



**COMPRESSEURS
ET
STATIONS DE GONFLAGE**

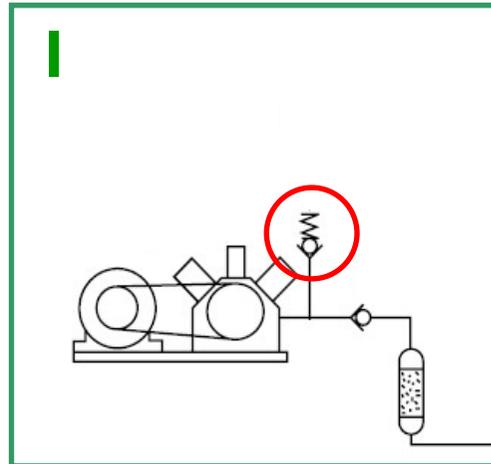
Pompes à brinquebale et à volant, équipements Denayrouze, 1873

Objectifs

