PSI égal 0,069 bars. (Environ 0,07 bars)

La pression atmosphérique varie avec l'altitude. En première approximation, la variation est d'environ 0,01 bars tous les 100 mètres jusqu'à 5000 mètres d'altitude.

La figure 1 donne la courbe de variation suivant la loi de Laplace.



**Figure 1** Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

Mais ce n'est qu'une approximation, il existe d'autres lois qui se rapprochent plus ou moins bien de la réalité. Par exemple celle de Roudier, voir le tableau ci-dessous.

Altitude	-1000	-500	0	200	400	600
Millibars	1149	1079	1013	989	966	942
Altitude	800	1000	2000	3000	4000	10000
Millibars	918	898	725	701	617	265

### **I-1-5 Pression relative**

C'est la différence de pression avec une autre pression, prise comme référence. Dans la plupart des cas, cette référence est la pression à la surface du lieu où l'on se trouve. C'est aussi la pression indiquée par la plupart des manomètres mécaniques utilisés dans l'air ambiant.

Pour les plongeurs, la pression relative est la pression exercée par l'eau ou pression hydrostatique. La référence est, en général, la pression atmosphérique.

C'est celle à laquelle il doit revenir après la plongée, qu'il parte d'un site en altitude ou du niveau de la mer. Un cas particulier est celui d'un plongeur qui part d'une maison sous la mer et revient en surface, à une pression différente de celle dont il est parti.

### **I-1-6 Pression absolue**

C'est la pression par rapport au vide. En surface, elle est égale à la pression atmosphérique. En immersion, c'est la somme de la pression atmosphérique et de la pression hydrostatique.

### **I-1-7 Pression partielle et règles de Dalton**

Première règle : *La pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions de chacun des composants, s'il occupait à lui seul tout le volume.*

Deuxième règle : *La pression partielle d'un gaz dans un mélange est égale au produit de la pression totale par le pourcentage du gaz dans le mélange.*

## **I-2 L'air humide**

C'est un mélange d'air sec qui suit à peu près les lois des gaz parfaits et de vapeur d'eau qui suit indépendamment les lois particulières aux vapeurs. À une température et à une pression donnée, l'air ne peut contenir plus d'une certaine quantité de vapeur d'eau pour laquelle on dit qu'il est saturé.

### **I-2-1 Loi de Regnault**

*La quantité de vapeur d'eau que peut contenir un volume donné ne dépend que de ce volume et de la température.* (Elle est indépendante de la pression)

Une table du même nom permet de connaître la quantité maximale de vapeur d'eau, en gramme par m<sup>3</sup> d'air, à différentes températures. (Voir figure 2)

### **I-2-2 Variations de volume**

Considérons un cylindre dans lequel se meut un piston et qui contient de l'air avec une certaine quantité de vapeur d'eau. Diminuons le volume en poussant le piston et supposons que la température reste constante.

**TABLE DES POIDS DE VAPEUR D'EAU SATURANTE (en g / m<sup>3</sup>)  
AUX DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES**

Point de rosée	Poids g/m <sup>3</sup>						
+100	588,208	+50	82,257	0	4,868	-50	0,0389
+99	569,071	+49	78,491	-1	4,487	-51	0,0341
+98	550,375	+48	74,871	-2	4,135	-52	0,0304
+97	532,125	+47	71,395	-3	3,889	-53	0,0273
+96	514,401	+46	68,056	-4	3,513	-54	0,0242
+95	497,209	+45	64,848	-5	3,238	-55	0,0214
+94	480,394	+44	61,772	-6	2,984	-56	0,0195
+93	454,119	+43	58,820	-7	2,751	-57	0,0171
+92	448,308	+42	55,989	-8	2,537	-58	0,0156
+91	432,885	+41	53,274	-9	2,339	-59	0,0133
+90	417,935	+40	50,672	-10	2,156	-60	0,0119
+89	403,360	+39	48,181	-11	1,960	-61	0,00897
+88	389,224	+38	45,593	-12	1,803	-62	0,00794
+87	375,471	+37	43,508	-13	1,654	-63	0,00693
+86	362,124	+36	41,322	-14	1,515	-64	0,00592
+85	340,186	+35	39,286	-15	1,382	-65	0,00523
+84	336,660	+34	37,229	-16	1,271	-66	0,00455
+83	324,469	+33	35,317	-17	1,156	-67	0,00399
+82	311,616	+32	33,490	-18	1,051	-68	0,00344
+81	301,186	+31	31,744	-19	0,963	-69	0,00305
+80	290,017	<b>+30</b>	<b>30,078</b>	-20	0,885	<b>-70</b>	<b>0,00266</b>
+79	279,278	+29	28,488	-21	0,804	-71	0,00228
+78	268,806	+28	26,970	-22	0,732	-72	0,00191
+77	258,827	+27	25,524	-23	0,665	-73	0,00162
+76	248,840	+26	24,143	-24	0,601	-74	0,00134
+75	239,351	+25	22,830	-25	0,552	-75	0,00119
+74	230,142	+24	21,578	-26	0,514	-76	0,00104
+73	221,212	+23	20,386	-27	0,463	-77	0,00090
+72	212,648	+22	19,252	-28	0,415	-78	0,00076
+71	204,286	+21	18,191	-29	0,374	-79	0,00065
+70	196,213	+20	17,148	-30	0,336	-80	0,00055
+69	188,429	+19	16,172	-31	0,301	-81	0,00047
+68	180,855	+18	15,246	-32	0,271	-82	0,00040
+67	172,575	+17	14,367	-33	0,244	-83	0,00033
+66	166,507	+16	13,531	-34	0,220	-84	0,00027
+65	159,654	+15	12,739	-35	0,198	-85	0,00022
+64	153,103	+14	11,987	-36	0,178	-86	0,00018
+63	146,771	+13	11,276	-37	0,160	-87	0,00016
+62	140,659	+12	10,600	-38	0,144	-88	0,00014
+61	134,684	<b>+11</b>	<b>9,961</b>	-39	0,130	-89	0,00011
+60	129,020	+10	9,356	-40	0,117	-90	0,00009
+59	123,495	+9	8,784	-41	0,104	-91	0,00007
+58	119,199	+8	8,243	-42	0,093	-92	0,00006
+57	113,130	+7	7,732	-43	0,083	-93	0,00005
+56	108,200	+6	7,246	-44	0,075	-94	0,00004
+55	103,453	+5	6,790	-45	0,067	-95	0,000035
+54	98,863	+4	6,359	-46	0,060	-96	0,000030
+53	94,483	+3	5,953	-47	0,054	-97	0,000025
+52	90,247	+2	5,570	<b>-48</b>	<b>0,048</b>	-98	0,000020
+51	86,173	+1	5,209	-49	0,043	-99	0,000015
						-100	0,000010

**Figure 2 Table de Regnault**

On constate qu'en dessous d'un certain volume la vapeur d'eau se condense. Ramenons le piston à sa position initiale, nous constatons alors que l'eau produite précédemment va se vaporiser à nouveau.

L'air se comporte ainsi comme une éponge, lorsqu'on le comprime, il laisse échapper l'eau qu'il contient. Lorsqu'on le décomprime, il réabsorbe cette eau.

(Lorsque l'eau est sous forme de vapeur, le mélange air-vapeur d'eau obéit approximativement aux lois des gaz parfaits : Mariotte, Gay-Lussac et Dalton

### **I-2-3 Variations de température**

Si l'on refroidit un volume d'air saturé en vapeur d'eau, celle-ci se condense. Si on le réchauffe, l'eau se vaporise à nouveau.

### **I-2-4 Degré hygrométrique**

On l'appelle aussi humidité relative. (**HR**) C'est un moyen de quantifier la quantité de vapeur contenue dans l'air. C'est le rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau existant effectivement dans l'air et la pression maximale de la vapeur, à la température considérée. C'est aussi pour un volume donné, le rapport du poids de la vapeur d'eau qu'il contient à celui qu'il peut contenir à saturation.

- L'air est d'autant plus sec que son degré hygrométrique est plus proche de zéro. On dit alors qu'il est sous-saturé.

- Si le volume d'air considéré contient exactement la quantité maximale possible de vapeur d'eau, il est saturé. Par définition, son degré hygrométrique est de 1. (On dit aussi que son hygrométrie est de 100%)

- Dans un volume donné (Étanche) contenant une certaine quantité de vapeur d'eau, lorsque la température augmente le degré hygrométrique diminue. Lorsque la température diminue le degré hygrométrique augmente.

### ***Chiffres remarquables à retenir :***

Pour 100% de degré hygrométrique, un volume de 1 m<sup>3</sup> d'air à 30°C contient 30 grammes de vapeur d'eau, à - 48°C, il n'en contient plus que 48 milligrammes. Ces chiffres sont indépendants de la pression.

(Voir ces valeurs en bleu dans la table de Regnault, figure 2)

### **I-2-5 Point de rosée**

On appelle "Point de rosée", la température de l'air correspondant au degré hygrométrique 1.

Le **point de rosée** ou **température de rosée** est une donnée [thermodynamique](#) caractérisant l'humidité dans un [gaz](#). Le [point de rosée](#) de l'air est la température à laquelle la pression partielle de vapeur d'eau est égale à sa pression de vapeur saturante. (Wikipédia)

C'est la température à laquelle il faut refroidir de l'air, initialement sous-saturé, pour provoquer le début de la condensation. Plus on descend au-dessous de cette température, plus la quantité d'eau condensée augmente.

**Exemple :**

Supposons un compresseur qui fournit 10 g de vapeur d'eau par m<sup>3</sup> d'air à une pression de 200 bars. D'après la table de Regnault le point de rosée est, à peu près de +11°C. On conçoit que si la température ambiante descend au-dessous de cette valeur, cette vapeur d'eau puisse se condenser dans une bouteille une fois chargée. On voit donc la nécessité de réduire autant que possible la présence de vapeur d'eau dans l'air fourni par les compresseurs. La nouvelle norme EN12021 prévoit 50 milligrammes par m<sup>3</sup> à 200 bars. Ceci par exemple, après une détente dans un rapport 20, donne un point de rosée d'environ -70°C.

**I-3 Les polluants**

En plus de ses composés normaux, l'air atmosphérique peut contenir des polluants.

Toute substance émise dans l'atmosphère, soit par un processus naturel, soit par une activité humaine ou, toute substance obtenue par réaction entre substances émises qui affecte l'homme ou altère son environnement, est un polluant.

L'air respirable est de l'air qui ne contient pas suffisamment de polluant pour nuire à la santé ou au comportement de celui qui le respire dans les conditions imposées. La directive 91/322/CEE du 29/05/91 et la directive 80/11/07/CEE indiquent la nature et la proportion à ne pas dépasser pour un temps d'exposition donné.

Pour le plongeur, il faut tenir compte de la nature du polluant, de sa pression partielle et du temps pendant lequel il est respiré.

**I-3-1 Les contaminants naturels**

L'eau à l'état liquide ou de vapeur, en raison des dégâts qu'elle peut produire sur le matériel, est considérée comme un polluant.

Les poussières sont, en général, véhiculées par le vent, elles se caractérisent par :

- leur nature : minérale, (poussières) ; végétale (organique, débris végétaux, pollens) ou animales. (Insectes, bactéries)
- Leur granulométrie qui va de quelques microns à quelques millimètres.
- Leur dureté.
- Leur densité.

Elles peuvent suivant le cas, provoquer des troubles de l'organisme ou perturber le fonctionnement du matériel.

Les bactéries peuvent se développer dans l'air comprimé et donner à celui-ci un "goût" de moisi, en particulier s'il est stocké pendant longtemps dans une bouteille. Elles peuvent aussi provoquer, dans certains cas, des corrosions dites bactériennes.

### **I-3-2 Les contaminants artificiels**

Ce sont ceux produits par l'homme. (Certains d'entre eux existent aussi à l'état naturel)

On distingue :

- le monoxyde de carbone (CO), le plus dangereux et le dioxyde de carbone. (CO<sub>2</sub> ou gaz carbonique) Ce dernier représente quantitativement la pollution la plus importante ; on le trouve dans l'air ambiant. Il est, en général, produit par les moteurs à combustion interne, les chauffages résidentiels ou industriels.
- Les gaz (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) qui proviennent des sites industriels ou des chauffages individuels.
- Les produits dits chimiques tels que : aérosols, solvants des plastiques, colles, peintures, hydrocarbures, huiles etc.
- Les poussières industrielles provenant des usines : ciment, fumée, etc.

### **I-3-3 Cas particuliers :**

- L'oxyde de plomb qui se produit souvent lors de la fusion de ce métal. Ce produit est très dangereux, il faut, par exemple, éviter de couler des plombs destinés aux ceintures de lest à proximité de la prise d'air d'un compresseur.
- Les produits de nettoyage des pièces mécaniques tel le trichloréthylène ou autres solvants qui peuvent mettre très longtemps à disparaître. On utilisera de préférence du perchloréthylène suivi d'un séchage à l'air comprimé.
- Les poussières ou gaz radioactifs consécutifs aux expérimentations ou aux accidents nucléaires.
- Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (H.A.P.) provenant de la combustion imparfaite des moteurs diesels. Ils peuvent être cancérigènes ou matagènes en fonction de leur concentration.

Il faut noter que tous ces contaminants peuvent parcourir des distances très importantes sous l'action du vent, le plus souvent se diluer mais parfois, quoique exceptionnellement, se concentrer.

### **I-3-4 Les limites de l'air et des mélanges respirables**

Nous avons appris en physiologie que, pour vivre, nous avons besoin d'une pression partielle d'oxygène d'au moins 160 millibars. Par contre, au-dessus de 1,6 bars, ce gaz peut être toxique.

L'azote quant à lui, peut provoquer la narcose à partir d'une pression partielle voisine de 4 bars et pose des problèmes de désaturation en fonction de la pression et de la durée pendant laquelle il a été respiré.

### *Les Nitrox*

De nombreux chercheurs ont eu l'idée de faire varier la proportion d'azote et d'oxygène de façon à tourner l'une au l'autre des difficultés évoquées ci-dessus. Les mélanges ainsi obtenus sont appelés des Nitrox \*. En France, on les appelle parfois "Surox", mot qui définit mieux ces mélanges. L'air est un nitrox à 21% d'oxygène (O<sub>2</sub>) et 79 % d'azote. (N<sub>2</sub>) C'est le "Nitrox du Bon Dieu".

En appliquant les règles de Dalton, on peut, par exemple, augmenter la proportion d'oxygène dans l'air pour, en fait, diminuer celle de l'azote. Ceci permet de reculer les effets de la narcose et surtout de réduire les contraintes de décompression. Malheureusement, cela limite aussi la profondeur maximum qu'il est possible d'atteindre, à cause de la toxicité de l'oxygène.

En utilisant les tables MN90, un mélange à 40% d'oxygène permet de plonger 35 min au lieu de 10 min, à 30 mètres sans palier, avec de l'air (Profondeur équivalente 21m) Mais, avec ce mélange, 30 m est aussi la profondeur à laquelle la pression partielle d'oxygène (P<sub>PO2</sub>) atteint la limite de 1,6 bars à ne pas dépasser. L'oxygène pur est utilisé pour effectuer des paliers en deçà de -6 mètres, mais pas au-delà, sauf cas particuliers.

A l'inverse si l'on veut éviter la toxicité de l'oxygène, on pourrait, en théorie tout au moins, réduire son pourcentage pour plonger plus profond. Malheureusement, on augmente ainsi les effets de la narcose et les contraintes de décompression. Ce type de mélange n'est pas utilisé en raison de ces inconvénients.

Il nous faut cependant noter l'existence de certains recycleurs qui ajustent automatiquement le rapport oxygène / azote, en fonction de la profondeur, pour optimiser la décompression et réduire les risques liés à la toxicité de ces gaz.

### *Les Trimix*

On peut tourner les difficultés ci-dessus en ajoutant un troisième gaz, de l'Hélium par exemple. Ces mélanges appelés Trimix \*\* permettent d'ajuster les pressions partielles de chacun des gaz utilisés pour profiter de leurs avantages et ne pas subir leurs inconvénients. C'est ainsi qu'en plongée très profonde, les plongeurs utilisent plusieurs scaphandres gonflés avec différents mélanges qu'ils respirent en fonction de la profondeur à laquelle ils se trouvent. Des plongées expérimentales ont également été réalisées avec des mélanges contenant de l'hydrogène. Le 20 novembre 1992, Théo Mavrostomos a atteint, en caisson hyperbare, la profondeur de moins 701m avec de l'Hydreliox. (Mélange d'hydrogène, d'hélium et d'oxygène)

\* Le mot vient des mots anglais "Nitrogen (Azote) et Oxygen (Oxygène)".

\*\* Le mot vient du préfixe latin "Tri" qui signifie trois et du mot anglais "Mix" qui signifie mélange.



*Gravure 4 - Recherches dans un lac du Val d'Aoste*

## CHAPITRE II

### LA COMPRESSION DE L'AIR

Considérons d'abord que la compression se fait sans augmentation de chaleur.  
(Compression isotherme)

#### **II-1 À volume constant**

Un réservoir de 12 litres, contient 12 litres d'air à la pression absolue de 1 bar (Pression relative zéro) Ajoutons-y 12 litres d'air, la pression absolue va doubler et la pression relative va passer à 1 bar. Ces 12 nouveaux litres occuperont donc 6 litres dans le réservoir.

Nous pouvons continuer l'expérience en ajoutant encore 12 litres. La pression absolue devient 3 bars, la pression relative passe à 2 bars et le volume occupé par ces 12 nouveaux litres est de 4 litres et ainsi de suite...

La compression à volume constant est celle du gonflage des bouteilles de plongée.

#### **II-2 À volume variable**

C'est le cas d'un piston qui se déplace dans un cylindre, exemple de la pompe à bicyclette quand on en bouche la sortie.

Supposons que le volume maximum dans le cylindre est de  $1000 \text{ cm}^3$  et que la pression absolue est de 1 bar.

Si l'on effectue la moitié de la course, on a :

- Pression absolue 2 bars, pression relative 1 bar, volume  $500 \text{ cm}^3$ .

Si l'on effectue les  $3/4$  de la course on a :

- Pression absolue 4 bars, pression relative 3 bars, volume  $250 \text{ cm}^3$ .

Si l'on effectue les  $7/8$  de la course on a :

- Pression absolue 8 bars, pression relative 7 bars, volume  $125 \text{ cm}^3$ .

Et ainsi de suite...

La compression à volume variable est celle du fonctionnement du compresseur à piston.

#### **II-3 L'air comprimé**

##### **II-3-1 Loi de Mariotte**

*"A température constante, le produit du volume par la pression absolue d'une certaine masse de gaz parfait est constant".*

Cette loi régit la compression des gaz, dits parfaits, tel que nous venons de le voir dans les exemples précédents.

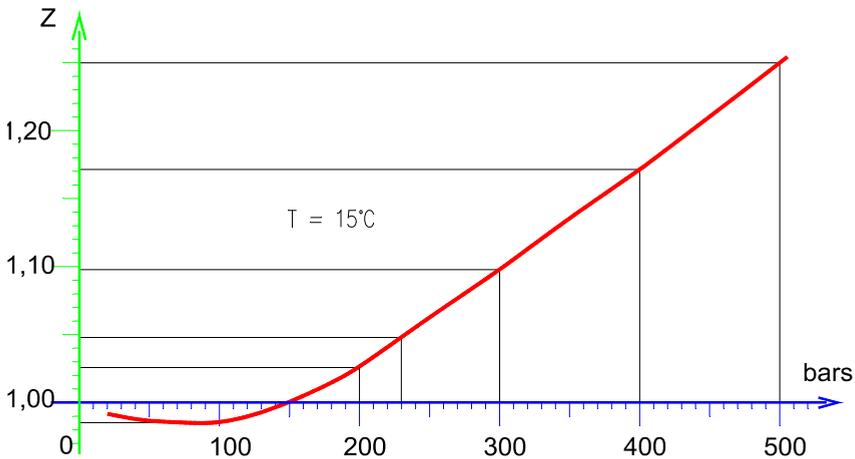
Il en résulte que :  $P \times V = \text{Constante}$

En fait, l'air n'est pas un gaz vraiment parfait, car il n'obéit pas rigoureusement à la loi de Mariotte. La formule à appliquer est :

$$\frac{P \times V}{z} = \text{Constante}$$

Où "z" est appelé facteur de compressibilité. C'est la règle de Van der Waals. A titre d'exemple, ce facteur est de 1,098 à 300 bars et à 15°C.

La courbe de la figure 3 donne la valeur de ce facteur en fonction de la pression. Pour de faibles pressions, z est inférieur à 1, on stocke plus d'air que prévu. Pour de l'air à 15°C, le point où la loi de Mariotte est vérifiée est voisin de 150 bars.



**Figure 3** Facteur de compressibilité en fonction de la pression

Par contre, à 230 bars, on perd près de 5% ; A 1000 bars, on perd environ 50% du volume d'air détendu auquel on pourrait s'attendre. On voit immédiatement le peu d'intérêt de monter très haut en pression. À zéro degré, la loi est vérifiée à 176,7 bars.

C'est peut être pour cette raison que cette valeur avait été retenue, à l'origine, pour la pression de service des bouteilles de plongée.

Pour résoudre les problèmes de physique, on utilise souvent le volume d'air ramené à 1 bar. Par convention, lorsqu'on parle de volumes en Normo-litres il s'agit d'air à 1 bar, à zéro degré Celsius. Lorsqu'on parle d'air détendu, il s'agit d'air à 1 bar, à la température ambiante.

## **II-4 Chaleur dégagée ou absorbée**

Pour imaginer ce chapitre, reprenons une pompe à bicyclette. Actionnons plusieurs fois et rapidement le piston, nous constatons une vive augmentation de la température du corps de la pompe. Ceci est dû à l'augmentation de pression dans le cylindre. On voit ainsi, qu'il n'est pas nécessaire de faire des mathématiques pour s'initier à la science appelée "[Thermodynamique](#)".

### **II-4-1 Compression / Détente et variation de température**

Les courbes de la [figure 4](#) donnent une idée approximative de l'augmentation ou de la baisse de température en fonction des variations de pression de l'air.

#### ***Exemple 1 :***

Si l'on comprime de l'air aspiré à 293K (20°C), de 1 à 8 bars absolu, d'après la courbe de compression a), son coefficient d'échauffement est de 1,72.

Sa température monte donc à :  $293 \times 1,72 = 504\text{K}$ . (231°C)

#### ***Exemple 2 :***

Si l'on détend de l'air à 504 K (231°C) de 8 à 1 bar absolu, le rapport de détente est de : 1/8 soit 0,125. D'après la courbe de détente b), le coefficient de refroidissement est de 0,65. Sa température descend donc à :  $504 \times 0,65 = 328\text{K}$  (55°C) On constate que l'air perd moins de chaleur à la détente qu'il n'en a acquis à la compression. Si avant la détente on ramène la température à 20°C, après détente, l'air se refroidit davantage et atteint  $293 \times 0,65 = 190\text{K}$  (- 82 °C)

### **II-4-2 Conséquences et applications**

#### ***A la compression***

Nous venons de voir que l'élévation de pression s'accompagne d'une élévation de température. Celle-ci a tendance à vaporiser l'eau alors que nous avons vu que l'augmentation de pression avait tendance à la condenser. Il y a donc là deux effets contraires et ce n'est que lorsque le refroidissement est suffisant que la condensation se produit.

#### ***A la détente***

Lorsque celle-ci est importante, la baisse de température qui s'ensuit peut provoquer la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air et même aller jusqu'à son givrage. Ce phénomène est utilisé, avec d'autres gaz que l'air, dans les climatiseurs et les réfrigérateurs pour produire du froid. Par contre, il peut être dangereux dans les détendeurs de plongée.

En effet, la détente importante qui s'y produit peut entraîner un givrage et bloquer le mécanisme en position ouverte ; C'est le débit continu. On comprendra aussi que l'élévation de pression ou l'abaissement de température sont des moyens d'éliminer, par condensation, une grande partie de la vapeur d'eau contenue dans l'air. Nous verrons cela plus loin, à propos de la filtration.

## **II-5 Équivalence travail chaleur**

Nous avons vu que pour comprimer un gaz, il faut réduire son volume et que ceci génère une élévation de température. Cette opération nécessite donc un travail. On peut démontrer qu'il y a une relation quantitative entre le travail fourni pour comprimer le gaz et la température dégagée.

Simplement, pour donner une idée, dans un compresseur à piston moderne, compte tenu d'un certain rendement mécanique, il faut à peu près  $\frac{1}{2}$  CV (Cheval Vapeur) ou 368 watts pendant une heure pour passer  $1 \text{ m}^3$  d'air de 1 à 350 bars.

Nous verrons que le dégagement de chaleur influence énormément la conception et l'installation des compresseurs. Pour calculer le refroidissement d'un compresseur, on considérera, sans grande erreur, que la totalité de l'énergie fournie est transformée en chaleur.

## **II-6 Dilatation des gaz**

À pression constante, si nous enfermons une certaine masse de gaz dans un volume souple, nous pouvons constater que le volume occupé sera une fonction linéaire de la température en kelvin.

### **II-6-1 Loi de Charles ou de Gay-Lussac.**

*À pression constante, le volume occupé par une certaine masse de gaz parfait varie proportionnellement à la température absolue".*

C'est cette loi qui, liée au principe d'Archimède, permet aux Montgolfières à air chaud de s'envoler.

## **II-7 Pression des gaz**

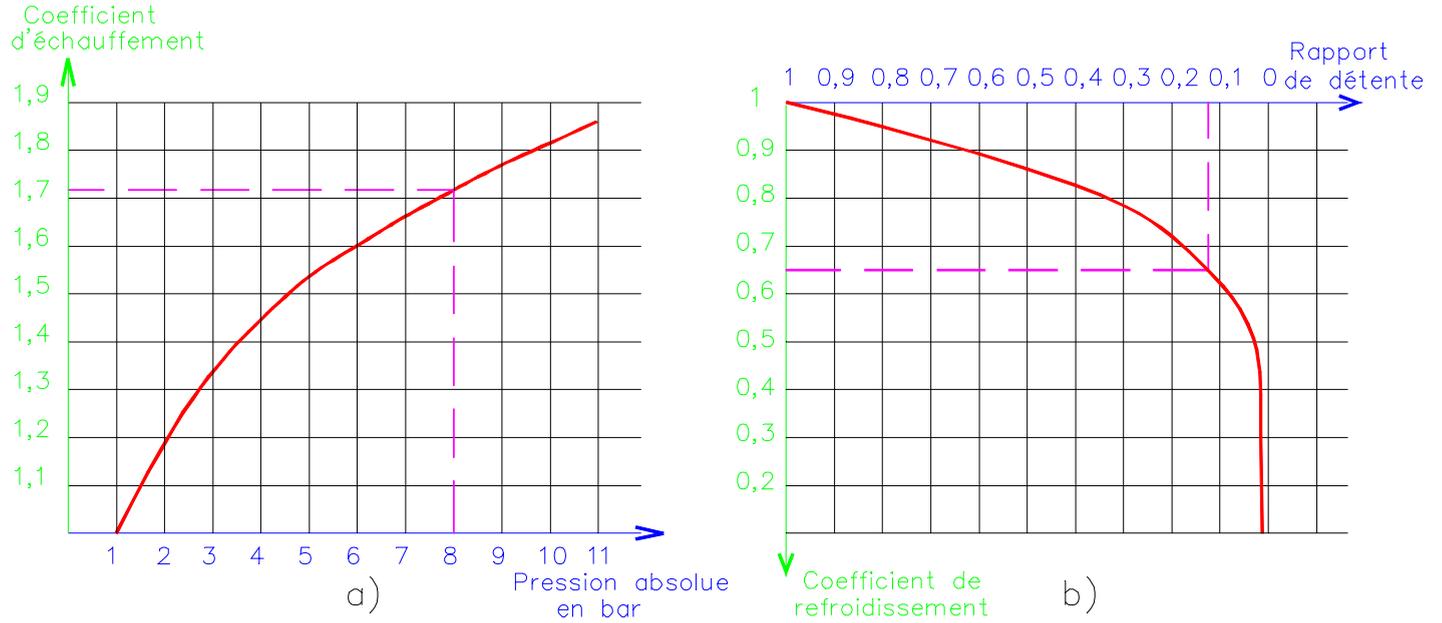
### **II-7-1 Loi de Amontons.**

*À volume constant, la pression absolue d'une certaine masse de gaz parfait varie proportionnellement à la température absolue.*

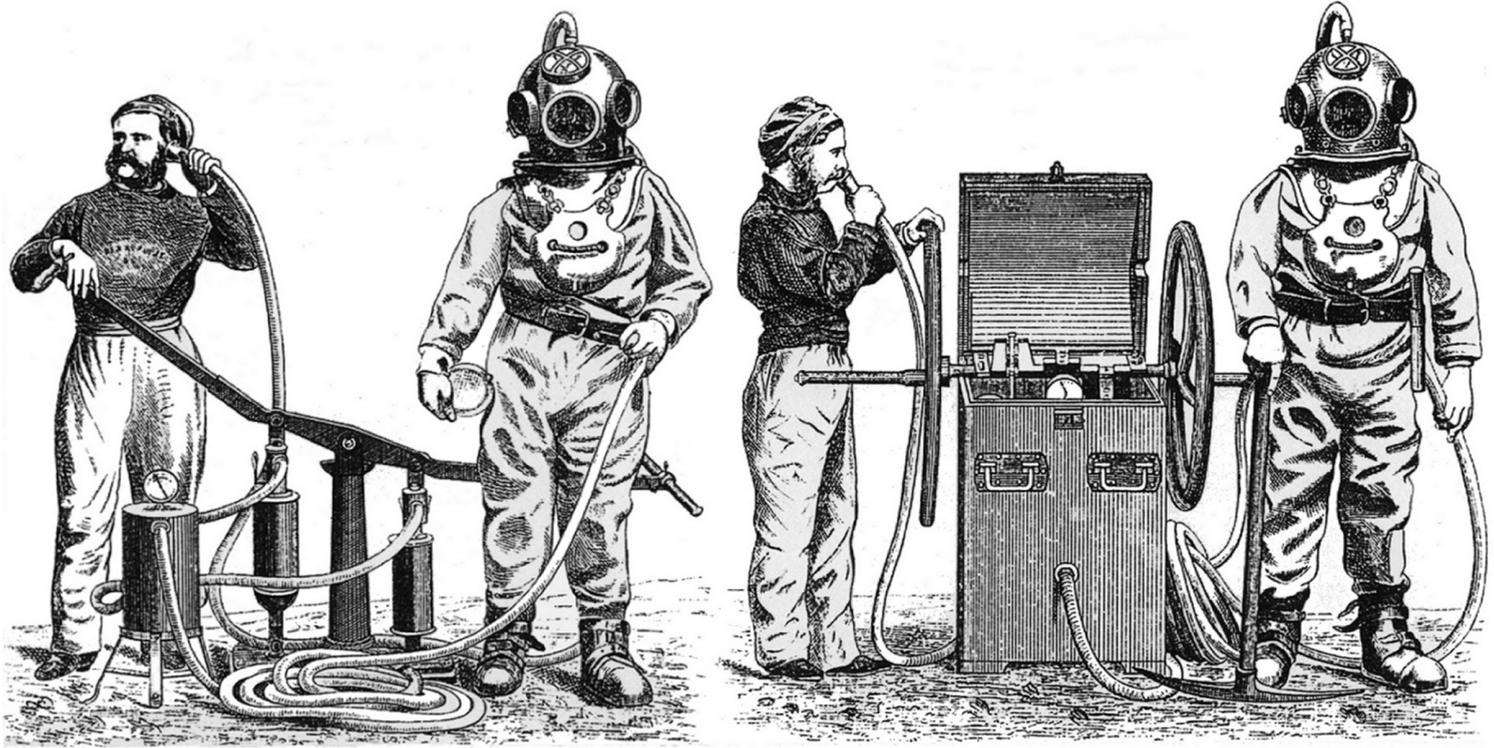
Lorsque la température change et que le volume est constant, c'est la pression qui varie. Par exemple, une bouteille en fin de gonflage à 192 bars atteint une température de  $47 \text{ }^\circ\text{C}$  ou  $320 \text{ K}$ . Après l'avoir laissée se refroidir à une température de  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  ou  $300 \text{ K}$ , sa pression tombe à :

$$\boxed{\frac{192 \times 300}{320} = 180 \text{ bar}}$$

Il faut noter que, suivant les ouvrages, il peut y avoir confusion (voire contestation) entre le nom donné à ces lois. Ce qui importe c'est de comprendre la différence entre les effets de la température à pression et à volume constant.



**Figure 4** Compression / Détente et variations de température



*Gravure 5 - Pompes à brinquebale et à volant, équipements Denayrouze, 1873*

## CHAPITRE III

### PRINCIPE DES COMPRESSEURS À PISTONS

#### **III-1 Le compresseur de base à un étage**

Selon la [figure 5](#), il se compose :

d'un cylindre ;

d'un piston ;

d'un clapet d'aspiration \* ;

d'un clapet de refoulement \* ;

d'une bielle ;

d'un volant d'entraînement.

#### ***Remarques :***

- \* Le clapet et son siège constituent une soupape. Le clapet est la partie mobile, le siège la partie fixe. Dans le langage courant, on utilise souvent le mot clapet au lieu de soupape pour désigner l'ensemble. (c'est l'inverse dans le langage automobile)

- Les soupapes sont contenues dans la culasse qu'on appelle plus généralement boîte à clapets.

#### **III-2 Fonctionnement**

Lorsque le volant tourne, entraîné lui-même par une machine électrique ou thermique, le piston est animé d'un mouvement alternatif quasi sinusoïdal.

Lorsqu'il descend, la pression dans le cylindre diminue. Dès qu'elle est inférieure à celle en amont du clapet d'aspiration, celui-ci s'ouvre, laissant l'air entrer à l'intérieur. (Aspiration)

Lorsqu'il monte, la pression dans le cylindre augmente. Dès qu'elle dépasse la pression au-dessus du clapet de refoulement, celui-ci s'ouvre et laisse échapper l'air vers la sortie. (Refoulement)

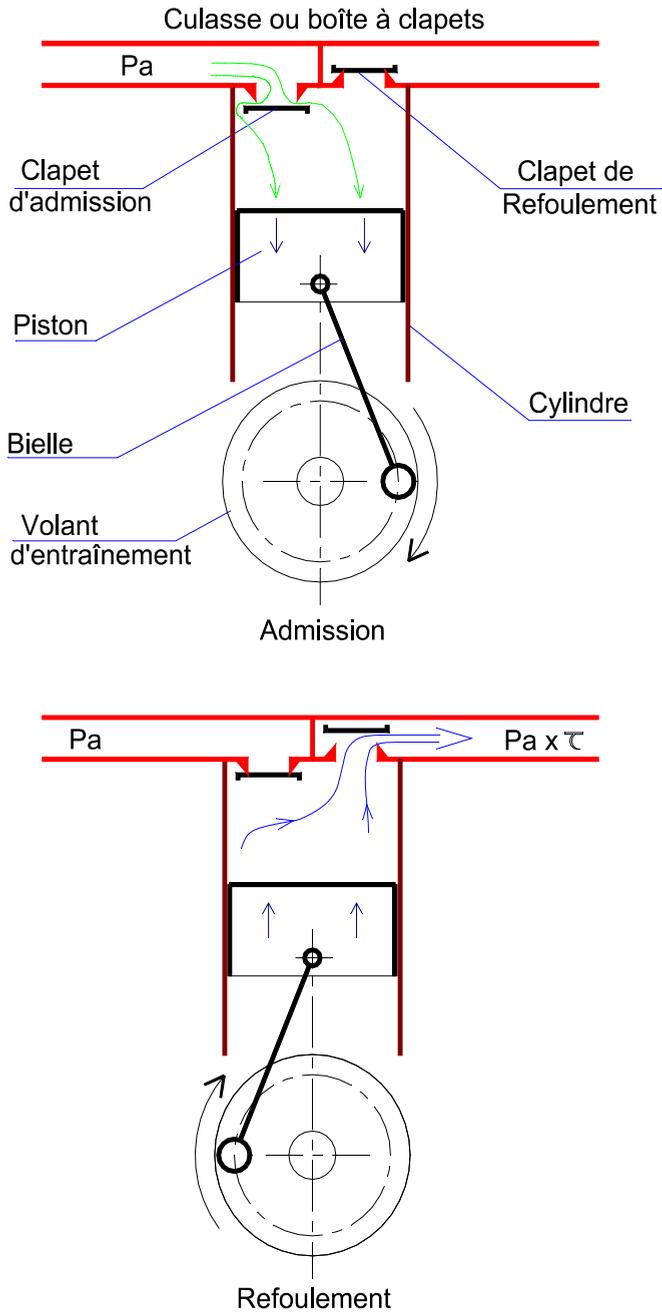


Figure 5 Compresseur de base  
([Animation](#))

### **III-3 Cycles de compression**

#### **III-3-1 Le cycle idéal**

Compression (Voir [figure 6](#)) : le piston amorce son mouvement vers les clapets. L'air contenu dans le cylindre est comprimé, sa pression et sa température augmentent. Cette phase correspond à l'arc de courbe AB.

#### ***Refoulement***

Au moment où la pression dans le cylindre atteint la pression  $P_2$ , le clapet de refoulement  $C_r$  s'ouvre et l'air est évacué vers l'utilisation sous la pression  $P_2$ , jusqu'au moment où le piston atteint la fin de sa course. Cette phase est représentée par la droite BC. Nous supposons, pour l'instant, qu'en fin de course le piston vient exactement toucher le bas de la culasse et donc qu'il n'y a plus d'air dans le cylindre.

#### ***Aspiration***

Le piston amorce son retour en s'éloignant des clapets. Comme, en théorie, il n'y a pas d'air résiduel dans le cylindre, on a simultanément et instantanément : fermeture du clapet de refoulement, chute de la pression de  $P_2$  à  $P_1$  et ouverture du clapet d'aspiration  $C_a$ .

Cette phase est représentée par la droite CD. Ceci fait, de D en A, c'est-à-dire pendant la totalité de la course du piston, l'air pénètre dans le cylindre. Arrivé en A, le piston amorce son mouvement de retour, le clapet d'aspiration se ferme et un nouveau cycle commence.

### **III-4 Le cycle théorique**

En fait : les clapets présentent une certaine résistance à l'ouverture, due aux ressorts de rappels dont ils sont munis. Leur ouverture ne s'effectue donc que lorsque la pression aval est légèrement inférieure à la pression amont.

Pour la même raison, la fermeture se fait avec une légère avance. Il s'ensuit que la phase d'aspiration "DA" s'effectue, pour une pression dans le cylindre légèrement inférieure à la pression atmosphérique  $P_1$  et que la phase de refoulement BC s'effectue pour une pression dans le cylindre légèrement supérieure à  $P_2$ .

Par ailleurs, le passage de l'air à travers les clapets crée une légère perte de charge dont l'effet s'ajoute au précédent. De plus, contrairement à l'hypothèse précédente, il existe toujours un volume résiduel appelé "Espace mort" entre le piston et la culasse. (La distance étant de 0,5 à 1mm)

Pour que le clapet d'aspiration s'ouvre, il faut que le piston redescende suffisamment de façon que la pression à l'intérieur du cylindre tombe en dessous de la pression en amont.

### **III-5 Le cycle réel**

Enfin l'inertie des clapets et l'inertie du gaz en mouvement provoquent des phénomènes complexes qui font que les pressions ne peuvent varier brutalement et, que parfois, elles oscillent avant de se stabiliser. Ceci a pour effet de déformer la courbe du cycle théorique.

#### **III-5-1 Taux de compression**

La pression maximum que peut fournir un compresseur est égale au produit de la pression de l'air prélevé par le taux de compression qui s'écrit " $\tau$ ", en lettre grecque. Le taux de compression est, en théorie, le rapport entre le volume maximum et minimum qui se trouve au-dessus du piston pendant son mouvement alternatif, voir [figure 7](#). Lorsqu'on comprime de l'air, il s'échauffe, donc il se dilate, ce qui provoque une augmentation supplémentaire de pression. Cette augmentation de pression n'est pas utilisable, car, de toute façon après un certain temps, l'air revient à la température ambiante.

Le taux de compression que l'on peut obtenir avec un seul étage est inférieur à 10. En effet, pour des raisons mécaniques, il est limité par le volume mort minimum que l'on peut réaliser, par les fuites aux pistons, aux clapets et par l'élévation de température que peuvent supporter les matériaux utilisés. D'autre part, on n'utilise pas souvent un étage de compression à la pression maximum qu'il peut fournir. On ne peut donc pas, avec un seul étage, atteindre les hautes pressions de 200 à 350 bars dont on a besoin.

#### **III-5-2 Débit engendré**

C'est le produit de la cylindrée du premier étage du compresseur par la vitesse de rotation du volant en tours / minute.

#### **III-5-3 Rendement volumique**

C'est le rapport : volume aspiré / volume engendré. Ce rendement varie avec la pression qui règne dans l'espace mort, lorsque le piston est au point mort haut car tout le volume comprimé ne franchit pas le clapet de refoulement. Cette pression résiduelle empêche le clapet d'aspiration de s'ouvrir immédiatement, dès que le piston commence à redescendre. Appelons :

$\gamma$  le rendement volumique en % ( $\gamma$  se prononce gamma en lettre grecque) ;

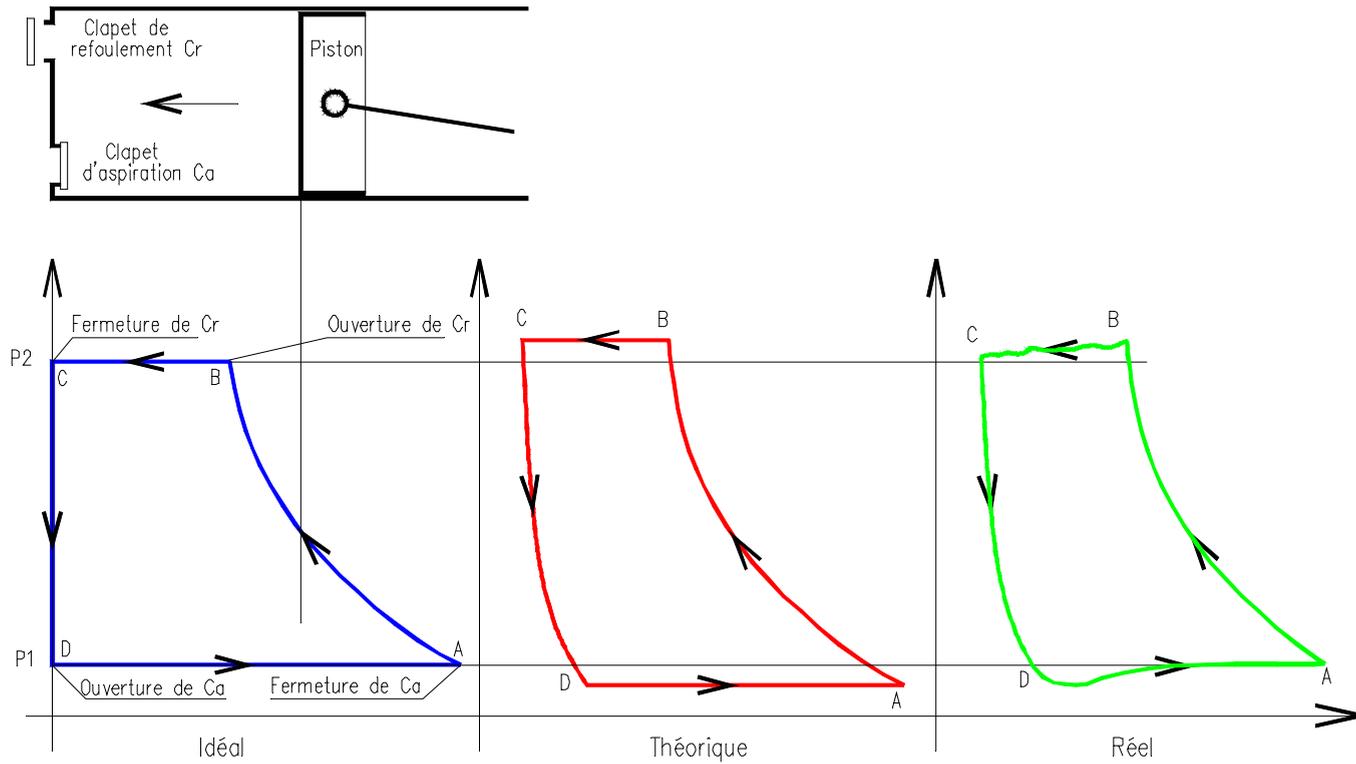
**P<sub>am</sub>** la pression en amont du clapet d'aspiration ;

**P<sub>av</sub>** la pression en aval du clapet d'aspiration ;

**V<sub>e</sub>** le volume engendré par le déplacement du piston à chaque tour ;

**V<sub>a</sub>** le volume réellement aspiré à chaque tour ;

**V<sub>m</sub>** le volume mort en litres.



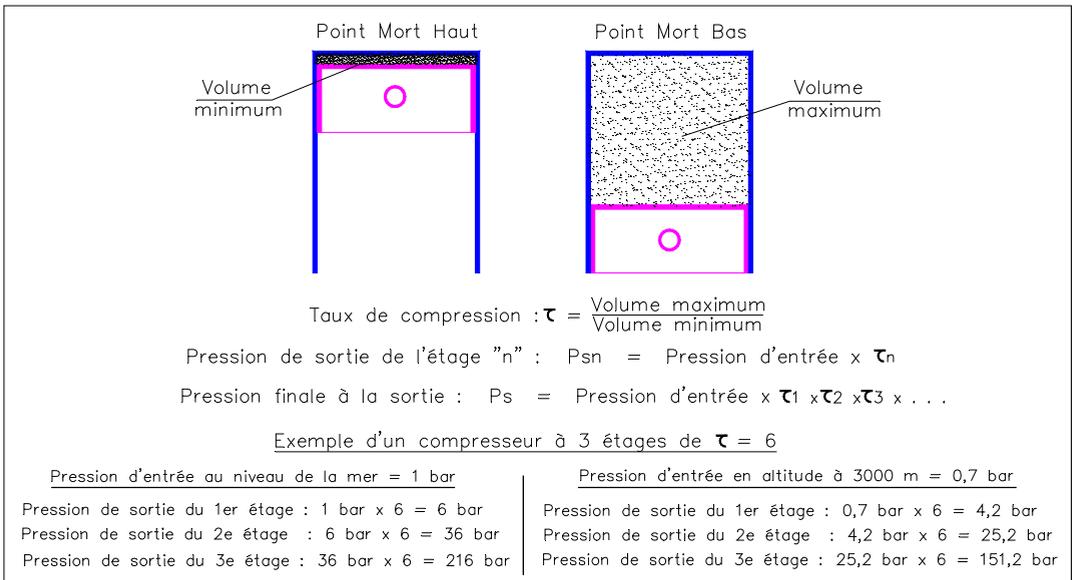
**Figure 6** Cycles de compression

Avant de pouvoir aspirer une nouvelle quantité d'air, le piston doit redescendre de telle façon que la différence de pression de part et d'autre du clapet soit au mieux nulle. Le volume au-dessus du piston est alors :  $V_m \times P_{av} / P_{am}$ . Le volume total étant  $V_e + V_m$ , le volume aspiré sera donc :

$$V_a = (V_e + V_m) - (V_m \times P_{av} / P_{am})$$

On en déduit le rendement volumique :  $\gamma = V_a / V_e$

$$\gamma = 1 - \frac{V_m}{V_e} \left( \frac{P_{av}}{P_{am}} - 1 \right)$$



**Figure 7 Pressions maximales inter-étages**

Pour  $V_e = 100 \text{ cm}^3$  ;  $V_m = 5 \text{ cm}^3$  ;  $P_{av} = 8 \text{ bars}$  ;  $P_{am} = 1$  :

On a un rendement de **65%**.

Pour  $V_e = 100 \text{ cm}^3$  ;  $V_m = 10 \text{ cm}^3$  ;  $P_{av} = 11 \text{ bars}$  ;  $P_{am} = 1$  :

On a un rendement qui tombe à **zéro**. Onze bars est donc la pression maximum que peut délivrer un tel étage.

On remarque aussi que quand la pression de sortie de l'étage augmente, son rendement volumique diminue.

### **III-6 Le compresseur multi-étagé**

#### **III-6-1 Taux de compression**

Le faible taux de compression possible avec un compresseur à un étage conduit à disposer plusieurs étages en série.

Si on appelle  $\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots$  le taux respectif de chaque cylindre, le taux résultant sera :

$$\tau = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3$$

et, la pression de sortie maximum sera :

$$P_{\text{sortie}} = P_{\text{entrée}} \times \tau$$

On réalise ainsi couramment des compresseurs de 3 ou 4 étages, en utilisant des taux de compression de 4 à 6 par étage. Ceci permet d'obtenir des pressions utiles de 200 à 360 bars. (voir figures [7](#) et [8](#) )

On voit aussi l'importance de ne pas avoir de filtre d'entrée colmaté. Cela réduit la pression à l'entrée du premier étage ce qui réduit proportionnellement la pression à la sortie.

Il en est de même en altitude ou la pression atmosphérique est plus faible. Il faut alors que la pression à l'entrée soit suffisante pour atteindre la pression de sortie souhaitée.

On remarque que la course des différents pistons est la même. Pour équilibrer les efforts sur le moteur, les manetons sont décalés de 30 à 90°. On peut envisager de décaler les cylindres eux-mêmes et tenter de les mettre dans un même plan.

On obtient ainsi des compresseurs en V, en W ou en étoile beaucoup plus compacts et faciles à ventiler.

Il y a plusieurs avantages à utiliser des compresseurs multi-étagés :

- 1) Le rendement volumétrique est supérieur.
- 2) La puissance absorbée est plus faible.
- 3) Les températures en sortie de chaque étage sont moins élevées.

Il est cependant rare de dépasser 4 étages car, cela augmente considérablement la complexité mécanique et diminue le rendement en raison des pertes de charges qui ne manquent pas de se produire dans les différentes parties du compresseur.



### **III-6-2 Débits**

#### ***Débit engendré***

Il est le même que pour le compresseur mono-étagé. Cependant comme nous le verrons, dans certains cas, il y a parfois lieu de tenir compte de la présence de 2 pistons pour un seul étage.

#### ***Débit de remplissage***

C'est le débit calculé à partir du temps mis à remplir une capacité de volume connu, à une pression définie. La différence avec le débit engendré vient comme nous l'avons vu du volume mort mais aussi des pertes par les fuites entre les piston et les cylindres. Et aussi en raison des purges, indispensables, que nous étudierons plus loin.

Le résultat doit, en toute rigueur, être affecté de corrections en fonction de la température et de la pression, voir [figure 3](#). Un compresseur qui, par exemple, absorbe 45 m<sup>3</sup> d'air peut n'en restituer que 30.

À la pression atmosphérique et à 20°C le débit de remplissage s'exprime en m<sup>3</sup>/heure ou en litre/minute. C'est l'une des caractéristiques principales d'un compresseur

À la pression atmosphérique, mais à 0°C, la quantité d'air délivrée est exprimée en Normaux m<sup>3</sup>. Dont le symbole s'écrit "Nm<sup>3</sup>".

### **III-6-3 Production de chaleur**

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, la compression de l'air s'accompagne toujours d'une forte élévation de température.

Les compresseurs à 3 étages ont des taux de compression plus élevés que ceux qui en ont 4. Chaque étage chauffe donc davantage. Le compresseur étant une machine mécanique, les différents frottements provoquent aussi des échauffements.

Il existe des craies dont la couleur change avec la température et qui peuvent être utilisées pour surveiller le fonctionnement d'un compresseur (Craies "Thermo-chrome" au chlorure de cobalt qui sont bleues et virent au noir au-dessus de 200° C)

### **III-6-4 Production de particules métalliques**

Les frottements, métal contre métal, libèrent des particules métalliques.

### **III-6-5 Production d'huile**

L'utilisation d'un lubrifiant permet de réduire les frottements donc la production de particules métalliques et de participer au refroidissement des différentes pièces.

Mais, l'addition d'huile dans le circuit d'air du compresseur implique que l'on en retrouve à la sortie, sous différentes formes : vapeur, aérosol ou liquide. Or l'huile, quelle qu'elle soit, est toxique.

De plus, une certaine partie, en brûlant forme des dépôts de calamine sur les clapets et les parties les plus chaudes des boîtes à clapets. L'huile est ainsi le principal polluant dans un compresseur.

### **III-6-6 Production d'eau**

La compression de l'air, surtout suivie d'un refroidissement, provoque la condensation de la vapeur d'eau qui y est contenue.

Il est bon de rappeler les inconvénients de la présence d'eau dans l'air comprimé

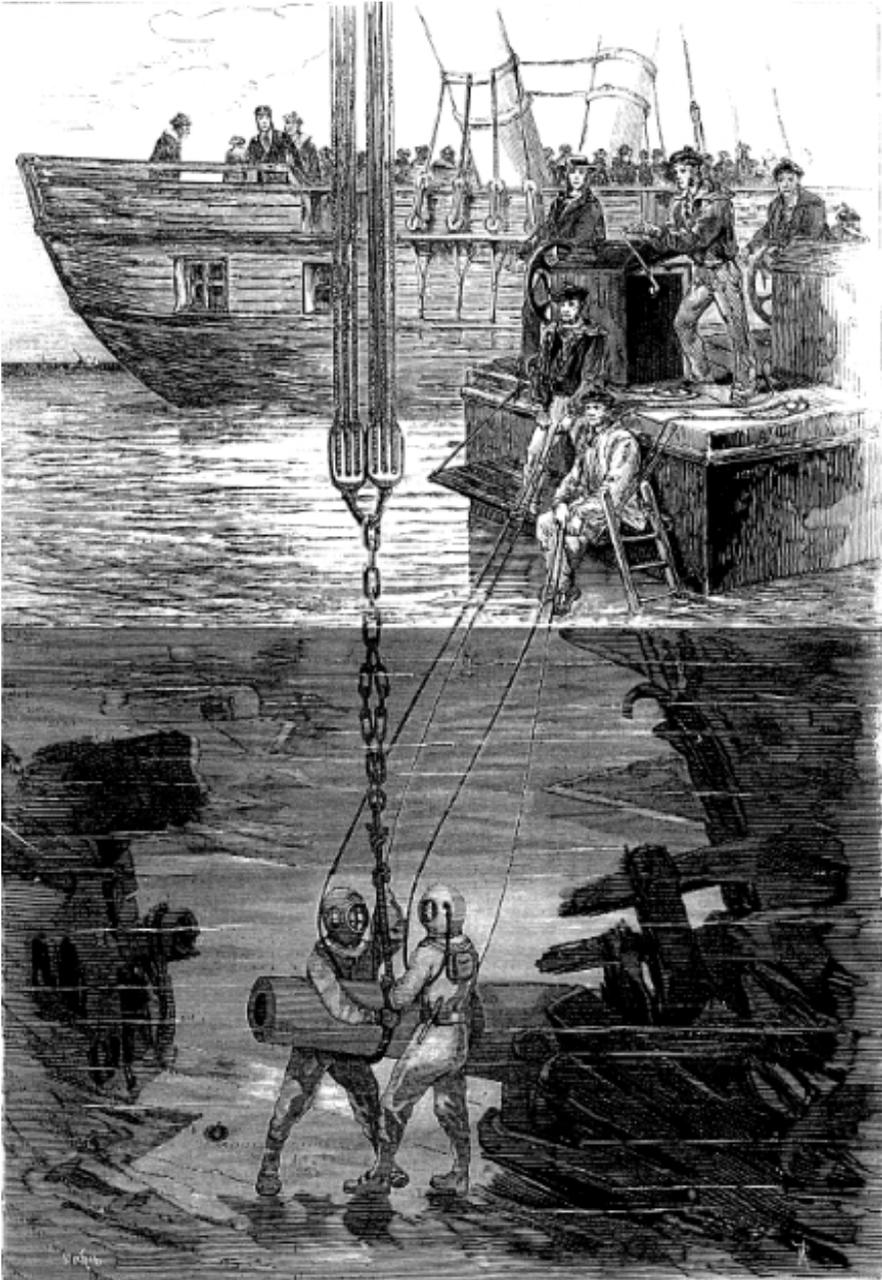
- L'eau produite étant incompressible, risque de provoquer des dégâts mécaniques dans le compresseur. (Ce n'est pas une pompe hydraulique)
- Détérioration par corrosion des tuyauteries et des volumes de stockage.
- Détérioration des bouteilles par oxydation. L'eau augmente, par catalyse, l'oxydation de l'acier en modifiant les règles électrochimiques de surface.
- De plus, bien que distillée, elle est légèrement acide ; elle contient des impuretés ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) qui ont une action d'acidification de l'eau par création des acides correspondants ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{NO}_3$ ...) Elle a ainsi un effet oxydant néfaste si elle se retrouve dans les bouteilles de plongée.
- Pertes de charge supplémentaires.
- Risque de gel et d'obstruction des tuyaux, par temps froid.
- Et surtout, gel par combinaison détente/froid, dans les détendeurs de plongée.

La quantité d'eau qui s'élimine par condensation dépend de l'humidité relative de l'air prélevé. Celle-ci peut aller de 40 à 100%. Elle dépend aussi du taux de compression et du refroidissement. La quantité d'eau produite est inversement proportionnelle à la température en kelvins.

#### ***Les condensats***

L'eau, l'huile, les poussières forment une émulsion de couleur laiteuse qu'on appelle condensats. On les retrouve après les différents étages et il est nécessaire de les éliminer. C'est ce que nous vous proposons d'étudier au chapitre suivant.

\*\*\*\*\*



Gravure 6 - Sauvetage des épaves du Magenta en rade de Toulon  
Équipement français Cabirol 1876

## CHAPITRE IV

### **LES FILTRATIONS**

**La production d'un air respirable de qualité est l'un des objectifs principaux des fabricants**

#### **IV-1 Rappels**

Nous avons vu qu'en fonctionnement, un compresseur à lui seul produit de l'eau, de l'huile, des particules et des oxydes métalliques, ainsi que de la calamine. C'est ce qu'on appelle la pollution endogène. (*Intérieure au compresseur*)

Mais, il peut aussi prélever dans l'atmosphère de l'eau, sous forme de vapeur ou de brouillard, des poussières ainsi que des gaz toxiques tels que CO, CO<sub>2</sub> ou autres.

De plus, à la sortie du dernier étage, au cours des opérations de séchage et de filtration, l'air se charge de poussières fines corrosives ou abrasives, provenant de la désagrégation des produits qu'il traverse. C'est ce qu'on appelle la pollution exogène. (*Extérieure au compresseur*)

On peut croire qu'il suffit de placer un bon filtre à la sortie pour disposer d'air respirable. Mais les polluants sont produits tout au long de la chaîne de compression. Ils nuisent au bon fonctionnement de chaque étage du compresseur et empêchent la filtration de sortie de remplir correctement son office. Il est donc nécessaire de répartir des dispositifs de filtrage spécialisés, après chaque étage de la machine.

#### **IV-2 Élimination de l'eau, des brindilles et insectes**

C'est le rôle de la prise d'air qui est le premier élément de la chaîne. Elle doit être placée dans un endroit exempt de polluants industriels. Elle comporte généralement un col de cygne pour éviter de collecter les eaux de pluie et une grille pour éviter les grosses brindilles, les insectes, voire les oiseaux.

#### **IV-3 Élimination des particules lourdes**

C'est un filtre optionnel qui n'est utilisé qu'en présence de sable ou autres particules de masse importante. Il fonctionne par centrifugation en forçant l'air à tourner, ce qui projette les particules sur une paroi d'où elles tombent dans un bol de récupération qu'il faut vider régulièrement.

On l'appelle souvent filtre "Cyclone". On trouve aussi des "chaussettes" en Nylon, à mailles très fines, qui jouent le même rôle mais qu'il faut remplacer de temps en temps.

#### **IV-4 Élimination des poussières**

C'est le but du filtre d'entrée fourni avec le compresseur. Il est placé immédiatement à l'entrée du premier étage. Il intervient dans la réduction des bruits d'aspiration mais il est surtout destiné à piéger les particules. Comme nous l'avons vu, celles-ci sont caractérisées par leurs dimensions et leurs masses.

Il fonctionne par rétention, il est constitué par une grille métallique fine, un conglomerat de billes de bronze (bronze fritté), de la céramique poreuse ou des épaisseurs de feutre, voire un papier spécial. La conception d'un tel filtre résulte d'un compromis entre son efficacité et la perte de charge qu'il provoque. Il ressemble souvent à un filtre de voiture quoique de diamètre généralement plus petit.

Chaque filtre est caractérisé par la dimension maximum des particules qui peuvent le traverser. Cela peut aller de quelques microns à quelques millimètres. Les filtres d'aspiration couramment utilisés permettent d'éliminer les particules supérieures à 10, 5, voire 1 micron. Ils portent souvent le nom de filtres "Micronic".

Une autre caractéristique de ce type de filtre est leur transparence qui est le rapport entre la surface de passage de l'air et la surface totale du filtre. Cette transparence diminue au fur et à mesure que le filtre retient les particules. On dit alors que le filtre se colmate.

Dans ce cas, la perte de charge, c'est-à-dire la chute de pression qu'il occasionne à l'entrée du compresseur, provoque une chute de pression à la sortie et nécessite, au bout d'un certain temps d'utilisation, de le nettoyer ou de le changer. (Il suffit parfois de le réorienter par rapport à l'arrivée d'air)

#### **IV-5 Élimination des condensats**

Nous avons vu que la présence de liquide dans les compresseurs présentait de nombreux inconvénients. C'est pourquoi les fabricants apportent un soin particulier à son élimination. La plus grosse partie des condensats est éliminée à l'aide de bouteilles de décantation qu'on appelle aussi décanteurs ou séparateurs.

Ils fonctionnent par coalescence. C'est un phénomène physique où la différence de température et l'attraction mutuelle regroupent les aérosols en gouttelettes plus grosses.

L'air chargé de vapeurs d'huile ou d'eau est projeté sur une paroi froide. Ces vapeurs s'y condensent et tombent ensuite, par gravitation, à la base du filtre où elles sont éliminées par des purges régulières. La [figure 9](#) montre différents types de décanteurs. Le modèle à gauche est assez ancien. Le filetage de la cloche vieillit mal. Si vous le rencontrez, n'hésitez pas à le remplacer.

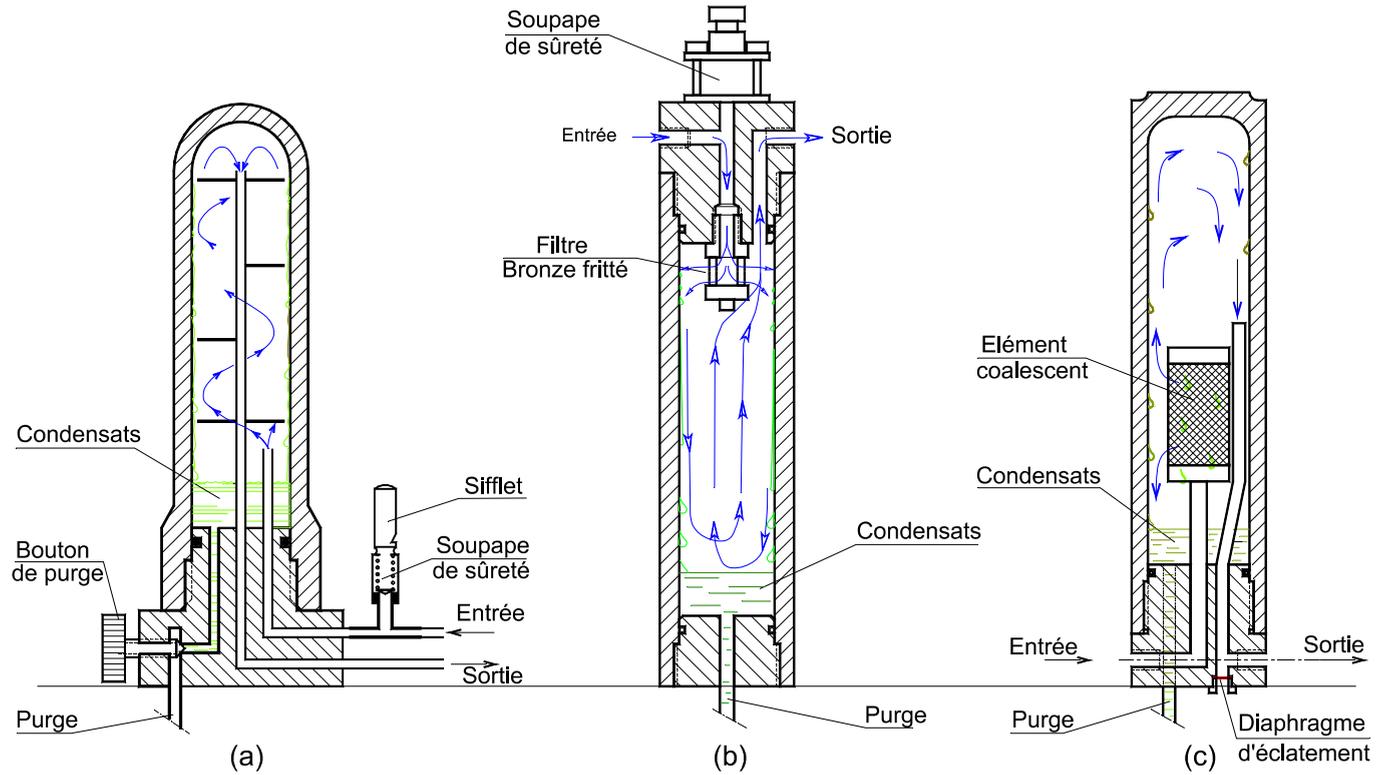


Figure 9 Différents types de décanteurs

Dans les modèles les plus récents, figure 9c, l'air traverse une cartouche munie sur sa périphérie de fibres synthétiques où se produit la coalescence. Ces filtres ont une particularité, en inversant l'entrée et la sortie, ils fonctionnent en filtres à poussière.

A la sortie du 1er étage, il n'est pas toujours nécessaire d'éliminer les condensats car les conditions de condensation de la vapeur d'eau ne sont pas réunies. Néanmoins, on en trouve de plus en plus sur les modèles récents. Par contre, c'est indispensable à la suite de chacun des étages suivants.

#### **IV-5-1 Purges manuelles**

La purge doit impérativement être effectuée, à titre indicatif, pendant 5 secondes toutes les 20 minutes et à chaque arrêt du compresseur. (Pour éviter les démarrages en charge) Les purgeurs manuels doivent être ouverts lentement pour éviter une trop brusque détente de l'air.

Ils peuvent être refermés sans précautions particulières, lorsque le compresseur est purgé en cours de fonctionnement ou, lorsqu'il s'agit d'un démarrage, dès que le moteur a atteint son régime normal.

Tout ceci impose des contraintes et peut faire craindre des oublis ou des fausses manœuvres.

Suivant les recommandations de la norme EN1012-1 : 2010, paragraphe B1.4. Les purges manuelles doivent être effectuées dans l'ordre des pressions décroissantes. Sinon des dégâts importants peuvent se produire.

#### **IV-5-2 Purges automatiques**

Elles permettent surtout de pallier les oublis qui peuvent être dangereux pour le matériel et donc de réduire la surveillance. Il est préférable de prévoir ce système dès l'achat d'un compresseur, car la modification coûte plus cher qu'un investissement initial.

La fréquence et la durée des purges sont commandées automatiquement. Il existe plusieurs systèmes pour réaliser cette fonction, par exemple avec des électrovannes ou par des flotteurs lorsque la pression de refoulement ne dépasse pas 16 bars.

Pour les pressions supérieures, chaque décanteur est relié à une vanne à commande pneumatique, pilotée par la pression du premier ou du deuxième étage du compresseur ou bien hydraulique, pilotée par la pression d'huile.

Les vannes à commande pneumatique peuvent être indépendantes ou solidaires. Elles sont généralement alimentées en cascade. (Voir [figure 10](#)) L'électrovanne de commande peut elle-même servir de purge.

Nous décrivons ici le système CompAIR-Luchard à commande électrique et pneumatique.

L'ensemble du système est composé :

- D'un "séquenceur électronique".
- D'une électrovanne
- D'un bloc de purge à commande pneumatique.

Lorsque le compresseur est mis en marche, l'électrovanne est mise sous tension ce qui permet le passage de l'air de pilotage (prélevé au refoulement du 1er étage) vers le bloc de purge.

Celui-ci est ainsi mis sous pression. Le clapet A ferme l'orifice de purge de la bouteille de décantation B2. Le clapet B, sous l'effet de la pression de l'air provenant de B2, ferme l'orifice de la bouteille B3. Le clapet C, sous l'effet de la pression de l'air provenant de B3, ferme l'orifice de la bouteille B4.

Le processus inverse se déroule quand l'excitation de la bobine de l'électrovanne est coupée par l'ouverture du circuit d'alimentation provoquée par le programmeur.

Le tiroir de l'électrovanne s'écarte alors ce qui provoque successivement : l'échappement de l'air de pilotage, l'ouverture dans l'ordre des clapets A, B et C et la purge des bouteilles B2, B3 et B4 par les échappements correspondants.

Le prochain démarrage du compresseur s'effectue à vide. Ceci permet au moteur d'atteindre son régime normal, donc son couple nominal, avant que les purges ne se referment sous l'effet de la pression de l'air de pilotage.

### ***Remarques :***

L'arrêt manuel ou automatique du moteur ou encore une interruption accidentelle du courant provoque le même processus. Il y a donc purge automatique à chaque arrêt du compresseur.

Lors de la récupération des condensats, les tuyaux de purge aboutissent souvent directement dans le réservoir de collecte. Ceci a l'inconvénient d'être bruyant et de laisser échapper une partie des condensats, dans l'atmosphère, sous forme d'aérosol.

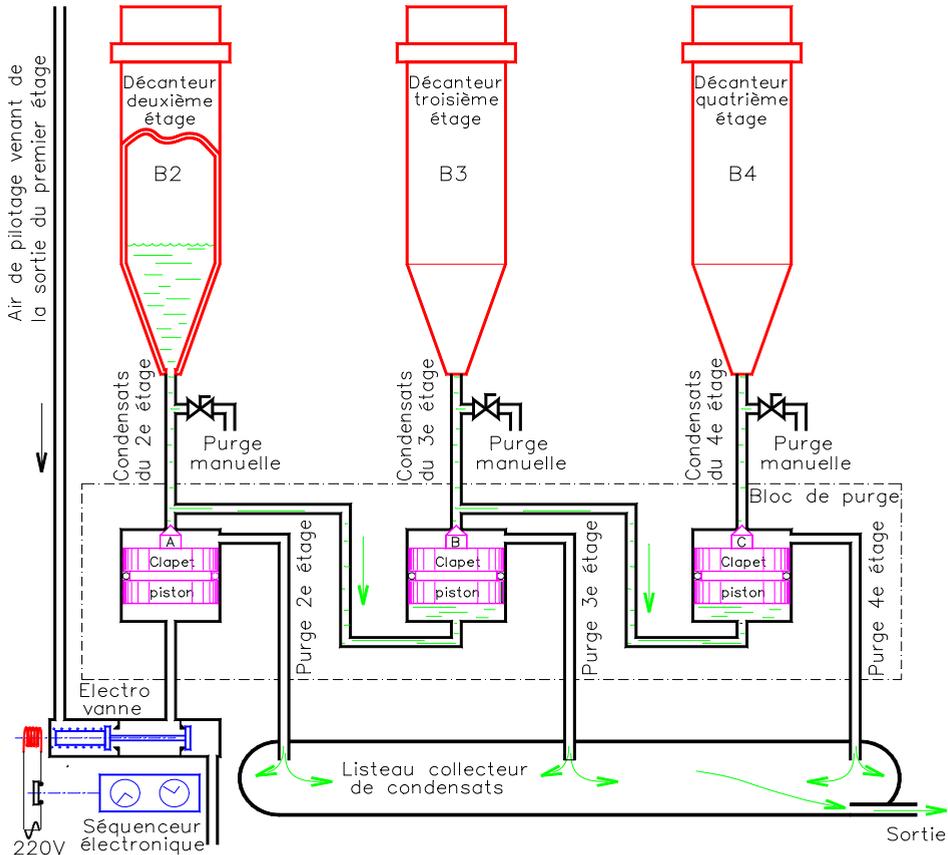
Pour pallier ces inconvénients, la sortie du listeau collecteur est reliée par un ajutage à un séparateur centrifuge, voir [figure 11](#). Celui-ci sert à séparer l'air de la partie liquide. L'excès d'air s'échappe à l'air libre à travers un silencieux parfois intégré au séparateur comme dans la figure 11a.

L'ajutage, en limitant le débit, empêche les coups de béliers qui détruiraient le séparateur ou le silencieux.

Le bol du séparateur est muni, à sa base, d'un clapet solidaire d'un flotteur. Lorsque le flux de condensats et d'air arrive, il pousse le flotteur vers le bas ce qui ferme la soupape.

L'air s'échappe alors par le silencieux. Dès que le flux s'interrompt, le flotteur remonte et les condensats s'écoulent par gravitation vers un réservoir facile à transporter.

On notera que lorsqu'un clapet piston se bloque en position ouverte, une fuite permanente se produit aux purges. La pression normale de sortie ne peut alors être obtenue.

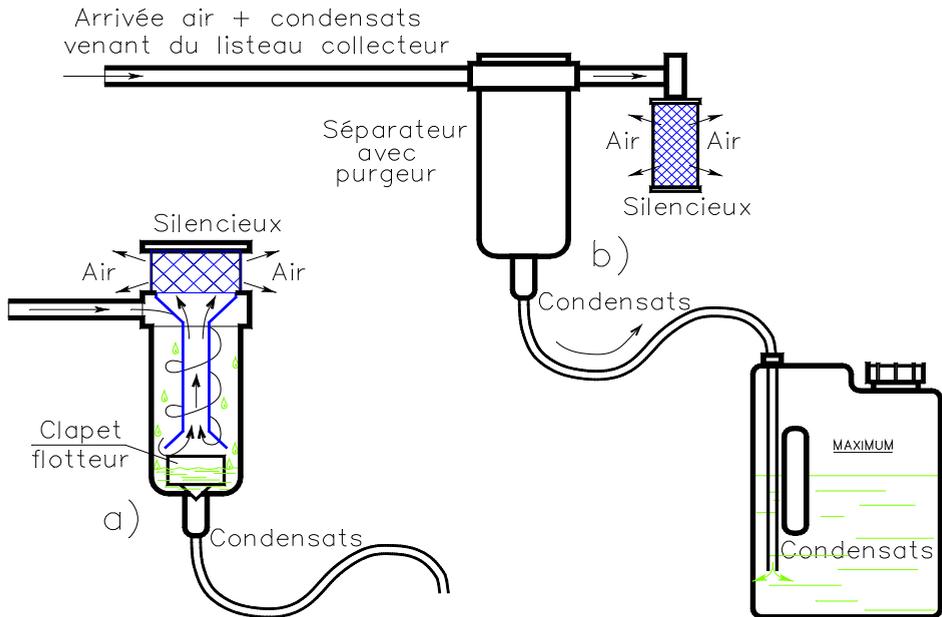


**Figure 10** *Purges automatiques*

Si le filtre se colmate, la pression peut détruire le séparateur. Pour éviter cela, le système est parfois équipé d'une soupape de sûreté basse pression.

Le niveau maximum de condensats dans le réservoir doit être repéré car il conditionne le bon fonctionnement du système.

Le réservoir de récupération peut être équipé d'un avertisseur de niveau et même d'un dispositif d'arrêt automatique du compresseur lorsque le réservoir est plein.



**Figure 11 Récupération des condensats**

#### **IV-6 Sécheur d'air**

Nous avons dit que les décanteurs avaient des performances limitées et que ceci nuisait à la qualité du filtrage final. Lorsqu'on veut obtenir des performances encore meilleures, on peut utiliser un sécheur.

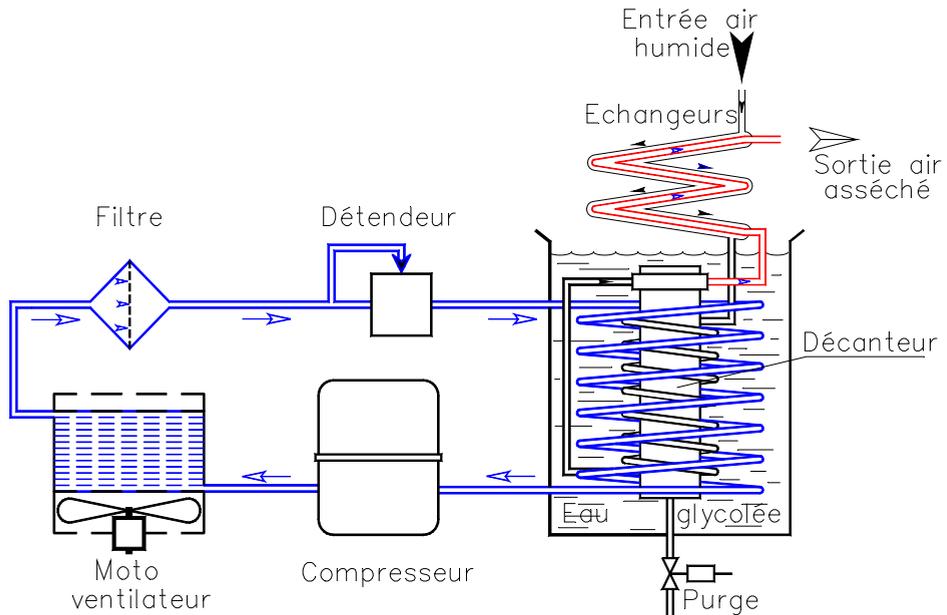
Nous savons que le fait de comprimer et de refroidir l'air permet d'éliminer une partie de la vapeur qui y est contenue. Pour ôter une partie encore plus importante de cette vapeur, on peut tout simplement continuer à refroidir l'air.

##### **IV-6-1 Sécheur à réfrigération**

L'objectif est d'abaisser la température au voisinage de 0°C, en général +2 à +3°C, à la pression la plus élevée possible et d'évacuer la vapeur d'eau condensée.

A cet effet, on utilise un groupe de refroidissement, du type réfrigérateur, avec un échangeur. Après le refroidissement, un décanteur muni d'une purge automatique retient puis évacue la vapeur d'eau condensée. (Voir [figure 12](#))

Ce type de sécheur est utilisable à toutes les pressions en fonction de sa construction. (Tenue mécanique des composants) Il se met souvent à la sortie du compresseur, avant le séparateur final. Il permet de multiplier par 5 la durée des filtres.



**Figure 12 Sécheur d'air par réfrigération**

Il est cependant peu courant de le voir appliqué à des stations de gonflage destinées à la plongée de loisir. En effet, il coûte au moins 4 fois plus cher, en investissement, qu'un séchage par adsorption, que nous verrons plus loin. Par contre, ce dernier occasionne des frais de fonctionnement plus importants.

#### **IV-7 Filtrage des vapeurs d'huile et des odeurs**

On peut trouver des filtres spécialisés et séparés pour chaque polluant, c'est le cas du système Kalitair des compresseurs CompAIR-Luchard ou bien, des colonnes qu'on appelle aussi tours de filtrage ou filtres composites qui contiennent des couches filtrantes successives spécialisées.

Ces couches sont disposées suivant un certain ordre qui peut varier d'un fabricant à l'autre. Il est cependant important de savoir que l'air doit impérativement être déshuilé avant le séchage final car l'huile a tendance à colmater les filtres suivants.

C'est la raison pour laquelle, cette partie du filtre est toujours placée au début du système de filtration finale.

L'huile est facile à piéger, que ce soit sous forme liquide, d'aérosol ou de vapeur. Depuis longtemps, on utilise le charbon actif parce qu'il est universel.

Il élimine l'huile mais aussi les solvants, les fumées, les aérosols, les hydrocarbures, l'ammoniac et les odeurs associées. Par contre, il perd beaucoup de ses propriétés en présence d'eau et produit des particules.

L'huile peut également être piégée sous forme liquide ou d'aérosols avec une grande efficacité par des cartouches filtrantes en matériaux composites. Ces dernières, si elles n'offrent pas les mêmes garanties que le charbon actif, permettent une grande autonomie, de plusieurs centaines d'heures. Dans les deux cas, l'air doit être suffisamment sec.

La [figure 13](#) montre différents types de filtres. Comme pour les décanteurs, le modèle à gauche est ancien. Le filetage de la cloche vieillit mal. Si vous le rencontrez, surtout, remplacez-le.

Avec la compression d'oxygène pur ou de mélange enrichi, la filtration de l'huile devient cruciale et nécessite des filtres sub-microniques supplémentaires.

#### **IV-8 Filtrage de la vapeur d'eau résiduelle**

On a beau presser une éponge, il y reste toujours un peu d'eau. De même, malgré les décanteurs, l'air à la sortie finale en contient toujours un peu.

Pour la réduire encore plus, on procède par adsorption. C'est la solution la plus courante sur les compresseurs utilisés en plongée de loisir. Elle consiste à faire passer l'air à filtrer à travers une multitude de billes d'un produit dessiccateur. (Présentant une grande surface)

Les différents produits sont placés dans une tour cylindrique dans laquelle on fait passer l'air à sécher ou à déshuiler en régime turbulent pour favoriser leur fixation.

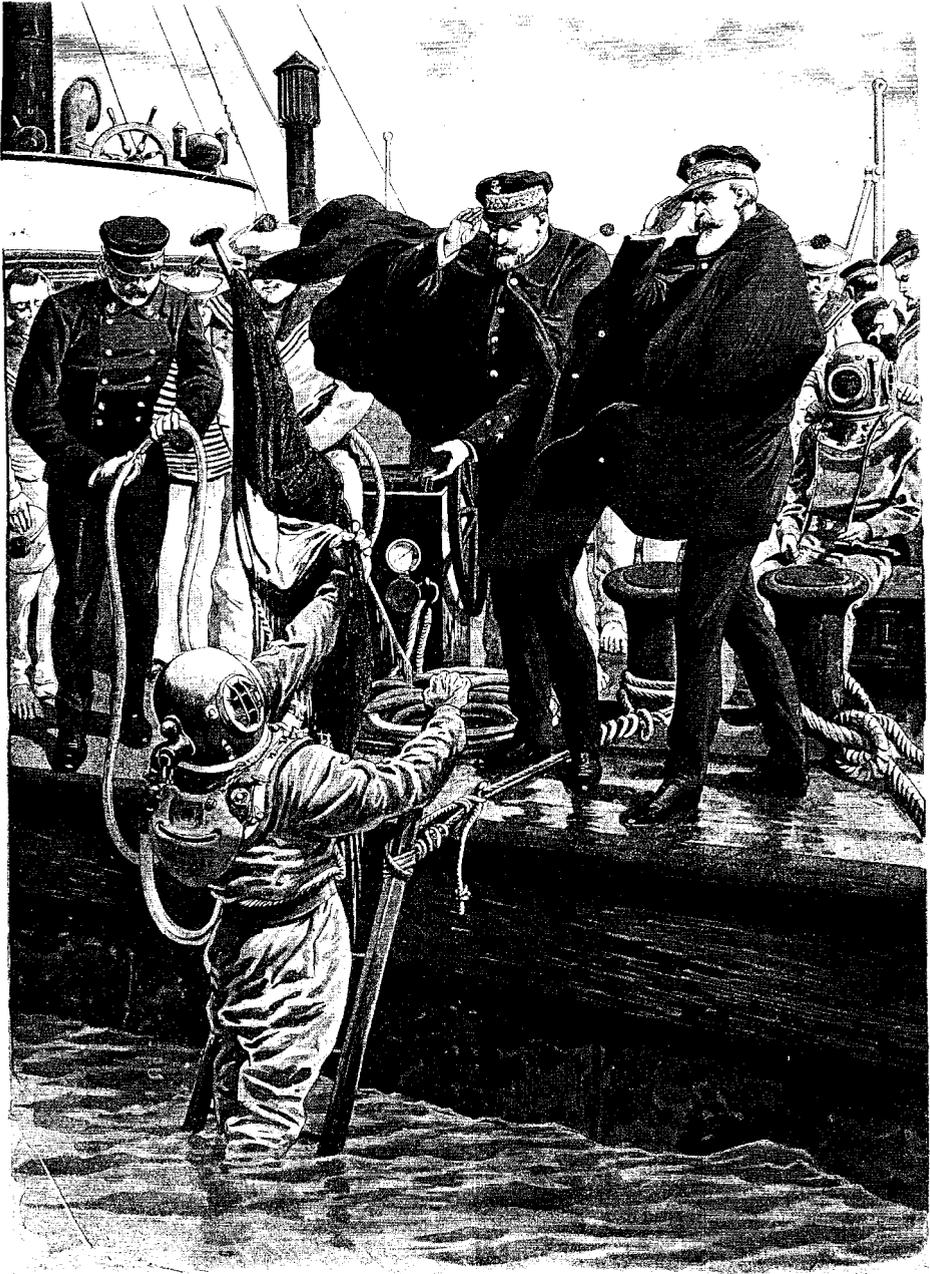
Les molécules de contaminant se fixent sur la surface du solide. C'est un phénomène purement physique lié à l'attraction et la rétention de molécules gazeuses et liquides à la surface d'un solide.

Il ne faut pas confondre **l'adsorption** qui est l'adhésion ou la concentration de substances dissoutes ou dispersées à la surface d'un corps avec **l'absorption** qui est, par exemple, celle de la lumière par l'eau.

Après l'élimination de l'huile on utilise une cartouche d'alumine activée, de gel de silice "Silicagel" ou de tamis moléculaire qui fixent bien la vapeur d'eau. L'air sec ainsi obtenu permet une filtration bien plus efficace des autres polluants.

L'inconvénient des filtres par adsorption est qu'ils seaturent rapidement en eau et ont donc une autonomie relativement faible, de 10 à 150 h suivant le débit des compresseurs et du volume de dessiccateur prévu par le constructeur.

Il faut noter que l'efficacité des filtres diminue aussi avec la température. Cependant, les tamis moléculaires y sont moins sensibles.



*Gravure 7 - Catastrophe du Pluviôse, équipement Cabirol  
1876*

#### **IV-9 Régénération automatique**

Pour réduire la quantité de vapeur d'eau encore contenue dans l'air tout en palliant la faible autonomie des sécheurs à adsorption, il est possible de leur faire subir une régénération automatique. Sinon ils peuvent être d'un coût d'exploitation élevé. La régénération peut se faire de deux façons :

##### **IV-9-1 Par chauffage**

Elle consiste à régénérer le filtre en élevant sa température à plus de 300°C. L'alumine est ainsi réactivée et le tamis moléculaire est débarrassé, par vaporisation, de l'eau qu'il a adsorbée.

L'élévation de température à l'intérieur de chaque tour est produite grâce à une résistance chauffante. On procède en plus à un léger balayage en sens inverse avec de l'air sec, prélevé en aval de la tour en fonctionnement.

##### **IV-9-2 Par inversion alternée de flux**

Dans ce cas, la régénération se fait uniquement par un balayage en sens inverse au séchage, avec un flux d'air sec détendu prélevé en aval de la tour en fonction. Le système utilisé se compose de deux filtres, l'un sèche l'air pendant que l'autre est en phase de régénération. (Voir [figure 14](#))

Le cycle d'inversion se situe généralement entre 10 et 20 minutes. Il commence par une ouverture rapide à l'air libre pour chasser rapidement l'eau qui se trouve en surface du média filtrant. Puis on laisse fuir lentement pour éliminer les polluants adsorbés en profondeur.

##### ***Remarques :***

A noter que le premier système (avec chaleur) est en général utilisé en aval de compresseurs basse pression. Le second système est lui préféré pour être placé après des compresseurs moyenne et "Haute Pression".

Il est en effet facile de profiter de l'écart de pression régnant entre les deux tours et pouvoir ainsi régénérer le produit dessiccateur avec 4 à 10% du débit traité.

Les éléments de filtrage qui suivent sont la plupart du temps regroupés dans une cartouche interchangeable montée à l'intérieur d'une colonne "Haute Pression".

#### **IV-10 Filtrage du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>)**

(Il est aussi appelé dioxyde de carbone ou anhydride carbonique)

Les compresseurs mis à la disposition des utilisateurs, utilisés avec les lubrifiants préconisés, ne génèrent ni CO, ni CO<sub>2</sub>. La teneur de ces deux polluants est donc la même au refoulement du compresseur, avant filtrage, que dans l'air aspiré.

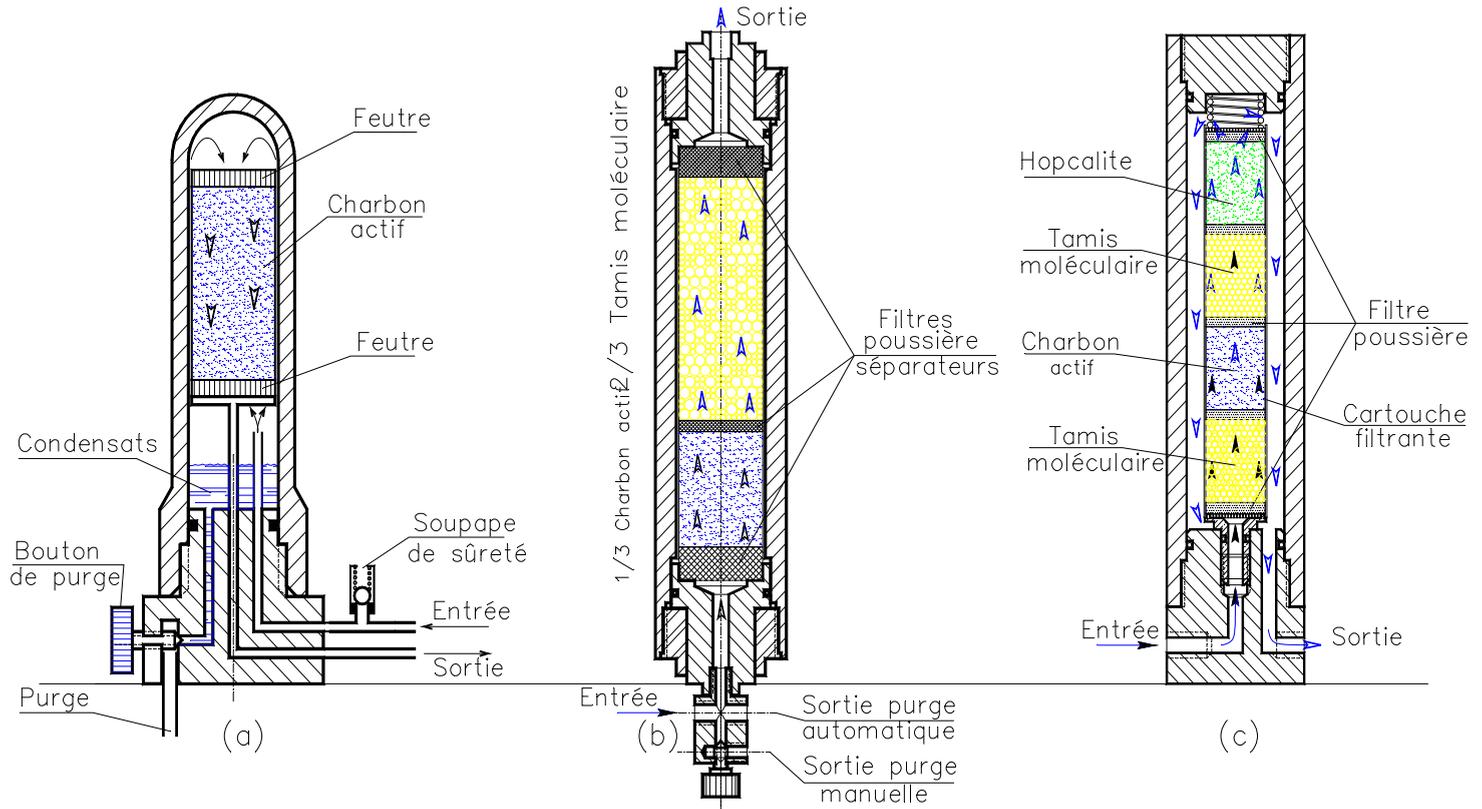
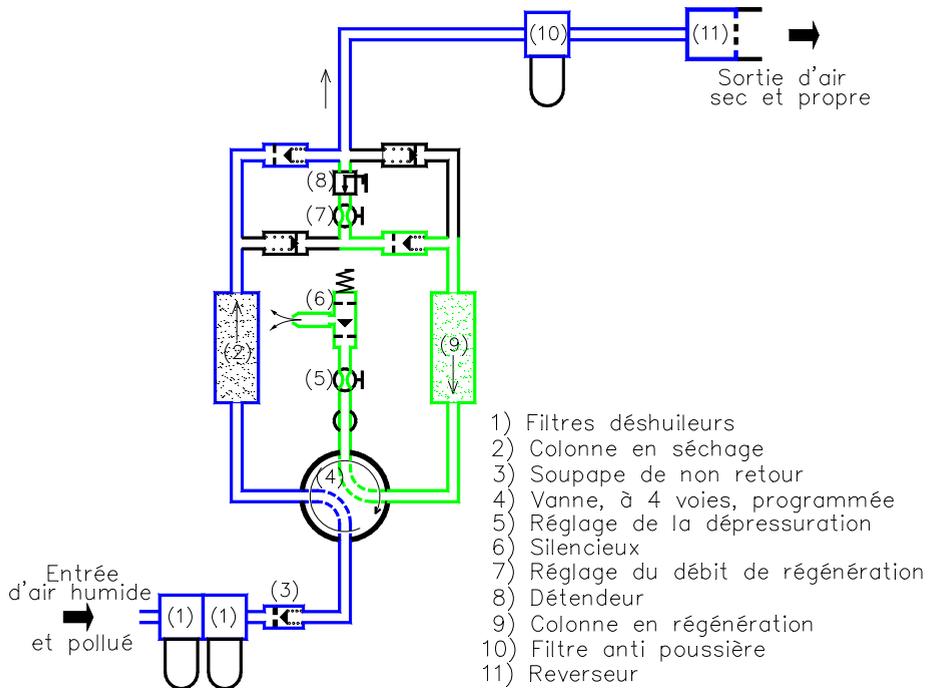


Figure 13 Différents types de filtres

La teneur en CO<sub>2</sub> de 330 ppm dans l'air normal peut atteindre 800 ppm en zone industrielle ou urbaine, par temps couvert. Ce gaz peut être partiellement piégé par du tamis moléculaire, par le phénomène d'adsorption. À noter que le seuil de 1000 ppm, fixé par certaines normes, ne se trouve pas dans une ambiance normale.



**Figure 14 Régénérateur par inversion de flux**

Le tamis moléculaire (billes blanches) fixe bien le CO<sub>2</sub>. Il est d'ailleurs le seul à le faire efficacement. Si son utilisation ne présente aucun risque, on ne peut toutefois pas déterminer ses limites d'adsorption.

Avant l'emploi, ce produit très avide d'humidité devra donc être régénéré par un passage au four à 250°C pendant 10 à 15 minutes, par exemple. Comme on le voit, sa régénération est aisée.

Il est dorénavant préféré aux autres parce que son pouvoir adsorbant est stable en fonction de la température et que sa présentation, sous forme de billes très dures, limite la génération de poussières.

L'élimination complète du CO<sub>2</sub> n'est pas indispensable. Même si ce gaz est impropre à la vie sous de forte pression partielle, sous faible pression partielle, il peut être utile en provoquant le réflexe inspiratoire.

Il faut cependant noter que, le CO<sub>2</sub> produit par la respiration du plongeur est généralement plus que suffisante.

#### **IV-11 Filtrage du monoxyde de carbone (CO)**

Bien qu'inexistant dans l'air naturel, la teneur en CO dans l'air atmosphérique est de 1 à 5 ppm, suivant le degré d'industrialisation ou d'urbanisation du site.

##### **IV-11-1 Filtrage par catalyse**

C'est un procédé chimique. Il consiste à transformer le CO en CO<sub>2</sub> moins dangereux et plus facile à éliminer.

Les produits utilisés comme catalyseur, l'hopcalite ou la chaux sodée, présentent cependant le grave inconvénient de ne pas être stables et de libérer des gaz toxiques, en présence d'humidité. De toute façon, dans ce cas ils perdent toutes leurs propriétés.

De plus, on ne maîtrise ni leur autonomie, ni leur capacité à catalyser, en fonction de la teneur en CO à l'amont, ni la quantité de CO<sub>2</sub> restituée à l'aval. La solution parfois retenue, consiste à ne pas traiter ce polluant que l'on ne trouve d'ailleurs pas souvent à la concentration de 15 ppm admise par plusieurs normes.

Il est indispensable de se protéger contre la présence d'eau dans ce type de filtre. En général le produit est placé dans le haut d'une colonne de filtrage au-dessus d'un tamis moléculaire. Le lit de ce produit se sature en eau progressivement de bas en haut.

Il faut donc remplacer la cartouche filtrante avant que la saturation en eau n'atteigne le haut du tamis moléculaire ou du gel de silice. Malheureusement cela ne peut être déterminé facilement et l'on est obligé de prendre des marges considérables.

#### **IV-12 Saturation des filtres**

Chaque filtre est caractérisé par la quantité de polluant qu'il peut fixer. Lorsque la saturation est atteinte, le produit utilisé doit être remplacé ou réactivé à haute température.

Un problème peut apparaître avec certains corps qui, à la saturation, libèrent de grosses quantités du polluant qu'ils sont chargés de fixer. On dit alors qu'ils désorbent. Il ne faut donc pas attendre la saturation avant de les remplacer. (Désorber est le contraire d'adsorber)

Les tamis moléculaires par exemple, lorsqu'ils atteignent la saturation en eau, désorbent en masse, (libèrent d'un seul coup) une grosse partie des contaminants qu'ils avaient retenu, par exemple le CO<sub>2</sub>.

#### **IV-12-1 Surveillance du colmatage**

Nous l'avons vu, les filtres se colmatent au fur et à mesure qu'ils se chargent de contaminants et provoquent une chute de pression. Il est difficile, à un moment donné, de connaître leur état, aussi, de plus en plus, on dispose de dispositifs de surveillance.

On utilise, par exemple, des manomètres différentiels qui, comme leur nom l'indique, permettent de mesurer la différence de pression entre l'entrée et la sortie et ainsi de changer le média filtrant lorsque la chute de pression devient trop élevée.

Ces manomètres peuvent être à aiguille comme ceux que nous rencontrons couramment. Mais on utilise aussi des capteurs électroniques différentiels qui associés à un microprocesseur assurent la surveillance de l'ensemble de la filtration. Ils donnent notamment une pré-alarme et éventuellement arrêtent le compresseur lorsque l'un des filtres est colmaté.

Le colmatage, n'est pas toujours significatif de la perte d'efficacité d'un filtre. En effet, un filtre peut, par exemple, être saturé en eau sans être colmaté.

#### **IV-12-2 Surveillance électronique**

Il existe des détecteurs électroniques, le "Sécutronic" de CompAIR-Luchard ou le "Sécurus" de Bauer qui mesurent la résistivité du tamis moléculaire un peu avant le haut de la colonne.

Quand, en présence d'humidité, la résistivité descend au-dessous d'une valeur programmée à l'avance, le système donne une pré-alarme indiquant qu'il est temps de changer la colonne. Si la résistivité descend encore, le compresseur est arrêté, évitant ainsi que l'eau n'atteigne l'hopcalite, s'il existe.

Le système est auto surveillé de façon que tout dysfonctionnement arrête le compresseur ou l'empêche de démarrer.

#### ***Remarques :***

Après avoir vu les différents types de pollutions possibles, on ne s'étonnera pas de trouver, après le décanteur final, soit une batterie de filtres spécialisés, soit une colonne de filtrage composite, revoir [figure 13](#).

Si la pression aval diminue, les filtres se dé-saturent lentement et envoient les polluants dans les canalisations de distribution de l'air. A la prochaine mise en marche, ils sont alors envoyés dans les bouteilles à remplir.

Il est donc souhaitable, de temps en temps et pendant un certain temps, de purger les filtres vers l'extérieur dans le but de les dé-saturer et ainsi d'en augmenter la durée de vie. De plus la présence éventuelle d'eau permet de détecter un mauvais fonctionnement des décanteurs.

Il ne faut cependant pas oublier de refermer ces purges, sinon les filtres risquent de se ré-saturer avec l'humidité ambiante.

Ces purges peuvent éventuellement être automatisées.

Lorsque la vanne de purge est commune à plusieurs filtres, il est nécessaire de disposer un clapet anti-retour à la sortie de chacun d'entre eux pour éviter les remontées de condensats de l'un vers l'autre.

### **IV-13 Filtrage et pression**

Dans un compresseur, pendant le gonflage, les pressions montent d'autant plus lentement que les capacités à remplir sont importantes. Ceci peut nuire au fonctionnement de la machine, à la qualité du filtrage ainsi qu'à la durée de vie des tampons et des bouteilles de scaphandre.

En effet :

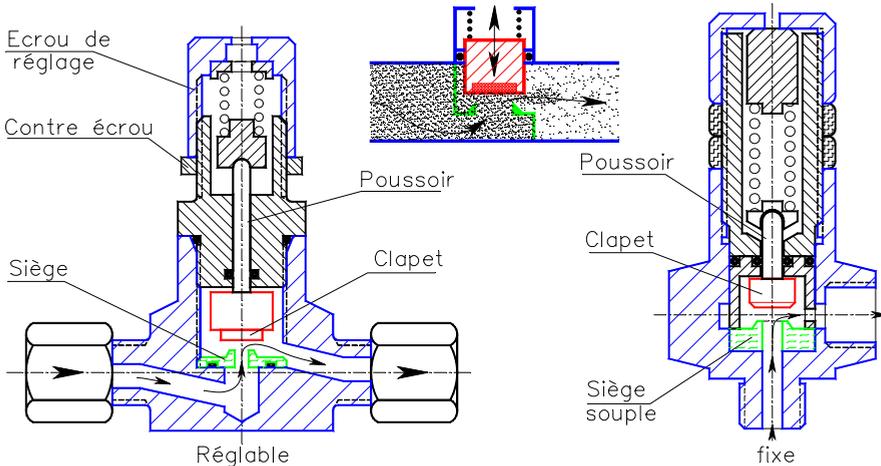
- 1) Certains systèmes de lubrification du dernier étage consistent à envoyer de l'huile sous pression entre le cylindre et le piston. À la mise en marche, la pression au-dessus du piston est faible, l'huile sous pression remonte alors dans le haut du cylindre, puis vers la soupape de refoulement et se retrouve enfin dans l'air de sortie.
- 2) Au début du gonflage, les 2 ou 3 derniers étages ne jouent qu'un rôle de transfert. L'air s'y refroidit et une partie de la vapeur d'eau s'y condense. Il y a alors risque de grippage des pistons.
- 3) Toujours en début de gonflage, une bonne partie de la vapeur d'eau atteint la sortie du compresseur sans se condenser dans les bouteilles de décantation car la pression y est insuffisante. Une partie de cette vapeur d'eau va donc se fixer dans les filtres et leur durée de vie en sera réduite. Le reste va se condenser dans les tampons ou les bouteilles à charger y provoquant de l'oxydation. Cette eau peut aussi provoquer le givrage des détendeurs.
- 4) A faible pression, à débit d'air détendu égal, la vitesse de l'air dans les filtres est grande et la pression partielle des polluants est faible. Ils ont donc moins de temps et plus de difficultés pour se fixer.
- 5) Au démarrage, le dernier étage à piston libre est très bruyant car, n'étant pas maintenu par la pression, il vient taper sur le piston guide et la culasse tant que la pression est insuffisante.

#### **IV-13-1 Déverseur**

Pour pallier les défauts que nous venons de voir, il faut que les pressions maximum soient atteintes, aussitôt que possible, dans les différentes parties du compresseur. C'est le rôle du déverseur appelé aussi pressuriseur ou système de maintien de pression.

Il consiste en un clapet de retenue, taré, placé à la sortie du filtrage pour maintenir en amont une pression de 100 à 250 bars. (Voir [figure 15](#)) L'air ne franchit ce clapet que si la pression est suffisante.

Il fonctionne comme un déversoir sur une rivière. Tant que le niveau (ici la pression d'air) n'a pas atteint la hauteur du déversoir, l'eau ne passe pas. Mais dès que celle-ci est dépassée le débit de la rivière redevient normal. En utilisant un déversoir, la pression en amont monte très rapidement, dès la mise en marche.



**Figure 15 Déversoirs : schéma de principe et réalisations**

**En conséquence :**

- 1) Dans le cas d'une lubrification entre cylindre et piston, la forte pression repousse l'huile vers le bas du cylindre. Celle-ci ne se retrouve donc pas dans l'air de sortie.
- 2) L'air s'échauffe rapidement dans les cylindres et les conditions de condensation ne sont pas remplies. Il n'y a donc pas d'eau envoyée dans les étages suivants et, par conséquent, pas de risque de grippage des pistons.
- 3) La plus grande partie de la vapeur d'eau se condense dans les décanteurs et donc ni dans les filtres ni dans les bouteilles à charger.
- 4) A débit égal d'air détendu, plus la pression partielle de polluant est élevée, plus la vitesse de passage dans le filtre est lente et plus son efficacité est grande.
- 5) Au démarrage, la durée des claquements du piston libre, quand il y en a un, est réduite. Cette durée, quand elle excède quelques dizaines de secondes peut constituer un symptôme de dis-fonctionnement du déversoir ou de fuite dans le circuit d'air.

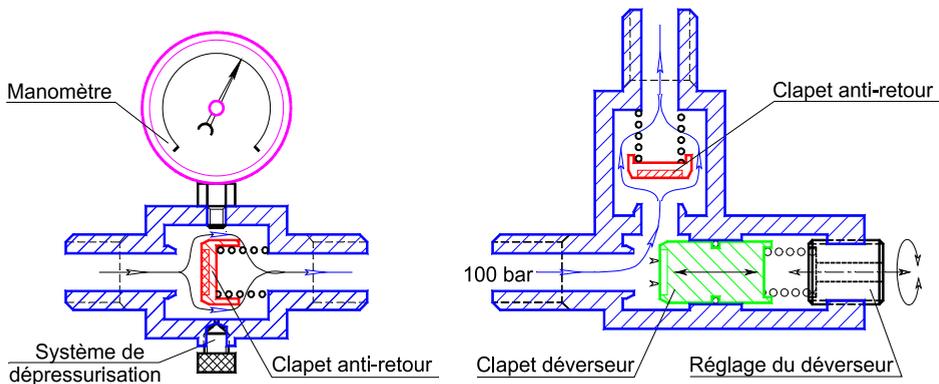
### IV-13-2 Clapets anti-retour

Pour que la montée en pression soit plus rapide, il est quelquefois préférable de ne pas purger la colonne de filtrage à chaque fois que le compresseur est arrêté, surtout si son volume est important. Ceci est obtenu en disposant un clapet anti-retour en amont, juste avant le filtre. (Voir [figure 16](#))

Le deuxième clapet anti-retour, placé après le déverseur, a pour but d'éviter de vider les bouteilles en charge quand on purge le filtre.

#### **Remarques :**

- En présence d'un déverseur en bon état, au démarrage du compresseur, on doit constater que la pression de sortie du dernier étage monte d'abord rapidement, puis plus lentement lorsque le déverseur s'ouvre et alimente les tampons ou les bouteilles.
- Par contre la pression en aval du déverseur est faible au démarrage, puis dès que la pression du déverseur est atteinte la pression suit celle de sortie du dernier étage.
- Les éléments ci-dessus sont parfois associés, comme on peut le voir sur la figure 16, de façon à faciliter la maintenance et limiter le coût.



**Figure 16 Clapet anti-retour, manomètre, déverseur**

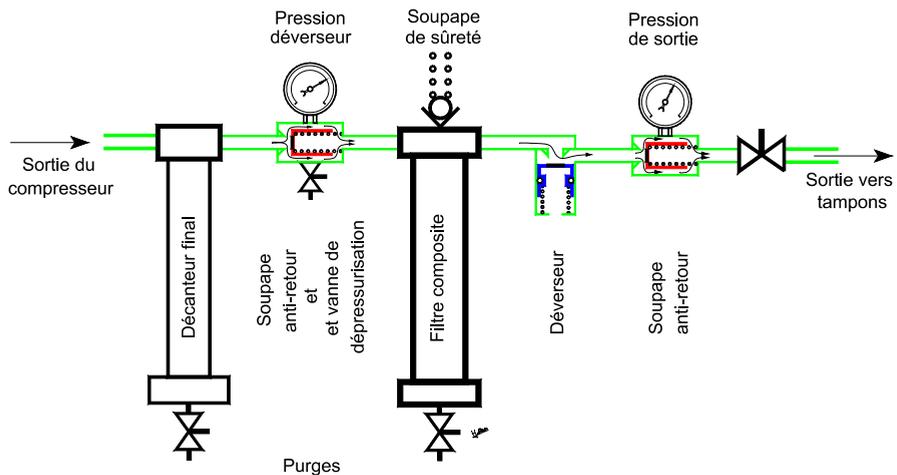
Le système complet peut comprendre (voir [figure 17](#)) : un clapet anti-retour en sortie du compresseur, un déverseur et un clapet anti-retour en sortie du filtre, un ou deux manomètres de contrôle et un système de dépressurisation pour permettre la maintenance sans danger.

Dès que le déverseur est ouvert, la différence de pression entre les deux manomètres donne une indication sur le colmatage du filtre.

**En résumé :**

Le déverseur et les clapets anti-retour protègent le compresseur, les bouteilles, les détendeurs et améliorent les performances du système de filtration ainsi que sa durée. Ils sont donc utiles sur tous les compresseurs.

Au regard de ces avantages le prix, entre 100 et 200 euros, est négligeable. Les compresseurs récents, en sont pratiquement tous équipés. Par contre quelques modèles anciens gagneraient à l'être.



**Figure 17 Filtrage avec déverseur**

**IV-14 Filtrage des particules**

Nous avons vu que les filtres constitués de tamis, comme ceux que nous rencontrons dans les colonnes de filtrage libèrent des particules. On est donc amené à ajouter des filtres appropriés aux différents niveaux de filtrage et notamment dans le filtre final juste avant la distribution de l'air comprimé.

Ces filtres sont constitués généralement de feutres maintenus entre des plaques de métal ajouré. Dans les tours de filtrage, ils servent en même temps de séparateurs entre les différentes couches de média filtrant.

**IV-15 Filtration dans un compresseur**

La [figure 18](#) donne un exemple des éléments principaux que l'on peut trouver le long du circuit de l'air dans un compresseur. Les utilisateurs ont intérêt à bien les connaître pour les surveiller, détecter et évaluer l'importance des pannes.

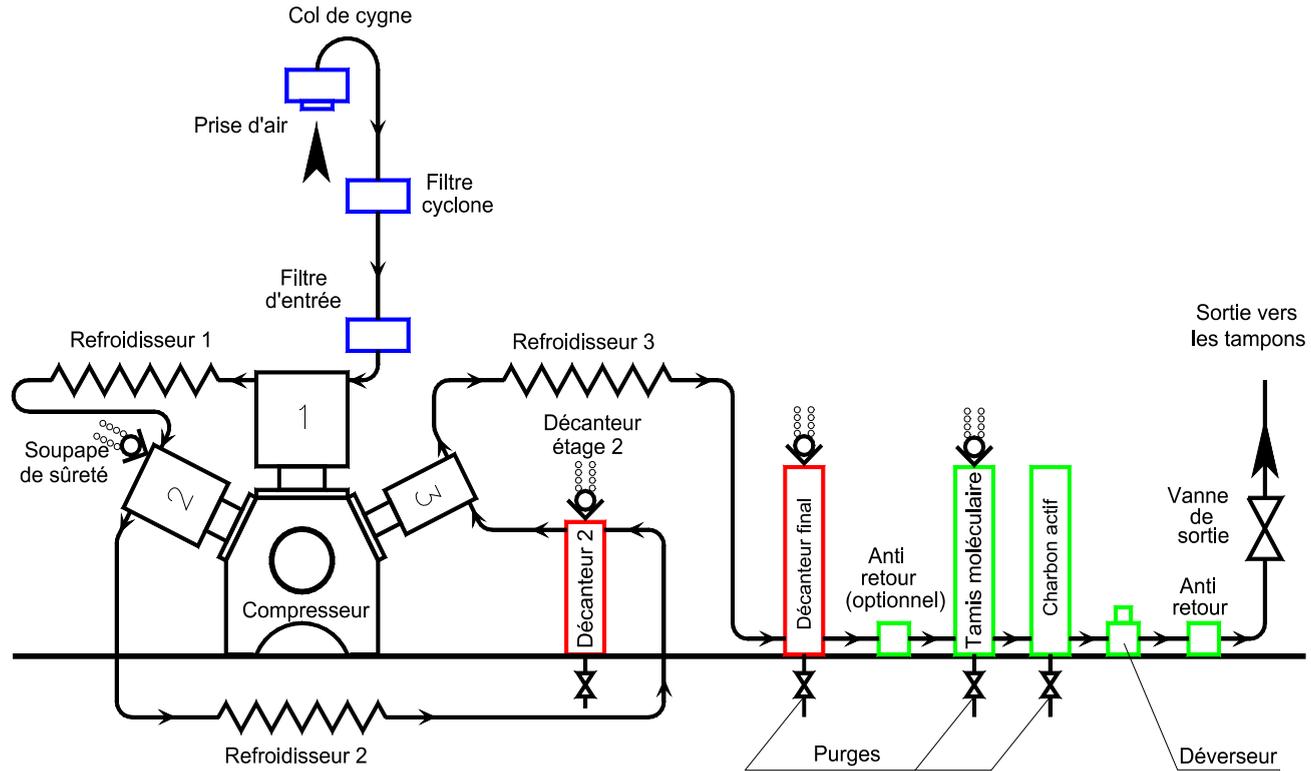


Figure 18 Filtration dans un compresseur

<b>TABLEAU DES FILTRES</b>			
Objectif du filtrage	Principe	Moyen	Localisation
Particules, eau de pluie	Rétention mécanique	Grillage Gravitation	Prise d'air
Particules lourdes	Rétention mécanique	Centrifugation Gravitation	Entrée du compresseur
Poussières	Mécanique	Papier filtre	Entrée du compresseur
Huile et eau < 0,01 $\mu$	Coalescence	Décanteur	Après chaque compression
Vapeur d'eau < 0,11mg/m <sup>3</sup>	Adsorption	Alumine activée Gel de silice	Après décanteur final
Odeurs, huile, solvants, hydrocarbures, ammoniac	Adsorption	Charbon actif	Après décanteur final
CO <sub>2</sub> et Vapeur d'eau < 500ppm	Adsorption	Tamis moléculaire	Après décanteur et déshuilage
CO < 5ppm	Catalyse	Chimique	Après séchage final
Poussières < 5 $\mu$	Rétention mécanique	Feutre Céramique Bronze fritté	Après chaque filtre
Élimination de l'huile et poussières résiduelles <1 $\mu$			Sortie finale

#### **IV-16 Les petits compresseurs**

Sur les petits compresseurs et notamment sur les portables, le filtrage final peut être simplifié et comprendre simplement un décanteur suivi d'une cartouche contenant du charbon actif compris entre 2 filtres de particules constitués par du feutre ou parfois un filtre composite Triplex. (À trois composants)

Cette cartouche absorbe l'huile, la vapeur d'eau, le CO<sub>2</sub>, arrête les particules et restitue théoriquement un air pur et insipide. (Sans goût ni odeur) Bien entendu sa durée de vie est courte et la cartouche doit souvent être changée ou rechargée avec du charbon réactivé. La cartouche Triplex de chez Bauer permet de traiter 160 m<sup>3</sup> d'air, c'est à dire de gonfler 80 bouteilles de 10 litres à 200 bars.

#### **IV-17 Le contrôle de la qualité de l'air**

Depuis longtemps, les hommes savent que certaines atmosphères peuvent être dangereuses. Autrefois, dans les carrières souterraines, les mines, les puits, on utilisait suivant le cas, des animaux qui servaient de cobaye ou parfois une simple bougie, au niveau du sol, pour détecter la présence de gaz carbonique.

Certains gaz sont détectables par leur odeur, d'autres ne le sont que par les symptômes qu'ils provoquent tels que l'irritation des muqueuses ou leur effet lacrymogène. Aujourd'hui l'analyse chimique en laboratoire permet de quantifier les composants de l'air avec une très grande précision mais cela prend du temps et coûte cher. Les utilisateurs de compresseurs doivent s'assurer du respect des normes. Pour ce faire, plusieurs moyens sont à leur disposition :

#### **IV-17-1 Analyse de laboratoire**

On peut confier l'analyse à un laboratoire spécialisé tel que :

Le Laboratoire National d'Essai.

Le CERCHAR.

L'IRCHA.

Les "APAVE"

L'AIR LIQUIDE etc.

Les moyens de mesures mis en œuvre, dans ce cas, sont importants. Les délais sont longs et les coûts élevés, un centaine d'euros par polluant analysé. Les moyens généralement utilisés sont, en fonction du contaminant :

- **Pour le CO** : La chromatographie en phase gazeuse.
- **Pour le CO<sub>2</sub>** : L'absorption d'un faisceau de radiations infra rouges non dispersé.
- **Pour l'Huile** : La mesure de la teneur en huile ne peut s'effectuer qu'au moyen d'un filtre à haute efficacité, papier amianté ou charbon actif, à partir duquel les traces d'huile recueillies pourront être dosées.
- **Pour l'Eau** : De nombreuses méthodes peuvent être utilisées. Celle généralement retenue par les laboratoires est une méthode électrique utilisant une sonde à variation de la constante diélectrique d'un isolant avec lecture directe sur un galvanomètre. Cette mesure donne des résultats différents suivant la pression à laquelle elle est effectuée. La sonde doit être calibrée ou étalonnée fréquemment.

L'utilisation à poste fixe d'un tel système sur un réseau d'air comprimé en constante variation de pression ne peut être considérée comme un moyen fiable d'arrêt d'un compresseur ; encore moins comme un élément de sécurité garantissant la bonne qualité de l'air face à toutes les normes. C'est seulement une bonne indication.

Remarque : En raison de leur coût, ce genre de mesure est réservé aux concepteurs de filtres, de compresseurs et aux organismes de contrôle officiels.

#### IV-17-2 La valise de test à tubes réactifs

Il existe par contre des équipements plus simples et moins coûteux. Ils utilisent la propriété de certains corps de changer de couleur en fonction de la nature et de la quantité de gaz avec laquelle ils sont en contacts. Ils se présentent généralement sous forme de mallettes facilement transportables. Certains revendeurs peuvent effectuer ces tests pour les clubs et centres de plongées.

Leur principe est le même que celui de l'Alcootest. Il consiste à faire passer une certaine quantité de gaz, via un indicateur volumétrique, à travers une ampoule étalonnée contenant un réactif spécialisé fonction de la nature du gaz recherché. La longueur de la colonne de réactif qui a changé de couleur et/ou la couleur elle-même indiquent la concentration dans le volume testé.

La lecture, notamment, de la teneur en humidité absolue est directe. L'évaluation de la teneur en huile se fait par colorimétrie alors que les autres composants sont mesurés sur des éprouvettes graduées. Ils ne détectent que les gaz ou vapeur, pas les contaminants solides. Les résultats obtenus s'ils ne sont pas d'une précision rigoureuse permettent une approche suffisante pour s'assurer de la conformité aux normes.

La mesure du volume d'air peut être réalisée grâce à un détendeur débitant pendant un certain temps à travers un trou calibré. Il peut aussi être constitué par un soufflet, de volume connu, que l'on actionne manuellement, un nombre connu de fois ou encore par une pompe volumétrique fonctionnant pendant un temps préétabli.

Ce système, pour un investissement entre 1000 et 2500 euros et quelques dizaines d'euros par polluant analysé, permet des analyses fréquentes et faciles à réaliser. Voir à ce sujet la valise "AIR-LAB" de BAUER. Elle est très automatisée et permet de réaliser une analyse complète (eau, H<sub>2</sub>O ; gaz carbonique, CO<sub>2</sub> ; monoxyde de carbone, CO ; acide sulfhydrique, H<sub>2</sub>S; anhydride sulfureux, SO<sub>2</sub> ; huile) le tout en 1 heure environ.

#### IV-17-3 Les valises de test électronique

[Valise de mesure de la qualité de l'air ASCO - VAR18](#) (Comme exemple)

##### *Remarques :*

- Il existe des systèmes de surveillance électronique de la teneur en eau qui permettent de signaler tout excès voire d'arrêter le compresseur.
- Seule une évaluation aussi fréquente que possible de la qualité de l'air permet de garantir l'utilisateur contre les risques de pollution.

« [Lien](#) » vers la norme concernant la qualité de l'air



*Gravure 8 - Sauvetage du Vanguard 1875*

## CHAPITRE V

### LES RÉALISATIONS

Nous nous proposons de décrire ici les principaux composants et les principales fonctions des compresseurs à pistons.

#### **V-1 Composants d'un compresseur**

Nous retrouverons certains de ces composants, plus loin dans cet ouvrage à propos de l'installation des stations de gonflage.

##### **V-1-1Cylindres**

Ils peuvent être fraisés dans la masse ou être constitués par des chemises rapportées beaucoup plus résistantes.

Au chapitre III, [figure 8](#), nous avons décrit, pour en faciliter la compréhension, un compresseur multi-étagé en ligne.

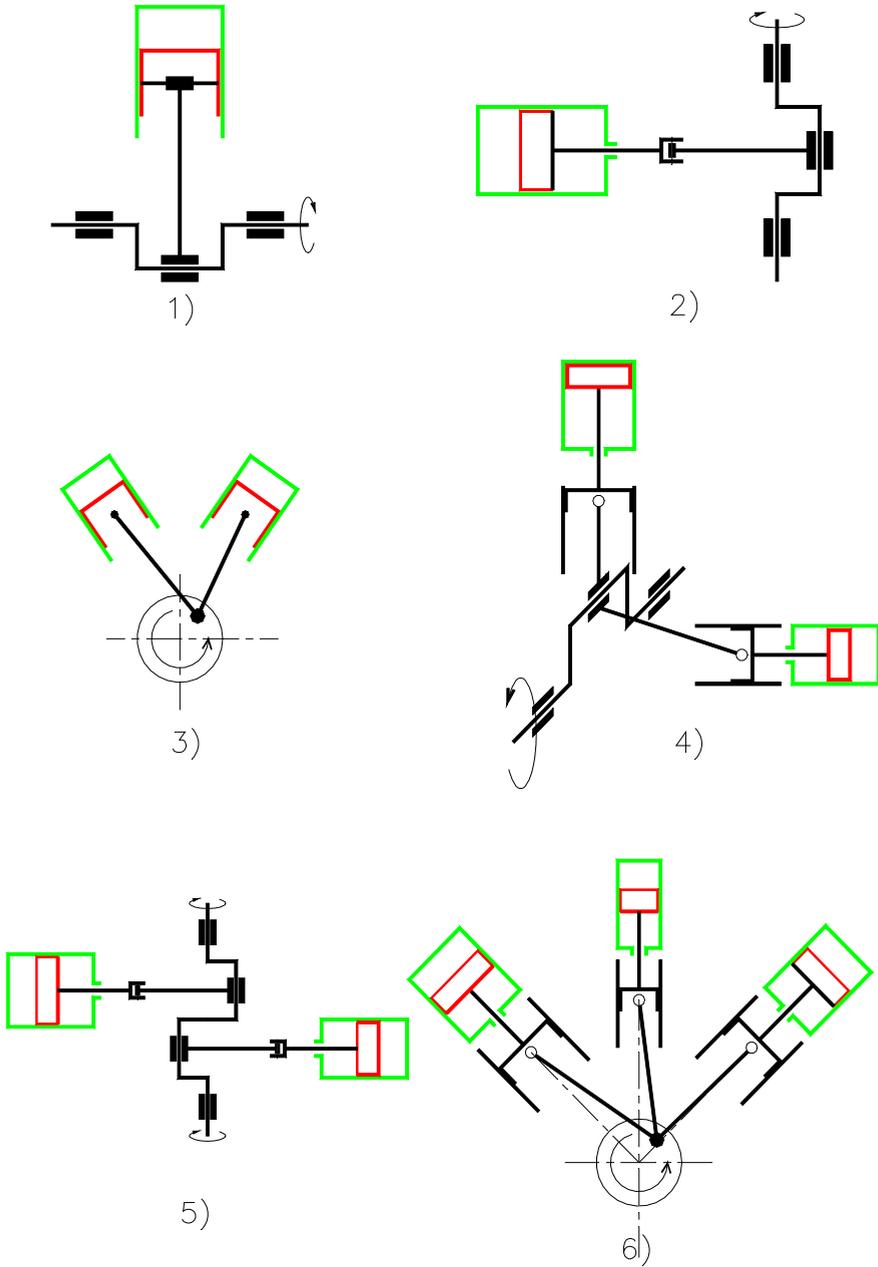
Pratiquement, il est plus facile, moins onéreux et on obtient un meilleur rendement en réalisant des étages en V, en W ou en étoile. Il existe en fait une multitude de combinaisons dont l'étude sortirait du cadre de cet ouvrage. (Voir quelques exemples en [figures 19](#))

- 1) Cylindre vertical à simple effet.
- 2) Cylindre horizontal à double effet.
- 3) Cylindres à simple effet en "V".
- 4) Cylindre à double effet en équerre.
- 5) Cylindres horizontaux à double effet.
- 6) Cylindres à double effet en "W".

La [figure 20](#) montre une disposition de cylindres en étoile. Les raisons du choix du constructeur pour le nombre de cylindres, leur orientation et le mode de travail des pistons sont multiples.

On retiendra notamment :

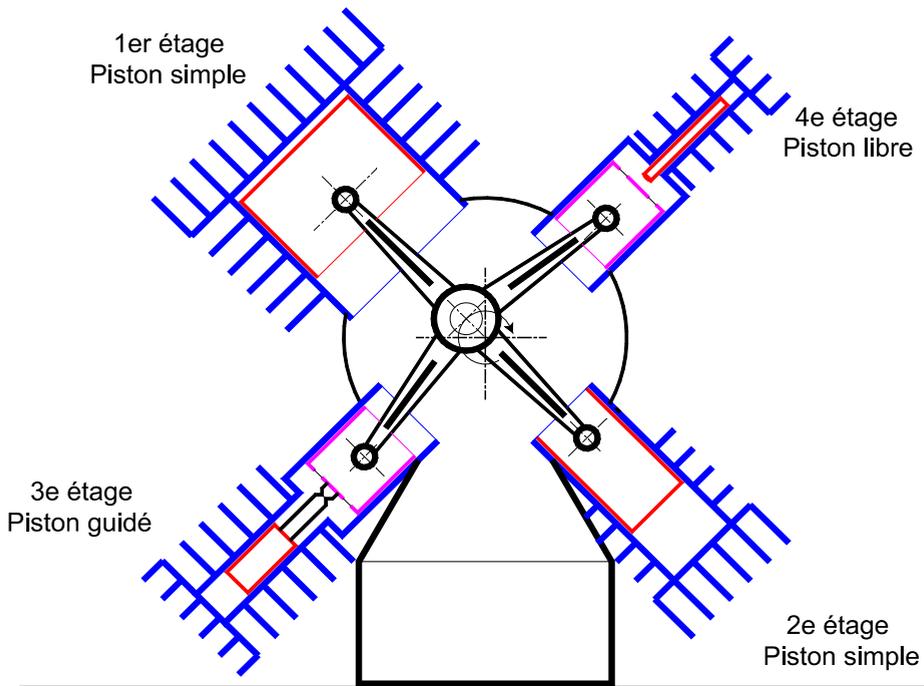
L'encombrement, la fiabilité, le nombre d'étages nécessaires pour obtenir la pression finale souhaitée, l'équilibrage des forces d'inertie, la régularité du couple résistant, le refroidissement, la facilité de maintenance, le coût etc.



*Figure 19 Différentes dispositions de cylindres*

**Remarque :**

Un compresseur peut avoir plusieurs cylindres et cependant être mono-étagé, si chacun des cylindres aspire l'air et le refoule aux mêmes pressions. Il existe des compresseurs ayant deux "premiers étages", deux "deuxièmes étages", un troisième et un quatrième étage. Autrement dit, il ne faut pas confondre le nombre d'étages avec le nombre de cylindres.



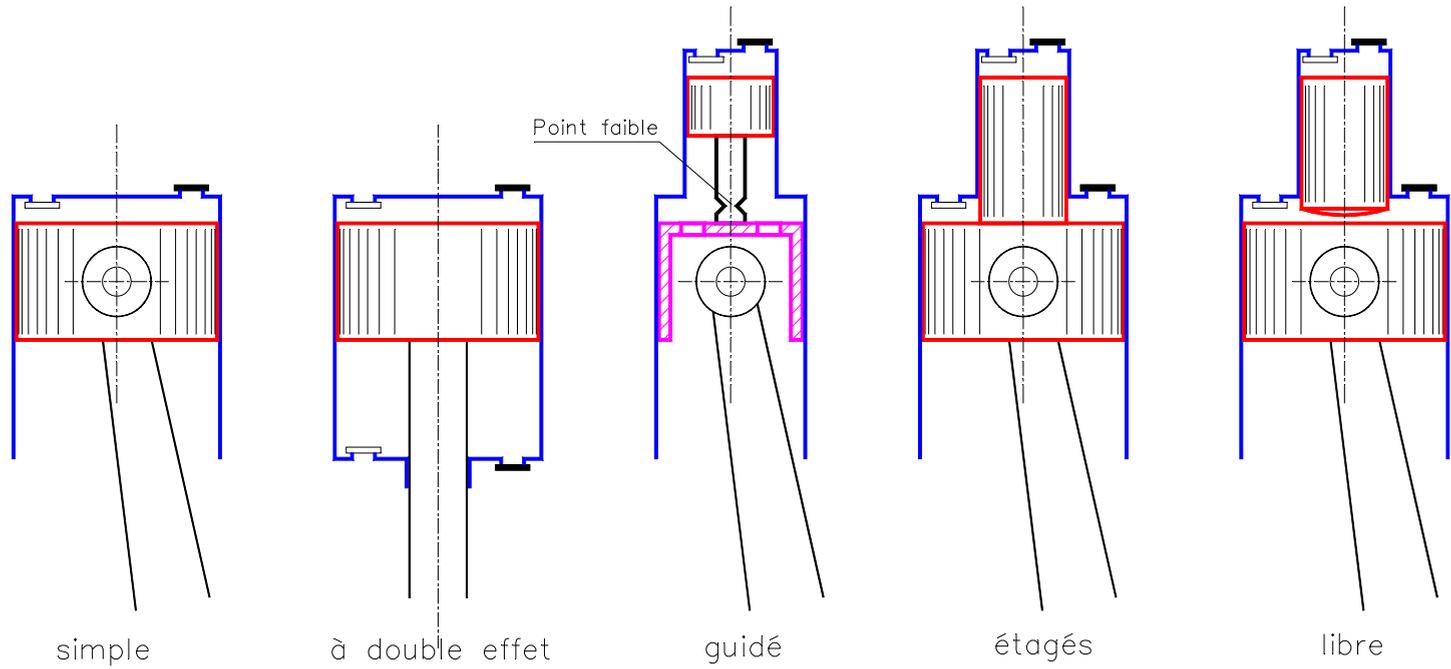
**Figure 20** Compresseur à 4 étages en étoile

**V-1-3 Pistons**

Dans les figures 19, 20 et [21](#), nous pouvons voir des pistons à simple et à double effet mais aussi des pistons guidés, étagés et libres. Ils sont généralement en alliage d'aluminium, sauf les derniers qui sont en acier spécial.

Les pistons à double effet compriment l'air aussi bien à la montée qu'à la descente. Les pistons guidés ou libres présentent l'avantage de supprimer les contraintes latérales que les bielles imposent aux pistons non guidés. Ces contraintes provoquent l'ovalisation des pistons et des cylindres.

Avec les pistons guidés ou libres, on obtient pour ces pièces des durées de vie de plus de 15000 heures de fonctionnement.



**Figure 21** Différents types de pistons

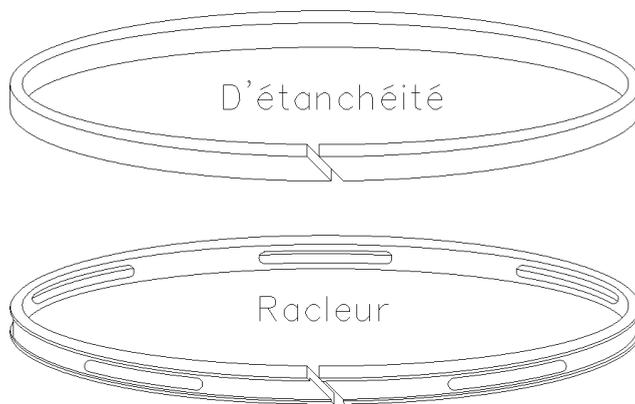
Les pistons sont, en général, actionnés par un système bielle manivelle. Quand ils sont libres, c'est la pression qui les maintient contre le pousseur. Tant que la pression n'est pas établie, le compresseur émet un bruit de claquements très caractéristique provoqué par la frappe du piston libre, d'une part sur le piston pousseur, d'autre part sur la culasse.

Ce type de piston est d'une très grande finition d'usinage. Le jeu entre le piston et la douille, qui sert de cylindre, est de quelques microns. Ils sont appariés et doivent donc être remplacés en même temps.

Les pistons guidés sont poussés par une tige possédant un point faible de façon à casser en cas de grippage. On évite ainsi de détériorer le vilebrequin.

#### **V-1-4 Segments**

La plupart des pistons sont munis de segments qui assurent l'étanchéité pendant le mouvement.



**Figure 22 Types de segments**

On en distingue plusieurs sortes : les segments d'étanchéité en acier ou en téflon qui empêchent les fuites d'air et améliorent la compression, les racleurs en basse pression et le bec d'aigle en haute pression qui distribuent l'huile le long du cylindre mais l'empêchent de remonter au-dessus du piston, voir la figure 22.

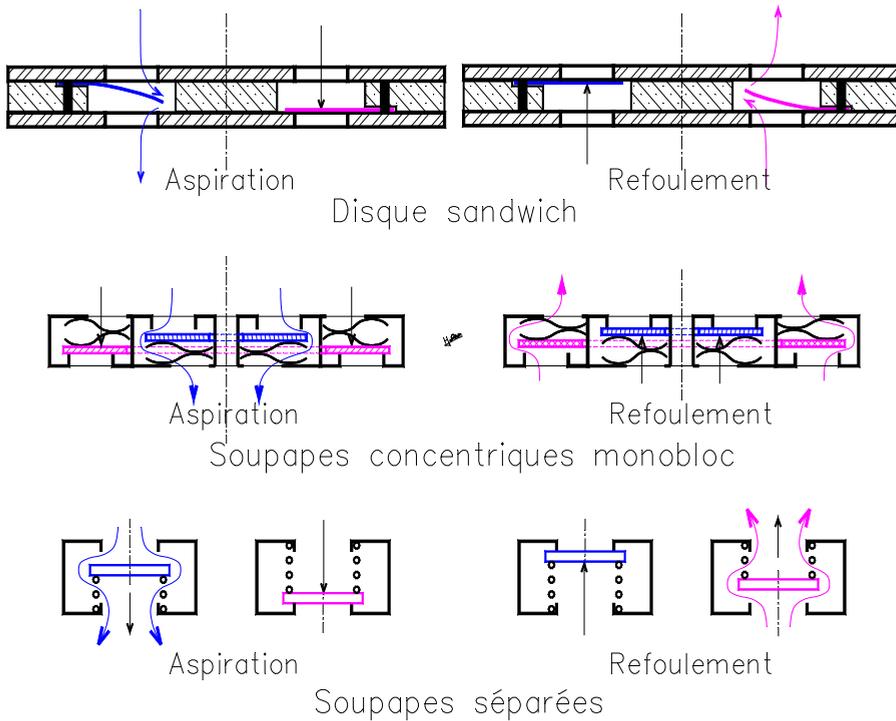
#### **V-1-5 Soupapes**

Les sièges et les clapets qui les constituent, doivent résister à des chocs répétés et à des températures élevées. Nous rappelons que nous utilisons le mot soupape pour le distinguer du clapet qui n'est que la partie mobile, comme dans un détendeur. Il en existe de nombreux types ; nous en donnons quelques exemples en [figure 23](#).

Certaines ont les clapets d'aspiration et de refoulement regroupés sous forme de disques où ils sont pris en sandwich. D'autres sont concentriques, en un seul bloc, plus faciles à changer. D'autres enfin ont les clapets entièrement séparés, voir aussi la figure 23.

### V-1-6 Ressort de rappel

Bien qu'en théorie les clapets peuvent se passer de ressort de rappel, on en trouve toujours de façon à assurer une bonne étanchéité. Ils sont souvent réalisés comme de simples ressorts hélicoïdaux.



**Figure 23** Différents types de soupapes

On les trouve aussi sous forme d'un empilement alterné de rondelles plates et gondolées. Sur le premier étage, ils sont parfois réalisés dans une lame d'acier souple et forment une seule pièce avec le clapet.

### V-1-7 Clapet à double effet de Nardi ([Figure 24](#))

#### Fonctionnement :

Dessin de principe à gauche

A l'aspiration, le clapet du haut est fermé par son ressort, le clapet du bas (admission) poussé par la pression de l'étage précédent se soulève et laisse passer l'air vers le cylindre du dernier étage.

Au refoulement, le clapet du bas est fermé par son ressort, le clapet du haut (échappement) est ouvert par la pression fournie par le piston. L'air est envoyé vers la sortie.

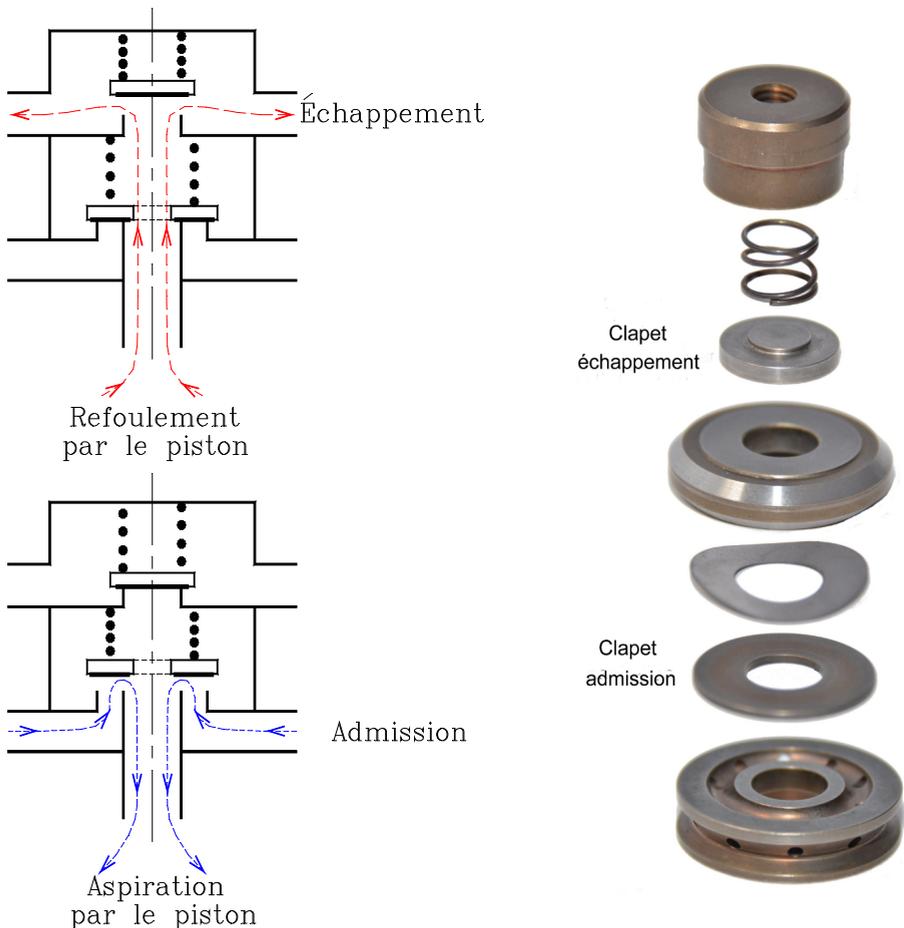
**Avantages :**

Passage d'air à l'aspiration augmenté de 50%.

Passage d'air à l'échappement quasiment doublé.

Température à l'échappement diminuée d'environ 45°.

Le tout permettant d'augmenter le débit du compresseur.



**Figure 24 : Clapets à double effet Nardi**

### **V-1-8 Embiellage**

Le vilebrequin qui transforme le mouvement circulaire du moteur en mouvement alternatif des pistons subit des efforts considérables de la part des bielles. C'est pourquoi les paliers sont équipés de roulement à rouleaux, très solides. Par contre les bielles, têtes et pieds, sont équipés de roulements à aiguilles, plus fines.

### **V-1-9 Serpentins de refroidissement**

Les serpentins : ils sont parfois en aluminium pour le premier étage mais pour les suivants, ils sont en cuivre ou en acier inoxydable. Ils sont souvent garnis d'ailettes de refroidissement. Ils doivent rester propres et ne pas vibrer

### **V-1-10 Bouteilles de décantation**

On en rencontre de deux types, les basses pressions pour les premiers étages et les hautes pressions à la sortie du compresseur. Elles peuvent être en acier ou en alliage d'aluminium. Elles comportent parfois, à l'intérieur, un filtre en bronze fritté qu'il est nécessaire de nettoyer périodiquement. Elles sont soumises à la réglementation sur les appareils à pression. (Voir le chapitre "Réglementation")

### **V-1-11 Manomètres**

Le contrôle des pressions de refoulement est effectué par des manomètres. (Voir la norme EN 837-1) Ils équipent parfois chaque étage de compression et obligatoirement la bouteille de décantation finale pour les groupes industriels, la rampe de chargement pour les groupes fixes, le flexible de chargement pour les groupes portables.

Il existe de même des manomètres pour surveiller les pressions d'huile. Parfois cependant, on se contente de prises de pression aux points importants du circuit.

La plupart de ces appareils sont basés sur le principe du tube de Bourdon à bain d'huile. Ils mesurent des pressions relatives. Ils comportent généralement un repère indiquant la pression maximum. Le boîtier doit être équipé d'une soupape de sûreté. Celle-ci est souvent constitué d'un simple champignon de caoutchouc situé à l'arrière du boîtier.

On commence cependant à voir apparaître des appareils électroniques. Ceux-ci sont plus précis et surtout facilitent le déport des informations ainsi que la surveillance électronique de l'ensemble du compresseur, par micro processeur.

### **V-1-12 Soupapes de sûreté (Voir [figure 25](#))**

Chaque étage de compression est muni d'une soupape qui doit s'amorcer à la pression de service des volumes à protéger.

Le réglage se fait par vis ou par cales d'épaisseur. Elles sont généralement plombées. Les ressorts sont parfois constitués par des empilements de rondelles coniques. (Type Belleville)

Nous les retrouverons plus loin dans l'installation des stations de gonflage. La [figure 23](#) montre les dessins de plusieurs modèles, l'un réglable basse pression, les autres haute pression. On remarquera notamment la coupe et la photo de la soupape Air-Liquide. On trouve aussi des soupapes de sûreté sur les circuits d'huile et d'eau pour éviter les surpressions.

Une soupape de sûreté est obligatoire à la sortie du compresseur. Mais certaines ne sont pas conçues pour supporter des ouvertures fréquentes. Il faut donc éviter de dépasser la pression maximale admissible, car ceci a tendance à détériorer progressivement le joint d'étanchéité.

### V-1-13 Débit des soupapes de sûreté

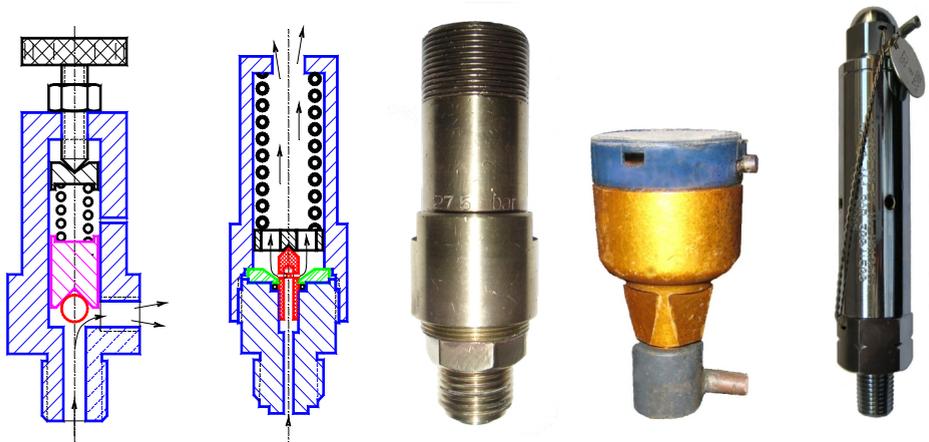
Une soupape doit assurer un débit suffisant sans dépasser de plus de 10% la pression de service des volumes en amont.

Voir la norme ([NF EN 764-7 de juillet 2002](#))

Une soupape ayant un débit inférieur à celui de la source ne peut limiter la pression sans dépasser ces 10%.

Il est donc important de choisir une soupape de débit suffisant.

Pour en être sûr, les fabricants devraient fournir la courbe pression / débit de leurs soupapes.



*Réglables BP*

*Air Liquide HP*

*Bauer HP*

*CompAir HP*

*Figure 25 Soupapes de sûreté*

### **V-1-14 Clapets anti-retour**

On les appelle aussi clapet de non-retour. Ils empêchent l'air provenant des bouteilles chargées de se vider par la purge du filtre lorsqu'elle est ouverte ou d'abîmer le clapet de refoulement du dernier étage.

(Voir aussi, au chapitre IV, son utilité dans le maintien des filtres sous pression)

### **V-1-15 Vannes**

Dans les compresseurs, elles sont utilisées pour purger les décanteurs, les filtres ou les flexibles de raccordement.

Il existe des vannes, type quart de tour, utilisées pour isoler les flexibles de raccordement. On utilise aussi des vannes progressives à plusieurs tours, dites à laminage, pour le réglage des débits, par réduction graduelle de la section du passage de l'air.

### **V-1-16 Électrovannes**

Ce sont des vannes commandées par électro-aimant. Dans les compresseurs, elles sont surtout utilisées pour les purges automatiques.

*Nota : Nous reverrons les vannes et électrovannes au chapitre sur l'installation des stations de gonflage.*

### **V-1-17 Compteurs horaires**

Ce sont des compteurs électromécaniques qui reçoivent des impulsions électriques venant d'une horloge ou, tout simplement, des horloges électroniques qui indiquent le temps de fonctionnement du compresseur et permettent de gérer sa maintenance périodique.

### **V-1-18 Boîtiers de surveillance électronique.**

Ils comportent des circuits électroniques qui utilisent des microprocesseurs pour gérer l'ensemble de la station de gonflage. Pour cela ils disposent d'une horloge, de capteurs de pression et de température, disposés en différents points de la machine tant sur le circuit d'air que d'huile ou sur les filtres. Grâce à un affichage alpha numérique, ils signalent en temps voulu les opérations de maintenance préventive.

### **V-1-19 Les moteurs**

Un compresseur peut être entraîné soit par un moteur électrique soit par un moteur thermique, à essence ou diesel.

La principale caractéristique d'un moteur est sa puissance. L'unité normalisée est le watt, on utilise souvent le Kilowatt (kW) et parfois encore le Cheval Vapeur. (CV) La relation entre ces unités est simple, 1 CV égale 736 watts.

Pour comprimer 2m<sup>3</sup> d'air à 350 bars il faut un moteur d'environ 736 watts (1CV) tournant pendant un heure. Dans les mêmes conditions il faut donc un

moteur de 11 kW pour un compresseur de 30m<sup>3</sup>/heure. (Se fier quand même aux recommandations du constructeur)

### ***Le moteur électrique***

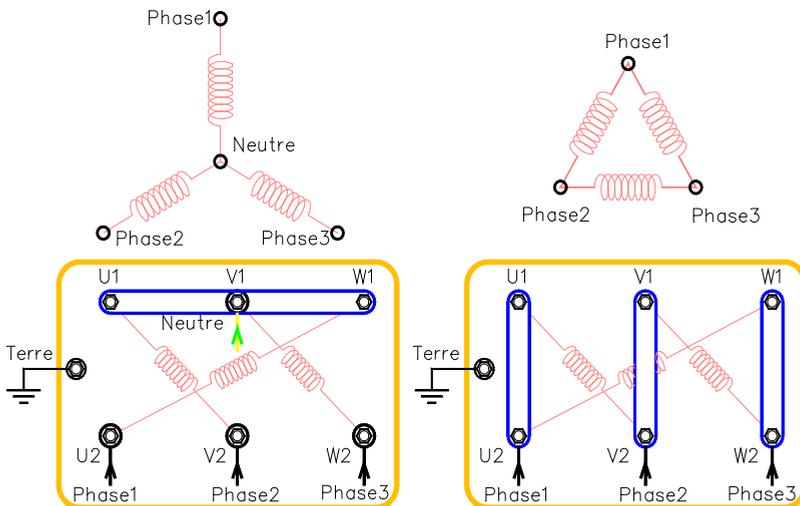
Il est simple et en conséquence fiable. Il est préférable à chaque fois que possible, surtout pour les installations fixes, car il est peu encombrant, peu bruyant, non polluant. Il présente l'inconvénient de nécessiter une source d'énergie fixe. Il devra être classé IP55 ce qui correspond à une norme d'isolation électrique. On ne peut donc pas utiliser n'importe quel moteur.

La réglementation européenne prévoit que le réseau électrique soit distribué en 400 Volts  $\pm$  5% triphasé 50 Hertz. On peut aussi l'utiliser en monophasé de 230 Volts entre phase et neutre ou de 400 Volts entre phases, pour des moteurs monophasés. Cependant, au-delà de quelques kilowatts, on préfère utiliser le courant triphasé.

Un moteur triphasé comporte 3 bobinages fixes destinés à créer un champ magnétique tournant. Ces bobinages peuvent être branchés en étoile ou en triangle selon la puissance désirée ou la tension disponible, voir [figure 26](#).

Sur les installations d'une certaine puissance, on réalise une séquence de démarrage automatique étoile puis triangle, par relais. Cela permet de réduire le courant d'appel à la mise en marche.

Un moteur qui tourne à l'envers peut être dangereux pour la lubrification, la ventilation et le serrage de certaines pièces tournantes du compresseur. Le sens correct est généralement indiqué en noir, sur le volant d'entraînement. Pour inverser le sens de rotation d'un moteur triphasé, il suffit d'inverser deux phases.



**Figure 26** *Branchement d'un moteur électrique triphasé*

**Mais attention :** Dans une installation avec démarrage automatique Étoile/Triangle, cette inversion ne peut se faire qu'au niveau du réseau de distribution et non, au niveau du moteur, sous peine de court circuit.

Les moteurs sont calculés pour fonctionner aussi bien en 50 qu'en 60 Hz. À cette dernière fréquence, si l'on veut conserver la même vitesse au compresseur, les poulies des moteurs doivent avoir un diamètre plus petit de 20%. De plus, il faut s'assurer que les tensions restent appropriées. (Attention au matériel U.S.)

### ***Le moteur thermique***

Il est indispensable lorsqu'on ne dispose pas de source d'énergie électrique. Mais il est plus lourd et encombrant à puissance égale. De plus il est bruyant, polluant, moins fiable. Il nécessite des réserves de carburant et d'huile qui peuvent poser des problèmes de stockage.

Les moteurs thermiques doivent toujours être munis d'un régulateur de vitesse. Pour les fortes puissances, on peut utiliser des moteurs à essence ou diesel.

### **V-1-19 Les courroies**

Il y en a en général plusieurs, de forme trapézoïdale, pour éviter les glissements. Il faut les vérifier régulièrement, car elles se détendent. Les fabricants indiquent une méthode de contrôle basée sur la longueur de la flèche qu'elles prennent, en leur milieu, sous un effort donné. Par exemple 5 mm sous 15 daN.

### **V-2 Systèmes de lubrification**

Il est indispensable de lubrifier pour réduire la corrosion, l'usure des pièces en mouvement, pour les refroidir, pour drainer les résidus métalliques dus à cette usure, pour améliorer l'étanchéité des pistons.

#### **V-2-1 Le barbotage**

C'est le plus courant et le plus simple. La tête de bielle est équipée d'un lécheur ou aiguille qui, à chaque tour, prélève une certaine quantité d'huile dans le carter et la pulvérise, sous forme d'aérosol, sur l'embellage, le piston et la chemise du cylindre. (Voir [figure 27](#))

Ce système convient bien pour la lubrification des roulements des bielles mais il n'est pas toujours suffisant, car l'huile ne peut atteindre facilement la partie haute des pistons.

#### **V-2-2 Le reniflard**

C'est un orifice qui maintient le carter à la pression ambiante. Il permet aussi d'aspirer les aérosols qui se trouvent dans le carter et de les mélanger à l'air aspiré au niveau du premier étage pour lubrifier le haut du piston.

Ce système présente l'inconvénient d'aspirer beaucoup d'huile lorsque le filtre d'entrée est colmaté.

### V-2-3 Le goutte à goutte

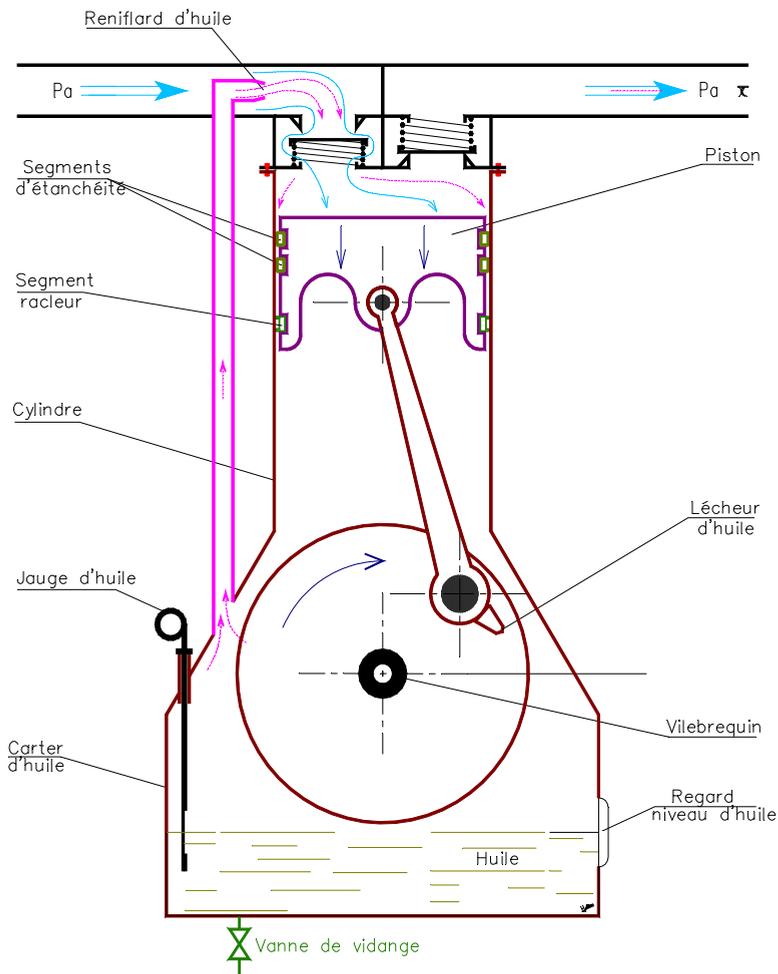
L'huile est envoyée par une pompe dans un bol dans le haut du compresseur et tombe goutte à goutte dans le système d'aspiration du premier étage.

Ceci régule l'arrivée d'huile et évite d'aspirer trop d'huile lorsque le filtre est colmaté. La stabilité du goutte à goutte n'est cependant pas excellente.

### V-2-4 La pompe "Basse pression"

C'est une pompe qui envoie de l'huile à quelques bars, à travers le vilebrequin pour lubrifier les paliers et les têtes de bielles, comme dans les voitures.

Ce système est moins utilisé depuis qu'on utilise des roulements à rouleaux et à aiguilles qui se lubrifient bien par les aérosols produits par le barbotage.



**Figure 27** Lubrification par barbotage

### V-2-5 La pompe "Haute Pression"

La haute pression d'huile, de quelques dizaines de bars, est générée par une pompe dont le principe ressemble à celui d'injection des moteurs diesel. Elle permet d'injecter l'huile entre les cylindres et les pistons mobiles ou pousseurs ou bien directement à l'aspiration dans les boîtes à clapets.

Sur un dernier étage, elle peut être comprise entre 30 et 60 bars. ([figure 28](#))

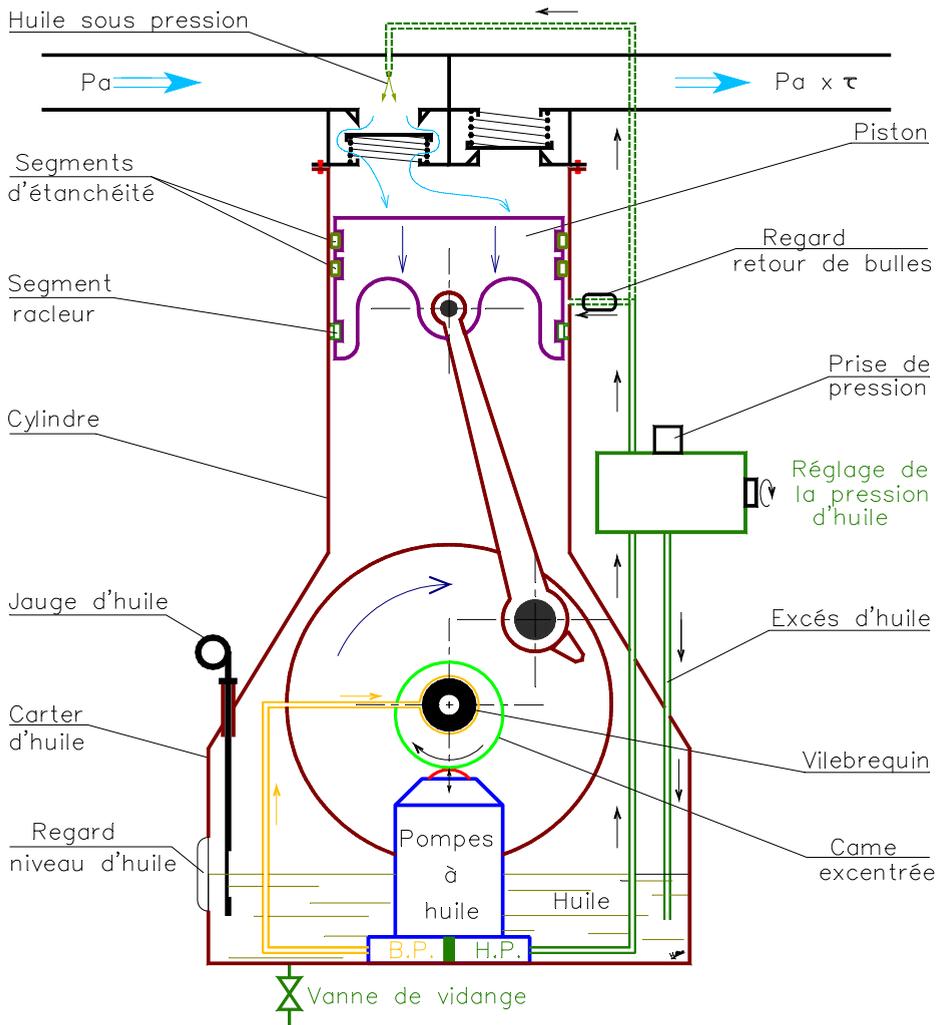


Figure 28 Lubrification par pompes

Le système est muni d'un régulateur ajustable constitué par une soupape de décharge qui s'ouvre lorsque la pression est trop forte et ramène l'huile en excès vers le carter. (Elle fonctionne comme une soupape de sûreté) Il existe souvent un manomètre de contrôle ou au moins une prise de pression permettant de la contrôler.

**Remarques :**

- Certains de ces systèmes de lubrification peuvent être utilisés conjointement.
- Le niveau d'huile doit être surveillé étroitement. Ne jamais dépasser le niveau. Ceci peut créer de graves désordres.
- Attention : les jauges de niveau sont munies de joints. Ceci peut créer un matelas d'air qui repousse l'huile sur la jauge faisant penser qu'il en manque, alors qu'il y en a trop.
- Pour surveiller la lubrification, on trouve des manomètres ou des jauges électroniques qui contrôlent la pression et la température de l'huile. On trouve aussi des pressostats qui arrêtent le moteur lorsque la pression est insuffisante.

Un regard permet de vérifier que l'huile circule normalement. Quand on y aperçoit des bulles, venant de la direction du cylindre en amont, c'est que la pression est insuffisante et que l'air et l'huile sont refoulés dans le circuit.

**V-2-6 Inconvénients de la lubrification :**

- A cause de la lubrification, une partie de l'huile utilisée se retrouve dans l'air de sortie. Elle se mélange alors à l'eau pour former les condensats. Mais, une partie reste sous forme de vapeur ou d'aérosol qui peut donc être respirée par le plongeur.

Le fonctionnement de la lubrification doit être surveillé étroitement.

Les différentes huiles utilisées ne sont pas miscibles.

**V-3 Toxicité des huiles**

Toutes les huiles sont toxiques à respirer. Ce n'est qu'une question de concentration. Nous devons bannir de notre vocabulaire les expressions "Huiles respirables ou alimentaires".

Les huiles qualifiées "Food Grade" ne sont pas des huiles bonnes à ingérer. Cela signifie tout au plus que ce ne sont pas des poisons lorsque, exceptionnellement, elles sont avalées en faible quantité.

À température critique, les huiles peuvent subir une décomposition et libérer des gaz toxiques tels que : du monoxyde de carbone CO, du dioxyde de

carbone CO<sub>2</sub>, d'azote NO<sub>2</sub>, de soufre SO<sub>2</sub>, de l'ammoniac NH<sub>3</sub> et de l'hydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S.

On peut encore ajouter qu'à une température plus élevée, appelée "Température d'auto inflammation", l'huile s'enflamme spontanément ce qui peut provoquer des dégâts importants.

De plus, en rencontrant des parties très chaudes, comme les clapets, elle brûle et y laisse des dépôts de calamine qui nuisent à leur fonctionnement.

En dehors de ces propriétés lubrifiantes, l'huile utilisée doit donc résister aux hautes températures auxquelles elle est soumise.

**Remarques :**

Avec l'huile qui est préconisée par les fabricants, il ne devrait jamais y avoir d'inflammation spontanée ni de production de CO ou de CO<sub>2</sub>.

L'huile est cependant la principale source de contaminants dans un compresseur. De plus, elle colmate facilement les filtres. C'est pourquoi, il faut l'éliminer dès que possible dans la chaîne de filtrage.

Quand l'huile donne un mauvais goût à l'air c'est parce qu'elle dégage de l'Acroléine qui est le résultat de sa décomposition.

L'utilisateur ne doit utiliser que celle préconisée par le constructeur et ne jamais effectuer de mélange. Par précaution, le fournisseur conditionne souvent et fourni lui-même l'huile qu'il préconise.

***Se méfier des lubrifiants dits "Spécial compresseur". Ils peuvent parfaitement convenir pour un compresseur "Basse pression", à palette ou à vis mais être incompatibles avec un compresseur à pistons étagés.***

**V-3-1 Choix du lubrifiant**

Les huiles minérales obtenues à partir des produits pétroliers, sont des huiles dont la structure est composée d'éléments divers dont une bonne partie est instable en particulier à cause de l'oxydation et de la température.

Les huiles de synthèse, au contraire, sont constituées de molécules homogènes et solides, donc plus stables.

CompAIR-Luchard recommande une huile synthétique la "Dynairoil ". Bauer propose des huiles sous différentes références, suivant le compresseur, exemple les N19745 et N19779.

Ces huiles sont quasi universelles pour les compresseurs de plongée. Il faut cependant demander l'avis du fabricant avant de les utiliser et surtout d'en changer. Il ne faut surtout pas mélanger les huiles minérales et synthétiques.

Si l'on veut remplacer une huile minérale par une huile synthétique, il faut absolument suivre la procédure indiquée par le fabricant du compresseur. (Voir le chapitre maintenance)

En raison de la qualité des usinages, sauf indication contraire, il n'est plus toujours nécessaire de changer de type d'huile après quelques heures de fonctionnement. En effet le rodage est souvent effectué en usine par le fabricant.

#### **V-4 Systèmes de refroidissement**

Comme nous l'avons envisagé au chapitre I, il est nécessaire d'évacuer la chaleur engendrée par la compression, ceci afin de conserver des températures de fonctionnement admissibles et de permettre la condensation des vapeurs d'eau et d'huile. Il ne faut pas oublier, ce qui a déjà été dit précédemment, que presque toute la puissance mise en jeu dans un compresseur est transformée en chaleur soit :

**3600 kilojoules par kWh**

Or, toutes choses égales par ailleurs, la quantité de chaleur produite augmente avec la cylindrée. La chaleur produite ne peut s'évacuer qu'à travers les parois des cylindres et par les réfrigérants placés après chaque phase de compression.

La lubrification, nous l'avons déjà vu, favorise le refroidissement des différentes pièces mécaniques. Dans certains gros compresseurs, on ajoute en plus un radiateur spécial pour refroidir l'huile.

##### **V-4-1 Refroidissement à air**

Il consiste en un échange thermique air/air. Le rayonnement ne suffisant généralement pas, une turbine renouvelle l'air autour des cylindres et des tubes de réfrigération inter-étages.

##### **V-4-2 Refroidissement à eau**

Il s'agit ici d'un échange air/eau. Le fluide caloporteur qu'est l'eau peut être soit perdu, soit recyclé dans un aérorefrigérant à circuit fermé. On peut comparer le circuit fermé avec celui d'une voiture. L'eau, mise en circulation par une pompe, passe autour des cylindres puis est refroidie dans un radiateur sur lequel souffle un ventilateur.

(Voir une telle installation au chapitre sur la conception des stations de gonflage)

Les compresseurs à refroidissement par eau sont plus compacts, moins bruyants et ont une durée de vie plus grande.

#### **V-5 Dessin des circuits d'un compresseur**

Le dessin industriel d'un compresseur avec toutes les pièces qu'il comporte est très sophistiqué pour un néophyte. Seul un spécialiste peut s'y reconnaître.

Pour cette raison, on a coutume de ne représenter que des schémas de principe : circuit de l'air, circuit de l'huile et circuit de refroidissement. De telles représentations, à l'aide de symboles normalisés, sont beaucoup plus faciles à comprendre.

La [figure 29](#), donne l'exemple d'un compresseur original à 3 étages. Les 2 cylindres horizontaux sont en parallèle et constituent le premier étage. Une bielle commande un piston à double effet dont la partie supérieure constitue le 2<sup>e</sup> étage et la partie inférieure le 3<sup>e</sup> étage.

La lubrification se fait par barbotage sauf pour le 2<sup>e</sup> étage qui étant inaccessible est graissé par un huileur auxiliaire, au goutte à goutte.

On remarquera la prise d'air et le filtre de particule à l'entrée du compresseur et, après chaque étage, un serpentin de refroidissement, une soupape de sûreté et un manomètre.

Entre le 2<sup>e</sup> étage et le 3<sup>e</sup> étage se trouve un décanteur pour éliminer les condensats. Il n'y en a pas à la sortie du premier étage, car, comme nous l'avons déjà vu, les conditions de condensation de la vapeur d'eau ne sont généralement pas réunies.

À la sortie du 3<sup>e</sup> étage, se trouvent : un décanteur final, un filtre déshuileur, un filtre désodoriseur à charbon actif, un sécheur à tamis moléculaire. Ce filtre incorpore lui-même un filtre de particule. Enfin, à la sortie on trouve un déverseur et une soupape anti-retour.

La rampe est équipée d'une soupape de sûreté, d'un manomètre, de vannes d'isolement et de flexibles avec des étriers munis de purges. On peut dans certains cas n'avoir qu'une seule purge pour toute la rampe.

### ***Remarques :***

La [figure 30](#) montre une réalisation classique en cadre métallique tandis que la [figure 31](#) montre une unité de compression sous forme monobloc. Exemple, le "Sil'airpac" de CompAIR-Luchard ou le "Verticus" de Bauer.

Dans cette dernière disposition, le compresseur est monté au-dessus du moteur électrique, dans une armoire à haut isolement phonique. Il est moins encombrant et son entretien plus facile.

Un boîtier électronique associé à des capteurs de pression et de température surveille le fonctionnement du compresseur et parfois le système de filtrage. L'affichage indique les alarmes éventuelles et les opérations de maintenances préventives à effectuer.

Dans des unités plus élaborées du même genre on peut trouver intégré, le compresseur, la rampe de gonflage et les bouteilles tampons, le tout transportable...

### V-6 Documentation du compresseur

L'emploi de la langue française est obligatoire (loi Toubon n°94-665 du 4 août 1994, article 2) La norme EN1012-1 : 96 prévoit au chapitre 7 que la documentation doit comporter :

- Une notice d'utilisation. (Voir § 7.2) Elle doit être conservée en permanence avec le compresseur et être disponible pour les opérateurs.
- Une notice d'entretien. (Voir § 7.3)
- Une liste des pièces et ingrédients nécessaires à l'entretien. (Voir § 7.4)

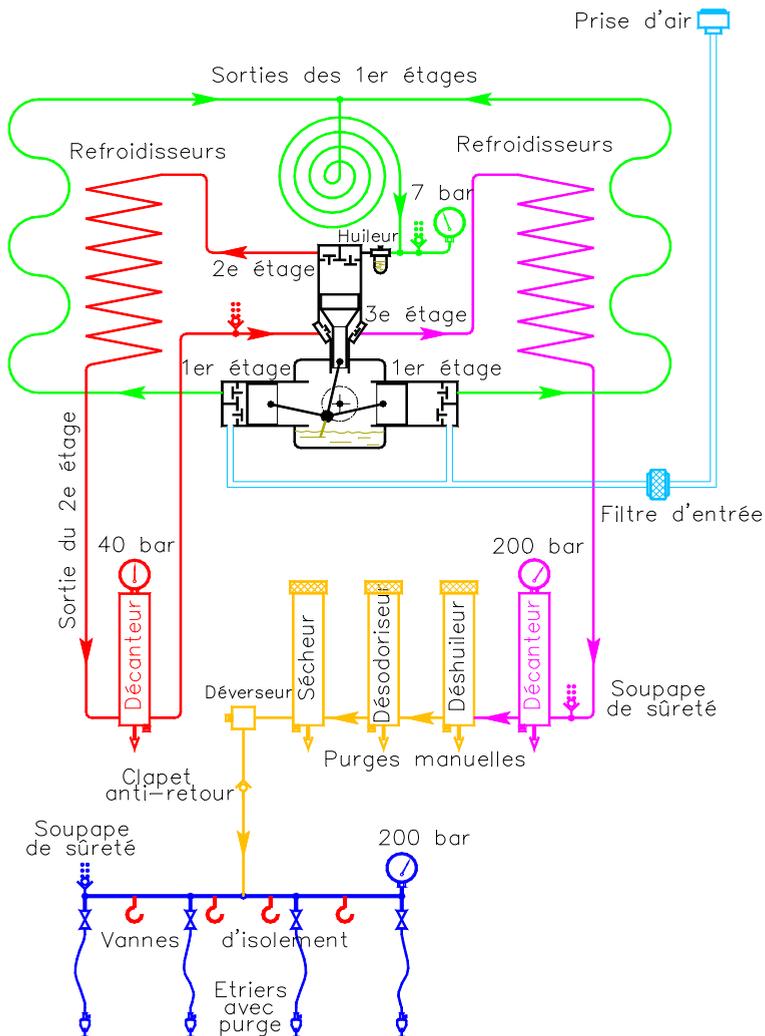


Figure 29 Circuits d'un compresseur

L'arrêté du 15/01/62 précise que le compresseur doit être livré avec :

- Une notice d'utilisation. (Article 6)
- Des consignes d'utilisation. (Article 8)

Ces éléments constituent un dossier qui doit être tenu à la disposition de la D.R.I.R.E. (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement)

L'article L111-1 de la loi N° 92-60 du 18/01/92 concerne l'obligation générale d'information par les professionnels.

*Les documents sont souvent regroupés dans la notice du constructeur. Celle-ci comprend généralement les chapitres suivants :*

- I Caractéristiques générales.
- II Description et fonctionnement.
- III Installation. (Schéma électrique et pneumatique)
- IV Mise en route et arrêt.
- V Maintenance.
- VI Pièces de rechanges.

### **V-6-1 Caractéristiques générales**

Le constructeur doit au moins donner les informations suivantes :

Débit de remplissage en m<sup>3</sup>/heure d'air détendu à 20°C - Pression maximum - Pression de service - Puissance nécessaire - Vitesse de rotation maximum - Vitesse de rotation normale - Référence de l'huile prévue - Capacité du carter d'huile – Encombrement – Poids - Niveau sonore.

Il doit aussi indiquer les caractéristiques du moteur d'entraînement susceptible d'être utilisé, électrique ou thermique,.

Il fournit généralement, avec la documentation, un dessin éclaté qui permet d'identifier toutes les pièces du compresseur grâce à des numéros d'identification.

A titre d'exemples, nous avons choisi un compresseur ancien très simple car les dessins des compresseurs modernes, plus sophistiqués, ne tiendraient pas dans la place dont nous disposons.(Voir les planches 1 et 2 en fin de chapitre)

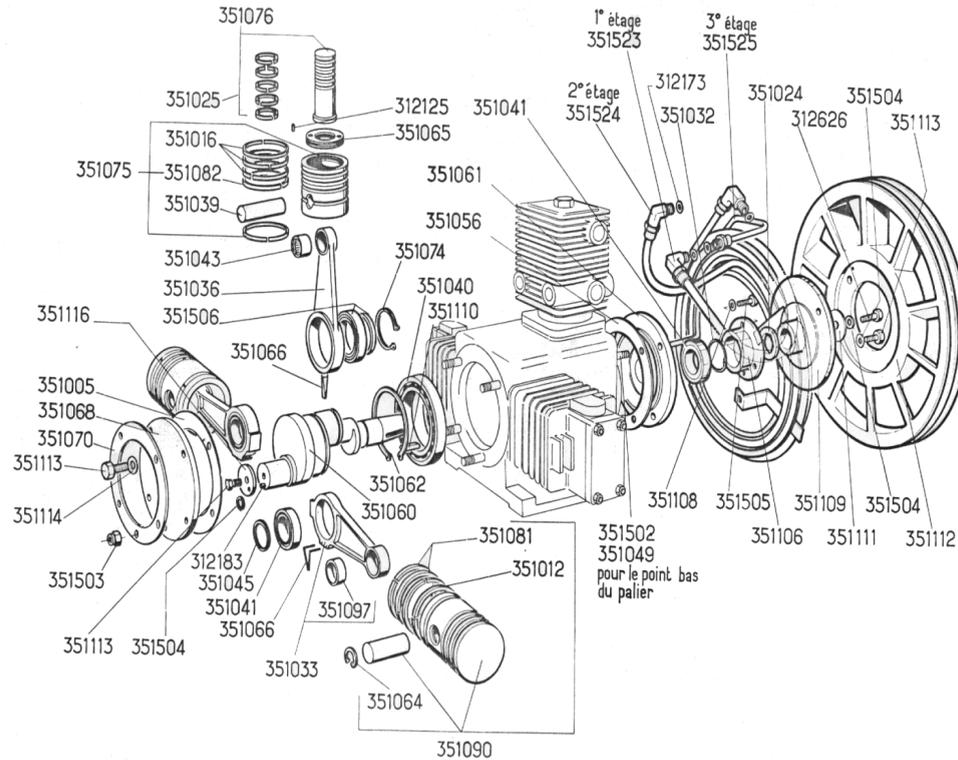
Ce type de dessin permet aussi de voir l'ordre de montage, ce qui réduit les possibilités de confusion lors de l'échange de pièce et le risque d'erreur lors du passage des commandes.

Garantie : L'article 1315 du code civil concerne les obligations du fabricant. Les articles 1641, 1643 et 1648 concernent les vices cachés.

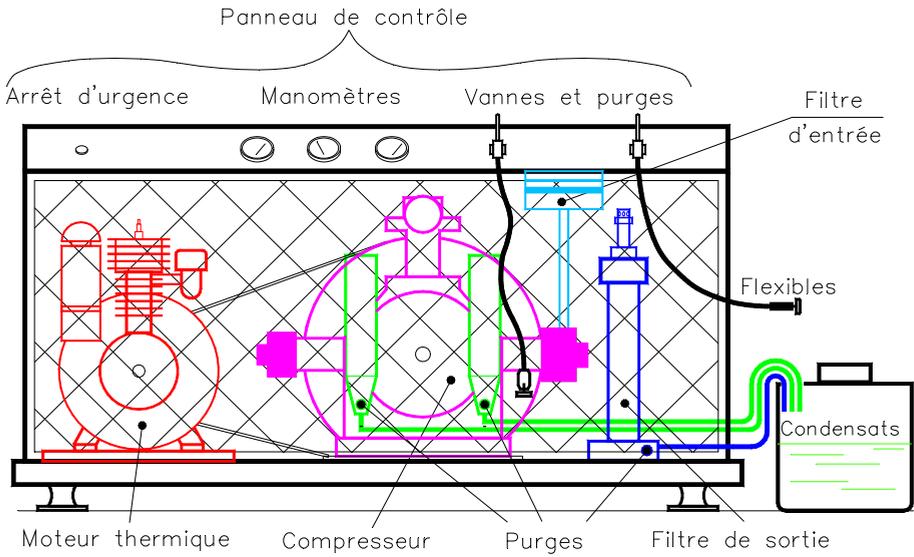
\*\*\*\*\*



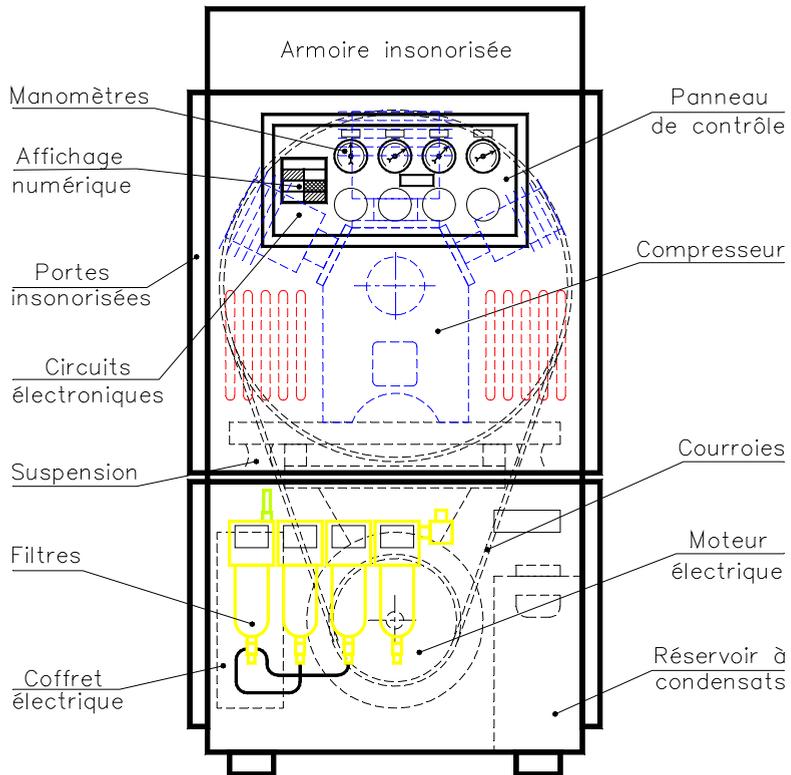
Planche 2



**Gravure 10 - Éclaté planche 2**



**Figure 30** *Compresseur en cadre à moteur thermique*



**Figure 31** *Compresseur en armoire insonorisée à moteur électrique*

## CHAPITRE VI

### COMPRESSEURS À VIS ET À MEMBRANE

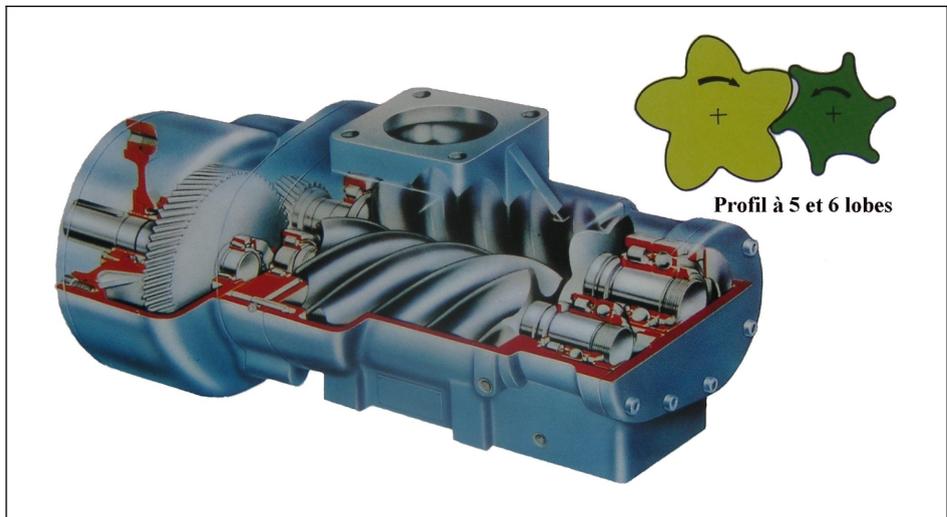
Ce chapitre aborde deux types de compresseurs, moins utilisés que les compresseurs à pistons mais qui trouvent leur application dans la production des mélanges ou le stockage des gaz.

#### VI-1 Compresseurs à vis

##### VI-1-2 Principe de fonctionnement

Il utilise un rotor mâle à 4 ou 5 lobes entraîné par le moteur et un rotor femelle de 5 ou 6 lobes à rotation libre. Le rotor mâle comprime l'air le long du rotor femelle de façon continue.

Au cours de sa rotation, le volume compris longitudinalement entre les 2 rotors se réduit progressivement assurant la compression de l'air.



*Gravure 11 - Compresseur à vis*

### **VI-1-3 Avantages**

- Ils permettent des débits importants.
- Le débit est continu sans pulsations, ce qui est préférable pour la filtration.
- Ils sont faciles à installer directement à même le sol.
- Ils sont peu bruyant.
- Ils sont très fiables.
- L'entretien se résume au changement de l'huile et des filtres.

### **VI-1-4 Inconvénients**

Ces compresseurs ont un taux de compression limité. Il ne dépassent généralement pas 15 bars en sortie. Leur coût est assez élevé.

### **VI-1-5 Applications**

Comme nous le verrons plus loin, ils trouvent surtout leur utilité, en ce qui concerne la plongée, dans la production de "Nitrox" par la méthode de membrane semi-perméable.

## **VI-2 Compresseur à membrane ([Voir gravure 12](#))**

### **VI-2-1 Principe de fonctionnement**

Inventé en 1916 par Henri CORBLIN, le compresseur à membrane combine un système hydraulique et un système à gaz par l'intermédiaire d'une membrane métallique souple pincée entre deux plateaux qui sépare les 2 systèmes.

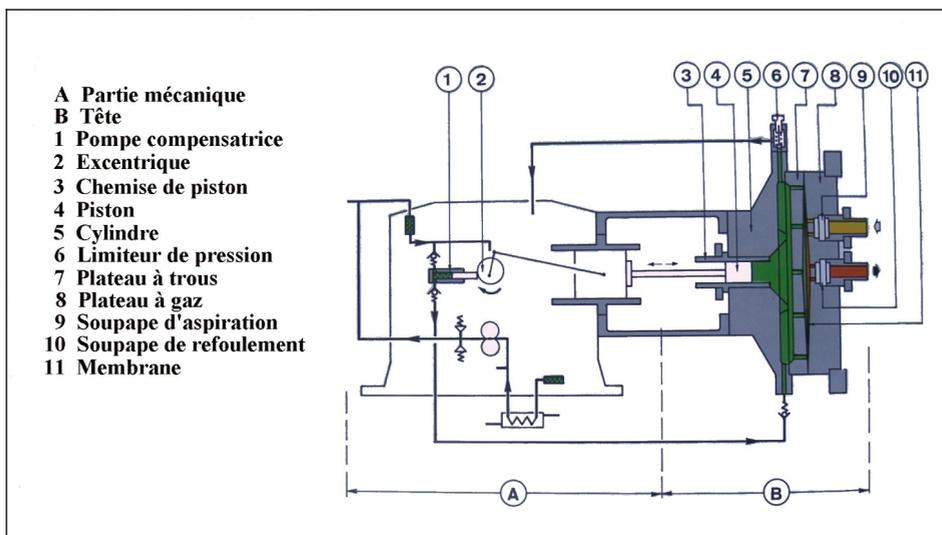
C'est la flexion alternée de la membrane qui assure l'aspiration et la compression du gaz véhiculé.

La partie A du compresseur est constituée par une pompe hydraulique actionnée par un excentrique qui propulse le liquide contre la membrane en lui imposant un mouvement oscillatoire.

Un plateau à trou répartit le fluide uniformément sous la membrane tandis que du côté opposé un autre plateau comporte les clapets d'aspiration et de refoulement.

Une pompe compensatrice permet d'envoyer la quantité d'huile juste nécessaire pour que l'espace mort soit réduit au maximum. Il en résulte que l'on obtient facilement des taux de compression voisins de 20 ce qui permet d'obtenir des pression voisines de 400 bars avec seulement 2 étages.

Un détecteur permet d'arrêter instantanément le compresseur en cas de rupture de la membrane.



*Gravure 12 - Compresseur à membrane*

### VI-2-2 Avantages

Le gaz comprimé est exempt de toute pollution.

La chambre de compression étant parfaitement étanche, il n'y a pas de fuite du gaz comprimé.

Tous les gaz peuvent être comprimés.

Le rendement de remplissage est élevé.

Des pressions très élevée peuvent être obtenues.

Les pièces mobiles sont bien lubrifiées ce qui leur procure une excellente fiabilité.

Le rendement énergétique est excellent.

La maintenance est réduite au maximum et donc d'un prix faible.

### VI-2-3 Inconvénient

Son seul inconvénient est son prix qui est 2 à 3 fois plus élevé qu'un compresseur à piston.

### VI-2-4 Applications

Ce type de compresseur est surtout utilisé dans le domaine professionnel pour comprimer toutes sortes de gaz. En plongée, il est surtout utilisé pour charger des tampons avec des mélanges "Nitrox" ou "Trimix".

## CHAPITRE VII

### CONCEPTION DE STATIONS

Si un compresseur peut constituer, à lui seul, une station de gonflage, il n'est le plus souvent que l'un des composants de celle-ci. D'autre part, il est exceptionnel de voir deux stations identiques.

Ce chapitre a été développé pour répondre aux attentes des utilisateurs qui souhaitent intervenir dans la conception de leur station, en fonction de leurs locaux, de l'environnement et de leur budget.

#### **VII-1 Caractéristiques d'une station de gonflage**

Elles sont définies par leur débit de remplissage, leur volume de stockage, leur sécurité, la qualité de l'air, le confort du personnel, la maintenance préventive et corrective, le respect de l'environnement et du voisinage, les coûts d'investissement, les frais d'amortissement et de fonctionnement.

##### **VII-1-1 Composition générale**

Une station de gonflage comprend usuellement :

- Une prise d'air ;
- Un ou plusieurs compresseurs avec leurs organes de filtrage et leurs moteurs d'entraînement ;
- Un système de refroidissement ;
- Des éléments de stockage (éventuellement) ;
- Des organes d'isolement ;
- Un poste de chargement ;
- Une rampe de chargement qui permet de raccorder les bouteilles à gonfler ;
- Des systèmes de contrôle et de sécurité.

### **VII-1-2 Risques potentiels**

Pour bien comprendre les raisons des choix qui guident l'installation d'une station de gonflage il faut évaluer les risques qu'elle peut présenter pour le personnel, le matériel et l'environnement. En dehors du compresseur lui-même, qui est soumis à des normes précises, les autres parties peuvent, parfois, présenter des dangers particuliers.

Ceux-ci dépendent beaucoup de l'installation : risque d'explosion, de sectionnement, de projection de pièce, d'électrocution, de brûlure, d'intoxication, de glissade, d'écrasement de pied ou de main, de bruit, de pollution etc.

Il faut noter que les risques potentiels sont fonction :

- De la qualité de l'installation ;
- De la disposition du site et des locaux.
- Des composants utilisés ;
- Du type d'énergie utilisée : électrique ou thermique.
- De la puissance du compresseur ou nombre de m<sup>3</sup>/heure qu'il peut fournir.
- Du volume et de la pression d'air stocké.

**Il n'y a cependant pas lieu de s'alarmer, une installation réalisée avec des équipements normalisés, installées suivant les règles de l'art, correctement surveillée et utilisée ne présente pratiquement pas de danger.**

### **VI-2 Installation**

#### **VII-2-1 Le site**

Un compresseur fait du bruit, produit des condensats, de la chaleur et émet des gaz polluants. (Lorsqu'il est équipé d'un moteur thermique)

Avant toute installation, dans un lieu public ou privé, il y a lieu de s'assurer qu'on ne risque pas de gêner les voisins. (Il existe des compresseurs bien insonorisés) On vérifiera aussi qu'on évacue correctement les gaz d'échappement et les condensats.

Des autorisations peuvent être nécessaires pour ne pas avoir à déménager, après un certain temps, à la suite de réclamations. Un compresseur nécessite, nous l'avons vu, de prélever un air de qualité. Il faut donc s'assurer qu'il n'existe pas de source de pollution présente, saisonnière ou future dans le site choisi.

#### **VII-2-2 Le local**

Il faut éviter les dispositions en étage ou avec dénivellation importante. Le local doit être spacieux, bien aéré, frais mais sec et hors gel. Pour un parc de 50 à 60 bouteilles, un local de 30m<sup>2</sup> est suffisant. Une moitié environ sera réservée au

compresseur et bouteilles tampons, l'autre moitié sera réservée au stockage des bouteilles et à l'entretien.

La partie compresseur, surtout doit rester propre. (Éviter les flaques d'huile qui provoquent des glissades) Le sol doit être plat, cimenté et de préférence peint avec une peinture anti poussière appropriée. Les condensats et les huiles de vidange ne doivent pas être évacués par les égouts.

Il existe des sociétés de ramassage qui passent pour cela, notamment dans les stations services ou des déchetteries avec bac spécialisé. Il faut donc prévoir des bacs de collecte. Un caniveau dans le sol peut aussi être très utile pour le nettoyage à l'eau et au détergent du sol ou pour récupérer les condensats en cas de fuite.

L'ensemble doit être suffisamment clair ou éclairé pour ne pas nécessiter d'éclairage d'appoint lors des interventions de maintenance usuelles. Il ne doit pas être encombré et ne doit pas être un lieu de passage accessible à tout le monde, il doit se fermer à clé mais l'opérateur ne doit jamais s'y enfermer.

Prévoir une prise de courant, éventuellement une prise d'air comprimé pour les nettoyages, un extincteur à poudre, un anneau de levage et des panneaux pour interdire la mise en route pendant la maintenance.

### **VII-2-3 Le compresseur**

Il doit être posé au sol, ou sur un support de préférence par l'intermédiaire d'amortisseurs. Le scellement rigide n'est pas souhaitable, car il communique les vibrations au bâtiment. Les amortisseurs sont placés sous le châssis pour les moteurs électriques et entre le moteur et le châssis pour les moteurs thermiques.

Il doit être accessible pour faciliter son entretien et son utilisation, purges, manutention des bouteilles, contrôle, maintenance préventive (nettoyage, vidange), maintenance corrective. Les protections mécaniques doivent toujours être remises en place.

La ventilation doit se trouver au moins à 25 cm du mur le plus proche. Il faut savoir que le débit d'air de ventilation peut atteindre plusieurs milliers de mètres cubes heures.

L'acheteur doit souvent fournir l'interrupteur et le disjoncteur principal muni d'un différentiel ayant pour but de pallier tout défaut d'isolement à la terre.

Les compresseurs font de plus en plus appel à l'électronique, aussi faut-il éviter que des parasites industriels viennent perturber leur fonctionnement. Voir la directive 89/366/CE, les normes EN5081 et EN5082 sur la compatibilité électromagnétique.

Les axes doivent être aussi horizontaux que possible. Attention, les petits compresseurs sans pompe à huile sont particulièrement sensibles à l'inclinaison et au niveau d'huile. Sauf s'ils satisfont aux spécifications de la Marine.

### VII-2-4 Évacuation de la chaleur

Nous avons vu qu'un compresseur absorbe environ 368 watts par heure et par m<sup>3</sup> d'air comprimé à 350 bars. Un compresseur de 40m<sup>3</sup>/heure absorbe donc près de 15 kWh. Ceux-ci sont presque entièrement dissipés sous forme de chaleur dans le local où il se trouve.

Les températures limites admissibles dans le local du compresseur sont comprises entre -10 et + 45°C. (-10°C pour éviter le figeage de l'huile) Pour éviter un échauffement anormal, il est nécessaire de prévoir l'évacuation vers l'extérieur de cette énergie thermique. Il existe pour cela plusieurs moyens dont nous avons déjà dit quelques mots au chapitre précédent. Ce sont :

La ventilation naturelle (par convection),

La ventilation forcée (par extracteur),

Le refroidissement par eau perdue.

Le refroidissement par eau recyclée.

#### *Ventilation naturelle*

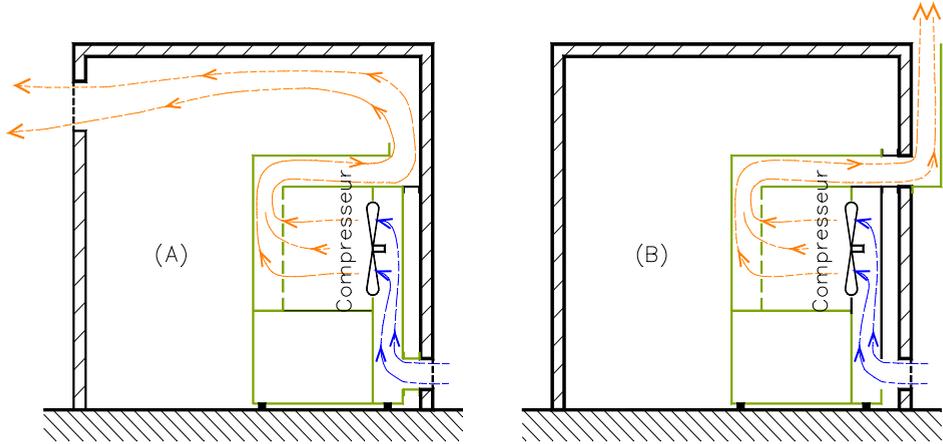
En fait la ventilation n'est jamais complètement naturelle puisque le compresseur possède toujours une ventilation propre. (Voir [figure 32](#)) La ventilation sans ventilateur d'appoint est la méthode idéale en climat tempéré pour des compresseurs de capacité inférieure à 50 m<sup>3</sup> heure en service intermittent.

<b><u>Ventilation naturelle</u></b>							
Surfaces minimum des ouvertures d'aération en fonction : du volume du local, du débit du compresseur et du décalage en hauteur des aérations.							
Débit du compresseur	Puissance électrique du moteur en kW	V = 50 m <sup>3</sup> Δh = 2 m		V = 100 m <sup>3</sup> Δh = 3 m		V = 200 m <sup>3</sup> Δh = 4	
		Entrée en m <sup>2</sup>	Sortie en m <sup>2</sup>	Entrée en m <sup>2</sup>	Sortie en m <sup>2</sup>	Entrée en m <sup>2</sup>	Sortie en m <sup>2</sup>
6m <sup>3</sup> /h	2,2	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	--	--	--	--
8m <sup>3</sup> /h	3	<b>0,24</b>	<b>0,20</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	--	--
10m <sup>3</sup> /h	4	<b>0,30</b>	<b>0,25</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	--	--
15m <sup>3</sup> /h	5,5	<b>0,42</b>	<b>0,35</b>	<b>0,24</b>	<b>0,20</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>
20m <sup>3</sup> /h	7,5	<b>0,90</b>	<b>0,75</b>	<b>0,60</b>	<b>0,50</b>	<b>0,24</b>	<b>0,20</b>
30m <sup>3</sup> /h	11	<b>1,38</b>	<b>1,15</b>	<b>0,90</b>	<b>0,75</b>	<b>0,54</b>	<b>0,45</b>
40m <sup>3</sup> /h	15	<b>1,92</b>	<b>1,60</b>	<b>1,45</b>	<b>1,20</b>	<b>0,90</b>	<b>0,75</b>

Les ouvertures à réaliser dépendent de la puissance du compresseur, du volume du local et du décalage en hauteur des prises d'aspiration et d'évacuation.

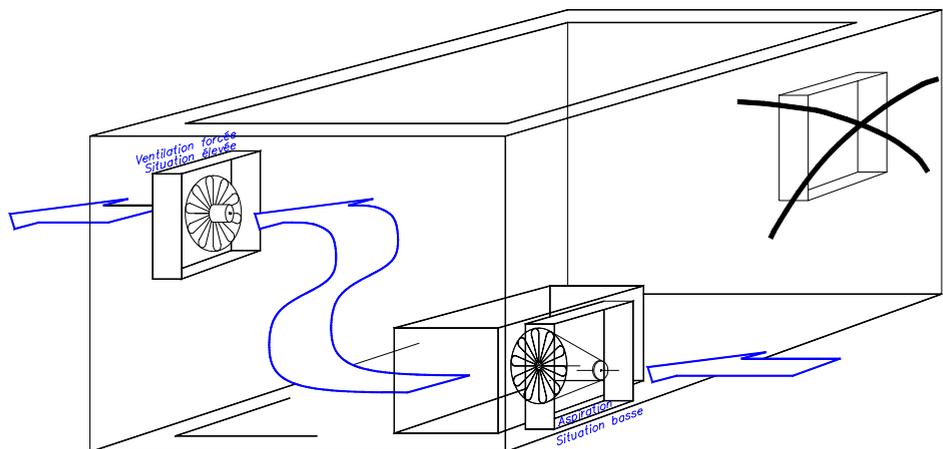
Le tableau ci-dessus, issu de la documentation BAUER, donne une bonne indication sur les surfaces des ouvertures de ventilation à prévoir.

Dans la mesure du possible, la prise d'air frais se fait dans la partie basse de la pièce. L'air chaud est évacué par une aération en hauteur et à l'opposé.



**Figure 32 Aération naturelle**

Il faut, éventuellement, pour le calcul, ajouter à la puissance du compresseur celle de toute autre source d'énergie dissipée dans le même local. En cas d'installation de chauffage pour l'hiver, il est bon qu'elle soit réglée pour tenir compte de la chaleur dégagée par le compresseur.



**Figure 33 Ventilation forcée**

### ***Ventilation forcée***

Lorsque le local est trop petit ou lorsque le compresseur a un débit supérieur à 50m<sup>3</sup>/heure, la ventilation forcée à l'aide d'un ventilateur électrique s'impose, voir la [figure 33](#).

Le compresseur est placé devant la prise d'air. Le ventilateur est placé, en hauteur, devant l'aération. Le trajet de l'air dans le local doit être aussi court que possible. Il peut éventuellement être canalisé tout du long, jusqu'à l'extérieur, comme dans la [figure 32B](#).

Il faut faire en sorte que l'ouverture ou la fermeture de la porte de la station ne modifie pas trop la ventilation du compresseur.

La ventilation électrique doit être commandée par un thermostat en fonction de la température du local, en hiver ou en été. Il est cependant indispensable de prévoir une commande manuelle pour la maintenance.

La température du local pourra être surveillée par un thermomètre fixé au mur, les températures limites admissibles y seront repérées.

Les compresseurs récents, en particulier quand ils sont insonorisés, sont placés dans des armoires avec des prises d'air et des évacuations bien définies. Il faut suivre alors les recommandations du constructeur pour les installer.

On peut calculer, approximativement, certains éléments de la ventilation forcée par les formules suivantes. Le débit d'air minimum "D" à assurer est, en m<sup>3</sup>/heure :

$$D = \text{Débit de remplissage en m}_3/\text{h} \times 100$$

Les fabricants indiquent les débits dont sont capables leurs extracteurs. La surface S des ouvertures de ventilation doit être telle que :

$$S = \frac{\text{Débit de remplissage en m}^3/\text{h}}{100}$$

Exemple : un compresseur de 40m<sup>3</sup>/heure nécessite un débit de ventilation de 4000 m<sup>3</sup>/heure. Les aérations devront faire au moins 0,4 m<sup>2</sup>, soit par exemple, 100 cm x 40 cm. La surface est évidemment plus petite que celle nécessaire en ventilation naturelle.

### ***Refroidissement par eau***

Si l'on ne peut ventiler par des ouvertures adéquates, il faut choisir un compresseur à refroidissement par eau.

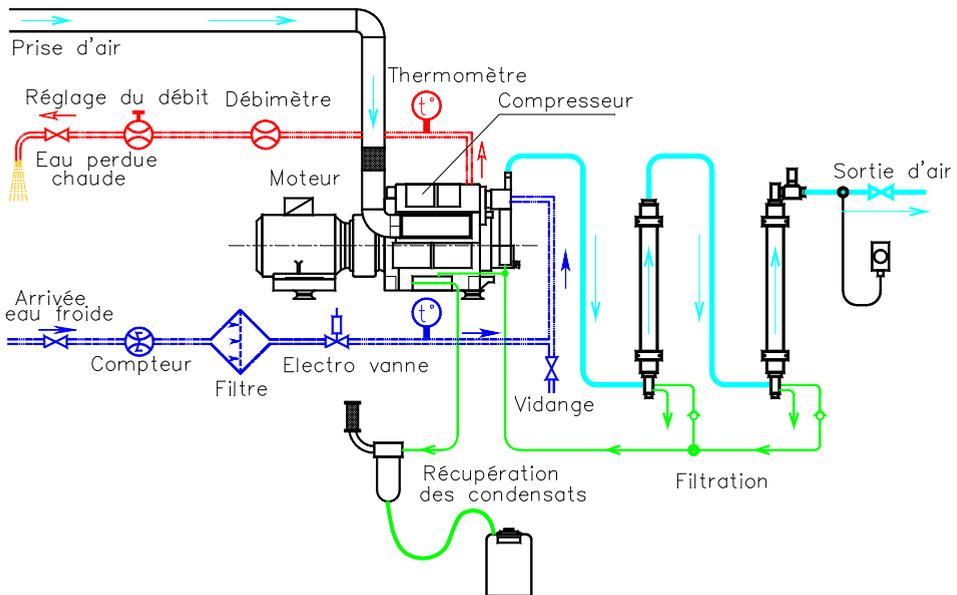
### *Eau perdue*

Il consiste à rejeter à l'égout l'eau utilisée. La [figure 34](#) montre une telle disposition. Cette solution est relativement économique en investissement. Malheureusement l'eau réchauffée est rejetée à l'extérieur et donc coûte cher en fonctionnement.

Pour un compresseur de 60 m<sup>3</sup>/h, il faut compter 1500 litres d'eau à l'heure. Une électrovanne coupe l'arrivée d'eau dès que le compresseur est arrêté. Inversement, le compresseur est stoppé si le débit diminue.

Le compresseur peut aussi être refroidi à l'eau de mer. Dans ce cas, il faut ajouter un filtre et une pompe de circulation prévue pour la dénivellation existante. Des anodes de protection peuvent être utiles pour éviter la corrosion électrochimique. (Compresseur embarqué)

Le montage est simple mais l'entretien est délicat car il faut éliminer périodiquement les dépôts de calcaire ou de sel qui ne manquent pas de se former dans le compresseur et les canalisations.



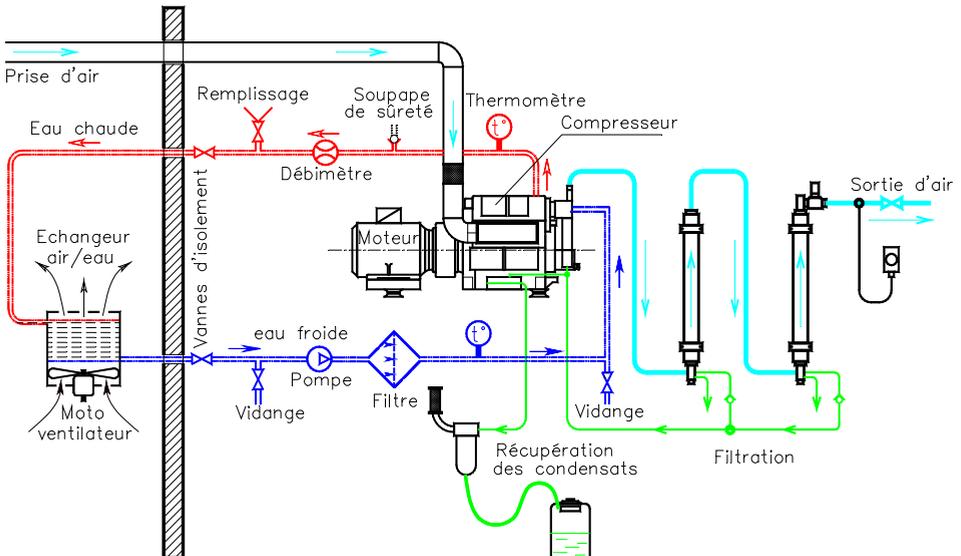
**Figure 34 Refroidissement par eau perdue**

### *Eau recyclée*

Pour pallier ces inconvénients, on peut récupérer l'eau, la refroidir dans un échangeur air/eau et la renvoyer dans le circuit. L'échangeur, peut être placé à l'intérieur mais est plus efficace quand il est placé dans un endroit frais et aéré, à l'extérieur. La [figure 35](#) montre l'installation d'un compresseur avec refroidissement par eau recyclée.

Le circuit d'eau doit posséder une soupape de sûreté, des thermomètres de contrôle, une vanne de remplissage en partie haute, une ou plusieurs vannes de vidange en parties basses et une pompe de circulation d'eau.

Le moto-ventilateur et la pompe à eau, sont mis en marche et arrêtés en même temps que le moteur principal. La norme EN1012-1 : 96 prévoit au paragraphe B1.2 que l'eau soit traitée ou déminéralisée pour éviter les dépôts de calcaire dans le circuit.

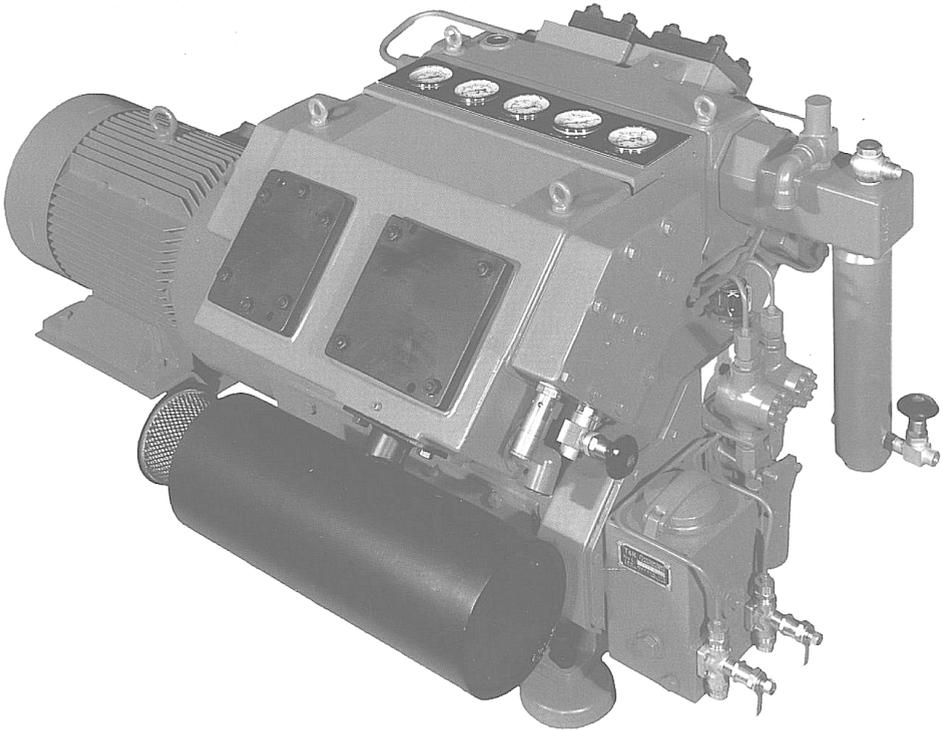


**Figure 35 Refroidissement par eau recyclée**

Une telle installation peut être très complexe et nécessite toujours les compétences d'un spécialiste.

**Remarques :**

- Dans le cas de la ventilation, on devra, éviter que l'air chaud évacué ne puisse être récupéré par la prise d'air frais.
- On doit aussi éviter, par une grille ou mieux une chicane, que des objets venant de l'extérieur puissent atterrir dans la ventilation du compresseur...
- Dans le cas d'un refroidissement par eau, l'échange thermique par rayonnement peut persister pour une valeur de 10 à 20% de la puissance totale. Dans ce cas, il devra être éliminé par convection naturelle ou forcée. (Ventilateur)
- On prendra garde de bien purger le circuit d'eau de toute présence d'air.



*Gravure 13 - Compresseur à refroidissement par eau*

### **VII-3 Les composants d'une station de gonflage**

Nous passons ici en revue l'ensemble des composants qui entrent dans l'installation d'une station de gonflage avec leurs rôles et leurs caractéristiques. Certains ont déjà été vus dans les compresseurs, mais ils jouent ici un rôle différent.

#### **VII-3-1 L'installation électrique**

La partie électrique du compresseur doit répondre à la norme EN60204 - 1/A1. L'installation extérieure au compresseur doit répondre à la norme NFC 15-100 du 13 mai 1991. Nous allons trouver les composants électriques dans les paragraphes qui suivent.

#### **VII-3-2 Coffret électrique**

Dans le cas d'un moteur électrique, l'installation devra comprendre un coffret électrique qui assurera d'une part les fonctions de démarrage et d'arrêt, d'autre part la protection des circuits, notamment par un disjoncteur différentiel.

Le coffret est parfois intégré au compresseur, sinon, il doit être fixé sur l'un des murs du local à 1,50 m du sol et de façon que la liaison au moteur soit aussi

courte que possible. Pour l'éclairage on utilisera des organes de protection séparés.

### **VII-3-3 Câbles électriques**

Il en existe trois types :

- *Les câbles d'énergie* ; leur section et leur isolement doivent être adaptés au courant et à la tension auxquels ils sont soumis. Aux murs, ces câbles doivent être sous gaines métalliques ou plastiques. Au sol ils doivent être dans des caniveaux ou chemins de câbles.

- *Les câbles de terre et de masse* ; suivant les règles de l'art, le châssis du compresseur doit être mis à la terre par un câble de cuivre nu ainsi que toutes les parties métalliques accessibles de l'installation.

- *Les câbles de signaux* ; de type téléphonique, ils transmettent les informations de sécurité ou de contrôle. Leur section de cuivre n'a pas une grande importance sur les distances que nous rencontrons. On utilise généralement du 0,6 mm. Ces câbles doivent être blindés pour éviter l'effet des parasites électriques présents sur le site. Ne pas hésiter à prévoir des paires supplémentaires en prévision de modifications ou d'extensions de l'installation.

### **VII-3-4 Boutons d'arrêt d'urgence**

Ce sont de gros boutons rouges en forme de champignon, montés sur des boîtiers jaunes. Ils actionnent un contact électrique. Ils permettent, comme leur nom l'indique, d'arrêter le compresseur, en cas d'urgence, par exemple : bruit anormal, fuite d'air dangereuse, incendie, électrocution etc.

Ils doivent se trouver à 1,50 m du sol et, pour certains, ne pouvoir être réarmés qu'à l'aide d'une clé. Ils doivent être à proximité mais en dehors de la zone dangereuse proprement dite. On les appelle aussi coup de poing, ce qui évoque bien la façon de les utiliser. (Voir normes EN1012-1 et NF EN 61310-1)

L'installation peut en nécessiter plusieurs suivant la disposition des lieux. Ils peuvent, par exemple, être utilisés pour actionner une électrovanne, pour isoler une rampe de gonflage en cas d'incident, tel que le fouettement d'un flexible. Ils peuvent de plus actionner une sonnerie d'alarme.

*L'absence de boutons d'arrêt d'urgence, en non-conformité avec la "Directive machine" 89/392/CEE, constitue la première erreur d'installation dans les stations de gonflage.*

### **VII-3-5 La prise d'air**

Elle devra être placée aussi haut que possible pour la dégager des gaz contaminants lourds comme le CO<sub>2</sub>. Mais il vaut parfois mieux aspirer l'air dans un local propre que dans un extérieur pollué. Attention au vent qui ramène les

gaz d'échappement des voitures. La prise d'air peut nécessiter l'utilisation d'un silencieux.

Elle doit être conçue pour éviter l'entrée de la pluie et empêcher l'admission des grosses poussières, des insectes et des oiseaux. (Ils peuvent y faire leur nid, cela s'est vu) Pour toutes ces raisons, son entrée doit être visible et accessible, afin d'être contrôlée et nettoyée aisément.

### **VII-3-6 Les canalisations**

De la prise d'air au filtre d'entrée on utilisera du tube PVC de 50 à 80 mm de diamètre en fonction de la longueur, avec un raccord souple au niveau du compresseur. On évitera au maximum les coudes de tuyauterie. Un gros tuyau limite aussi le bruit à l'aspiration.

Pour les tuyaux sous pression, on peut utiliser des tuyaux en cuivre non recuit ou mieux en acier inoxydable, référence "316L". La section sera au moins de 6x8mm jusqu'à 350 bars et de 8x12 à partir de cette valeur.

Les liaisons pneumatiques "Haute Pression" doivent être réalisées par un "Spécialiste Haute Pression". Le plus grand soin doit être pris pour éviter la présence de copeaux ou de particules dans les canalisations. En effet, ils se comportent comme des projectiles propulsés par l'air comprimé et font des dégâts sur leur passage.

Les canalisations ne doivent pas être sous contrainte. Elles doivent être munies de boucles de dilatation, être fixées régulièrement par des plots isolants, genre "Stauff", et accessibles au contrôle. Les tuyaux qui se croisent ne doivent pas se toucher.

Dans la mesure du possible, les canalisations au sol doivent passer dans des caniveaux ou se trouver sous des gouttières ajourées en acier. Elles ne doivent jamais être enterrées tel quelles, car elles risquent de se corroder sous l'action de couples électrochimiques ou de courants telluriques. (Circulants dans le sol)

Les dimensions des canalisations doivent être définies en fonction des paramètres de l'installation, à savoir pression, débit, longueur du réseau, qualité de l'air à véhiculer.

En atmosphère chlorée (piscine) les tuyaux en inox doivent être traités anti chlore. Il s'agit d'un revêtement spécial à base de résine époxy.

### ***Raccordements***

Les filetages sont du type gaz (BSP) pour tubes et raccords ou plus rarement NPT, voisin mais non compatible. Il en existe deux types : avec et sans étanchéité dans le filet.

Le premier, de moins en moins utilisé, est un filetage conique. Il est réalisé suivant la norme NF E 03-004. Le second plus commun est réalisé suivant la

norme NF E 03-005. Il est généralement associé à des joints toriques ou, pour les tuyaux de distribution, à des joints métalliques en ogive répondant à la norme DIN3861 et DIN2353. Les tubes eux-mêmes ne sont jamais filetés.

Un raccordement fileté sera désigné par exemple par "G 3/4 A" ce qui signifie, pas au gaz de dimension 3/4 de pouce et de tolérance A. (La plus précise) Ce type de filetage est d'origine anglo-saxonne c'est pourquoi il s'exprime en pouce et fraction de pouce. Dans le langage courant, on utilise souvent la dénomination "trois quarts gaz". Un pouce égale 25,4 mm.

Éviter les tuyauteries raccordées par soudure, sauf exceptionnellement, si elles sont faites par un spécialiste, avec les appareils de contrôle appropriés.

### **VII-3-7 Vannes**

Elles sont utilisées pour isoler certaines parties de l'installation, en cas d'incident, en vue de la maintenance, pour purger, gonfler ou effectuer des transvasements.

Elles doivent être visibles et accessibles aisément. Leur fonction doit être écrite sur un panneau à proximité immédiate ou sur une étiquette rigide solidement fixée. Il en existe de nombreux types mais il y a deux familles principales :

#### ***Vannes "quart de tour" ou à "boisseau".***

Elles interrompent brutalement le flux d'air. Elles ne doivent pas être utilisées pour les mélanges enrichis en oxygène. Elles montrent clairement leur position ouverte ou fermée. On les utilise comme vannes d'isolement quand elles sont peu utilisées.

#### ***Vannes à "laminage"***

Elles permettent de régler le flux d'air progressivement par une commande nécessitant plusieurs tours. Elles présentent l'avantage d'éviter les coups de bélier \*. Elles ont l'inconvénient de ne pas montrer clairement leur état ouvert ou fermé.

Elles sont souvent utilisées pour ajuster la vitesse de charge des bouteilles. Elles doivent alors être d'excellente qualité car elles sont souvent manipulées et de plus soumises au flux d'air à grande vitesse et de forte densité qui a tendance à les détériorer.

#### ***Coup de bélier***

*\* C'est le choc produit sur les parois d'une conduite ou d'un volume par la transformation de l'énergie cinétique d'un fluide dont le mouvement est interrompu brutalement. Ce choc peut détériorer certaines parties de l'installation, notamment les manomètres et les filtres.*

### **VII-3-8 Électrovannes**

Nous les avons déjà vues à propos des purges automatiques et dans les sècheurs. Elles présentent les mêmes inconvénients que les vannes quart de tour et ne peuvent donc être utilisées pour l'oxygène pur et les mélanges enrichis en O<sub>2</sub>. Par contre elles permettent des commandes déportées sur de longues distances.

Elles sont actionnées par des électro-aimants et sont parfois réalisées avec des clapets compensés ou pilotés pour ne nécessiter que de faibles puissances électriques. Par sécurité, elles sont en général du type "NF" pour Normalement Fermée (fermée hors tension), mais on peut en trouver du type "NO" pour Normalement Ouverte. (Ouverte hors tension)

Les électrovannes à laminage existent, mais elles sont hors de prix. Ce sont en fait des vannes à laminage motorisées, c'est à dire, commandées par un moteur électrique.

### **VII-3-9 Clapets anti-retour**

Nous les avons déjà vus dans la filtration des compresseurs. Dans les stations ils évitent aux bouteilles tampons de se vider par les purges du compresseur ou d'endommager les clapets de refoulement. Ils jouent un rôle important dans les installations où des transvasements de différents gaz sont réalisés, en évitant des transferts non contrôlés. Préférez-les en acier inoxydable.

### **VII-3-10 Détendeurs "Haute Pression"**

Ils fonctionnent suivant le même principe qu'un premier étage de détendeur de plongée. Il faut les faire précéder par un filtre pour éviter leur détérioration par les particules véhiculées par l'air.

À l'inverse des soupapes de sûreté, les détendeurs stoppent la charge sans qu'il y ait de perte d'air. De plus, ils assurent une excellente redondance pour prévenir les dangers dus aux dysfonctionnements des soupapes de sûreté.

En limitant la pression avec de simples soupapes de sûreté, on ne peut charger simultanément des bouteilles de pression différentes sans surveillance étroite.

Dans ce cas, il est préférable d'utiliser un détendeur "Haute Pression", sur chaque rampe spécialisée pour qu'il ramène la pression à la valeur désirée. Cependant, le prix est tel que cette solution n'est pas toujours utilisée. En fin de charge, ils réduisent progressivement le débit ce qui peut allonger considérablement le temps de chargement.

### **VII-3-11 Les pressostats**

Ce sont des contacts électriques commandés par la pression à l'aide de membranes ou de pistons. Ils sont utilisés pour arrêter les compresseurs lorsque la pression désirée est suffisamment élevée et les remettre en marche lorsqu'elle est trop basse.

Un pressostat permet d'automatiser les stations équipées de bouteilles tampons en maintenant la pression entre deux valeurs fixées à l'avance, par exemple entre 315 et 350 bars. Il ne peut être utilisé que conjointement avec une purge automatique, de façon à éviter les démarrages en charge. S'il n'est pas placé à proximité immédiate des volumes à charger, il se peut que ceux-ci ne puissent être chargés à la valeur souhaité à cause de la perte de charge entre ces éléments. Il y a lieu d'en tenir compte lors du réglage.

Les pressostats doivent être accessibles pour être réglables et éventuellement déconnectés afin de contrôler de temps en temps le fonctionnement des soupapes de sûreté. Ils doivent cependant être plombés après réglage.

On préfère parfois effectuer manuellement la remise en marche pour éviter les arrêts et marches fréquents en cas de fuite dans l'installation.

### **VII-3-12 Capteurs de température**

Dans les compresseurs modernes, la température est surveillée en divers points de la machine de façon à détecter toute anomalie. Ceci peut être étendu à différents points de l'installation. On peut par ce moyen, détecter toute élévation anormale de température mais aussi donner l'alarme et stopper à temps l'installation.

### **VII-3-13 Thermomètres**

On les utilise pour vérifier l'efficacité de la ventilation dans les locaux ou sur les refroidisseurs à eau, pour surveiller leur fonctionnement.

### **VII-3-14 Compteurs**

En plus des compteurs horaires que l'on trouve sur les compresseurs, on peut aussi installer : un compteur électrique pour mesurer la consommation de l'installation, un compteur d'eau sur les circuits de refroidissement à eau perdue et enfin des compteurs d'air, mais rarement en raison de leur prix, pour mesurer le volume d'air fourni à différents utilisateurs.

### **VII-3-15 Débitmètres**

Ils permettent de mesurer et d'ajuster le débit, sur les refroidisseurs à eau, pour optimiser le refroidissement. Ils peuvent commander l'arrêt du compresseur en cas de défaillance de l'alimentation en eau.

### **VII-3-16 Systèmes de décharge de pression**

On appelle ainsi les dispositifs de sécurité qui, en évitant les surpressions, suppriment les risques d'explosion. Les soupapes de sûreté et les disques d'éclatement en font partie. Chaque volume fermé, soumis à une pression supérieure à 0,5 bars, doit être équipé de dispositifs de sécurité pour éviter tout accident, en cas de surpression éventuelle.

Suivant la Directive européenne 97/23CE § 2.11.1 et la norme NF EN ISO 4126-2.

*Ils devront être indépendants des autres fonctions à moins que leur fonction de sécurité ne puisse pas être affectée par les autres fonctions.*

Suivant la norme EN 1012-1 : 96 paragraphe 5.8.3 à 5.8.6 :

*Les dispositifs de décharge de pression doivent être installés aussi près que possible du système à protéger. Il ne doit en aucun cas être possible de les isoler des systèmes qu'ils protègent.*

Suivant l'arrêté du 23/7/43 (Il va bientôt être remplacé mais avec le même objectif) :

*(Article 9-1) dans les appareils fixes, toute enceinte ou groupe d'enceintes connexes ayant la même pression maximum en service doit être garantie contre un excès de pression par un ou plusieurs organes de sûreté, non sujets à dérèglement, et dont le fonctionnement est assuré dans les conditions de leur emploi.*

*(Article 9-2) dans le cas d'une enceinte unique, l'organe de sûreté est placé sur cette enceinte elle-même ; il peut toutefois, si l'excès de pression ne peut provenir que d'une canalisation d'alimentation, être placé sur celle-ci, en cas de risque d'élévation de la température. (Incendie notamment)*

### **VII-3-17 Soupapes de sûreté**

Nous avons vu que pour la protection des différents étages d'un compresseur, elles sont réglées à + 10% de la pression de service. Par contre, pour la protection des filtres, des bouteilles tampons ou pour limiter la charge des bouteilles de plongée, elles doivent être réglées à la pression de service du volume à protéger. Elles sont parfois ajustables et devraient toujours être verrouillées, voire plombées.

Leur sortie doit être orientée de telle façon que le flux d'air n'alimente pas un incendie éventuel et ne provoque pas de dégâts. Aucun obstacle ne doit entraver leur fonctionnement. Dans le compresseur ou sur les bouteilles tampon, elles sont destinées à ne fonctionner qu'en cas de surpression accidentelle, sinon certains modèles se détériorent rapidement.

Par contre, sur les rampes de gonflage, on utilise des soupapes de régulation, qui sont moins précises mais peuvent fonctionner souvent et longtemps. Elles ne suffisent cependant pas toujours à assurer la sécurité en cas de chargement à partir de bouteilles tampons.

Une soupape de sûreté ne vide pas complètement un volume sous pression. Autrement dit, après un incendie, avec des soupapes de sûreté, on peut se trouver en présence d'équipements fragilisés, sous pression.

On notera qu'en cas de fuite prolongée, l'abaissement de température qui en résulte peut provoquer un dérèglement important.

Elles répondent à la norme NF EN ISO 4126-2. Elles doivent être vérifiées en même temps que les volumes qu'elles protègent.

### **VII-3-18 Disques d'éclatement**

On les appelle aussi disques de rupture. Ce sont des membranes métalliques calibrées pour éclater sous une certaine pression. Ils sont précis mais doivent être remplacés à chaque fonctionnement. Ils se comportent donc comme des fusibles. A l'inverse des soupapes de sûreté, quand ils éclatent, les volumes protégés se vident complètement.

### **VII-3-19 Les bouteilles tampons**

Elles jouent un grand rôle en accumulant une importante réserve d'air sous pression. Elles permettent de gonfler rapidement un lot de bouteilles et surtout de mieux utiliser le compresseur en ne le faisant tourner qu'aux heures creuses ou au moment où il n'apporte pas de nuisance.

On a toujours intérêt à utiliser des bouteilles tampons dont la pression de service est aussi élevée que possible. Ceci permet, d'une part, de bénéficier d'une réserve par rapport à la pression de gonflage utile, d'autre part, de régler le déverseur à une pression élevée pour améliorer le filtrage.

Il faut cependant noter que certains composants associés sont d'autant plus chers que leur pression est élevée. Par contre, comme on n'utilise que la partie de la pression qui dépasse la pression de service, pour 200 bars par exemple, une bouteille tampon de 350 bars remplace environ 3 bouteilles de 250 bars. Ceci permet en plus de faire des économies sur les opérations de contrôles.

Les bouteilles tampons sont fréquemment livrées, chacune, avec une vanne de conservation. Elles sont souvent ainsi installées, en contradiction avec la réglementation. On peut toujours enlever la manette de commande mais, ceci n'est pas envisagé par le règlement, d'autant plus qu'il est alors difficile de voir si la vanne est ouverte ou fermée.

Il existe des bouteilles tampons avec un ou deux cols. La meilleure solution consiste à avoir un col en haut et un autre en bas. On peut ainsi les gonfler par le haut et les purger par le bas. Avec un seul col, elles peuvent être montées, col en haut, en utilisant un tube plongeur qui descend jusqu'au fond des bouteilles, ceci permet de les purger depuis le haut.

Elles peuvent aussi être montées col en bas, avec un raccordement spécial. Celui-ci est muni de deux sorties, l'une avec un tube plongeur pour l'air, l'autre sans tube plongeur pour les condensats. Cette disposition évite d'obstruer la sortie d'air par des particules de rouille et permet de purger l'eau.

### ***Protection des tampons***

Les textes sur les systèmes de décharge de pression s'appliquent ici.

- L'organe de sécurité, constitué par une vanne de sûreté ou un disque à éclatement, doit laisser le gaz s'écouler dès que la pression atteint la pression maximum de service. Il doit suffire à empêcher la pression de dépasser cette limite de plus de dix pour cent (Variation de température de 30°C environ), en cas d'incendie par exemple.
- Il doit être non isolable et être placé en amont de toute vanne d'isolement. Avant de travailler sur des tampons, il faut donc vider toutes celles qui sont reliées entre elles.

### ***La présence de soupapes de sûreté isolables des tampons est la deuxième erreur d'installation dans les stations de gonflage.***

Une bouteille tampon ou un groupe de bouteilles tampons isolable doit être muni d'un manomètre afin de s'assurer qu'il est bien vide avant de le déconnecter. Elles doivent être fixées solidement, individuellement et maintenues hors de l'humidité des murs et du sol. Des "Courants telluriques" peuvent prendre naissance entre les bouteilles tampons et la terre surtout lorsque les conduites sont longues de plusieurs dizaines de mètres.

Il est donc nécessaire que les bouteilles tampons soient isolées, sur des chantiers isolants, pour éviter une détérioration électrochimique au point d'appui vers le sol ou sur les murs. L'idéal serait que l'installation soit mise à la terre en un seul point, au niveau du moteur du compresseur.

On fixe parfois les bouteilles tampons par des câbles tendus par des ridoirs. Ceci facilite leur démontage. Elles doivent être orientées de façon que les inscriptions qui figurent sur le col soient parfaitement visibles. On ne doit pas stocker de combustible à proximité.

## **VII-3-20 Harmonisation des bouteilles**

### ***Bouteilles tampons***

On a intérêt à ce que les bouteilles tampons aient toutes la même pression, adaptées à celle du compresseur utilisé. Nous l'avons vu, il est aussi préférable d'avoir des tampons de pression élevée, en général 350 bars.

Toutefois, dans une installation piscine on pourra éventuellement se contenter de tampons de 250 bars sachant que les scaphandres n'ont pas besoin d'être gonflés au maximum.

Si l'on mélange des bouteilles tampons de pressions différentes, on a intérêt à mettre un détendeur H.P. entre les tampons de pression plus élevée et les tampons de pression plus basse. Ceci permet de bénéficier, sans manipulation, de la capacité complète de l'ensemble des tampons.

### ***Bouteilles de scaphandres***

La disparité des bouteilles à gonfler constitue aussi un handicap pour l'optimisation d'une station, car elle oblige à utiliser des rampes de pressions différentes. Il faut donc dès que possible, harmoniser les pressions, voire les dimensions des bouteilles dans le but de simplifier l'installation, le transport, les manipulations, le stockage, la maintenance et surtout éviter les erreurs de gonflage.

### ***Raccordement aux bouteilles***

L'harmonisation passe aussi par le raccordement au système de robinetterie des bouteilles. Il existe cependant des adaptateurs qui permettent de passer d'un raccord par étrier à un raccord DIN. Ces raccords ne sont malheureusement pas détrompés en fonction de la pression pour éviter les erreurs de pression de gonflage.

Les robinetteries sont équipées d'un "opercule" ou "insert" qui permet de passer d'un type de raccord à l'autre. La présence de calcaire entre la robinetterie et l'opercule vient souvent bloquer ce dernier ce qui le rend indémontable.

### ***Raccord par étrier***

C'est l'organe le plus commun de raccordement aux bouteilles de plongée surtout en France. (Norme américaine CGA850 pour l'étrier commun jusqu'à 200 bars et Norme NFE29662 d'octobre 1979 pour les raccords ARI à 200 bars) Ils ont fait leur preuve depuis longtemps. Il existe une version à verrouillage automatique qui se monte sur le flexible et qui utilise la pression pour maintenir l'étrier sur la bouteille.

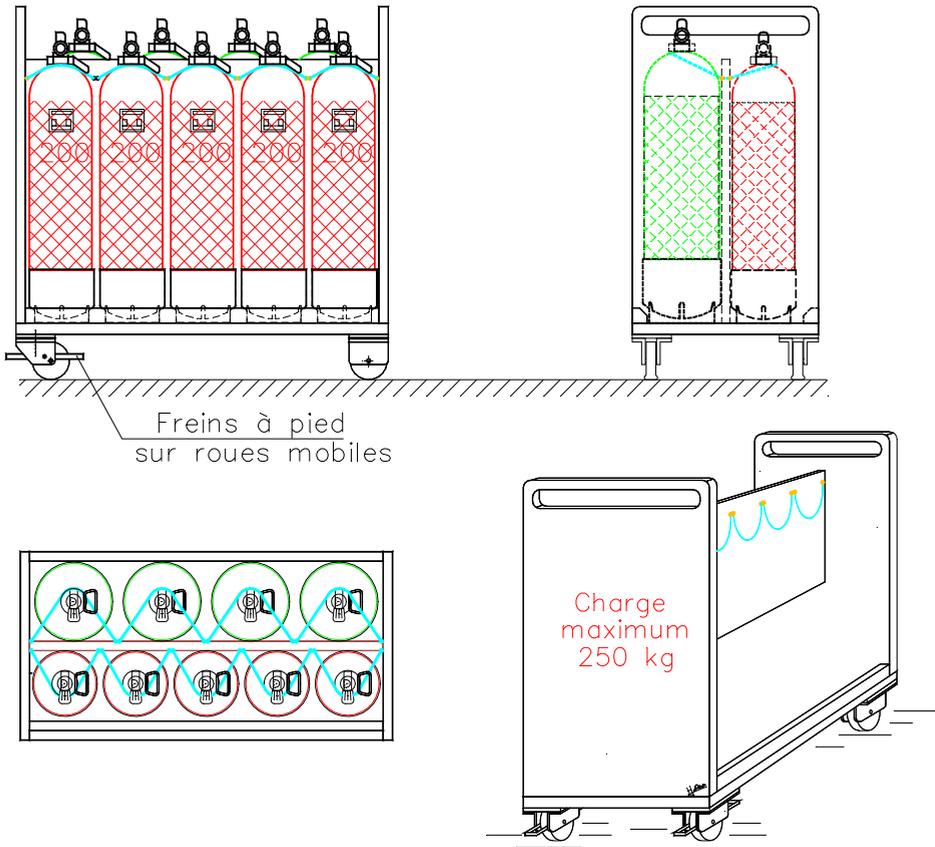
### ***Raccord DIN***

Il nous vient d'Allemagne (Deutsch Institut fur Normung) = Institution allemande en charge de la normalisation. Voir les normes 477-13 jusqu'à 200 bars et 477-50 jusqu'à 300 bars. Voir aussi la norme NF E29663 d'octobre 1979 pour les raccords ARI à 300 bars.

Il est considéré comme plus fiable que l'étrier, car la tenue du joint est meilleure. Pour cette raison, on l'utilise souvent en plongée souterraine ou tech. On constate cependant qu'un simple choc sur le haut de la robinetterie peut rendre impossible le montage d'un détendeur ou le démontage d'un opercule.

### **VII-3-21 Chariots de manutention**

Ils permettent de gagner du temps durant le gonflage. Ils épargnent au personnel la fatigue et les accidents dus aux manipulations. Ils protègent les bouteilles contre les chocs et les déformations. Ils évitent les chutes pendant le gonflage et sur le carrelage des piscines. (Voir [figure 36](#)) Enfin, ils constituent un rangement commode et sans danger.



**Figure 36** *Chariots de manutention*

Ils peuvent être construits en bois, en tube d'acier galvanisé, en aluminium ou mieux en acier inoxydable. Cette dernière solution coûte beaucoup plus cher.

Un chariot standard fait environ 100 cm de longueur 60 cm de largeur et 110 cm de hauteur. Chargé, il peut peser entre 200 et 250 kg. Les roues doivent donc être adaptées à cette masse, au roulage sur le terrain utilisé et surtout être impérativement munies de freins sur 2 d'entre elles.

Les bouteilles en acier ont un diamètre, hors tout, variable entre 175 et 210 mm, pour une hauteur de 690 à 820 mm et un poids de 17 à 25 kg ceci pour des volumes utiles de 12 à 18 litres et des pressions de service de 176 à 230 bars.

Il est possible, comme le montre la figure de réaliser des chariots capables de transporter des bouteilles différentes. Ils sont cependant souvent prévus pour porter soit 8 bouteilles de  $\varnothing = 210$  mm ou 10 bouteilles de  $\varnothing = 175$  mm.

Les bouteilles peuvent être retenues par le haut à l'aide de Sandows tel qu'on en trouve parfois sur les bateaux pour les maintenir le long du pavois. Les sandows

sont passés dans des tuyaux d'arrosage pour les protéger et faciliter les manipulations.

Elles peuvent être assurées dans le bas par une garde de quelques centimètres. Il suffit de basculer les bouteilles vers soi pour les dégager sans effort.

Le dessus peut être conçu pour recevoir une caisse de transport ou un arceau amovible avec des crochets pour transporter, en même temps, le petit matériel : palmes, masques, tubas, détendeurs et gilets. On peut aussi réaliser des chariots spécialisés pour ces matériels. Voir photo enfants et adultes

### **VII-3-22 Le poste de chargement**

Sur un compresseur indépendant, tous les éléments sont souvent regroupés sur un même panneau. Dans une station, par contre, le poste de chargement est divisé en plusieurs parties qui peuvent être regroupées ou être distantes de plusieurs dizaines de mètres.

Les panneaux peuvent être plus ou moins sophistiqués en fonction de l'installation. On a donc intérêt à le concevoir de telle façon que son utilisation soit bien claire pour les utilisateurs.

#### ***La rampe de raccordement***

Elle sert à raccorder les bouteilles à charger. Elle doit si nécessaire être doublée pour gonfler séparément des bouteilles de pressions différentes. (Il est interdit d'utiliser une source d'air dont la pression peut dépasser celle des bouteilles à gonfler) Si elle est séparée, elle doit comporter un manomètre et une soupape de sûreté.

#### ***Le panneau de commande***

Il sert à mettre sous pression ou à purger la ou les rampes de raccordement et à vérifier par un manomètre la pression de chargement..

#### ***Le panneau de distribution***

Il sert à gérer les sources d'air HP. Il comporte des vannes destinées à distribuer l'air comprimé venant des compresseurs ou des tampons vers les commandes de gonflage. La pression de chaque source est indiquée par un manomètre.

Les différentes rampes doivent être bien repérées pour éviter tout risque de confusion. Elles doivent être équipées de soupapes de sûreté, de manomètres de contrôle et si possible de détendeurs correspondants aux pressions pour lesquelles elles sont prévues.

Elles doivent, dans la mesure du possible, être séparées du compresseur, des bouteilles tampons et des panneaux de distribution et de commande.

Une rampe peut comprendre, suivant le cas, de 1 à 5 sorties, voire plus. Chacune est équipée d'une vanne d'isolement, d'un flexible et d'un raccord par

étrier ou DIN. Certaines rampes combinent sur chaque sortie, une vanne de mise sous pression et une vanne de purge, en un seul élément.

Comme nous le verrons plus loin, il est préférable de mettre 2 rampes distinctes en fonctionnement alterné plutôt qu'une rampe trop importante. Leur hauteur au sol est généralement comprise entre 80 et 100 cm.

### **VII-3-23 Les flexibles**

Le raccordement des bouteilles à charger, se fait généralement par des flexibles. Le type normalisé pour le chargement de l'air est le 100122-R2-AT. (AT signifie qu'il y a une ou des tresses, R2 signifie par exemple qu'il y en a deux) Ils sont différents en fonction du gaz transporté.

Le vieillissement de leurs composants (Néoprène, Rilsan etc.) doit conduire l'utilisateur à les remplacer tous les 5 à 10 ans ou mieux suivant les recommandations du fabricant.

Le chargement d'oxygène pur ou enrichi nécessite des flexibles spéciaux. Néanmoins pour de l'air au dessus de 250 bars, il y a lieu de prendre les mêmes précautions pour éviter l'inflammation spontanée.

#### ***Dispositifs anti-fouet***

La plus grande prudence est recommandée aux utilisateurs de systèmes dont la distribution se termine par un flexible destiné à remplir des bouteilles mobiles, en particulier lorsque la distribution est précédée d'un stockage. (Voir la réglementation)

Un flexible alimenté par des bouteilles tampons "Haute Pression", peut être extrêmement dangereux s'il n'est pas raccordé, s'il est coupé ou arraché. Une robinetterie qui s'arrache constitue à l'extrémité d'un flexible, un redoutable "fléau d'armes". En effet, la force de réaction due à l'échappement du fluide provoque des mouvements désordonnés de son extrémité.

En cas de rupture d'un flexible ou du filetage d'une robinetterie, les tampons et les bouteilles en charges se vident simultanément. Le danger peut donc venir des deux cotés de la rupture.

Bien qu'aujourd'hui le risque d'éclatement d'un flexible soit très limité et que celui de l'arrachement d'une robinetterie soit réduit par une surveillance régulière de l'état des filetages, ces risques ne peuvent être ignorés.

Avec plus ou moins d'efficacité, ils peuvent être supprimés ou réduits en utilisant l'une ou l'autre, voire simultanément, les mesures suivantes :

- 1) Déplacer la vanne de mise sous pression et éventuellement le coup de poing hors d'atteinte de l'extrémité de l'un ou l'autre des flexibles.
- 2) Limiter la longueur des flexibles au strict minimum.

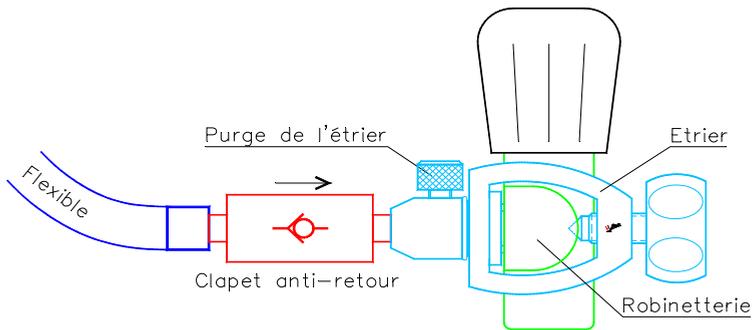
- 3) Éviter les chutes de bouteilles en les maintenant pendant le gonflage. (Les laisser sur leur chariot constitue une excellente solution)
- 4) Fixer un câble le long du flexible ou mieux, mettre une tresse métallique autour de celui-ci. L'une des extrémités doit permettre de faire une boucle autour du col de la bouteille, l'autre est fixée solidement sur la rampe de raccordement. En cas de rupture du flexible, les extrémités, sont ainsi retenues solidement. Ceci est nécessaire dès que la longueur du flexible dépasse 1 mètre. Il faut cependant éviter de dépasser 1,50 mètres.
- 5) Actionner des électrovannes d'isolement par des commandes à distance.
- 6) Munir chaque sortie de rampe d'une vanne d'isolement et d'un point d'accrochage pour les extrémités de flexibles qui ne sont pas utilisées. Ce système peut être complété par des raccords qui à leur extrémité, diffusent l'air symétriquement, latéralement et non dans leur axe.
- 7) Mettre un mur de protection entre le panneau de commande et les bouteilles à charger. Ceci protège l'opérateur contre les explosions et les projections de pièces, notamment les robinetteries. Cette solution est cependant contraignante pour le personnel qui doit se déplacer souvent entre le panneau de commande et la rampe de raccordement, de chaque côté du mur.
- 8) Limiter le débit manuellement. Ceci, de plus, limite l'échauffement des bouteilles mais, en contre partie, augmente le temps de chargement.

Limiter le débit automatiquement. Pour cela on dispose des clapets amonts non étanches à l'entrée des flexibles. Si le débit devient trop important, le clapet se ferme et limite ainsi le débit. Cette solution est efficace mais présente l'inconvénient de limiter la vitesse de gonflage.

- 9) Mettre des clapets amonts à la sortie des flexibles. Ces clapets sont ouverts mécaniquement dès qu'on fixe les raccords sur les bouteilles.
- 10) Dans les solutions ci-dessus l'opérateur reste exposé aux flexibles sous pression tant qu'ils ne sont pas purgés. On peut tourner cette difficulté en mettant des clapets anti-retour entre les flexibles et les raccords de connexion aux bouteilles. Ceci permet de mettre sous pression et de purger les flexibles à distance. La [figure 37](#) montre un étrier équipé d'un tel clapet.

Après la purge des flexibles, seul un volume très réduit reste sous pression entre le clapet anti-retour et le clapet de la vanne de conservation de chaque bouteille. Le risque d'explosion de cette partie est quasiment nul. Les purges des raccords permettent de purger le volume résiduel avant la déconnexion.

L'opérateur peut ainsi se mettre à l'abri pendant le remplissage des bouteilles. (C'est la solution que nous préférons)



**Figure 37 Étrier avec clapet anti-retour**

**Remarques :**

Les clapets anti-retour peuvent être intégrés aux raccords et avoir une légère fuite ce qui supprime la nécessité d'une purge manuelle.

Ce système peut aussi s'appliquer aux raccords de type D.I.N. Ceux-ci peuvent aussi se purger automatiquement, par une légère fuite, dès le début de la déconnexion.

Avec ce système, les bouteilles ne s'équilibrent pas quand on ouvre leurs robinetteries.

Nous avons mis cette solution au point en 2001 sur la station d'un club de la région parisienne. Depuis, quelques fabricants s'en sont inspirés. Malgré son intérêt, elle n'est pas très répandue par manque d'information.

11) Enfin, on peut supprimer les flexibles. C'est une solution retenue par les pompiers pour le gonflage des Appareils Respiratoires Isolants. (ARI)

Il est dommage que, dans le domaine sportif, les robinetteries ne se prêtent pas à une recharge automatisée des bouteilles. En dehors des risques corporels pour les opérateurs, il reste utile de protéger ou d'éloigner tout élément susceptible d'être endommagé par le fouettement d'un flexible.

**VII-3-24 Les ingrédients**

Les huiles, carburants, solvants, matières inflammables, doivent être stockés dans un endroit protégé et fermé. Ils doivent toujours avoir l'agrément des fabricants pour être utilisés. Les réserves d'huiles doivent être soigneusement bouchées pour éviter leur oxydation.

**VII-4 Les stations fixes**

Une station fixe bien conçue apporte le confort, la fiabilité et la sécurité. Un des buts recherché est aussi de réduire les manipulations et les déplacements.

Les compresseurs équipés d'une rampe de gonflage peuvent être assimilés à des stations semi-fixes. Ils constituent souvent le point de départ de stations fixes par ajouts successifs de composants.

Nous avons été amenés à définir quelques stations dont nous donnons ci-dessous les caractéristiques générales. Ces exemples donnent une idée de ce qui peut être réalisé. Il est bien évident que dans la pratique, il faudra s'adapter aux locaux, à l'environnement ainsi qu'aux possibilités financières des utilisateurs.

(Au chapitre suivant, le lecteur trouvera des méthodes de calcul qui lui permettront de définir différents types de station)

#### **VII-4-1 Installation piscine**

En piscine, un club a besoin de gonfler périodiquement, en fonction des séances d'entraînement hebdomadaires. Il y a souvent des contraintes d'horaires ou journalières dues à l'environnement urbain, aux horaires de travail des responsables ou des employés.

Par contre, il est souvent possible de disposer de temps, à des heures qui ne présentent pas de contraintes. On pourra alors diviser la puissance du compresseur par 2 ou 3 si l'on peut disposer de 2 ou 3 fois plus d'heures de gonflage en automatique pour les tampons.

Ceci présente en outre l'avantage de réduire le bruit de l'installation et son prix. D'autant plus que les bouteilles de plongée ne reviennent pas toujours vides et n'ont pas besoin d'être gonflées au maximum.

Grâce à un programmeur, on peut ne mettre en marche le compresseur que pendant les heures favorables.

#### **VII-4-2 Installation bord de mer ou fosse de plongée**

Dans un club des bords de mer ou en fosse de plongée, le gonflage se fait plusieurs fois par jour. Les bouteilles partent pleines et reviennent vides. Pendant la sortie plongée, le compresseur gonfle les tampons.

Ce qui caractérise ce genre de station c'est surtout la puissance du compresseur nécessaire pour recharger rapidement les tampons. Une rotation dure rarement moins d'une heure. Ce temps doit donc suffire pour gonfler les tampons sachant que pour le calcul de la capacité de gonflage on peut considérer que le compresseur tourne en permanence.

Avec 3 ou 4 rotations par jour, il faut quand même prévoir des arrêts périodiques, ne serait ce que pour assurer la maintenance. On a donc intérêt à prendre des marges. Les bouteilles, quand elles reviennent de plongée doivent généralement être gonflées rapidement.

## VII-4-3 Affichages

### *Plans d'installation*

Il est indispensable pour comprendre rapidement le fonctionnement de la station. De plus, après quelques années de service lorsqu'on a besoin d'assurer la maintenance, il est ainsi plus facile de suivre l'installation pour intervenir efficacement.

Pour cette raison, il peut être utile d'afficher les plans des circuits d'air, d'huile, électrique et éventuellement d'eau.

À titre d'exemples, les figures [32](#) – [33](#) - [34](#) et [35](#) décrivent des circuits de refroidissement. Les figures [38](#) – [39](#) – [40](#) - [41](#) montrent les circuits de différentes stations de complexité variable.

### *Consignes d'exploitation*

Dans un local ou sur un lieu de gonflage on doit afficher, aux endroits les plus appropriés, un certain nombre de consignes liées à l'exploitation de la station.

1. Les consignes d'entretien préventif. (Facultatif)
2. Les consignes d'utilisation du compresseur, fournies par le fabricant. (Obligatoires)
3. Les consignes de gonflage. (Obligatoire) La Fédération a créé une fiche destinée à être affichée sur tout lieu de gonflage. Elle doit cependant être adaptée aux spécificités de l'installation. ([Voir en annexe](#))
4. Les consignes particulières ne sont pas toutes obligatoires mais cependant indispensables. Elles sont élaborées par les responsables de l'installation et éventuellement en collaboration avec les services de secours.

Elles doivent indiquer les consignes spécifiques à la station, heures d'accès, responsabilité, personnel autorisé, consignes en cas d'accident, personne à prévenir, numéros de téléphone pour les secours, chemin d'évacuation etc.

Elles peuvent aussi être affichées, en plusieurs endroits et notamment, à la porte des locaux.

### *Divers*

- Une pharmacie de premier secours est utile à proximité. (Pieds, doigts écrasés, brûlures...)
- Il est fort utile de distinguer d'une façon évidente, à la peinture, par un autocollant ou par la couleur du filet de protection, les bouteilles de pression de service différentes ainsi que les rampes correspondantes.
- Il faut prévoir un placard, fermant à clé, pour ranger les documents relatifs à l'installation, les ingrédients, les outils.

### VII-4-5 Station manuelle

Cette station n'est pas automatisée, l'opérateur est donc astreint à une surveillance étroite du gonflage, des purges, du niveau d'huile mais aussi de l'installation dont il devra assurer la surveillance et la maintenance préventive. Cela exige donc un minimum de connaissances techniques.

(Voir [figure 38](#))

- |   |   |
|---|---|
| 1) Prise d'air.                         | 17) Plan de l'installation  |
| 2) Arrivée électrique                   | 18) Armoire métallique  |
| 3) Boîtier électrique.                  | 19) Manomètre de pression du compresseur.                         |
| 4) Compteur Horaire.                    | 20) Arrêt d'urgence depuis les rampes.                            |
| 5) Arrêt / Marche.                      | 21) Vannes de mise sous pression à laminage.                      |
| 6) Anneau de levage.                    | 22) Panneau de commande et rampes de gonflage et de raccordement. |
| 7) Éclairage.                           | 23) Manomètres de rampe.  |
| 8) Panneaux des consignes.              | 24) Soupapes de sûreté de rampe                                   |
| 9) Pharmacie de premiers secours.       | 25) Vannes d'isolement avec purge.                                |
| 10) Compresseur.                        | 26) Flexibles et raccords.  |
| 11) Purges manuelles                    | 27) Extincteur et son panneau de signalisation.                   |
| 12) Réservoir collecteur de condensats. | 28) Prise de courant et interrupteur lumière.                     |
| 13) Filtre composite.                   | 29) Arrêts d'urgence à l'entrée du local.                         |
| 14) Soupape de sûreté du filtre.        |   |
| 15) Déverseur.                          |   |
| 16) Clapet anti-retour.                 |   |

#### Remarques :

Cette station étant entièrement manuelle, il est bien entendu qu'on peut la faire évoluer vers une automatisation plus ou moins complète, suivant les besoins et le budget dont on dispose.

Il faut cependant se rappeler que les modifications sont en général, plus onéreuses qu'une installation initiale.

Sur ce genre de station, on utilise rarement des détendeurs "Haute Pression" en raison de leur prix. Ils constituent cependant une excellente sécurité pour pallier les défaillances des soupapes de sûreté.

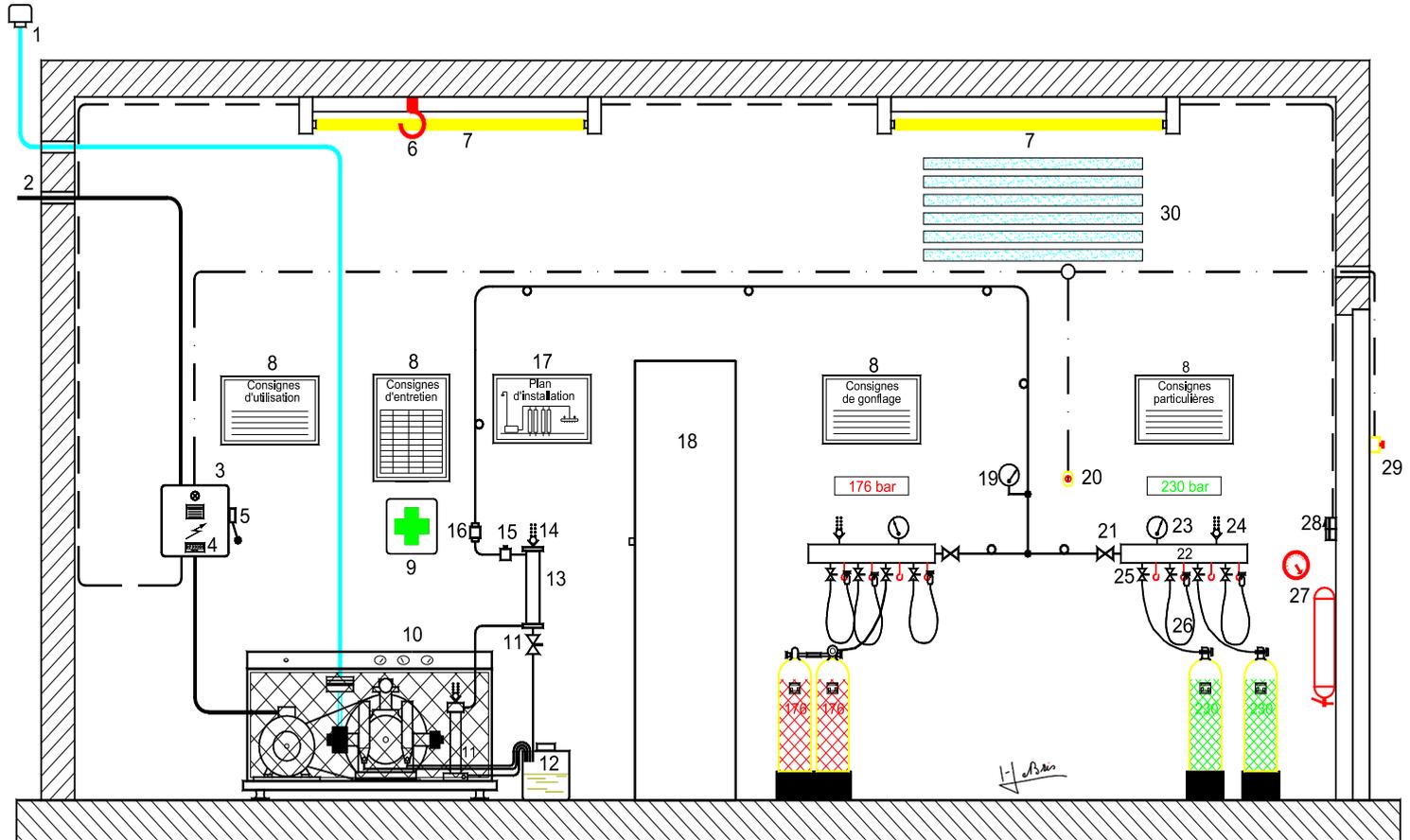


Figure 38 Station manuelle

#### VII-4-6 Station automatisée

Cette station automatisée, n'exige qu'une surveillance limitée à sa maintenance. L'armoire insonorisée diminue les nuisances sonores. (Voir [figure 39](#))

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1) Prise d'air.                            | 19) Clapet de non retour.           |
| 2) Arrivée électricité                     | 20) Plan d'installation.            |
| 3) Arrêts d'urgence.                       | 21) Pharmacie premier secours.      |
| 4) Interrupteurs et prises de courant.     | 22) Événements de sécurité.         |
| 5) Extincteur et panneau de signalisation. | 23) Manomètres Tampons.             |
| 6) Boîtier électrique.                     | 24) Tampons.                        |
| 7) Compteur Horaire.                       | 25) Purges des tampons.             |
| 8) Arrêt / Marche.                         | 26) Soupapes de sûreté des tampons. |
| 9) Programmateur "Arrêt / Marche".         | 27) Vannes d'isolation des tampons. |
| 10) Anneau de levage.                      | 28) Mur de séparation.              |
| 11) Panneaux des consignes.                | 29) Panneau de distribution.        |
| 12) Panneau de démarrage automatique       | 30) Vannes de distribution tampons. |
| 13) Compresseur.                           | 31) Vannes de séparation rampes.    |
| 14) Moteur électrique.                     | 32) Détendeurs "Haute Pression".    |
| 15) Réservoir collecteur de condensats.    | 33) Rampes de chargement.           |
| 16) Éclairages.                            | 34) Flexibles de chargement         |
| 17) Vanne d'isolation du compresseur.      | 35) Vannes d'isolement et de purge. |
| 18) Pressostat de sécurité                 | 36) Purges de rampe.                |

#### Remarques :

La partie « Compression et stockage » est séparée de la partie « Gonflage ».

La station est munie de nombreuses commandes manuelles ou automatiques pour arrêter le compresseur en cas d'anomalie.

Les purges des décanteurs et des filtres se font automatiquement dans l'armoire insonorisée. Les purges 25 des bouteilles tampons se font manuellement.

L'armoire contient tous les éléments de contrôle du compresseur et de la filtration. Son faible encombrement facilite son installation et son entretien.

Par sécurité, le panneau triangulaire 12, noir sur fond jaune, signale que la station peut se mettre en marche automatiquement sans avertissement.

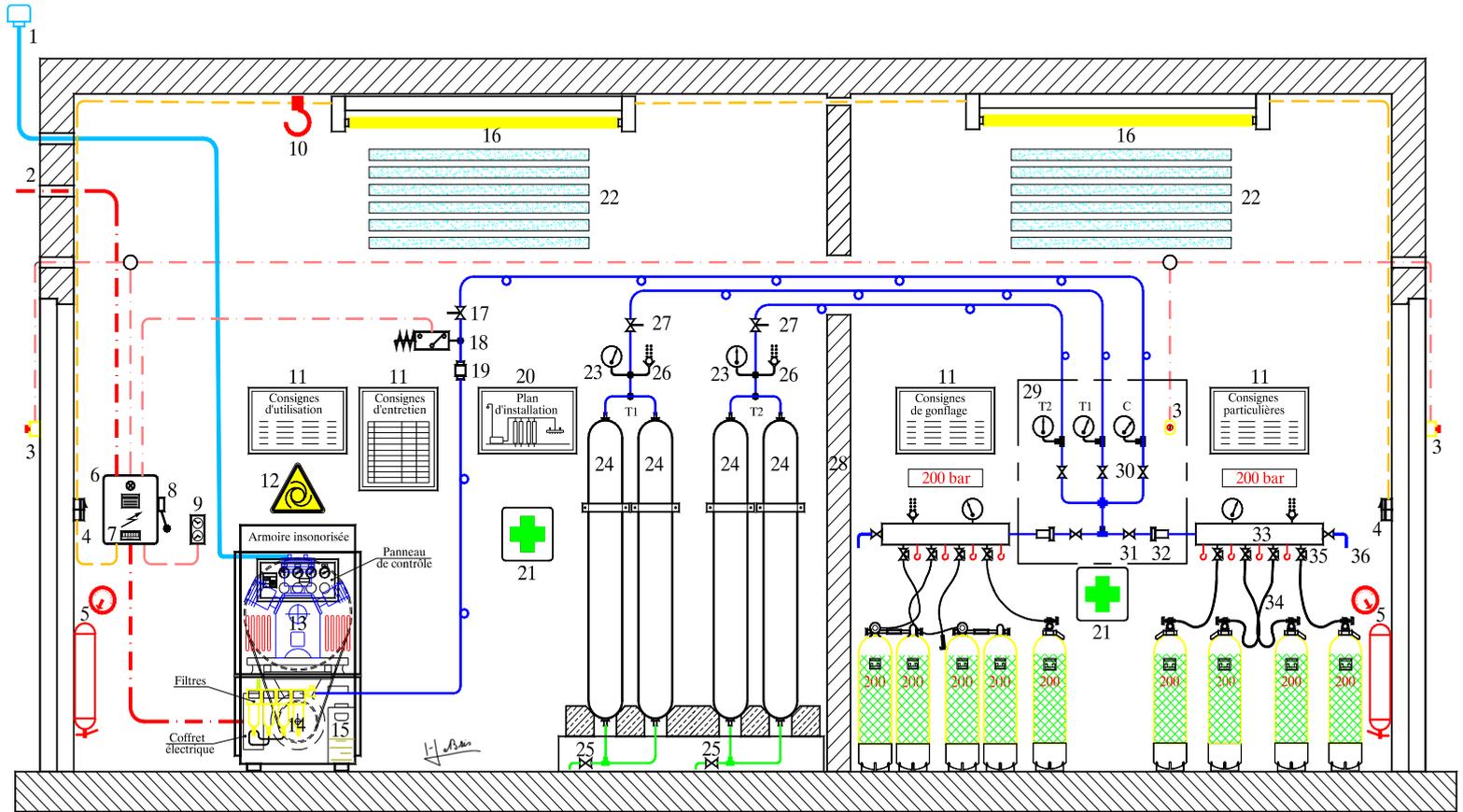


Figure 39 Station automatisée

### VII-4-7 Fosse de plongée subaquatique de Chantereines

La [figure 40](#) montre le réseau de production, de stockage et de distribution d'air respirable "Haute Pression". (À Charenton elle est semblable mais pas doublée)

1. Filtres d'entrée.
2. Compresseur VHP15-350 bars - 60 m<sup>3</sup>/h-refroidissement par eau perdue.
3. Moteur électrique triphasé 380V - 50 Hz - Étoile/Triangle.
4. Boîtier de commande des purges automatiques des décanteurs.
5. Séparateur air / condensats, avec silencieux.
6. Réservoir collecteur de condensats 30 litres.
7. Évacuation de l'eau de refroidissement.
8. Arrivée d'eau de refroidissement.
9. Filtre à charbon actif 5,38 litres.
10. Sécheur à tamis moléculaire 5,38 litres.
11. Purges manuelles et automatiques des filtres avec clapets anti-retour.
12. Déverseur et clapet anti-retour.
13. Pressostat 350 / 300 bars.
14. Vannes d'isolement des compresseurs.
15. Vanne d'isolement, commune aux 2 rampes.
16. Manomètres de contrôle de chargement.
17. Vannes d'isolement des flexibles.
18. Flexibles de chargement.
19. Étriers de chargement avec purge.
20. Rampe de chargement.
21. Détendeurs H.P. 200 bars.
22. Vanne de mise sous pression.
23. Manomètre pour 2 tampons.
24. Vanne d'isolement pour 2 tampons.
25. Soupape de sûreté de 385 bars pour 2 tampons.
26. Bouteille tampon 50 litres 350 bars.
27. Purge manuelle de bouteille tampon.

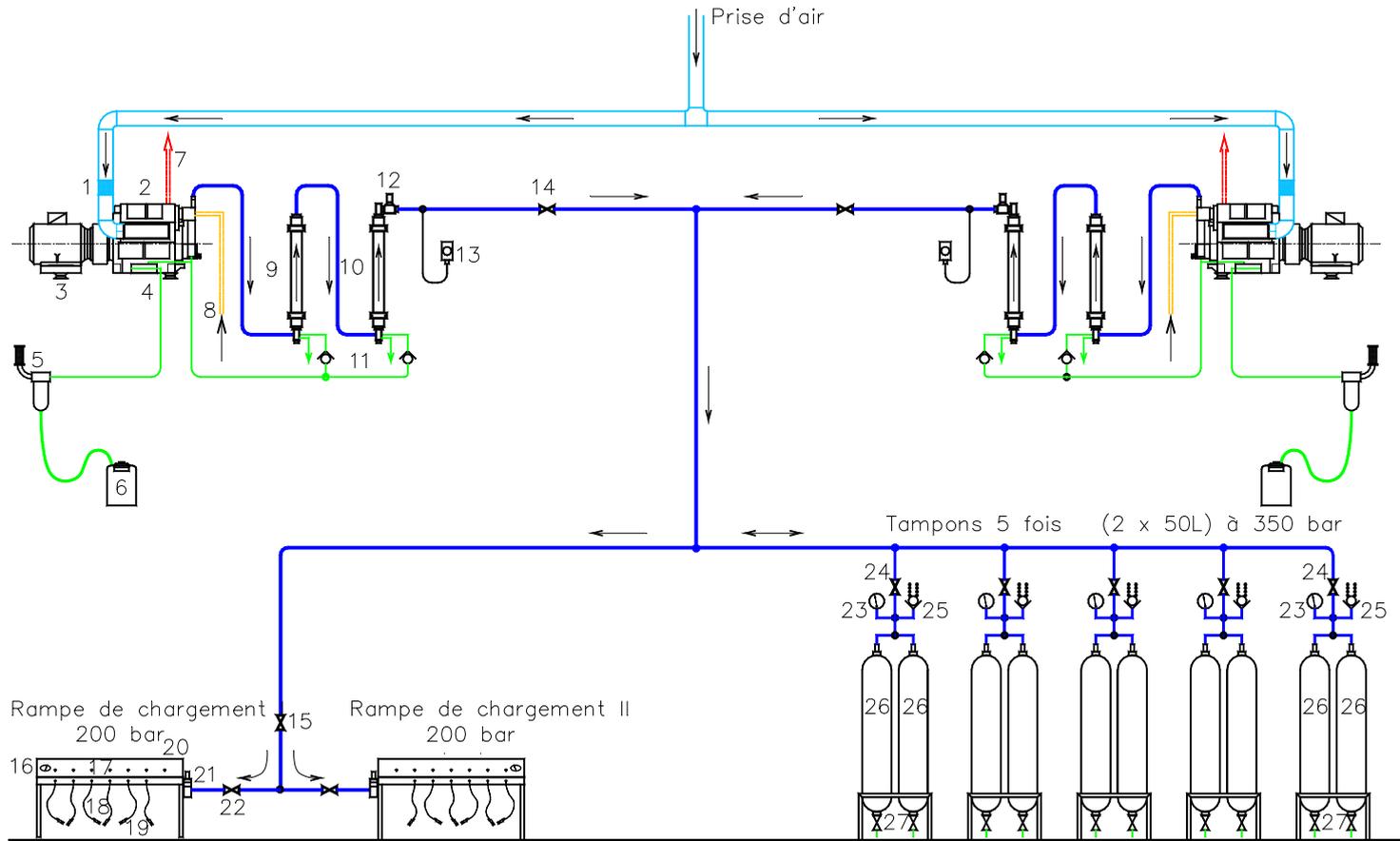


Figure 40 Fosse de plongée sous-marine de Chantereines

Cette station permet de fournir par jour, 500m<sup>3</sup> d'air comprimé à 200 bars et de gonfler 12 bouteilles simultanément. Il faut environ 20 min pour gonfler 40 bouteilles, avec les 2 rampes alternées. Elles sont manipulées, par groupes de 10, à l'aide de chariots. Le temps mort est de 0,5 minutes par bouteille. Les filtres sont changés toutes les 3 mois. La station élimine 25 litres de condensats tous les 2 mois.

#### **VII-4-8 Station de sécurité**

La probabilité d'accident augmente avec la quantité de bouteilles gonflées. Les stations décrites précédemment présentent une sécurité suffisante dans la plupart des cas. Cependant, pour certaines installations, les responsables souhaitent encore améliorer la sécurité.

La solution qui consiste à mettre un mur de protection entre les opérateurs et la rampe de gonflage ne résout pas complètement le problème. En effet, il est toujours nécessaire d'être à proximité des bouteilles pour les fermer et purger les canalisations, alors que les flexibles sont sous pression.

Il existe des meubles de gonflage entièrement automatisés. L'opérateur est protégé par un volet blindé escamotable. Ces meubles sont cependant trop chers pour être utilisés par les clubs. (Bauer, BAH)

#### **Réalisation :**

La [figure 41](#) montre la partie gonflage d'une station de sécurité. L'enceinte doit résister à la projection de pièces telles que robinetterie arrachée, morceaux de flexibles etc. Les étriers de raccordement sont équipés de clapets anti-retour comme nous l'avons expliqué à propos des mesures contre le fouettement

Il n'y a pas de danger pour l'opérateur puisqu'il opère, depuis le poste de commande, derrière le mur de protection.

L'enceinte est équipée d'événements qui limitent les surpressions internes. Ces événements sont fermés par des grilles en métal déployé qui empêchent la projection éventuelle de pièces vers ou de l'extérieur.

La fermeture peut se faire avec une porte battante, coulissante ou un rideau blindé. Elle est équipée d'un système de sécurité qui empêche son ouverture lorsque les flexibles sont sous pression.

Le tuyau de purge passe à l'extérieur. Son extrémité est munie d'un silencieux pour réduire le bruit.

Le panneau de distribution et de chargement peut être placé dans un placard fermant à clé pour éviter l'utilisation par des personnes non habilitées.

Les boutons d'arrêts d'urgence permettent d'arrêter le compresseur et de couper les arrivées d'air à distance grâce à des électrovannes.

Les vannes ¼ de tour peuvent aussi être remplacées par des électrovannes, aussi bien pour les purges que pour les mises sous pression. Dans ce dernier cas il est alors souhaitable de limiter le débit pour éviter les coups de béliers.

Entre la sortie de la rampe et les flexibles, on remarque la présence de vannes ¼ de tour qui permettent de fermer les sorties qui ne sont pas utilisées. Ces vannes peu utilisées coûtent pourtant assez cher. On peut les remplacer avantageusement par des clapets amont à la sortie des flexibles. Ce type de clapet s'ouvre mécaniquement dès qu'on fixe un raccord sur une bouteille. Ce système protège contre l'oubli de fermeture de la vanne correspondante d'isolement.

### Utilisation opérationnelle

L'opérateur commence par raccorder les flexibles aux bouteilles, ce qui ouvre le clapet amont d'arrivée de l'air puis il ouvre les robinetteries. Les clapets anti-retour, empêchent alors la pression de s'établir dans les flexibles. Il ferme ensuite le volet blindé puis se met à l'abri du mur de protection.

Il ouvre alors la vanne de gonflage, la pression s'établit dans les flexibles, repousse les clapets anti-retour ; les bouteilles se remplissent.

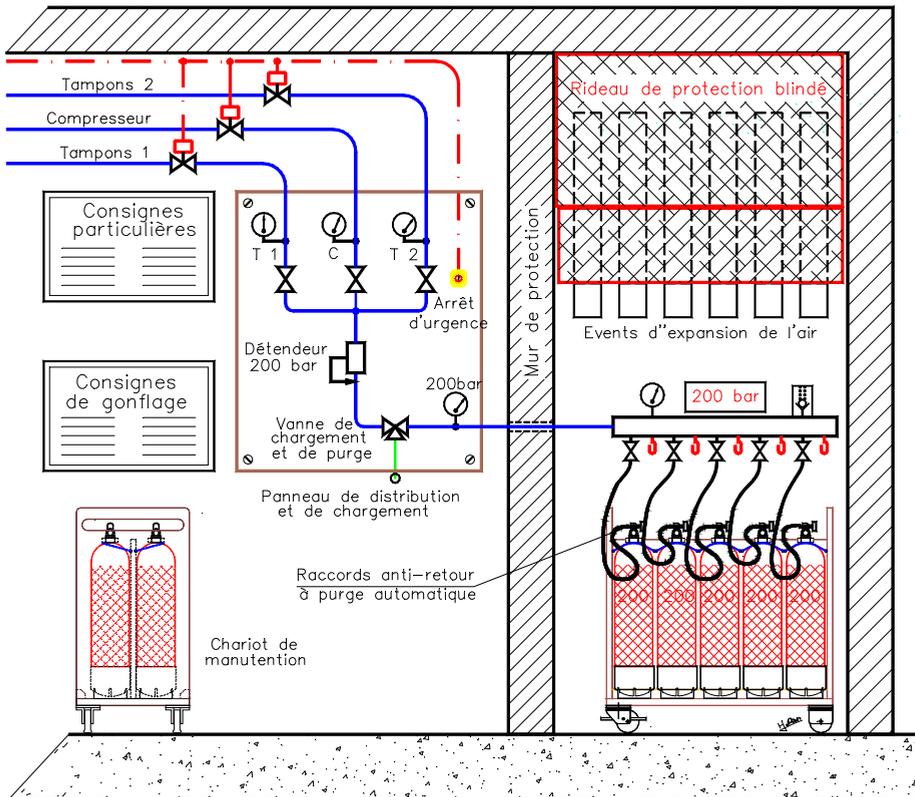


Figure 41 Station de sécurité

Lorsque la pression voulue est atteinte, l'opérateur bascule la vanne de chargement ce qui a pour effet d'arrêter le gonflage, de fermer les clapets anti-retour et de purger le circuit ce qui dépressurise les flexibles. Il peut alors, aller sans risque fermer et déconnecter les bouteilles. (Les raccords se sont purgés automatiquement par la fuite des clapets anti-retour)

En cas de rupture d'un flexible, les bouteilles en charge ne se vident pas. Il suffit donc de couper l'arrivée d'air, à distance, avant d'intervenir.

*La station de sécurité évoquée ici comporte toutes les mesures possibles. Nous savons bien que peu d'installations peuvent être réalisées ainsi. En fait, il est toujours possible de n'emprunter que partiellement les solutions proposées en fonction de l'évaluation des risques, des possibilités d'installation et du budget.*

#### **VII-4-9 Agencement d'un club**

La [figure 42](#) est inspirée par une installation existante dans un club de 200 adhérents. Elle donne un exemple d'agencement de station automatisée pour un parc de 40 bouteilles en service dans une piscine. Seuls les éléments les plus importants sont représentés.

Les deux locaux sont intercalés dans le bâtiment qui borde la piscine. La séparation en 2 parties permet une gestion indépendante du compresseur, du gonflage des bouteilles et du matériel nécessaire à l'activité.

Du fait de l'utilisation d'une machine tournante et du stockage d'air comprimé, cette séparation a de plus été imposée par les services de sécurité.

Dans la partie compression et stockage, l'air est aspiré en partie basse, derrière le compresseur et rejeté, en partie haute.

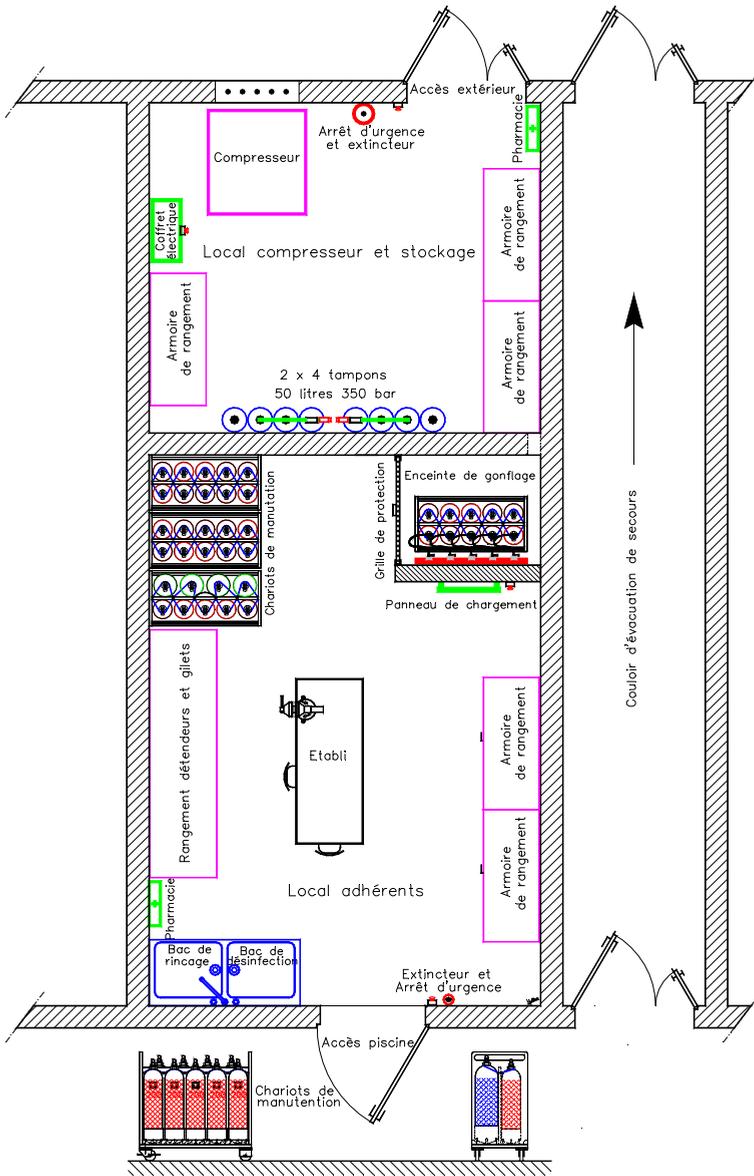
La partie gonflage, où se trouve aussi les chariots de bouteille, est protégée par une chaîne qui interdit le passage pendant le gonflage.

La manipulation des bouteilles se fait par chariot de 10. Ceci permet de ramener le temps mort par bouteille à 0,50 min, avec deux opérateurs. Les chariots sont munis de freins.

Dans la mesure du possible, les chariots doivent pouvoir se déplacer jusqu'au bord du bassin ou d'un quai. A titre exemple, la station ci-dessous comprend un compresseur insonorisé de 30 m<sup>3</sup> / heure (500 l/min) et 8 tampons de 50 litres à 350 bars. Ceci, à pleine charge, fait une réserve de 60 m<sup>3</sup> au-dessus de la pression de service de 200 bars des bouteilles.

L'établi permet d'effectuer les opérations de maintenance des bouteilles par les T.I.V. (Techniciens en Inspection Visuelle)

Les bacs servent à la désinfection et au rinçage du matériel, notamment des détendeurs.



**Figure 42 Exemple d'agencement d'un club dans une piscine**

D'une façon générale, la partie gonflage doit être située de façon à éviter de monter ou descendre des escaliers avec les bouteilles. Par contre, la partie technique, compression et stockage, peut être située à un étage différent, voire à quelques dizaines de mètres ou dans un autre bâtiment. Quelques dimensions utiles pour l'agencement d'un club :

A titre indicatif :

**Local compresseur et stockage** : 3 x 3,50 mètres.

**Local adhérents** : 5 x 3,50 mètres.

**Locale de gonflage** : 1 x 1,50 mètres

**Compresseurs** :

350 bar, 15m<sup>3</sup> en cadre : 103 x 49 x 58cm ;

350 bar 31m<sup>3</sup> en armoire : de 87 x 94 x 171cm.

**Bouteilles tampons** :

E 25 cm, h 200 cm ou cadre de 4 bouteilles 120 x 25 x 220 cm.

**Bouteilles** :

200 bars, 12 litres : Ø17,5cm, h 82cm ;

200 bars 15 litres : Ø21 cm ; h 69 cm

**Chariot** de 10 bouteilles de 12 litres ou de 8 bouteilles de 15 litres :

110×60×100cm.

**Portemanteaux** pour 7 gilets : 100 x 50 x 50cm.

**Armoire métallique standard** : 123 x 43 x 200cm.

**Établi** : 60 x 200 cm.

**Bac double** de rinçage et de désinfection : 120 x 60cm.

-----  
**Remarques** :

- Les consignes de gonflage proposées par la F.F.E.S.S.M. concernent les consignes relatives à un compresseur seul, non automatisé, sans bouteilles tampons. En fait, il n'existe pas 2 stations identiques. Il est donc parfois préférable de séparer les consignes de gonflage proprement dites de celles d'utilisation de la station.

A charge pour le responsable d'afficher ces consignes, en complément, à l'endroit le plus approprié. (Procédure d'arrêt et de marche, procédure en cas d'anomalie, utilisation du panneau de distribution, niveau d'huile, pression inter étage, pression des tampons, purges ...)

- Dans une station neuve, il peut être plus intéressant de disposer de 2 compresseurs de capacité moitié plutôt que d'un seul. Cela réduit la possibilité de panne complète et facilite la maintenance.

- Pour augmenter les possibilités d'une installation, pour les mêmes raisons, il est parfois préférable d'ajouter un compresseur plutôt que de le remplacer par un compresseur plus puissant.
- Dans une station automatisée, on peut croire qu'il est préférable de régler le seuil de mise en marche aussi haut que possible, pour toujours disposer d'une pression maximum. En fait cela conduit à des mises en marche et des arrêts très fréquents qui sont néfastes pour le fonctionnement du compresseur.

Il faut éviter de dépasser 5 "Arrêts / Marches" à l'heure. On peut par exemple, prendre une marge de 10% de la valeur maximum. Si  $\Delta P_p$  correspond au réglage du pressostat arrêt/marche automatique, on prendra  $\Delta P_p = 35$  bars pour une haute pression de 350 bars.

- Le dispositif de réserve des bouteilles n'existant pratiquement plus, on ne peut se fier à sa position pour savoir si une bouteille est pleine ou vide. L'utilisation d'un repère autocollant ou d'un capuchon, sur la sortie des bouteilles pleines, évite des erreurs lors de leur utilisation.
- Si l'on veut améliorer le filtrage en ajoutant un filtre supplémentaire, il faut le disposer avant et non après les tampons. En effet, après ceux-ci, la grande vitesse de l'air peut détériorer le filtre et en tout cas réduire son efficacité.

### **VII-5 Les stations mobiles**

Nous entendons par stations mobiles, les stations transportables, remorquées ou embarquées sur de petites unités. Nous nous limitons ici aux stations de capacité de 0 à 50 m<sup>3</sup>/heure, sans bouteilles tampons.

Ce sont aussi parfois des installations à caractère provisoire. (Voir norme EN1012-1)

Il faut distinguer les installations mobiles, à moteur thermique, qui restent sur le véhicule de transport, des installations transportables, à moteur électrique, qui sont installées momentanément, à l'arrivée à destination. C'est par exemple, le cas d'un club qui transporte son compresseur et l'installe dans un local ou à l'air libre à proximité de l'hôtel ou il est logé.

L'opérateur opère à proximité du compresseur. La rampe de raccordement est confondue avec le panneau de commande. Un moyen d'arrêter le compresseur doit être accessible à portée immédiate.

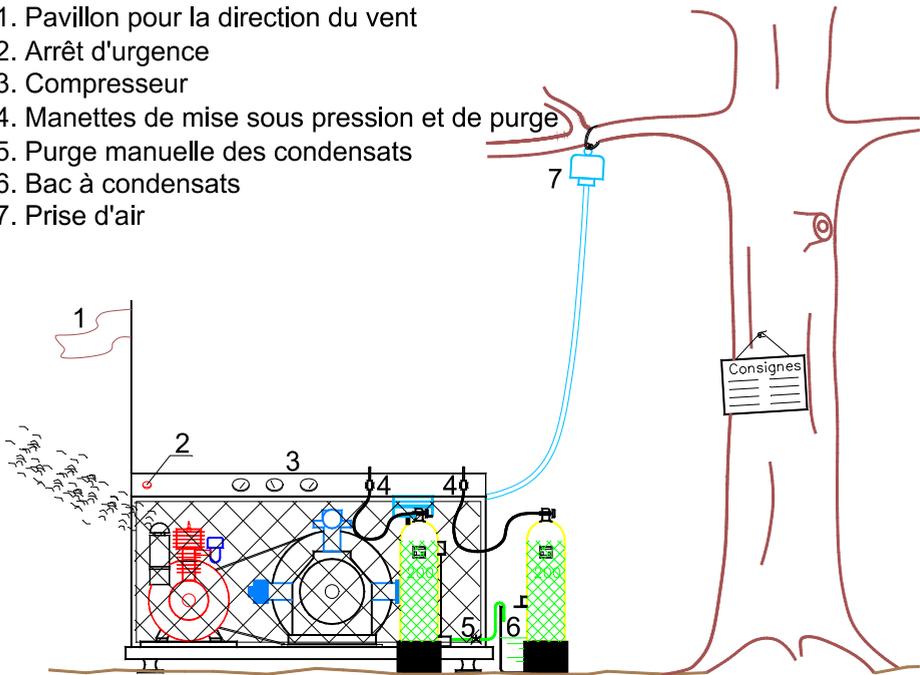
Le système de purge des condensats est souvent manuel dans un souci économique mais on en trouve d'automatique. Il n'y a généralement pas de rampe spécialisée en fonction de la pression de service des bouteilles. (Le respect de cette pression se fait sous la responsabilité de l'opérateur)

### VII-5-1 A l'air libre

Dans tous les cas, un compresseur doit être à l'abri des intempéries et suffisamment aéré. Un pavillon ou une manche à air permet de tenir compte de la direction du vent et éviter d'aspirer des gaz polluants.

Choisir de préférence un terrain plat aussi bien pour l'installation du compresseur que pour le stockage des bouteilles, voir [figure 43](#).

1. Pavillon pour la direction du vent
2. Arrêt d'urgence
3. Compresseur
4. Manettes de mise sous pression et de purge
5. Purge manuelle des condensats
6. Bac à condensats
7. Prise d'air



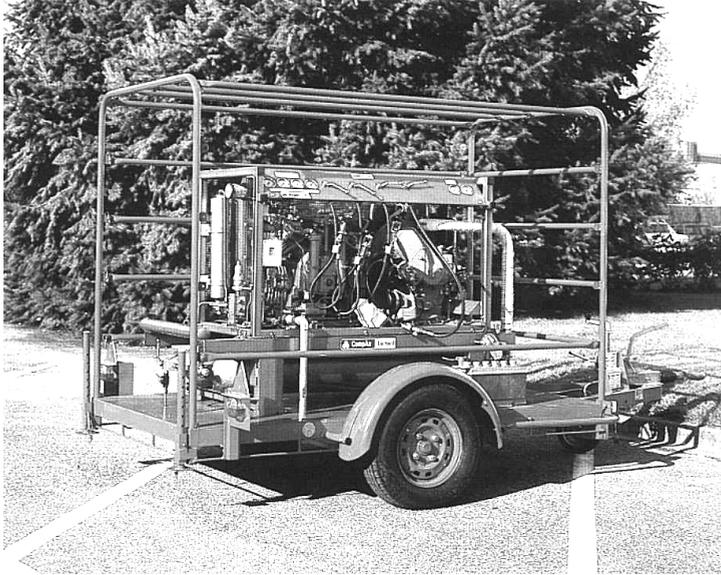
*Figure 43 Station mobile à l'air libre*

Si le sol est meuble, il est préférable de poser le compresseur sur des traverses de bois qui permettront en plus de rétablir l'horizontalité.

### VII-5-2 Sur remorque

L'installation doit répondre à ce qui a été dit ci-dessus. Lorsque le compresseur est opérationnel, il faut que son axe reste bien horizontal.

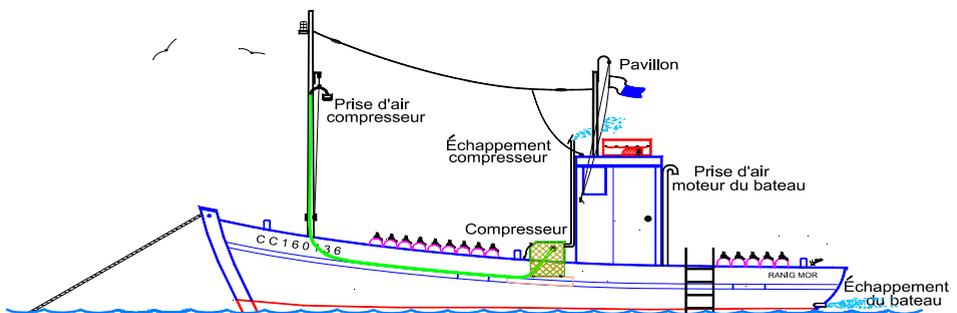
A cette fin il est utile d'équiper le châssis de la remorque avec un niveau à bulle et des vérins à vis. (Voir aussi la norme EN1012-1 : 1996 § 5.6.2 ; 5.7.2.5 et 7.2.9.1, à propos des conditions de remorquage)



**Gravure 14 - Compresseur sur remorque**

### VII-5-3 Sur bateau

Dans ce cas, les éléments doivent être particulièrement bien fixés pour résister au roulis et au tangage. Le compresseur doit rester de préférence à l'air libre, sur le pont.



**Figure 44 Station de gonflage sur bateau**

On peut le mettre dans un coffre de protection en bois avec des panneaux amovibles permettant de l'aérer lorsqu'il fonctionne. Il doit cependant, toujours, être protégé contre les intempéries et le rayonnement du soleil s'il est très fort, voir figure 44.



*Gravure 15 - Pompe à volant installée sur une barque*

Il est préférable de le placer à l'endroit le plus tranquille, sur un chantier en bois qui l'isole de l'eau du pont et rétablit son horizontalité moyenne. L'axe du vilebrequin doit autant que possible être confondu avec celui du roulis. Les fabricants donnent des maxima au-delà desquels il ne doit pas fonctionner. (Par exemple 10° de tangage et 20° de gîte)

Sur les grosses unités, on peut utiliser un compresseur à refroidissement par eau avec échangeur eau de mer eau douce. On peut alors le mettre dans la cale.

La vitesse de rotation d'un compresseur est bien définie. Il y a surtout une vitesse maximum à ne pas dépasser. Il y a donc lieu d'éviter de le coupler au moteur du bateau.

Le bateau ayant tendance à se mettre dans le lit du vent ou du courant, la prise d'air doit être bien dégagée, à l'avant ou mobile pour parer à toute possibilité d'aspirer des gaz d'échappement.

On peut utiliser un tuyau souple armé qui ne collapse pas à l'aspiration. Inversement, l'échappement du compresseur ne doit pas être aspiré par la prise d'air du moteur du bateau. Le pavillon indique la direction du vent.

Les bouteilles doivent être solidement arrimées. On utilise parfois des alvéoles le long du pavois. Elles peuvent aussi être maintenues contre celui-ci par de solides Sandows protégés par des morceaux de tuyau d'arrosage.

Il existe en fait de nombreuses possibilités qui tendent à la meilleure utilisation de la surface du pont, à faciliter les mouvements des plongeurs, leur équipement et leur mise à l'eau, sans gêner les manœuvres de l'équipage.

En gonflant au mouillage, n'oubliez pas que vous pouvez gêner les voisins. En route, il est préférable de gonfler par mer calme.

## **VII – 6 Débit et montée en pression**

Le débit d'une station peut-être bien supérieur à celui toléré dans les bouteilles à gonfler. Différents facteurs imposent de limiter volontairement le débit de chargement.

### **VII - 6 - 1 Dans la station**

Un compresseur seul a une vitesse de remplissage qui est l'une de ses principales caractéristiques définie par le fabricant.

Par contre, le débit d'une station équipée de tampons n'est souvent limité que par les caractéristiques de sa réalisation qui dépendent de l'installateur. Il s'agit essentiellement des pertes de charge fonctions de la section et de la longueur des tuyaux. Les composants utilisés interviennent de façon non négligeable. (Raccords coudés, vannes, détendeurs, clapets anti-retour, flexibles etc.

Nous savons que la vitesse maximum de l'air ne peut excéder la vitesse du son. Tant que la réserve de pression entre la source et les volumes à charger est

suffisante, cette vitesse est à peu près stable. Mais en deçà d'une certaine valeur, le débit diminue.

### **VII - 6 - 2 Dans les bouteilles**

Avec une rampe à plusieurs sorties et des bouteilles disparates, le débit et la montée en pression dépendent du volume des bouteilles. Quand sans régulation, on gonfle une seule bouteille de 6 litres, le débit est plus grand et la montée en pression plus élevée que si l'on gonfle 5 bouteilles de 15 litres sur la même rampe. La nature des matériaux qui les composent a aussi son importance. Il y a là de bonnes raisons d'homogénéiser le parc de bouteille.

On n'utilise pratiquement jamais de débitmètre. Le débit se déduit du volume en charge et de la vitesse de montée en pression. Dans chaque bouteille, le débit est fonction du nombre de bouteilles que l'on gonfle simultanément. Il peut donc être nécessaire volontairement d'insérer une vanne à laminage pour régler la vitesse de gonflage de l'ensemble. Quand cela est nécessaire, une buse calibrée placée avant le système de raccordement de chaque bouteille évite de dépasser cette vitesse.

#### ***L'échauffement de l'air***

Si l'on gonfle trop vite, l'air dans la bouteille s'échauffe sous l'effet de la compression. L'augmentation de pression est telle que l'on ne peut atteindre la pression de service qu'en attendant le refroidissement ou en ralentissant le chargement. Il faut garder en mémoire qu'une élévation de 30°C provoque une perte de volume emmagasiné d'environ 10%.

On recommande par exemple de ne pas dépasser 50 bars / minute pour une bouteille en acier de 12 litres. (600 litres / minute)

La pratique qui consiste à gonfler les bouteilles dans de l'eau, à la température ambiante, présente surtout un intérêt pratique. Elle permet en effet d'assurer un gonflage rapide sans perte de volume stocké. Il y a un autre avantage à cette pratique c'est qu'à condition de changer l'eau régulièrement, les bouteilles sont rincées à chaque gonflage. Quant à la sécurité qu'elle apporte, elle reste à prouver.

#### ***L'érosion des pièces***

Un passage trop rapide de l'air sous pression provoque une usure prématurée de certains éléments et plus particulièrement des clapets des détendeurs haute pression et des robinetteries des bouteilles. Ce problème est commun à la plupart des bouteilles.

### **VII - 7 La réserve d'air d'une station équipée de tampons**

En dehors de l'apport d'air d'un compresseur, la réserve d'air utile dépend de la différence entre la pression de service des bouteilles à charger et de celle des tampons ainsi que du volume en eau de ces derniers.

La pression dans les tampons est déterminée par le réglage d'un pressostat qui arrête le compresseur lorsque la pression de service est atteinte et le remet en marche lorsqu'elle est trop basse. Cela peut représenter 10% de la pression maximum.

On ne peut donc pas en permanence compter sur toute la réserve possible. Si le capteur du pressostat est placé à la sortie du compresseur et les tampons à une certaine distance, il faut régler le pressostat à une pression supérieure pour compenser la perte de charge dans le tuyau et dans les vannes d'isolation.

### **VII-8 Charger à la bonne pression**

Pour que le manomètre de la rampe indique la pression réelle dans les bouteilles, il faut que les pertes de charge entre ce manomètre et les bouteilles soient nulles. Pertes dues aux tuyaux, vannes, flexibles et robinetteries. Ceci ne s'obtient que lorsque le débit est lui-même nul ou négligeable.

N'oublions pas que les soupapes de sûreté doivent être réglées à la pression de service des volumes qu'elles protègent et qu'elles n'aient pas être sollicitées fréquemment.

#### ***Arrêt du gonflage***

Entre les tampons et la soupape de sûreté de la rampe une perte de charge de régulation est indispensable sinon la soupape de sûreté a toutes les chances de s'amorcer avant que les volumes ne soient à la bonne pression.

Pour la même raison, le manomètre de contrôle n'indique pas vraiment la pression dans les bouteilles en charge. (On a intérêt à placer le ou les manomètres au plus près des bouteilles et à bien ouvrir celles-ci)

Avec une vanne à laminage, si l'opérateur veut atteindre au plus près la pression de service il doit ralentir le débit de façon que le manomètre indique la bonne pression et que la soupape ne s'amorce pas.

Avec un détendeur HP le ralentissement se fait automatiquement car, à l'approche de la pression finale, le détendeur se ferme progressivement. Si l'on veut ne jamais amorcer la soupape de sûreté, il faut régler la pression de sortie du détendeur à une valeur légèrement inférieure à celle de cette soupape mais ceci au détriment de la vitesse de gonflage.

#### ***Remarque***

D'une manière générale, au début du chargement le débit est à peu près linéaire mais se termine par une évolution de plus en plus lente vers la fin. Lorsque le réglage et l'arrêt sont manuels, il n'y a pas de grosse perte de temps. Par contre avec un détendeur HP cela augmente le temps de gonflage d'une façon non négligeable.

## CHAPITRE VIII

### PRODUCTION DE MÉLANGES RESPIRABLES

#### **VIII-1 Les stations de production de mélanges**

Bien que ceci ne soit pas l'objet principal de cet ouvrage, il n'est pas inutile de rappeler quelques éléments de la production des mélanges parce qu'ils utilisent toujours de l'air ou d'autres gaz comprimés pour leur production.

Leur fabrication est cependant une affaire de spécialistes et nous ne saurions trop recommander aux amateurs de suivre un stage approprié avant de se lancer dans des manipulations hasardeuses.

**Attention :** Quelle que soit la méthode utilisée et en application de la réglementation en vigueur, il y a lieu de n'utiliser que du matériel parfaitement dégraissé et prévu pour cet usage. En effet les traces de graisse qui s'accumulent avec le temps peuvent s'enflammer spontanément en présence d'O<sub>2</sub>.

La [figure 45](#) montre les principales méthodes utilisées pour produire du nitrox.

#### **VIII-2 Les mélanges binaires ( 2 gaz Surox ou Nitrox)**

Il faut noter que par convention, on indique toujours le pourcentage de l'O<sub>2</sub> en premier ou seul. Comme nous l'avons vu au chapitre I, les mélanges suroxygénés limitent la pression de N<sub>2</sub> avec les avantages que cela implique quant aux problèmes de décompression. Mais avec l'inconvénient de limiter la profondeur maximum à cause de leur toxicité.

Pour obtenir de nitrox, il y a plusieurs méthodes :

##### **VIII-2-1 L'acheter tout fait**

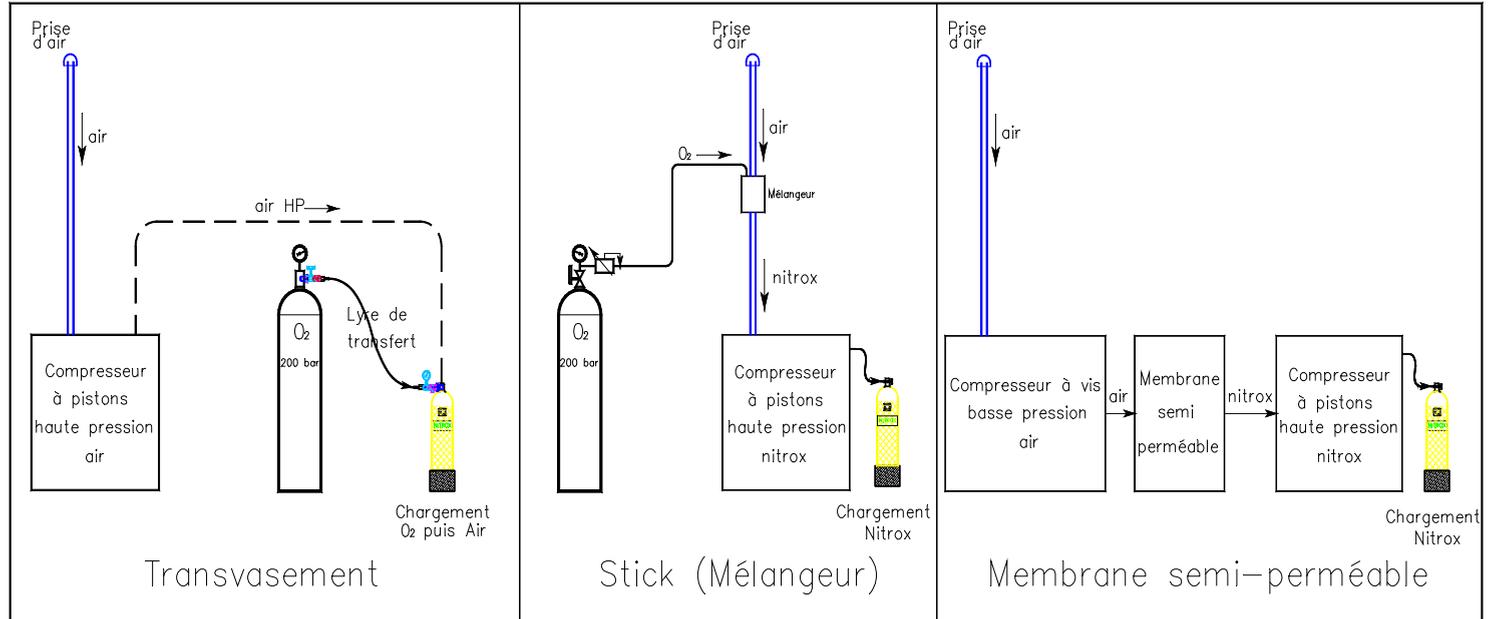
###### **Avantages :**

C'est une solution simple, sûre.

###### **Inconvénients :**

Elle est onéreuse par son prix d'achat.

Elle oblige à effectuer à priori, le choix du pourcentage sans pouvoir le changer facilement par la suite. Ceci n'exclue pas de le contrôler, une erreur étant toujours envisageable.



**Figure 45 Les méthodes de production de nitrox**

### **VIII-7-3 Procéder à des transvasements**

C'est un moyen couramment utilisé. Le transvasement consiste à mettre de l'oxygène pur dans une bouteille puis à la compléter par de l'air naturel. On l'appelle aussi "Fabrication par pressions partielles" ce qui vient de la méthode de calcul utilisée, que l'on verra au chapitre suivant.

Quand la bouteille contient déjà du nitrox ou un autre mélange, on dit qu'on en "recycle" le contenu.

#### ***Avantages :***

Ce système se prête bien à la fabrication sur le terrain. C'est pourquoi, il est utilisé par les plongeurs souterrains et tecks.

Il permet de réaliser des mélanges complexes et de toute valeur en pourcentage.

L'investissement est d'un prix raisonnable.

#### ***Inconvénients :***

Il nécessite une réserve d'oxygène pur avec tous les inconvénients que cela comporte. (On peut aussi utiliser un nitrox à taux élevé)

Un sur-filtre, avant l'appoint d'air, est indispensable pour éliminer toute trace de corps gras au contact de l'O<sub>2</sub> pur.

Un temps d'homogénéisation de 24 heures est nécessaire avant l'utilisation.

La réserve d'oxygène pur ne peut pas toujours être utilisée jusqu'à la fin. Il faut alors faire appel à un sur-presseur.

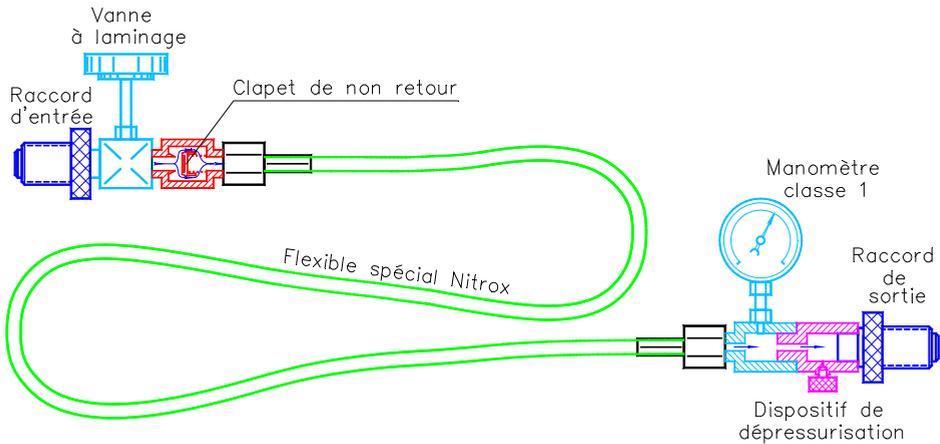
Il peut sembler absurde de se donner la peine de produire de l'oxygène pur de qualité et donc cher pour le mélanger ensuite avec d'autres gaz dont la qualité est moindre.

#### ***Lyre de transfert***

C'est un appareil simple destiné à transvaser un gaz d'une bouteille tampon dans une bouteille de plongée. La lyre est utilisable sur des installations mobiles, voir [figure 46](#).

Elle est constituée :

- D'un raccord d'entrée
- D'une vanne compensée à laminage par pointeau, d'un clapet anti-retour pour éviter au mélange de revenir dans la bouteille d'oxygène,
- D'un flexible spécial oxygène, d'un manomètre de "Classe 1" c'est à dire d'une précision d'au moins 1% de l'étendue de mesure,
- D'un dispositif de dépressurisation, d'un raccord de sortie et d'adaptateurs éventuels.



**Figure 46 Lyre de transfert**

Il existe aussi des valises de transvasement plus ou moins sophistiquées, comprenant, en plus de la lyre un mesureur d'O<sub>2</sub> et des raccords variés.

Les lyres peuvent aussi servir à transvaser de l'hélium pour réaliser des mélanges Trimix, sous réserve d'un adaptateur approprié.

On peut aussi imaginer, dans le futur, des équipements mobiles de transvasements entièrement gérés par calculateurs. Ceci avait déjà été réalisé dès 1990 par Yves Le Masson pour alimenter son célèbre scaphandre le SCANUBA.

### VIII-2-3 Réaliser le mélange par flux continu

C'est un système qui consiste à injecter de l'O<sub>2</sub> pur à pression ambiante dans l'aspiration d'un compresseur classique.

À cette fin, une buse est placée dans la conduite d'aspiration, elle est alimentée par un détendeur réglable et une vanne micrométrique à laminage qui permet d'ajuster avec précision le débit d'O<sub>2</sub>.

Pour éviter d'envoyer de l'oxygène pur dans le compresseur, on dispose après la buse un mélangeur ou "Stick" \* qui donne parfois son nom à la méthode. Il est constitué par un cylindre dans lequel sont disposés un certain nombre de chicanes.

La teneur en O<sub>2</sub> du mélange est mesurée à l'entrée du compresseur par un analyseur d'oxygène. (Oxymètre)

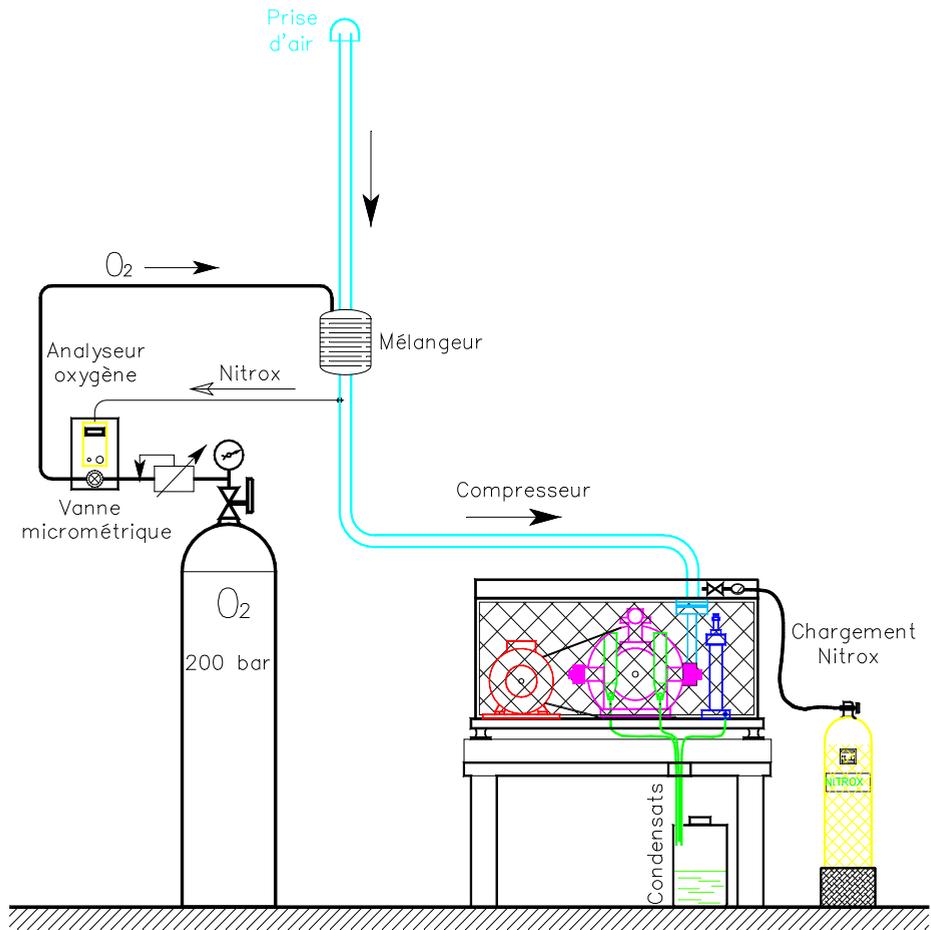
### **Avantages**

Le mélange se fait en basse pression ce qui diminue les risques d'explosion. (Voir [figure 47](#))

Le mélange peut être utilisé immédiatement.

On peut utiliser l'oxygène jusqu'au fond de bouteille.

Le prix de l'installation est faible.



**Figure 47** Gonflage nitrox par injection d'O<sub>2</sub> à pression ambiante

### **Inconvénients**

La manipulation d'oxygène pur est très contraignante. (Transport, stockage, distribution)

La teneur en oxygène ne doit pas dépasser 40%. Au-delà il y a des risques importants d'inflammation voire d'explosion.

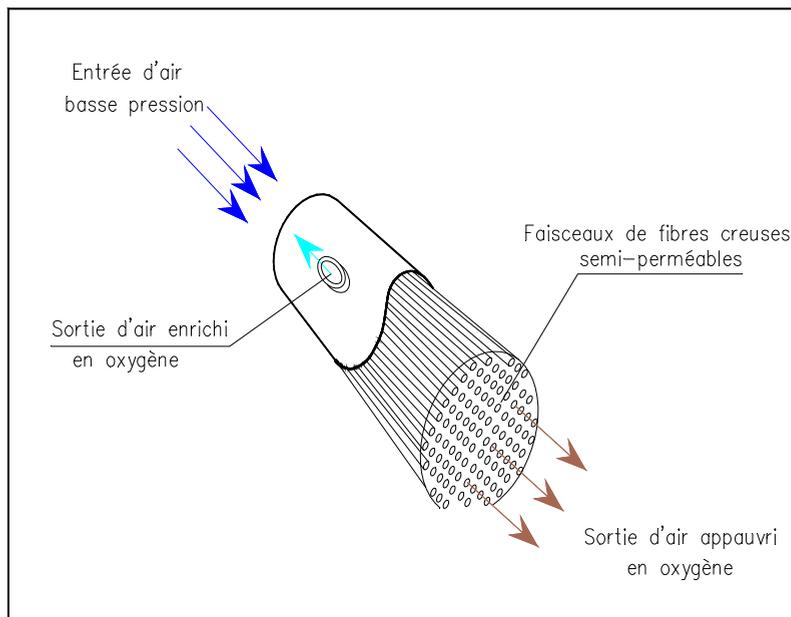
Le prix de l'oxygène n'est pas négligeable.

Si pour une raison quelconque, le compresseur s'arrête, l'oxygène doit aussi s'arrêter d'arriver sinon une procédure particulière doit être utilisée pour la remise en route. Attention donc aux installations automatisées avec des pressostats. Pour ces différentes raisons, cette solution est rarement proposée par les professionnels qui lui préfèrent la production par filtre à membrane perméable.

Néanmoins, on trouve dans le commerce, des sous ensembles permettant de réaliser différentes installations comme celle décrite ci-dessus.

#### VIII-2-4 Utiliser un filtre à membrane perméable (Figure 48)

Le principe consiste à comprimer de l'air contre une membrane qui a la particularité de laisser passer l'oxygène au dépend de l'azote qui est éliminé dans l'atmosphère. (Il s'agit en fait de tubes capillaires dont les parois sont perméables) Ce système avait été créé à l'origine pour produire de l'azote.



**Figure 48 Filtre à membrane**

***Inconvénients :***

Il ne permet pas de produire des nitrox au-delà de 40%, par exemple pour les décompressions.

Le procédé nécessite deux compresseurs :

Le premier, en général à vis et à fort débit, fournit une pression de 10 bars sans pulsation pour être appliquée à la membrane. Les vis sans fin de ces compresseurs sont extrêmement fiables et ne nécessitent qu'un faible entretien. ([Revoir le chapitre VI](#))

L'autre, à piston, élève le nitrox produit à pression ambiante à la haute pression de stockage ou de service. ([Revoir le paragraphe 4-6](#))

Un volume tampon est indispensable à l'entrée du compresseur à piston pour éviter que les pulsations d'aspiration ne soient transmises à la membrane.

On notera la différence importante de débit nécessaire entre les deux machines du fait de l'élimination de l'azote entre les 2 compresseurs.

En raison des frais d'investissement et de fonctionnement, ce système n'est intéressant qu'à partir du gonflage d'une centaine de bouteilles par jour.

Quand on enlève de l'azote, la pression partielle des gaz restants augmente. Celle de l'oxygène bien sûr puisqu'il s'agit du but recherché, mais aussi celle des gaz indésirables, CO<sub>2</sub>, vapeur d'eau et autres gaz plus rares contenus dans l'air et dont les effets ne sont pas bien connus.

Il faut aussi en amont éliminer l'huile et les particules solides qui pourraient colmater la membrane et perturber son fonctionnement voire provoquer une explosion ce qui nécessite un pré filtre avant la membrane.

Il est donc nécessaire, d'ajouter un filtre à tamis moléculaire supplémentaire à la sortie et en conséquence de limiter la vitesse du mélange à la sortie.

Le bon fonctionnement nécessite une bonne régulation de la température et de la pression appliquées à la membrane perméable.

Il faut noter que, dans ce domaine, de grosses améliorations ont été réalisées ces dernières années par les fabricants.

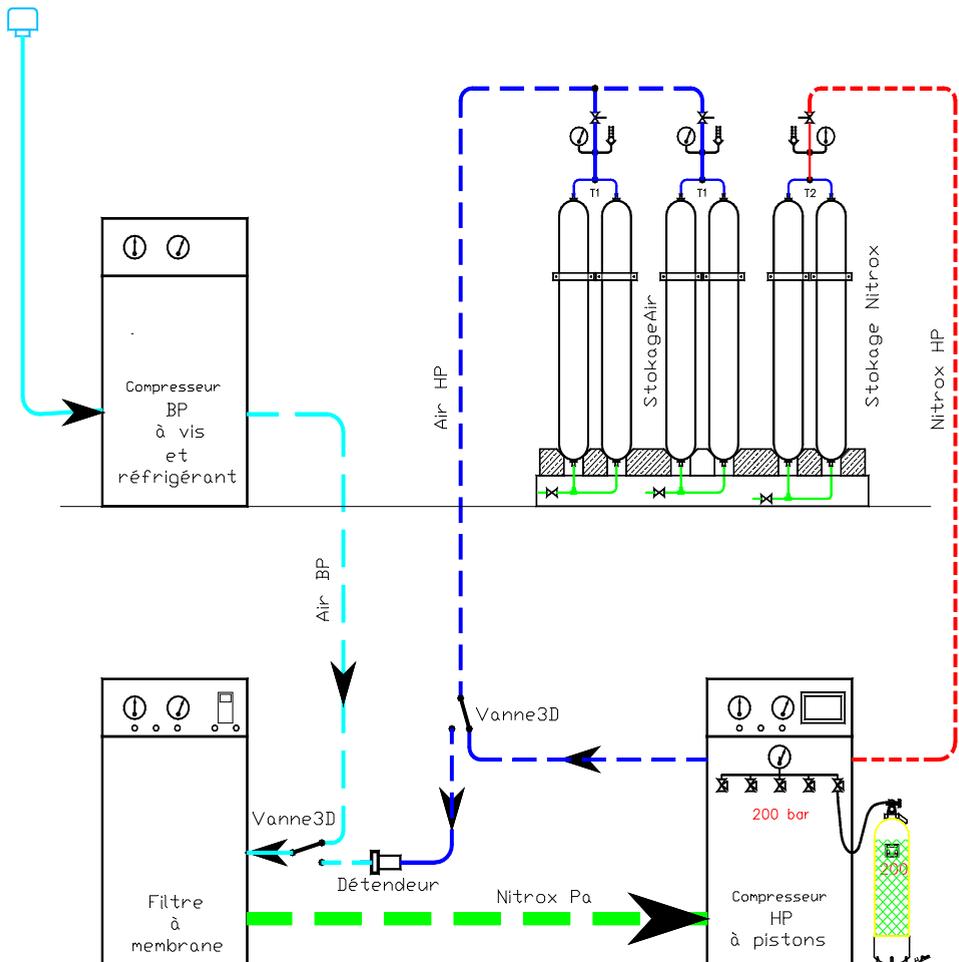
Une telle installation comporte donc :

- Un compresseur à vis basse pression
- Un sécheur frigorifique qui permet de fonctionner à température constante
- Le filtre à membrane associé à des appareils de mesure et de réglages
- Un compresseur HP pour charger en Nitrox des tampons de stockage ou les bouteilles en service.

Ce compresseur peut aussi être utilisé pour stocker de l'air dans des tampons qui, associés à un détendeur, peuvent remplacer le compresseur BP.

Si la teneur en CO<sub>2</sub> où est prélevé l'air est à la limite autorisée par la norme, il y a de bonne chance qu'elle la dépasse dans le nitrox produit. Il est donc nécessaire d'ajouter un filtre supplémentaire en aval pour ramener cette teneur en dessous de la valeur normalisée.

Le système de réfrigération, avant la membrane perméable est semblable au sécheur d'air que nous avons vu au paragraphe 4-7.



**Figure 49 Station nitrox à membrane**

### VIII-3 Les surpresseurs

Quand l'oxygène ou le nitrox est stocké dans des bouteilles tampons, il est difficile de l'utiliser jusqu'à la fin. Ces gaz étant coûteux, on utilise un compresseur spécialisé pour élever la pression et utiliser les fonds de bouteilles.

Ce sont des compresseurs, à pistons, lubrifiés par une huile "spéciale oxygène". Ils sont actionnés par un moteur pneumatique utilisant de l'air comprimé ordinaire, non huilé. Les surpresseurs de marque "Hasquels" multiplient la pression par 30 ou 60.

Le moteur pneumatique est très gourmand en air comprimé. C'est son principal inconvénient.



*Gravure 16 - Station nitrox à membrane perméable*

### VIII-4 Les mélanges ternaires

Il s'agit de mélanges à 3 composants, essentiellement du "Trimix", que nous avons vu au chapitre I.

Le chargement des bouteilles se fait en général par transfert d'hélium dans un mélange de nitrox. Les calculs ressemblent à ceux réalisés pour le transvasement. (Voir au chapitre suivant)

Bien plus encore que pour le nitrox, nous ne recommanderons jamais assez aux amateurs de plongée profonde de se rapprocher de gens compétents avant de se lancer dans la fabrication et surtout l'utilisation de tels mélanges.

### **VIII-5 Accessoires**

Tous ces systèmes nécessitent des analyseurs pour contrôler la production en sortie et avant l'utilisation. Ce sont des appareils fragiles et instables qui nécessitent des calibrations fréquentes. Les capteurs ont une durée de vie limitée à quelques dizaines d'heures d'utilisation.

La gamme de mesure des manomètres doit être adaptée aux mesures à effectuer. On ne mesure pas quelques dizaines de bars avec un appareil dont l'étendue de mesure est de quelques centaines de bars. Cela est important car la précision est relative à l'étendue de mesure et non pas à la valeur mesurée.

*(En mesurant 50 bars avec un manomètre à 1% de 400 bars, on risque une erreur de 4 bars soit 8%. Avec un manomètre à 1% de 100 bars l'erreur ne sera que de 1 bar soit 1%)*

Tout le matériel utilisé, vannes, conduites, manomètres, tampons doit être aux normes oxygène ce qui induit des coûts d'investissement, de requalification et d'entretien supplémentaires.

### **VIII-6 Chargement des mélanges**

La chargement de nitrox ou de tout mélange suroxygéné nécessite aussi de réduire la vitesse de gonflage pour réduire les risques d'explosion.

#### **La nature des matériaux**

En raison des contraintes qu'elle impose, la vitesse de montée en pression doit être limitée en fonction de la nature du matériau utilisé.

#### ***L'acier***

En Europe, on utilise surtout l'acier. L'élévation de température du fût, souvent évoquée, n'est en fait pas très gênante car elle est faible au regard de la résistance de ce matériau. C'est surtout le débit dans la robinetterie qui impose une limitation de la montée en pression.

#### ***L'aluminium***

Dans les pays Anglo-saxons, on utilise beaucoup les alliages d'aluminium

La différence essentielle avec l'acier vient de ce que ces alliages sont plus sensibles aux fissures mais moins sensibles à la corrosion que l'acier.

Pour cette raison il est préférable de réduire la vitesse de montée en pression, Ne pas dépasser 15 à 35 bars par minute de telle façon que l'on puisse garder aisément la main sur les bouteilles. (Ce qui correspond à moins de 55°C)

D'autre part, en cas d'usage intensif, il faut augmenter la cadence des inspections. Cependant, en France la réglementation est la même quel que soit le métal utilisé.

### *Les composites*

Ces bouteilles commencent à apparaître sur le marché. Elles sont réalisées suivant des technologies variables. Leur tenue aux contraintes de gonflage, en température et dans le temps ne sont pas encore bien connues. Néanmoins, on impose les mêmes contraintes de requalification et d'inspection visuelles que pour l'acier voire davantage, par sécurité.

Ces bouteilles utilisent des résines qui les isolent thermiquement par rapport à l'extérieur. Lorsqu'on les gonfle, l'air se refroidit moins qu'avec de l'acier ou de l'aluminium. Il en résulte une perte de capacité plus importante.

On peut utiliser une vitesse de gonflage inférieure à 30 bars par minute. A cette vitesse, l'échauffement est compensé par le refroidissement naturel. Pratiquement, une buse calibrée placée avant le système de raccordement de chaque bouteille évite de dépasser cette vitesse.



*Gravure 17 - Immersion d'un scaphandrier*

## CHAPITRE IX

### CALCULS RELATIFS AUX GONFLAGES

#### **Généralités**

Ce chapitre a été créé pour éviter d'alourdir le texte par des calculs qui parfois rebutent les lecteurs. Sa lecture peut cependant constituer un préalable utile pour la définition d'une nouvelle station.

Lorsqu'on installe une station ou qu'on la modifie, on est amené à effectuer différents calculs suivant différentes possibilités pour optimiser les moyens à mettre en œuvre.

#### **1) Gonflage avec un compresseur seul**

- Avantages : Installation économique bien que l'on puisse ajouter 1 ou 2 tampons pour éviter les arrêts du compresseur durant les temps morts.

- Inconvénient : Gonflage lent, bruyant et surtout quand on peut.

#### **2) Gonflage avec des tampons seuls**

- Avantages : Peut bruyant, rapide et surtout quand on veut.

- Inconvénients : Il faut malgré tout un compresseur. Il peut cependant être automatisé pour fonctionner sans perturber l'environnement. Il faut investir dans un certain nombre de tampons qu'il faut ensuite entretenir.

#### **3) Gonflage avec un ensemble compresseur et tampons**

- Avantages : Plus rapide et nécessite moins de tampons

- Inconvénients : Gonflage quand on peut

#### **Options :**

##### **Gonflage avec 2 rampes alternées**

- Avantages : Rapidité car peu de temps morts

##### **Compresseur à refroidissement à eau**

Compresseur VHP15-350 bars - 30 m<sup>3</sup>/h ou 60 m<sup>3</sup>/h ?

- Avantages : Peu bruyant, peu de maintenance et surtout d'une longue durée de vie.

- Inconvénients : Prix et coût d'installation plus élevés

### **Utilisation de deux compresseurs**

- Avantages : Sécurité opérationnelle et facilité pour la maintenance
- Inconvénients : Prix et coût d'installation plus élevés

### **Valeurs à calculer**

Les plus utiles sont : le temps de gonflage, le nombre de bouteilles qu'il est possible de gonfler dans un temps donné, le débit du compresseur, la capacité et le nombre de bouteilles tampons.

En fin de chapitre vous trouverez aussi les calculs relatifs à la fabrication des nitrox par transvasement, dite aussi méthode des pressions partielles.

### **IX-1 Paramètres de calculs**

$V_n$  = Volume d'air détendu nécessaire, en litres.

$N_B$  = Nombre de bouteilles, réparties en groupe de 5.

$V_B$  = Volume en eau d'une bouteille, en litres.

$N_T$  = Nombre de tampons.

$V_T$  = Volume en eau d'un tampon, en litres.

$D_M$  = Débit maximum de l'installation, avec tampons en litres par minute.

$D_r$  = Débit de remplissage du compresseur, en litres par minute. (À la température ambiante)

$\Delta P_B$  = Variation moyenne de pression à mettre dans les bouteilles, en bar.

$\Delta P_T$  = Variation de pression utilisable dans les tampons, en bar.

$\Delta P_p$  = Différence des seuils arrêt /marche du pressostat, en bar.

$T_t$  = Durée totale de gonflage, en minutes.

$T_m$  = Temps morts par bouteille, en minutes.

$T_c$  = Durée de gonflage avec compresseur seul, en minutes.

$T_T$  = Durée de gonflage avec tampons seuls, en minutes.

$T_{RT}$  = Durée de recharge des tampons, en minutes.

### ***Remarques générales :***

Les pressions employées ici sont des pressions absolues alors que les appareils utilisés mesurent souvent des pressions relatives. Ceci influence peu les résultats.

Ces calculs, comme ceux qui suivent, sont approximatifs car le nombre de bar à ajouter en moyenne dans les bouteilles est très variable.

D'autre part les temps morts que nous allons étudier, sont variables suivant les installations, les opérateurs, leur état de fatigue et les interruptions de gonflage, quelles qu'en soient les causes.

Il peut être nécessaire par exemple de corriger la valeur moyenne de pression à ajouter dans les scaphandres ( $\Delta P_B$ ) en tenant compte de la pression finale souhaitée, de la pression de réserve choisie ainsi que de la pression minimum des tampons.

Le débit maximum d'une installation est limité à environ 3000 litres/minute. Cependant, il faut tenir compte des limites recommandées. (50 bar/min pour l'acier, 30 bar/min pour l'aluminium et 25 bar/min pour les composites)

Pour les grosses installations, gonflage de plus de 200 bouteilles par jour, il peut être nécessaire de doubler, voire de tripler l'installation à partir des bouteilles tampons, pour autoriser de plus gros débits.

### **IX-2 Les temps morts**

Ce sont les temps passés en dehors du gonflage proprement dit. Ils s'ajoutent donc à celui-ci et peuvent représenter une partie très importante de la durée totale de gonflage.

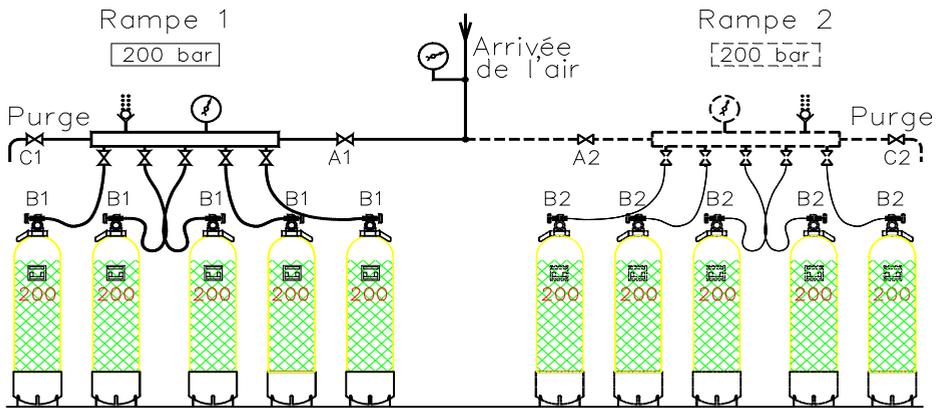
Pour gagner du temps, il faut les réduire. Certains opérateurs entraînés effectuent rapidement les opérations. Mais pour ne pas perdre de temps il faut déjà que les bouteilles soient bien rangées et faciles à manipuler.

L'utilisation de chariots permet de déplacer jusqu'à 10 bouteilles simultanément. Le temps nécessaire pour l'échange est estimé à 40 secondes par chariot.

Dans de bonnes conditions de manipulation et avec des opérateurs bien entraînés, on peut exceptionnellement ramener le temps mort à moins de 30 secondes par bouteille.

On s'aperçoit qu'il est difficile d'obtenir des temps morts inférieurs aux temps de gonflage. Les moyens de manipulation sont importants mais il faut aussi que les opérateurs soient bien entraînés et qu'ils opèrent en toute sécurité.

**Tout cela suppose une bonne organisation**



**Figure 50 Rampe de gonflage doublée**

La figure 50 montre une rampe que l'on peut éventuellement doubler et utiliser avec ou sans tampons. Nous nous proposons d'effectuer les calculs de gonflage pour différents cas.

Opérations à effectuer	Durée moyenne en secondes
Fermer la vanne A1	7
Fermer les robinetteries B1	50
Ouvrir la purge C1 et laisser purger	10
Déconnecter les bouteilles de la rampe 1	40
Remplacer les bouteilles par des vides	240
Connecter les bouteilles	40
Fermer la purge C1	6
Ouvrir les robinetteries B1	50
Ouvrir la vanne A1	7
Temps mort pour 5 bouteilles	450
Temps mort moyen par bouteille (Tm)	90

Le tableau ci-dessus donne le temps approximatif pour chaque opération. Nous supposons que le parc de bouteilles est bien connu et ne nécessite pas de contrôle de conformité à la réglementation. *(Il est donc préférable de commencer par contrôler tout le parc de celles-ci)*

Au départ, nous supposons qu'un jeu de 5 bouteilles est en place et vient d'atteindre la pression maximum souhaitée.

Après les calculs, il est inévitable d'adopter des compromis. Il peut alors être nécessaire de tenir compte des prix des différents composants et plus particulièrement de ceux du compresseur, des rampes de gonflage, des bouteilles tampons ainsi que du personnel opérateur.

### IX-3 Gonflage avec un compresseur et une seule rampe

Les calculs partent généralement du volume d'air détendu nécessaire " $V_n$ "

$$V_n = N_B \times V_B \times \Delta P_B$$

Avec  $N_B = 30$  bouteilles ;  $V_B = 12$  litres,  $\Delta P_B = 175$  bar  $V_n = 63.000$  litres  
(  $63m^3$  )

#### IX-2-1 Temps total de gonflage

Il est fonction du débit et égal à la somme du temps de gonflage proprement dit et du temps mort total :

$$Tt = \left( \frac{N_B \times V_B \times \Delta P_B}{D_r} \right) + (N_B \times T_m)$$

Avec  $N_B = 30$  bouteilles ;  $V_B = 12$  litres ;  $\Delta P_B = 175$  bar ;  $D_r = 500$  l/min et  
 $T_m = 1,5$  min ; on trouve :  $Tt = 171$  min.

#### IX-2-2 Débit de remplissage du compresseur

On peut inversement calculer ( $D_r$ ), débit nécessaire du compresseur, en fonction du temps de gonflage dont on dispose, du nombre de bouteilles à gonfler et du temps mort par bouteille.

$$D_r = \frac{N_B \times V_B \times \Delta P_B}{Tt - (N_B \times T_m)}$$

Si l'on veut gonfler avec  $Tt = 150$  minutes,  $N_B = 30$  bouteilles,  $V_B = 12$  litres,  $\Delta P_B = 175$  bar

et  $T_m = 1,5$  minutes.

$$D_r = \frac{63.000}{150 - 30 \times 1,5}$$

$D_r = 600$  litres/min soit  $36 m^3 / h$

### **IX-2-3 Nombre de bouteilles gonflables dans un temps donné**

Il se déduit des formules ci-dessus.

$$N_B = \frac{Tt \times Dr}{(V_B \times \Delta P_B) + (Tm \times Dr)}$$

Avec  $Tt = 150$  min ;  $Dr = 600$  l/min ;  $V_B = 12$  litres ;  $\Delta P_B = 175$  bar  
et  $Tm = 1,5$  min ; On trouve :  $N_B = 30$  bouteilles.

### **IX-3 Gonflage avec un compresseur et 2 rampes alternées**

Il existe un moyen pour gagner du temps. Il consiste à utiliser 2 rampes et à effectuer les manipulations sur l'une tandis que l'autre est en gonflage.

Entre le temps de gonflage proprement dits et les temps morts, c'est le plus important qui doit être retenu pour calculer le temps total de gonflage.

#### **IX-3-1 Temps de gonflage**

$$Tt = \frac{N_B \times V_B \times \Delta P_B}{Dr}$$

Avec  $N_B = 30$  bouteilles ;  $V_B = 12$  litres ;  $\Delta P_B = 175$  bar et  $Dr = 500$  l/min ;  
On trouve :  $Tt = 126$  minutes.

#### **IX-3-2 Débit de remplissage du compresseur**

$$Dr = \frac{N_B \times V_B \times \Delta P_B}{Tt}$$

Avec  $N_B = 30$  bouteilles ;  $V_B = 12$  litres ;  $\Delta P_B = 175$  bar et  $Tt = 126$  min ;  
On trouve  $Dr = 500$  l/min ou  $30$  m<sup>3</sup>/h

#### **IX-3-3 Nombre de bouteilles chargeables dans un temps donné**

$$N_B = \frac{Tt \times Dr}{V_B \times \Delta P_B}$$

Avec  $V_B = 12$  litres ;  $\Delta P_B = 175$  bar ;  $Tt = 168$  min et  $Dr = 500$  l/min ;  
On trouve :  $N_B = 40$  bouteilles.

### **IX-4 Gonflage avec des tampons seuls**

On suppose, dans ce cas, que l'on s'interdit de mettre le compresseur en marche pendant le gonflage, pour des raisons de nuisances, par exemple. Il est encore bon de rappeler que seule la partie de la pression des tampons qui excède la pression souhaitée des bouteilles est utilisable.

Les raisons que nous avons déjà vues font que ce débit maximum est généralement limité aux environs de 3000 litres par minute mais il faut tenir compte des limites imposées suivant la nature des bouteilles. (50 bar par minutes pour l'acier)

**Exemple :**

Pour gonfler 40 bouteilles de 12 litres, avec un  $\Delta P_B$  de 175 bar, sur une rampe de 5 bouteilles, un temps mort de 3,75 min par rampe et un débit correspondant au maximum à 50 bar/min, le temps de gonflage par groupe de 5 est de  $175/50=3,50$  min soit 14 min par 8 groupes. Le temps mort total est de 30 min. Il faut donc théoriquement **44 min** avec une rampe seule. Par contre, avec 2 rampes alternées, il faudra seulement  $3,75 \times 8 =$  **30 min** (Le temps de gonflage de 3,5 min par rampe est masqué par les 3,75 min du temps mort)

**Remarques :**

- Il peut arriver, avec 2 rampes alternées que le temps mort soit plus court que le temps de gonflage d'un groupe de bouteilles. Dans ce cas, c'est le temps mort qui est masqué par le temps de gonflage.

- On limitera la vitesse de gonflage, à chaque fois que possible, pour limiter l'usure des composants de la station, des robinetteries de bouteilles et pour ne pas perdre en volume emmagasiné. Il est aussi souhaitable de la réduire, à chaque fois que le temps de gonflage est plus rapide que le temps mort.

**IX-4-1 Volume en eau des tampons :**

Le volume d'air emmagasiné dans les tampons doit être égal à celui nécessaire pour remplir les bouteilles à la pression souhaitée. ( $V_T \times \Delta P_T = N_B \times V_B \times \Delta P_B$ )  
D'où le volume minimum nécessaire des tampons :

$$V_T = \frac{N_B \times V_B \times \Delta P_B}{\Delta P_T}$$

Avec  $N_B = 50$  bouteilles de 200 bar ;  $V_B = 12$  litres ;  $\Delta P_B = 175$  bar ; On obtient  $V_T =$  **700 litres** ce qui peut se réaliser avec 14 tampons de 50 litres 350 bar. (En utilisant des tampons de 50 litres à 250 bar, il en faudrait 42)

**IX-4-2 Nombre de bouteilles que l'on peut gonfler**

$$N_B = \frac{V_T \times \Delta P_T}{V_B \times \Delta P_B}$$

Avec  $V_T = 700$  litres ;  $\Delta P_T = 150$  bar ;  $V_B = 12$  litres et  $\Delta P_B = 175$  bar.

On trouve :  $N_B =$  **50 bouteilles**.

### IX-4-3 Temps de recharge des tampons

$$T_{RT} = \frac{N_B \times V_B \times \Delta P_B}{Dr}$$

Avec  $N_B = 50$  bouteilles ;  $V_B = 12$  litres et  $\Delta P_B = 175$  bar et  $Dr = 250$  litres minutes :

On trouve  $T_{RT} = 420$  min ou **7 heures**.

### IX-4-4 Débit nécessaire du compresseur

Inversement, si l'on se fixe un temps de recharge donné, on peut calculer le débit nécessaire du compresseur.

$$Dr = \frac{N_B \times V_B \times \Delta P_B}{T_{RT}}$$

Si l'on veut regonfler les tampons en 300 min, le débit nécessaire est :

$Dr = 50 \times 12 \times 175 / 300 = 350$  litres / min ou : **21m<sup>3</sup>/heure**

### IX-5 Gonflage par palier

#### IX-6 Gonflage avec compresseur et tampons

Avec ce type de gonflage, on passe par plusieurs phases. Au début, on suppose le compresseur arrêté et les tampons pleins à leur pression de service. On considère aussi que le débit maximum reste toujours à la même valeur " $D_M$ ".

#### *Première phase :*

Elle s'applique à la quantité d'air contenue dans les tampons jusqu'à ce que, la pression ayant diminuée, le compresseur se remette en marche. Sa durée, sans tenir compte des temps morts est :

$$T_T = \frac{V_T \times \Delta P_P}{D_M}$$

#### *Deuxième phase :*

Après la première phase, le gonflage se fait à la fois avec les tampons et le compresseur. Cette phase s'applique depuis la fin de la précédente jusqu'à ce que la pression dans les tampons atteigne la pression souhaitée des bouteilles. On suppose qu'avec le compresseur le débit maximum reste constant. Les tampons se vident donc avec un débit plus faible. ( $D_M - DR$ ) La durée est de :

$$T_C = \frac{V_T \times (\Delta P_T - \Delta P_P)}{D_M - Dr}$$

### IX-6-1 Temps de gonflage

La somme de ces deux formules donne le temps total de gonflage dont on dispose pour gonfler rapidement. (Tant que la pression tampons est supérieure à la pression nécessaire)

$$Tt = V_T \left( \frac{\Delta P_P}{D_M} + \frac{\Delta P_T - \Delta P_P}{D_M - D_r} \right)$$

Avec :  $V_T = 500$  l/min ;  $\Delta P_P = 30$  bar ;  $\Delta P_T = 150$  bar ;  $D_M = 3000$  l/min

et  $D_r = 500$  l/min ; On obtient : **Tt = 30 minutes.**

On dispose ainsi de  $D_M \times T_t = 90\text{m}^3$  d'air avant d'atteindre la pression souhaitée des blocs.

### IX-6-2 Calcul du volume en eau des tampons

De la formule qui donne le temps total de gonflage, on peut tirer :

$$V_T = \frac{D_M \times T_t \times (D_M - D_r)}{(D_M \times \Delta P_T) - (D_r \times \Delta P_P)}$$

Avec  $\Delta P_P = 30$  bar ;  $\Delta P_T = 150$  bar ;  $D_M = 3000$  l/min,  $D_r = 600$  l/min et  $T_t = 30$  min, on trouverait évidemment  $V_T = 500$  litres.

Mais, si pour une raison quelconque, on ne pouvait utiliser simultanément le compresseur, il faudrait faire  $D_r = 0$  dans la formule. On obtiendrait alors  $V_T = 600$  litres.

Pour disposer du même volume d'air, il faudrait donc ajouter 2 tampons de 50 litres.

### IX-6-3 Nombre de bouteilles gonflables avec les tampons seuls

C'est à dire, tant que la pression des tampons est supérieure à la pression souhaitée des scaphandres.

$$N_B = \frac{T_t \times D_M}{V_B \times \Delta P_B}$$

Avec  $T_t = 30$  min ;  $D_M = 3000$  l/min ;  $V_B = 12$  litres ;  $\Delta P_B = 150$  bar.

On trouve : **Nb = 50 bouteilles.**

*Troisième phase.* On peut considérer qu'après avoir atteint la pression souhaitée des bouteilles à gonfler, les tampons ne servent plus à rien. La vitesse de gonflage se réduit considérablement. En fait, dans ce cas, le compresseur fonctionne sans arrêt. Pendant les temps morts il recharge les tampons.

Les calculs à appliquer sont les mêmes que ceux avec 2 rampes alternées sur compresseur seul.

**En résumé :**

- Pour réduire le temps total de gonflage, avant de prendre un compresseur plus puissant, on peut : faciliter la manipulation des bouteilles, utiliser des tampons, utiliser 2 rampes de gonflage, alternées. Les avantages de ces solutions ne se cumulent cependant pas.
- Il est nécessaire d'arrondir le nombre de bouteilles ou de tampons à la valeur supérieure ou de prendre des marges sur les calculs en fonction de l'évolution prévisible des besoins.

### **IX-6 Gonflage échelonné**

Cette méthode de gonflage consiste à optimiser l'utilisation des tampons dans le but de réduire leur nombre ou d'augmenter le nombre de bouteilles gonflées.

Elle permet d'utiliser un groupe important de tampons en dessous de la pression souhaitée dans les bouteilles puis de terminer le gonflage jusqu'à la pression souhaitée avec un deuxième groupe plus faible de tampons.

#### **Paramètres des calculs et valeurs, à titre d'exemple**

(Avec 2 groupes de tampons, V1 et V2)

Rampes de chargement :	Nr = 6 bouteilles
Bouteilles à charger :	Nb = 60 bouteilles de 15 litres
Nombre de chargements :	Nc = 10
Volume total en eau des tampons (groupe 1) :	V1 = 50 x X = ? litres
Volume total en eau des tampons (groupe 2) :	V2 = 3 x 50 = 150 litres
Volume en eau des bouteilles :	V3 = 60 x 15 = 900 litres
Pression de départ des tampons :	Pt = 340 bar
Pression voulue dans les bouteilles :	Pf = 200 bar
Pression résiduelle moyenne des bouteilles :	Pr = 50 bar (Aléatoire)
Échelonnement de décharge des tampons (1) :	$\Delta P1 = ?$ en bar
Échelonnement de décharge des tampons (2) :	$\Delta P2 = ?$ en bar

#### **Calculs**

##### **Volume total détendu nécessaire dans V3 :**

$$V3 \times Pf = 900 \times 200 = 180000 \text{ litres détendus}$$

##### **V1 contient au départ :**

$$Pt \times P1 = 340 \times 350 = 119000 \text{ litres détendus}$$

##### **V3 contient déjà en réserve :**

$$V3 \times Pr = 900 \times 50 = 45000 \text{ litres détendus}$$

##### **Au dessus de Pf, V2 peut fournir :**

$$(Pt - Pf) \times V2 = (340 - 200) \times 150 = 21000 \text{ litres détendus}$$

**V1 ne doit donc fournir dans V3 que :**

180000 – 45000 – 21000 = 114000 litres détendus

**Chaque tampon de V1 contient au départ :**

(Pt x Pr) 340 x 50 = 17000 litres détendus

**Il faut donc :**

114000 / 17000 = 6,70  $\Rightarrow$  X = 7 (Soit en tout 7 + 3 = **10 tampons**)

**Qui contiennent au total :**

7 x 17000 = 119000 litres détendus

**Volume en fin de décharge dans V1 :**

119000 – 114000 = 5000 litres détendus

**Pression en fin de décharge dans V1 :**

5000 / 350 = 14,286 bar

**V1 se vide par échelons de :**

$\Delta V1 = 340 - 14,286 / 10 = 32,57$  bar

**V2 se vide en 10 étapes de :**

$\Delta V2 = (340 - 50) / 10 = 29$  bar

**Remarques :**

- La difficulté de ce type de gonflage est d'obtenir la pression finale (**Pf**) en respectant les variations de pression des tampons. ( $\Delta V1$  et/ou  $\Delta V2$ )
- D'autre part, il faut connaître : Le volume total maximum en eau des bouteilles à gonfler et surtout leur pression minimum moyenne. (Ce qui n'est pas évident)
- Les manipulations supplémentaires augmentent les temps morts.
- Il est possible d'utiliser plusieurs groupes de tampons en cascade mais la gestion des échelons de pression devient encore plus difficile.
- Il serait bon que les plongeurs notent leur pression résiduelle en sortant de l'eau. Que reste t-il en moyenne pour en tenir compte lors du gonflage ?
- Cette méthode ne peut être utilisée en permanence. Elle peut cependant rendre service pendant certaines opérations comme l'inspection visuelle ou la requalification d'une partie des tampons.

(Ne pas attendre pour entraîner le personnel)

**De toute façon, il faudra prendre des marges de sécurité.**

**IX-7 Gonflage nitrox par transvasements**

Pour fabriquer du nitrox par transvasements, on passe en généralement par les phases suivantes :

- 1) Un premier mélange se trouve dans le bloc. Sa pression est **A** et son taux d'oxygène est **a** %.
- 2) On y a ajoute une pression **B** avec un mélange de taux d'oxygène **b** %. (Le plus souvent de l'oxygène pur ou **b** est donc égal à 100)
- 3) Puis on complète en ajoutant une pression **C** d'un mélange dont le taux d'oxygène est **c** %. (Le plus souvent de l'air naturel ou **c** est donc égal à 21)
- 4) On obtient un mélange final de pression totale **D** et de taux d'oxygène **d** %.

- La première règle de Dalton permet d'écrire :

$$(A \times a) + (B \times b) + (C \times c) = (D \times d)$$

- Les différentes pressions s'ajoutent de telle sorte que :  $D = A + B + C$  et :

$$C = D - A - B$$

En introduisant C dans la première formule on obtient :

$$(A \times a) + (B - b) + (D - A - B) \times c = D \times d$$

D'où l'on tire :

$$B = \frac{D(d-c) - A(a-c)}{(b-c)}$$

**C'est la formule générale de transvasement de trois mélanges A, B et C.**

Cette formulation peut aussi s'étendre à davantage de mélanges à base d'oxygène. La formule peut aussi s'écrire :

$$B = \frac{D(d-c)}{(b-c)} - \frac{A(a-c)}{(b-c)}$$

Où l'on remarque que la première partie de la formule représente l'apport d'oxygène qu'il faudrait faire si la bouteille était vide au départ.

**Exemple I :** Le mélange initial dans la bouteille est différent de celui recherché. On ajoute de l'oxygène pur, puis l'appoint se fait avec de l'air naturel. B et C sont inconnus.

$$(A = 54 ; a\% = 40) - (B = ? ; b\% = 100) - (C = ? ; c\% = 21) - (D = 200 ; d\% = 38)$$

On en tire :

$$B = \frac{(200 \times 17) - (54 \times 19)}{79}$$

**B = 30 bar d'oxygène pur et C = 116 bar d'air naturel.**

**Exemple II :** Au départ, la bouteille est vide. B et C sont inconnus.

$$(A = 0 ; a = 0) - (B = ? ; b\% = 100) - (C = ? ; c\% = 21) - (D = 200 ; d\% = 38)$$

La formule générale se simplifie

$$B = \frac{D(d-21)}{79}$$

D'où l'on tire :

**B = 43 bar d'oxygène pur et C = 157 bar d'air naturel.**

Nous laissons au lecteur le soin d'envisager d'autres cas correspondants à ses besoins.

**Remarques générales :**

- Les calculs ci-dessus sont indépendants du volume de la bouteille.
- Comme nous l'avons déjà vu, ils ne sont applicables qu'en l'absence de détendeurs HP.
- Pour augmenter la précision du transvasement, on a intérêt à disposer de manomètres dont la précision et l'étendue de mesure sont adaptées à chaque niveau de pression à mesurer.
- Pour réduire les risques, comme nous l'avons déjà dit, il est préférable de limiter au maximum la vitesse de transvasement de l'O<sub>2</sub>. Il faut donc savoir prendre son temps. (Revoir aussi le paragraphe [VIII-6](#))
- Quelle que soit la méthode de production d'un mélange, il faut n'utiliser que du matériel parfaitement dégraissé et prévu pour cet usage.
- Après le transvasement d'O<sub>2</sub> et de la quantité d'air suffisante pour obtenir la pression P1, il est indispensable de contrôler la teneur en O<sub>2</sub>.
- La procédure d'utilisation de la lyre doit permettre d'éviter toute remontée de gaz en amont.

**De nombreux auteurs ont créé des tableaux, des fiches ou des programmes informatiques tout prêts qui facilitent les calculs et réduisent les risques d'erreur.**



**Photo 18 - Gonflage en sécurité**

*H. Buis*

## CHAPITRE X

### LA MAINTENANCE

Une fois l'installation d'une station de gonflage terminée, conformément à la réglementation en vigueur, il est recommandé de la surveiller par des visites régulières, au moins tous les ans, après un incident, une réparation, des modifications et aussi souvent que nécessaire.

Le mot maintenance, synonyme d'entretien, est d'origine française, il nous est revenu après un détour outre-Atlantique.

On distingue la maintenance préventive et la maintenance curative. (Ou corrective) Elles s'effectuent à partir de 2 documents : la notice d'entretien qui dit ce qui doit être fait, quand, comment et par qui, le cahier d'entretien sur lequel on enregistre ce qui a été fait, quand, comment et par qui.

#### **X-1 Maintenance préventive**

C'est l'ensemble des opérations nécessaires pour maintenir les performances du matériel, et prolonger sa durée de vie. Elle réduit la probabilité de panne et d'accident. Elle diminue les risques d'indisponibilité de la station.

Certaines normes prévues pour les compresseurs sont transposables aux stations de gonflage. La norme EN1012-1 : 2010 prévoit au chapitre 7 que la documentation doit comporter :

- a) Une notice d'utilisation, voir § 7.2. (Elle doit être conservée en permanence dans la station et être disponible pour les opérateurs)
- b) Une notice d'entretien. (Voir § 7.3)
- c) Une liste des pièces nécessaires à l'entretien. (Voir § 7.4)

La directive 97/23/CE qui sera bientôt transposée en droit français, prévoit dans sa section 6, point "g" que : "L'emplacement et le trajet des tuyaux et des conduites souterraines sont au moins enregistrés dans la documentation technique afin de faciliter l'entretien, l'inspection ou la réparation en toute sécurité".

Il est souhaitable de procéder de même pour les autres équipements qui constituent la station, même si ceci n'est pas mentionné explicitement.

Les exploitants de ces stations ont tout intérêt à conserver les documents remis par les fournisseurs.

Parmi ceux-ci et conformément à l'arrêté du 15/03/2000 Article 9 et Article 24§2 :

- Le dossier descriptif, si les appareils à pression sont fixes.

*(Il est fourni par le fabricant et peut être réclamé pour une requalification)*

- Les P.V. d'épreuve.
- Les documents relatifs aux accessoires de sécurité.
- L'attestation C.E. de conformité.
- La notice d'instruction.

Ainsi que les certificats de visite et les P.V. de requalifications périodiques.

### **X -1-1 La notice d'entretien**

Ou notice d'instruction. Elle est constituée par la réunion d'un certain nombre de documents. Elle doit être créée en collaboration avec l'installateur. Elle est indispensable, en maintenance préventive, en maintenance corrective et pour réaliser des modifications.

- Chaque composant fonctionnel de la station doit posséder une notice d'entretien, fournie par le fabricant. Chacun doit comprendre la liste des opérations à effectuer et les procédures à suivre pour le maintenir en bon état.
- Certaines parties n'ont ni notice, ni procédure de contrôle. Il faut donc éventuellement les réaliser, même succinctement.
- D'autres encore sont soumises à des vérifications ou des épreuves dont il n'est pas fait mention dans leur notice. Il faut les répertorier.
- Il faut y joindre un descriptif et un schéma d'implantation de l'installation sur lequel seront représentés tous les blocs fonctionnels qui la composent. Certains détails importants de l'installation, comme les canalisations, pourront faire l'objet de schémas séparés. Ces schémas devront être constamment tenus à jour par l'installateur.

### **X -1-2 Le cahier d'entretien**

L'inspection régulière d'une station permet de s'assurer qu'elle est en bon état et ne présente pas de dangers, que les documents nécessaires à sa vérification sont présents et bien à jour, que les entretiens périodiques, les vérifications et épreuves réglementaires sont bien effectués.

Pour faciliter cette inspection, il est utile de réaliser des fiches suivant les types de contrôles à effectuer, leur périodicité ou les moyens nécessaires. Ces fiches

permettent de ne rien oublier. Elles peuvent se présenter sous forme de tableaux sur lesquels, l'inspecteur ajoutera son nom, la date et les commentaires appropriés.

Au cours de l'inspection annuelle, on vérifiera que les autres inspections périodiques sont bien effectuées, par exemple :

- Les guides d'entretien périodique fournis par les fabricants.
- Les vérifications ou requalification des équipements soumis à réglementation, tels que les bouteilles tampons et éventuellement les filtres et les décanteurs.

La bonne tenue du cahier d'entretien permet aussi de programmer les vérifications ou requalification de ces équipements, pour éviter de gêner l'exploitation de la station.

Les fiches d'inspection doivent comporter toutes les opérations de contrôle à effectuer. Chaque opération peut elle-même demander la vérification d'éléments, suivant une liste ou faire appel à une procédure qui se trouve dans la notice d'entretien.

L'ensemble des fiches d'inspection constitue la partie maintenance préventive d'un cahier d'entretien dont la tenue est rendue obligatoire et qui prévoit en outre qu'il doit être tenu à la disposition des agents chargés de la surveillance des appareils à pression.

Chaque station est unique, il n'est donc pas possible de réaliser des fiches d'inspection type. Nous donnons ci-dessous des listes non exhaustives d'inspections à réaliser. Elles aideront les responsables à établir des fiches spécifiques.

Toute modification de l'installation nécessite l'adaptation des fiches correspondantes. Il est recommandé d'établir certaines de ces fiches en collaboration avec l'installateur et les fabricants des équipements.

### **X -1-3 Fiches d'inspection**

#### ***Inventaire***

##### **Les documents :**

1. Dossier d'installation et de modifications, à jour (liste des plans) ;
2. Cahier d'entretien, à jour ;
3. Rapports de vérifications et d'épreuves ;
4. Notices et consignes d'utilisation disponibles dans la station (liste) ;
5. Dossier d'assurance.

**Le matériel :**

6. Sous-ensembles de la station (liste) ;
7. Outillage (liste) ;
8. Mobilier (liste) ;

**Les consommables :**

9. Pièces de rechange (liste et quantité) ;
10. Ingrédients. (Liste et quantité)

**Le local :**

1. Propreté ;
2. Accessibilité des équipements ;
3. Fermeture des portes ;
4. Fermetures des armoires ;
5. Disponibilité des clés et de leurs références.
6. Fonctionnement du système d'alarme. (Anti intrusion)

***Affichage :***

1. Présence des panneaux de consignes (suivant modèles ou à créer) ;
2. Plan d'évacuation (suivant modèle ou à créer) ;
3. Présence des panneaux de signalisation de dangers éventuels (suivant modèles ou à créer) ;
4. Emplacement des extincteurs ;
5. Tableau de maintenance périodique du compresseur.

***Compresseurs (compléments) :***

1. Ventilation et aération du compresseur ;
2. Propreté, fixation, bruits suspects ;
3. Présence des organes de protection ;
4. Tension des courroies ;
5. Niveau d'huile, consommation, fuites éventuelles ;
6. Vidanges ;
7. Réglage haut et bas du pressostat ;
8. Fonctionnement du programmateur ;
9. Valeurs des pressions inter étages ;

10. Vérification du débit de remplissage ;
11. Relevé des différents compteurs : heures, électricité et eau ;
12. Soupapes de sûreté des différents étages.
13. Étanchéité du compresseur ou de l'installation

***La sécurité :***

1. Arrêt / Marche ;
2. Arrêts d'urgence ;
3. Éclairage de secours ;
4. Accessibilité des extincteurs, dates de contrôle ;
5. État de la pharmacie, accessibilité, fournitures manquantes ou périmées ;
6. Qualité de l'air. (avec une mallette spécialisée) \*

***Filtration :***

1. Prise d'air ;
2. Conduite d'arrivée de l'air ;
3. Filtre d'entrée ;
4. Décanteurs ;
5. Fonctionnement des purges manuelles ou automatiques ;
6. Récupération des condensats ;
7. Remplacement des médias filtrants ;
8. Vérifications des filtres \* (rapports) ;
9. Épreuves des filtres \*\* (rapports) ;
10. Fonctionnement et pression du déverseur ;
11. Fonctionnement des clapets anti-retour.

***Stockage :***

1. Vérifications des bouteilles tampons avec leurs soupapes de sûreté \* (rapports) ;
2. Épreuves des bouteilles tampons avec leurs soupapes de sûreté \*\* (rapports)
3. Fixation, isolement des bouteilles tampons ;
4. Absence d'eau à la purge des tampons ;
5. Corrosion externe des bouteilles tampons ;
6. Corrosion externe des filtres.

***Distribution, commande, raccordement :***

1. Canalisations, points de corrosion, d'usure, de vibration, de fuite d'air ;
2. Manœuvrabilité de toutes les vannes, identification et accessibilité ;
3. Mesures de pression, manomètres \* ;
4. État des flexibles, des raccords ; (Étriers ou D.I.N.)
5. Fonctionnement des purges d'air ;
6. Mesures mises en place pour éviter le fouettement des flexibles ;
7. Soupapes de sûreté des rampes.

***Électricité :***

1. Éclairage ;
2. Interrupteurs ;
3. Prises de courant ;
4. Raccordement au réseau électrique \* ;
5. Système de sécurité, fusibles, disjoncteur différentiel \* ;
6. Boîtier électrique, prise de terre, isolation, continuité des masses \* ;
7. Relevé du compteur électrique.

**Nota :** \* Ces opérations nécessitent une formation et un outillage approprié.

\*\* Ces opérations nécessitent de passer par un organisme habilité.

**X -1-4 Le cahier de gonflage**

Il sert à enregistrer toutes les séances de gonflage effectuées. On notera à chaque fois : le nombre de bouteilles gonflées, la date, les incidents éventuels, le nom et la signature de l'opérateur.

**X -1-5 L'inspecteur**

La visite et les travaux associés peuvent, bien entendu, être demandés à un professionnel compétent. Cependant, après une formation complémentaire adaptée, un bon technicien possédant une formation mécanique de base ou, un T.I.V, est capable d'effectuer une bonne partie de ces inspections.

Il peut réaliser certains travaux simples comme le nettoyage des équipements, la vidange d'huile, le remplacement des médias filtrants, la vérification, le nettoyage de la prise d'air et du filtre d'entrée. Pour cela, il utilise la documentation du constructeur prévue à cet effet.

Il faut noter que, dans les cas difficiles, l'inspecteur n'a pas à prendre de décision mais simplement à faire des rapports. Si une avarie ou une anomalie

est constatée, il doit la signaler aux responsables qui décideront des mesures à prendre. Cependant, dans le cas d'un danger immédiat, il peut demander l'arrêt et éventuellement la fermeture de la station.

Après une formation de 2 ou 3 jours chez un fabricant, ce technicien devient capable d'utiliser des appareils simples pour effectuer des réglages, vérifier les pressions d'huile, les circuits électriques, les isolements et la qualité de l'air.

Il peut aussi effectuer des travaux plus importants comme le nettoyage ou le remplacement des clapets, des segments, le changement d'huile, la mise en chômage prolongé, la visite des volumes sous pression : décanteurs, filtres et tampons. Ces travaux peuvent nécessiter un outillage spécifique. Un tel stage coûte quelques centaines d'euros.

### **X -1-6 Maintenance préventive par composant**

Certains éléments et certaines opérations nécessitent des soins particuliers qu'il est important de souligner.

#### ***Filtres d'entrée***

A chaque contrôle, tourner le papier filtre d'un quart de tour pour prolonger sa durée de vie et conserver son efficacité. En atmosphère très poussiéreuse, nettoyer les filtres toutes les 8 heures. Pour ce nettoyage, ne jamais utiliser de produits inflammables.

#### ***Manomètres***

Si une indication est mauvaise et qu'on ne trouve pas de panne, il faut vérifier le manomètre avec un manomètre référence. Voir la norme EN837-1 et l'article 4 de l'arrêté du 15/01/62. Il est souvent moins onéreux de le remplacer, à moins de le vérifier soi même avec un manomètre dont on est sûr.

#### ***Soupape de sûreté***

En cours de gonflage, vérifier que la pression de service n'est jamais dépassée sans que la soupape ne s'amorce. Puis, fermer toutes les sorties de la rampe, ouvrir en grand son alimentation et vérifier que la soupape débite sans que la pression de sortie ne dépasse de plus de 10% la pression de service prévue.

En présence d'un détendeur HP

Attention certaines soupapes ne supportent pas de tests fréquents, se renseigner. Selon l'arrêté du 4 décembre 1998, les vérifier aussi souvent que les volumes qu'elles protègent et les faire ré étalonner à chaque requalification.

#### ***Tuyauterie***

Dépressuriser tous les circuits puis resserrer les raccords de tuyauterie après les 30 premières heures de fonctionnement.

### ***Courroies***

Vérifier la tension des courroies après les 10 premières heures de marche. Suivre la procédure indiquée par le fabricant avec l'outillage approprié. (*Pour donner une idée approximative, en appuyant fortement avec le pouce au milieu d'une courroie, la flèche doit se situer entre 5 et 10 mm*)

### ***Segments***

Les segments ont un ordre et un sens de montage bien déterminé. Attention à bien les remettre dans l'ordre et le sens prévu.

### ***Décanteurs***

L'entrée des séparateurs est souvent équipée, à l'intérieur, d'un filtre en bronze fritté pour éliminer les poussières résiduelles et les particules métalliques qui proviennent de l'usure de l'étage précédent. Ces éléments, pourtant peu accessibles, doivent être nettoyés périodiquement dans une solution savonneuse ou vinaigrée, chaude et dégraissante. Ils doivent être remplacés régulièrement suivant les indications du fabricant.

### ***Purge automatique***

Vérifier qu'entre les purges, il n'y a pas de fuite d'air à la sortie des condensats. Cela montre que l'un des pistons clapets ne se ferme pas correctement. La conséquence est que la pression de sortie monte difficilement ou pas du tout.

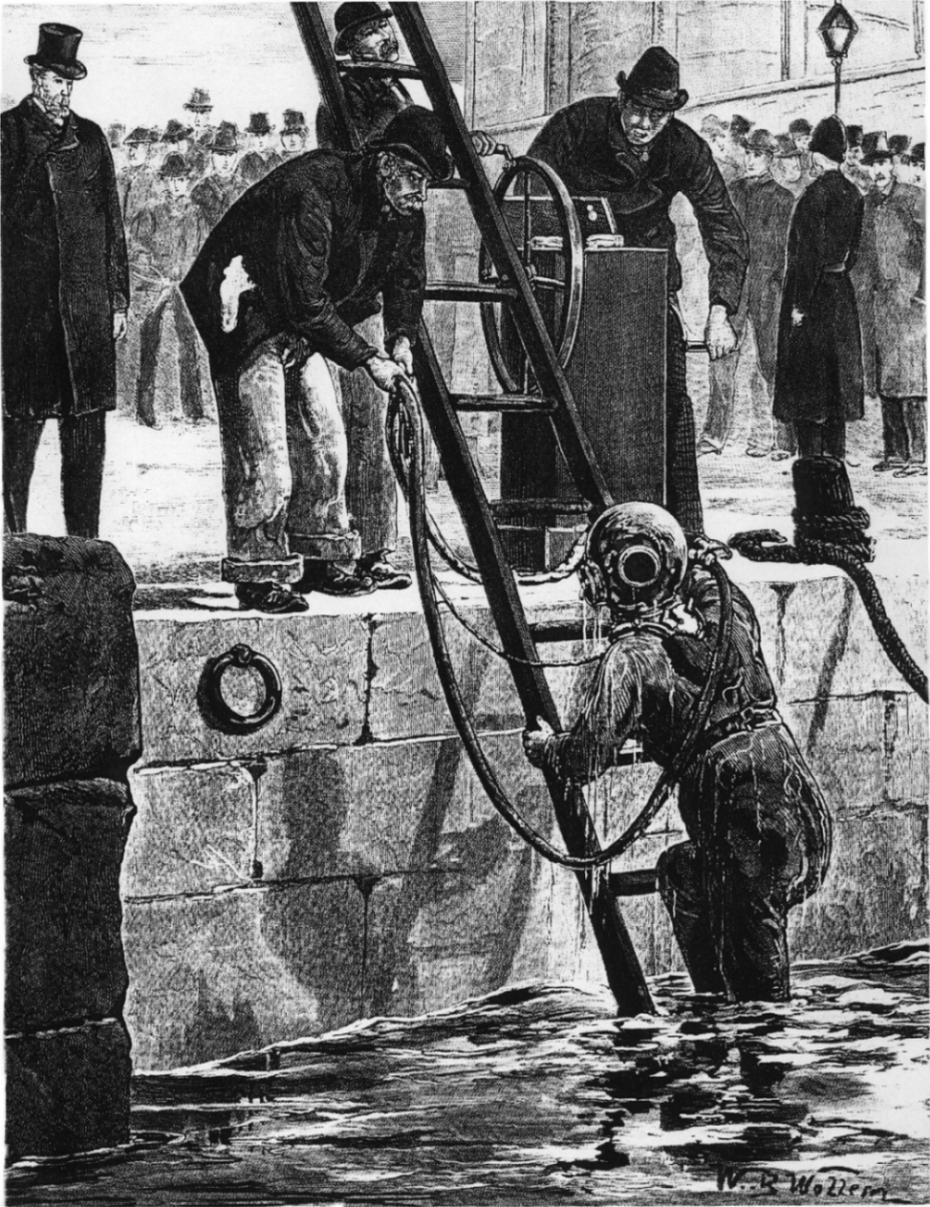
### ***Filtres***

Si on remplace soi-même les médias filtrants en granulés dans les filtres, il ne faut pas trop les tasser car cela conduit à favoriser des chemins préférentiels de l'air le long des parois. Dans ce cas, la partie centrale peut ne pas être empruntée par l'air. Bien remettre les feutres et les grilles de séparation dans le bon ordre, sous peine de retrouver les médias filtrants dans les tuyaux et à la sortie.

### ***Tampons***

L'arrêté du 07/11/2017 dit que l'on doit procéder à leurs vérifications, aussi souvent que nécessaire. Par exemple lorsqu'on les déplace, quand des condensats y ont séjourné ou que l'on y trouve régulièrement de l'eau en les purgeant. Les Techniciens en Inspection Visuelle peuvent vérifier les bouteilles tampons pour s'assurer de leur état.

Cependant ces vérifications n'apportent aucun allègement de la réglementation en vigueur en ce qui concerne les requalifications. L'appel à un professionnel est recommandé. La dépose de tampons nécessite plusieurs personnes car certaines pèsent près de 100 kg.



*Gravure 19 - Sortie d'un scaphandrier*

L'opérateur vérifiera les bouteilles tampons comme pour les bouteilles de scaphandre. Il établira une fiche particulière pour chaque tampon.

Le plus grand soin doit être apporté à la déconnexion et à la reconnexion des canalisations pour éviter d'endommager les filetages des raccords. Les filetages des cols, parfois coniques, nécessitent une clé dynamométrique pour le remontage.

Les bouteilles tampons doivent être purgées régulièrement pour s'assurer qu'il n'y a pas d'eau à l'intérieur. Elles doivent être vidées, si elles ne sont pas utilisées pendant plus de 3 mois pour éviter le développement des bactéries.

### Exemple de guide d'entretien périodique d'un compresseur

<b>CONSIGNES</b> (Toutes les X heures)	10	60	70	100	500	1000	2000	5000
Vérifier le niveau d'huile moteur et compresseur à chaque mise en route et suivant le cycle ci-contre.	X							
Effectuer la purge du déshuileur et changer la cartouche.		X						
Effectuer la purge du désodoriseur et changer la cartouche.		X						
Effectuer la purge du sécheur et changer la cartouche.		X						
Nettoyer les filtres d'aspiration du compresseur et éventuellement du moteur			X					
Démonter et nettoyer le clapet moyenne pression.				X				
Vidanger le moteur et le compresseur.			X					
Nettoyer les ailettes de refroidissement du moteur du compresseur et des réfrigérants.				X				
Vérifier l'étanchéité des soupapes de sûreté avec un produit utilisé par les plombiers pour le gaz.				X				
Vérifier la tension des courroies.			X					
Nettoyer le circuit d'air et les décanteurs. Changer les joints des décanteurs.					X			
Vérifier les segments et les changer si nécessaire.							X	
Graisser les roulements du moteur électrique.								X
Échange standard des blocs clapets aspiration et refoulement.					X			
Échange standard de la plaque à clapet M.						X		
Échange standard des plaques à clapets B							X	

### **X -1-7 Guide d'entretien périodique**

Le tableau ci-dessus donne quelques consignes d'entretien périodique qui peuvent s'appliquer à un grand nombre de compresseurs. Il est cependant préférable d'utiliser celles du constructeur quand elles existent.

Quand on utilise un moteur thermique, il y a lieu d'en suivre les consignes particulières de maintenance. (*Ne pas oublier de vérifier son niveau d'huile*)

#### **Ne pas confondre les huiles.**

*- Les huiles minérales ne sont pas compatibles avec les huiles de synthèse.*

*- Les huiles utilisées pour les moteurs thermiques sont incompatibles avec le fonctionnement des compresseurs.*

#### ***Appoint en huile***

Le niveau d'huile d'un compresseur doit faire l'objet d'une surveillance étroite. Il faut pratiquement le vérifier à chaque mise en marche si celle-ci est manuelle ou à intervalles réguliers lorsque le démarrage est automatique. Attention à bien utiliser la même huile. Il est préférable de faire l'appoint plus souvent mais de ne jamais dépasser le niveau max.

#### ***Vidanges de l'huile***

Les vidanges d'huile doivent se faire à intervalles réguliers suivant les recommandations du constructeur.

Faire tourner le compresseur pendant 15 minutes puis, quand elle est chaude, arrêter le compresseur et vidanger l'huile en la laissant s'écouler pendant 10 nouvelles minutes. Refermer le robinet de vidange.

Refaire le plein, avec le même type d'huile que le précédent, en y mettant la quantité recommandée. Si l'on en a trop mis, ne pas hésiter à vidanger le trop plein. D'où l'intérêt d'un robinet plutôt que d'un bouchon. Remettre en marche et s'assurer qu'il n'y a pas de fuite.

L'huile s'oxyde avec le temps. Elle se combine avec l'oxygène de l'air, ce qui lui fait perdre ses propriétés. Il est donc indispensable de la changer au moins une fois tous les ans même si le compresseur n'est pas utilisé. Il faut aussi éviter de laisser l'huile en contact avec l'air, par exemple dans des bidons ouverts.

#### ***Changement d'huile***

Lorsqu'on utilise plusieurs compresseurs, il peut être souhaitable d'harmoniser les huiles utilisées pour éviter les problèmes de stockage, d'approvisionnement et les erreurs de mélange.

***Lorsqu'on veut remplacer l'huile minérale par de l'huile synthétique, il est indispensable de prendre un certain nombre de précautions.***

La procédure suivante est tirée de la documentation BAUER :

- Faire tourner le compresseur pendant 15 minutes puis vidanger l'huile quand elle est chaude. - Remplacer ou nettoyer le filtre à huile, les clapets, les refroidisseurs, les séparateurs et épurateurs. - Nettoyer toutes les conduites et tous les tuyaux du système pneumatique de sorte qu'ils soient exempts de dépôts. - Verser de l'huile synthétique dans le bloc compresseur.

- Après environ 100 heures de service, nettoyer ou remplacer le filtre à nouveau. S'il est très encrassé, contrôler la qualité de l'huile ; si l'huile est usée, la vidanger à nouveau. N'utiliser que la même huile pour les vidanges ultérieures.

- Avant chaque remise en fonctionnement, faire tourner le compresseur quelques tours à la main et, une fois démarré, purger le circuit d'huile pour éliminer les bulles d'air.

### ***Chômage prolongé***

On appelle ainsi les arrêts prolongés. (Plus d'un an) Pour préserver le compresseur pendant ces arrêts, il faut le conditionner. Cela consiste, à défaut d'autre information :

- À vider complètement l'huile du carter et à la remplacer par de l'huile neuve.

- À mettre un verre de cette même huile à l'aspiration et à le faire tourner pendant 5 minutes.

- À arrêter le compresseur.

- À le purger de tout l'air comprimé qui s'y trouve.

- À refermer les purges et la sortie.

(On protège ainsi les cylindres contre d'oxydation)

Pour la remise en marche, on vidange à nouveau l'huile, on la remplace par de l'huile neuve et on démarre le compresseur sous surveillance. La remise en marche d'un compresseur destiné aux mélanges et plus particulièrement au Nitrox exige des précautions particulières.

### **Dans tous les cas, il vaut mieux consulter le fabricant et utiliser ses recommandations.**

L'idéal consisterait à remplir tous les circuits d'azote pour prévenir l'oxydation.

### **X -2 Maintenance curative**

On l'appelle aussi, maintenance corrective. Elle est constituée par l'ensemble des opérations nécessaires pour ramener à l'état initial un matériel qui est tombé partiellement ou totalement en panne.

Elle se distingue de la maintenance préventive par le fait que le technicien doit effectuer un diagnostic le plus précis possible avant de commencer les travaux. Les fabricants fournissent des tableaux d'aide au dépannage pour les compresseurs. (Voir un exemple en fin de chapitre)

On trouvera aussi, dans la notice d'entretien, des vues éclatées permettant d'identifier les pièces. Ces vues, avec les plans d'installation, faciliteront les diagnostics de panne. Le cahier d'entretien s'avérera là aussi précieux pour conserver la mémoire des opérations effectuées.

Dans bien des cas ce document est constitué par un cahier ordinaire sur lequel sont rapportés toutes les inspections et travaux exécutés, avec la date et le nom de l'intervenant.

Avant de procéder à l'analyse des pannes et de leurs causes probables, on suppose que les conditions normales d'exploitation sont réunies, à savoir :

La température ambiante est comprise entre les limites prescrites, par exemple de -10 à 45°C ;

- L'alimentation électrique n'est pas coupée ;
- Le câblage électrique n'a pas été accidentellement modifié ;
- Le lubrifiant utilisé est bien celui préconisé et des condensations n'ont pas perturbé le graissage ;
- Le graissage est normalement effectué ;
- Le sens de rotation du compresseur est correct.

Avant tout démontage important, il est utile de nettoyer le compresseur au "Karcher" à eau chaude. Il faut ensuite sécher l'ensemble puis repérer les pièces et leur position de montage avec des feutres de couleurs pour éviter toute erreur au remontage.

En outillage on peut prévoir, à cet effet, une soufflette qui permettra de nettoyer l'installation à partir d'une bouteille et d'un détendeur moyenne pression.

Un compresseur ou une station de gonflage a été défini par un fabricant ou un installateur en fonction de normes de constructions précises. Toute modification ne doit être faite qu'après avis du fabricant ou au moins d'un spécialiste. L'installation doit rester conforme au descriptif du fabricant.

**Tout bricolage doit être interdit.**

(Si vous avez des idées de génie, vendez-les à un constructeur)

### **X -2-1 Maintenance corrective par composant**

Certains composants nécessitent des précautions particulières pour leur dépannage.

### ***La tuyauterie***

Toute trace de corrosion doit être nettoyée puis inspectée attentivement. Toute déformation accidentelle ou due à la pression doit donner lieu à l'échange de la pièce en cause.

Une portion de tuyau endommagée doit être coupée et remplacée avec les raccords appropriés.

### ***Détection des fuites***

Il est plus facile et surtout moins dangereux de rechercher les fuites d'un compresseur quand il est arrêté. Pour cela, on démarre le compresseur à froid, purges fermées, le temps d'atteindre quelques dizaines de bars, puis on l'arrête le temps de trouver la fuite au bruit ou mieux, avec un produit spécialisé comme en utilisent les plombiers.

Ne pas oublier d'ouvrir ensuite les purges avant de redémarrer. Avant toute intervention, couper l'alimentation, libérer la totalité de l'air comprimé contenu dans l'unité, laisser refroidir l'installation. Sinon il peut y avoir des risques au démontage.

**On ne doit jamais serrer ou desserrer un assemblage qui fuit  
lorsque l'installation est sous pression.**

### ***Soupapes de sûreté***

Quand une soupape de sûreté fuit, à la sortie d'un étage de compression, on doit en rechercher la cause au niveau du clapet d'aspiration de l'étage suivant.

Quand une soupape de sûreté, montée sur des bouteilles tampons reliés entre elles, fuit anormalement, il faut dépressuriser toutes les bouteilles associées avant de démonter la soupape.

**Attention** : Lorsqu'une soupape de sûreté fuit, elle se refroidit et se couvre de givre. Bien que la pression ait diminué en dessous de la pression de réglage, il peut arriver qu'elle ne se referme pas, On peut ainsi vider accidentellement tout ou partie de l'air des tampons.

### ***Purges***

Si un système de purge automatique fonctionne mal, il n'est pas toujours facile de s'en apercevoir immédiatement. Le séparateur correspondant peut se remplir d'eau, celle-ci est alors aspirée par l'étage suivant dont on risque alors de détruire les clapets. Pour pallier cela, il faut de temps en temps actionner les purges manuelles prévues par certains constructeurs.

Si l'une d'entre elles laisse échapper beaucoup d'eau, plus d'un verre par exemple, c'est que le clapet est bloqué en position fermée. Par contre si la pression ne monte pas et qu'il y a fuite permanente c'est qu'il est bloqué en position ouverte.

### ***Moteur triphasé***

- Attention : sur certains modèles de compresseur, l'inversion du sens de rotation peut stopper l'alimentation en huile et entraîner un grippage mécanique.
- Le moteur doit être protégé par des disjoncteurs différentiel et thermique.

### ***Recommandations :***

Pendant les opérations de maintenance des mesures doivent être prises pour éviter la mise en marche. (Par exemple coupe-circuit à clef, affichage de l'opération en cours par un panneau de signalisation) Voir les panneaux normalisés dans l'annexe B de la norme 1012-1 : 2010.

Lorsqu'un groupe électro-compresseur est en fonctionnement automatique, on ne doit intervenir qu'après avoir coupé de façon permanente l'alimentation électrique et pris des garanties, par exemple en enlevant les fusibles, pour qu'un tiers ne puisse pas rétablir le courant.

### **Après chaque opération de maintenance**

**Toutes les sécurités et protections doivent être remises en place, en état de fonctionnement.**

### **X -2-2 Télé dépannage**

En cas de difficultés, n'hésitez pas à consulter le service après-vente du fabricant qui pourra vous aider à réparer par vos propres moyens en orientant vos recherches par téléphone. Il pourra, en cas de réelle difficulté, vous détacher un technicien.

Il existe cependant des systèmes utilisant un ordinateur, des modems et une liaison téléphonique. Ils permettent, dans le monde entier, de mettre le boîtier électronique de la machine en relation avec un spécialiste, chez le fabricant. Ceci lui permet d'étudier la panne à distance et de donner au technicien, sur place, les moyens de dépanner, dans certaines limites évidemment. Ces systèmes sont d'un prix élevé et pas à la portée de la plupart des clubs.

### **X -2-3 Guide de dépannage des compresseurs**

Le guide donné ci-après, comme exemple, peut être utile mais il ne s'adapte pas à tous les compresseurs et il vaut mieux se fier à celui du constructeur. Pour les autres parties de la station, on peut bâtir soi-même des tableaux avec l'installateur. Pour être efficace, il faut d'abord connaître parfaitement la disposition et le fonctionnement de chaque élément. Pour la recherche des fuites, par exemple, on procède souvent par isolations successives des fonctions en utilisant les schémas fonctionnels qui se trouvent dans la notice d'entretien. Seule une connaissance approfondie et une longue expérience peuvent permettre de trouver certaines pannes.

**X-2-5 Exemple de guide de dépannage**

DÉFAUT	CAUSE PROBABLE	REMÈDE
Excès de pression inter étage.	1 Anomalie sur le clapet d'aspiration de l'étage suivant.	Vérification du clapet suspect dont l'étanchéité et le fonctionnement peuvent être compromis par une particule ou une pièce cassée.
	2. Manomètre.	Comparer les indications données par le manomètre douteux à celles d'un manomètre référence.
Excès de pression finale.	1. Régulation.	Vérifier la pression de coupure du pressostat de régulation.
	2. Manomètre.	Comparer les indications données par le manomètre douteux à celles d'un manomètre référence.
Pression ou débit insuffisant	1. Filtre d'aspiration, bouché ou colmaté.	Vérifier, nettoyer et remonter.
	2. Clapet d'aspiration du 1 <sup>er</sup> étage défectueux.	Vérifier, nettoyer ou changer et remonter.
	3. Fuite sur compresseur ou réseau.	Vérifier que les purges du compresseur sont bien fermées. Vérifier le réseau en aval du compresseur, stopper et resserrer les raccords.
	4. Usure des ensembles cylindre/piston /segments.	Cette usure se détecte généralement par des fuites importantes par le reniflard du carter. Si ces fuites sont constatées, démonter et vérifier les segmentations.
	5. Anomalie de transmission.	Vérifier état et tension des courroies. Les changer éventuellement ou procéder au réglage de leur tension.
	6. Soupape non étanche.	Changer la soupape.
	Anomalie de clapet.	Vérifier, nettoyer ou changer éventuellement.
Échauffement anormal.	1. Taux d'utilisation admissible dépassé.	Demander conseil au fabricant.
	2. Le compresseur est mal refroidi.	Vérifier la température ambiante. Elle ne doit pas dépasser 45°.

DÉFAUT	CAUSE PROBABLE	REMEDE
Échauffement anormal.	3. Les ailettes des cylindres et (ou) des réfrigérants encrassées.	Nettoyer
	4. Anomalies de clapet.	Vérifier, réparer ou changer.
	5. Sens de rotation incorrect.	Inverser 2 phases de réseau.
Niveau sonore anormal.	1. Transmission de vibration aux tuyauteries.	Vérifier la liaison compresseur / réservoir. Fixer correctement les tuyaux.
	2. Niveau d'huile trop bas.	Faire le niveau d'huile.
	3. Désalignement de la transmission moteur compresseur	Vérifier que la rotation est facile à la main, réaligner.
Augmentation du temps de marche du compresseur.	1. Augmentation des besoins.	Analyser l'évolution des besoins, doubler éventuellement le compresseur.
	2. Fuite importante sur réseau.	Vérifier, étancher.
	3. Fuite sur circuit d'air au travers du compresseur.	Vérifier, étancher.
	4. Vitesse de rotation accidentellement réduite.	Vérifier.
Usure excessive.	1. Air aspiré par le compresseur chargé de poussières abrasives.	Vérifier la prise d'air et le filtre d'entrée.
	2. Présence d'eau dans l'huile du carter.	Vérifier le bon fonctionnement des purges automatiques ou faire des purges manuelles plus fréquentes. Remplacer l'huile polluée.
	3. Anomalie de transmission.	Vérifier l'alignement, la tension et l'état des courroies.
	4. Manque d'huile.	Faire l'appoint.
Démarrage impossible.	1. Cause moteur.	Voir la notice du moteur. Essayer courroies enlevées.
	6. Grippage du compresseur ou entrave mécanique	Si la rotation à la main est impossible ou difficile, il faut remplacer les pièces incriminées.
	3. Défaut d'alimentation ou anomalie de régulation.	Localiser et réparer.

### **X -2-4 En cas d'accident**

Malgré toutes les précautions prises la probabilité d'accident n'est jamais nulle. La collecte d'information est donc très importante c'est pourquoi sont prévues entre autres les dispositions suivantes :

*- L'utilisateur d'un équipement sous pression doit porter immédiatement à la connaissance du préfet :*

*1 Tout accident occasionné par un équipement sous pression ayant entraîné mort d'homme ou ayant causé des blessures ou des lésions graves.*

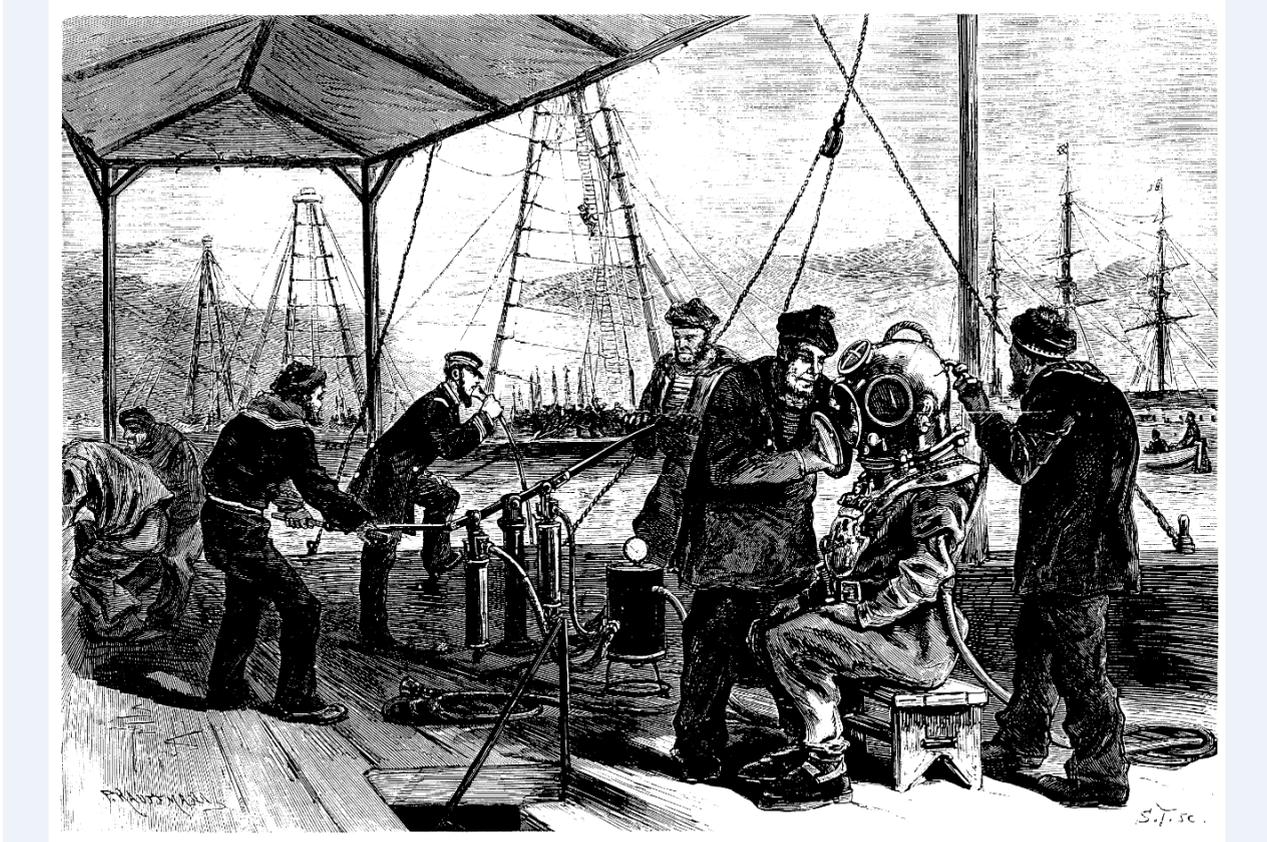
*2 Toute rupture accidentelle sous pression d'un équipement sous pression s'il s'agit d'un équipement soumis à des opérations de contrôle en service par application de l'article 18.*

*La même obligation s'impose au fabricant et aux organismes ou organes habilités s'ils ont connaissance de l'accident.*

*Sauf en cas de nécessité justifiée, il est interdit de modifier l'état des lieux et des installations intéressées par l'accident avant d'en avoir reçu l'autorisation du préfet.*

*Le préfet adresse un rapport d'enquête au ministre. Au cours de cette enquête, le propriétaire est tenu de fournir tous éléments relatifs à l'équipement sous pression à l'origine de l'accident et à ses conditions d'utilisation.*

\*\*\*\*\*



*Gravure 20 - Préparatifs avant la plongée, épave du Magenta.  
Équipement français Denayrouze 1875*

## CHAPITRE XI

### ANNEXES

#### **XI-1 Normalisation**

Ce sujet très vaste ne peut être complètement traité ici. On peut cependant rapprocher la responsabilité du personnel en matière d'entretien des stations de gonflage de celle des « Techniciens en Inspection Visuelle » (T.I.V.) concernant l'entretien et la surveillance des bouteilles de plongées.

#### **Arrêté du 20 novembre 2017**

Cet arrêté est entré en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2018. Il remplace et abroge les textes antérieurs et regroupe tous les aspects concernant les équipements sous pression.

#### **Qualité de l'air**

Norme Européenne EN12021 Juin 2014 – QUALITÉ DE L'AIR COMPRIMÉ RESPIRABLE						
O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	Eau liquide	Vapeur d'eau	Lubrifiant	Odeur et goût
21±1% en volume d'air sec	1,5ml/m <sup>3</sup> soit 5 ppm	500ml/m <sup>3</sup> soit 500 ppm	Point de rosée < -5°C Sinon < -11°C	50mg/m <sup>3</sup> de 40 à 200 bar 35mg/m <sup>3</sup> pour plus de 200 bar	0,5mg/m <sup>3</sup> gouttelettes ou brouillard	Sans (Inspide)

Le tableau ci-dessus donne les chiffres les plus significatifs pour cette norme. Pour une bonne interprétation, il y a toutefois lieu de se procurer le document complet auprès de l'AFNOR.

« [Lien vers la Boutique AFNOR](#) »

#### **XI -2 Réglementation relative aux mélanges**

Elle a pris son plein effet en novembre 2008 avec des conséquences multiples, tant sur les installations que sur le matériel individuel de plongée.

Le risque principal résulte de la préparation du mélange. Il faut noter que la législation française sur la manutention de l'O<sub>2</sub> est exigeante. (Voir l'arrêté de 1991 du Ministère du Travail, les articles L152 et L596 du code de la santé ainsi que les autorisations de mise sur le marché "AMM" Article L 601)

Beaucoup de pays étrangers n'ont pas de réglementation ou la prennent à la légère. Nous avons pu ainsi voir des installations où de l'oxygène industriel parfois suivi d'un filtre mais sans mélangeur est injecté à l'entrée d'un compresseur classique. Pour se couvrir, ceux qui utilisent de telles installations se limitent à un mélange à 32% d'O<sub>2</sub>. En plus, la teneur n'est vérifiée qu'une fois, juste avant l'utilisation.

Il est bon de noter que l'utilisation opérationnelle des mélanges est soumise à une réglementation particulière qui n'est pas l'objet de cet ouvrage.

***Les normes et les règlements peuvent changer***

*Le lecteur devra donc s'informer et s'assurer que les documents dont il dispose sont bien à jour.*

*Quand une norme AFNOR devient obsolète, elle est repérée par le repère « **⊖ ANNULÉE** » suivi de la date correspondante.*

### **XI-3 Tableaux divers**

#### **X-3-1 Différents symboles normalisés (*Voir figure 51*)**

Dans le but de faciliter la compréhension des documents par les fabricants, les installateurs et les utilisateurs, une normalisation des différents éléments qui les composent a été créée.

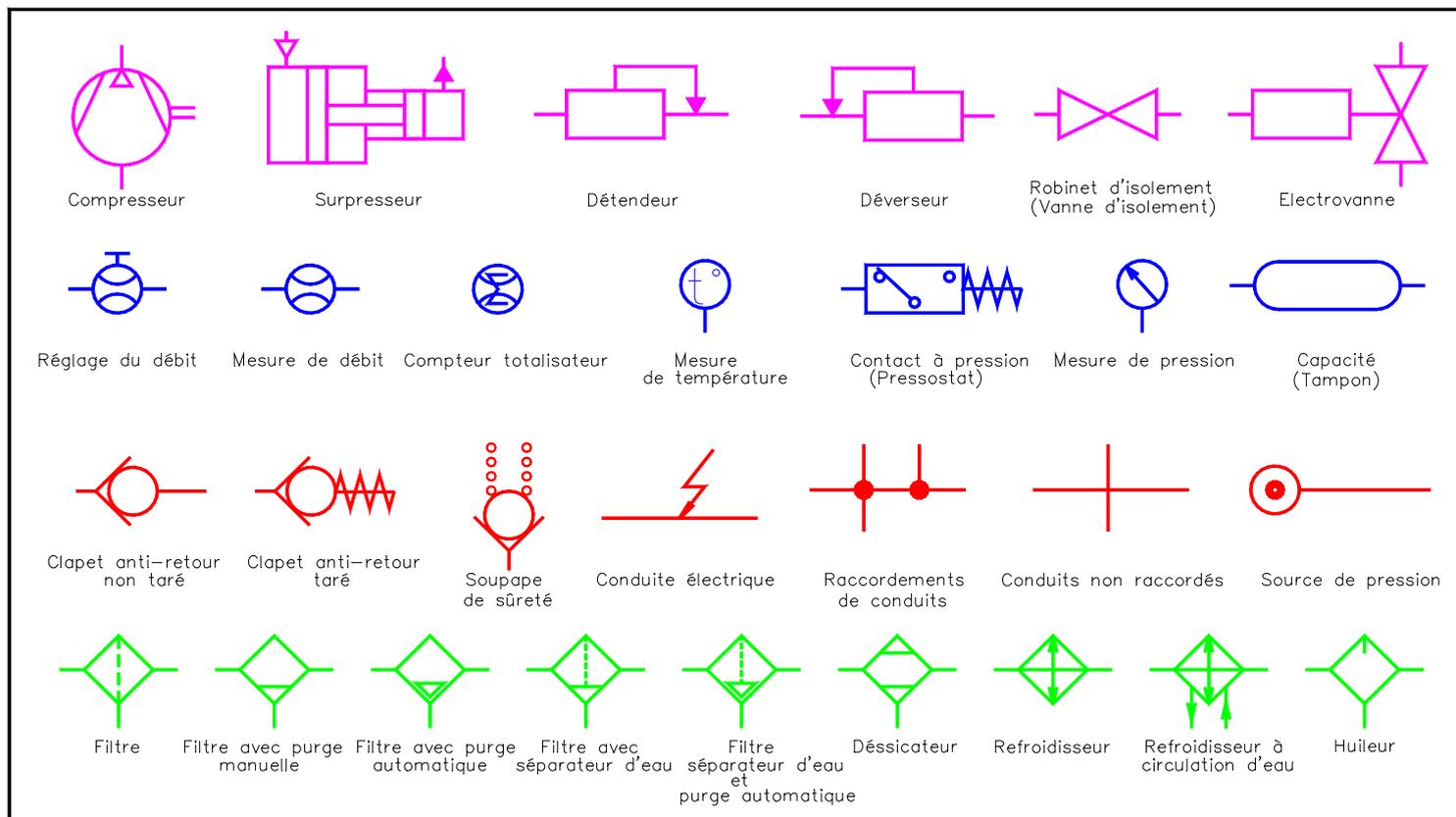
Les symboles présentés dans le tableau ci-après ne sont pas toujours utilisés dans cet ouvrage parce que connus des seuls initiés. Ils serviront toutefois à comprendre les documents fournis par les fabricants et installateurs.

#### **XI-3-2 Consignes de gonflage (*Voir exemple figure 52*)**

Il est obligatoire de disposer un panneau de consignes de gonflage à proximité de toute station. Le panneau ci-après a été conçu à cette fin par la F.F.E.S.S.M.

Il correspond au gonflage à l'aide d'un compresseur simple non automatisé.

**Toute autre installation nécessite des consignes élaborées en coopération avec le constructeur, l'installateur et l'exploitant.**



**Figure 51 Symboles normalisés**



## FÉDÉRATION FRANÇAISE D'ÉTUDES ET DE SPORTS SOUS-MARINS

### Commission Technique Nationale

## CONSIGNES POUR LE CHARGEMENT DES BOUTEILLES DE PLONGÉES

*à afficher près de la rampe de chargement*

**« Le personnel chargé de la conduite d'équipements sous pression doit être informé et compétent pour surveiller et prendre toute initiative nécessaire à leur exploitation sans danger »**

*(article 5, arrêté du 20 novembre 2017)*

1. Avant de mettre en route, vérifier le niveau d'huile du compresseur
  2. Avant de raccorder au dispositif du compresseur, vérifier
    - le bon état extérieur de la bouteille ;
    - pour une bouteille de construction postérieure au 06/04/1998, qu'elle porte la date d'épreuve initiale suivie d'un poinçon officiel\* ,
    - pour une bouteille de construction postérieure au 06/04/1998, quelle porte la date d'épreuve et un poinçon officiel\* soit les marquages européens, la nature du gaz et la pression de chargement à 15°C ;
    - Pour chaque bouteilles :
      - I. quelle est en date d'épreuve avec un poinçon officiel
      - II. quelle a subit le contrôle visuel annuel (autocollant TIV ou autre attestation reconnue) ;
      - III. sa pression de chargement ou pression de service (PS) ;
      - IV. le bon fonctionnement de la soupape de sécurité du dispositif de chargement.
  3. Purger la robinetterie de la bouteilles
  4. Raccorder la bouteille à la rampe correspondant à la pression de chargement (tarage de la soupape de sûreté).
- Pendant le chargement :**
5. purger fréquemment les décanteurs et filtres.
  6. Surveiller le manomètre de la rampe de chargement.
  7. Ne jamais dépasser la « pression de chargement » de la bouteille.

**Le préposé au chargement doit refuser les bouteilles qui ne répondent pas aux exigences des vérifications.**

(\*) principaux poinçons officiels : Têtes de cheval, B et V imbriqués, octogone, marque CE.

**Figure 52 Consignes de gonflage (Exemple)**

#### **XI-4 Adresses et organismes utiles**

##### **FFESSM (Concernant les Inspections Visuelles)**

< <https://tiv.ffessm.fr> et le contact associé : [tiv@ffessm.fr](mailto:tiv@ffessm.fr) >

**DREAL** en France, ce sont les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement qui sont des services déconcentrés du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES) et du Ministère de la cohésion des Territoires (MCT) placés sous l'autorité des Préfets de Région.

##### [DREAL Auvergne-Rhône-Alpes](#)

5 place Jules Ferry 69006 Lyon - Tél :

##### [DREAL Nouvelle-Aquitaine](#)

15 rue Arthur-Ranc 86020 Poitiers - Tél : 05 49 55 63 63

##### [DREAL Haut-de-France](#)

44 rue de Tournai 59019 Lille - Tél : 03 20 13 48 48

##### [DREAL PACA](#)

36 Bd des Dames 13002 Marseille - Tél : 04 88 22 61 00

##### [DREAL Grand Est](#)

2 rue Augustin Fresnel 57071 Metz - Tél : 03 87 62 81 00

##### [DREAL Occitanie](#)

1 rue Cité administrative Bât G 31074 Toulouse - Tél : 05 61 58 50 00

##### [DREAL Centre-Val de Loire](#)

5 av Buffon 45064 Orléans - Tél : 02 36 17 41 41

##### [DREAL Normandie](#)

2 rue St Sever 76032 Rouen - Tél : 02 35 58 53 27

##### [DREAL des Pays de la Loire](#)

5 rue Françoise Giroux Nantes - Tél : 02 7 74 76 30

##### [DREAL Corse -](#)

19, cours Napoléon – Bâtiment D 20704 Ajaccio - Tél : 04 95 32 14 82

##### [DREAL Bourgogne-Franche-Comté](#)

17E rue Alain Savary 25005 Besançon - Tél : 03 81 21 67 00

##### [DREAL Bretagne](#)

10 rue Maurice Fabre 35000 Rennes - Tél : 02 99 33 43 32

Pour les compresseurs, les stations de gonflage et les bouteilles, suivre les liens  
Prévention des risques > Risques Technologiques > Appareils à pression.  
La DREAL a un rôle de police administrative pour la surveillance des  
organismes notifiés, le sondage des équipements mis sur le marché et le  
contrôle inopiné des installations et des pratiques.

**INRS** : Institut National de Recherche et de Sécurité. Web : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

**APAVE** : Association des Propriétaires des Appareils à Vapeur et Électriques -  
191, rue de Vaugirard 75015 Paris. Les "APAVE" sont des organismes notifiés.  
Ils sont regroupés sous le nom de GAPAVE. Téléphone : 01 45 66 99 44.

**VÉRITAS** : 17 bis, place des Reflets 92975 Paris la Défense.

Téléphone 01 42 91 52 91. C'est un organisme de contrôle. Il est notifié.

**ASAP** : Association pour la Sécurité des Appareils à Pression.

Téléphone 01 47 78 51 01.

**AFNOR** : Association Française de Normalisation,

Tour Europe 92049 Paris la Défense Cedex. Tél. : 01 42 91 55 55

Info vente : 01 42 91 55 34 - Commande par fax : 01 42 91 56 56

L'AFNOR représente la France au sein du Comité Européen de Normalisation.

La consulter pour s'assurer que les documents dont on dispose sont bien à jour.

#### **XI-4-1 Principaux fournisseurs**

**BAUER** : 60, av. Franklin D. Roosevelt – 73100 AIX-LES-BAINS

Tel : 04 79 88 21 00 Fax : 04 79 88 21 14

E-mail : [airrespirable@dial.oleane.com](mailto:airrespirable@dial.oleane.com) - Web : [www.bauer-kompressoren.de](http://www.bauer-kompressoren.de)

**CompAIR France** : 70, av. Albert Einstein - Z.A. du château d'Eau - BP  
50061 - 77551 MOISSY CRAMAYEL CEDEX

Tél. 0164138913 Télécopie : 0164133700

E-mail : [mktg-hp@compair.fr](mailto:mktg-hp@compair.fr) - Web : [www.CompAir.com](http://www.CompAir.com)

**Nardi Compressori** : Lascours, Provence-Alpes-Cote D'Azur, France

#### **XI-4-2 Bibliographie**

- La compression de l'air, les compresseurs à pistons, Stéphane ARNOFFI, CompAIR-Luchard.
- Documentation du stage de formation BAUER.
- Documentation du stage CompAIR-Luchard.
- Technique de l'air comprimé de Marcel ROUDIER.
- Compresseurs et Stations de Gonflage, Henri LE BRIS
- Journal Officiel de la Communauté Européenne - J.O.C.E.  
26, rue Desaix 75727 Paris Cedex 15. Téléphone : 01 40 58 77 31

## **Index des illustrations**

FIGURE 1 VARIATION DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE AVEC L'ALTITUDE

FIGURE 2 TABLE DE REGNAULT

FIGURE 3 FACTEUR DE COMPRESSIBILITE EN FONCTION DE LA PRESSION

FIGURE 4 COMPRESSION / DETENTE ET VARIATIONS DE TEMPERATURE

FIGURE 5 COMPRESSEUR DE BASE

FIGURE 6 CYCLES DE COMPRESSION

FIGURE 7 PRESSIONS MAXIMALES INTER-ETAGES

FIGURE 8 COMPRESSEUR MULTI-ETAGE

FIGURE 9 DIFFERENTS TYPES DE DECANTEURS

FIGURE 10 PURGES AUTOMATIQUES

FIGURE 11 RECUPERATION DES CONDENSATS

FIGURE 12 SECHEUR D'AIR PAR REFRIGERATION

FIGURE 13 DIFFERENTS TYPES DE FILTRES

FIGURE 14 REGENERATEUR PAR INVERSION DE FLUX

FIGURE 15 DEVERSEURS : SCHEMA DE PRINCIPE ET REALISATIONS

FIGURE 16 CLAPET ANTI-RETOUR, MANOMETRE, DEVERSEUR

FIGURE 17 FILTRAGE AVEC DEVERSEUR

FIGURE 18 FILTRATION DANS UN COMPRESSEUR

FIGURE 19 DIFFERENTES DISPOSITIONS DE CYLINDRES

*FIGURE 20 COMPRESSEUR A 4 ETAGES EN ETOILE*

*FIGURE 21 DIFFERENTS TYPES DE PISTONS*

FIGURE 22 TYPES DE SEGMENTS

FIGURE 23 DIFFERENTS TYPES DE SOUPAPES

FIGURE 24 CLAPET DOUBLE EFFET

SOUPAPES DE SURETE

FIGURE 26 BRANCHEMENT D'UN MOTEUR ELECTRIQUE TRIPHASE

FIGURE 27 BARBOTAGE

FIGURE 28 LUBRIFICATION PAR POMPES

FIGURE 29 CIRCUITS D'UN COMPRESSEUR

\_FIGURE 30 COMPRESSEUR EN CADRE À MOTEUR THERMIQUE

\_FIGURE 31 COMPRESSEUR EN ARMOIRE INSONORISÉE À MOTEUR ÉLECTRIQUE

\_FIGURE 32 AÉRATION NATURELLE

VENTILATION FORCÉE

FIGURE 34 REFROIDISSEMENT PAR EAU PERDUE

FIGURE 35 REFROIDISSEMENT PAR EAU RECYCLÉE

FIGURE 36 CHARIOTS DE MANUTENTION

FIGURE 37 ERIER STANDARD AVEC CLAPET ANTI-RETOUR

FIGURE 38 STATION MANUELLE

FIGURE 39 STATION AUTOMATISÉE

FIGURE 40 FOSSE DE PLONGÉE SUBAQUATIQUE DE CHANTEREINES

FIGURE 41 STATION DE SÉCURITÉ

FIGURE 42 EXEMPLE D'AGENCEMENT D'UN CLUB DANS UNE PISCINE

FIGURE 43 STATION MOBILE À L'AIR LIBRE

FIGURE 44 STATION DE GONFLAGE SUR BATEAU

FIGURE 45 LES MÉTHODES DE PRODUCTION DE NITROX

FIGURE 46 LYRE DE TRANSFERT

FIGURE 47 GONFLAGE NITROX PAR INJECTION D'O<sub>2</sub> À PRESSION AMBIANTE

FIGURE 48 FILTRE À MEMBRANE

FIGURE 49 STATION NITROX À MEMBRANE

FIGURE 50 RAMPE DE GONFLAGE DOUBLÉE

FIGURE 51 DIFFÉRENTS SYMBOLES NORMALISÉS

FIGURE 52 CONSIGNES DE GONFLAGE

XI-5 Liste des gravures et photos

GRAVURE 1 – SCAPHANDRIER AVEC SA POMPE

GRAVURE 2 - Équipement français Cabirol 1859

GRAVURE 3 - Équipement Rouquayrol et Denayrouze 1864

GRAVURE\_4 - Recherches dans un lac du Val d'Aoste

GRAVURE 5 - Pompes à brinquebale et à volant, Denayrouze, 1873

GRAVURE 6 - Sauvetage des épaves du Magenta en rade de Toulon

GRAVURE 7 - Catastrophe du Pluviôse, équipement Cabirol 1876

GRAVURE 8 - Sauvetage du Vanguard 1875

GRAVURE 9 - Éclaté planche 1

GRAVURE 10 – Éclaté planche 2

PHOTO 11 - Compresseur à vis

PHOTO 12 - Compresseur à membrane

PHOTO 13 - Compresseur à refroidissement par eau

GRAVURE 14 - Compresseur sur remorque

GRAVURE 15 - Pompe à volant installée sur une barque

GRAVURE 16 - Station nitrox à membrane perméable (Bargaz)

GRAVURE 17 - Immersion d'un scaphandrier

PHOTO 18 - Gonflage en sécurité

GRAVURE 19 – Sortie d'un scaphandrier

GRAVURE 20 - Préparatifs avant la plongée, épave du Magenta

\*\*\*\*\*

**Cliquez sur « [Livre d'or](#) » si vous voulez y laisser vos impressions.**

**Cliquez sur « [Remarques et corrections](#) » pour éventuellement nous faire part de celles-ci.**

**Nous vous en remercions d'avance.**

**Henri LE BRIS**

**La version 2018 de ce livre a été mise en ligne le 16/02/2018**

**(Elle gagne à être vue sur grand écran)**

**Dernière mise à jour le 16/02/2018**

#### **Avertissements**

- Les informations et indications données dans cet ouvrage n'ont rien d'exhaustives. Elles ne sont données qu'à titre indicatif et ne sauraient engager la responsabilité de l'auteur. Celui-ci ne pourra être tenu pour responsable de toute erreur, omission ou lacune qui aurait pu s'y glisser ainsi que des conséquences, quelles qu'elles soient qui résulteraient de leur utilisation.

- Le code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation, traduction ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement écrit de l'auteur ou des ses ayants droit est illicite et constitue une contrefaçon, aux termes des articles L.335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

**XiTi**

\*\*\*\*\*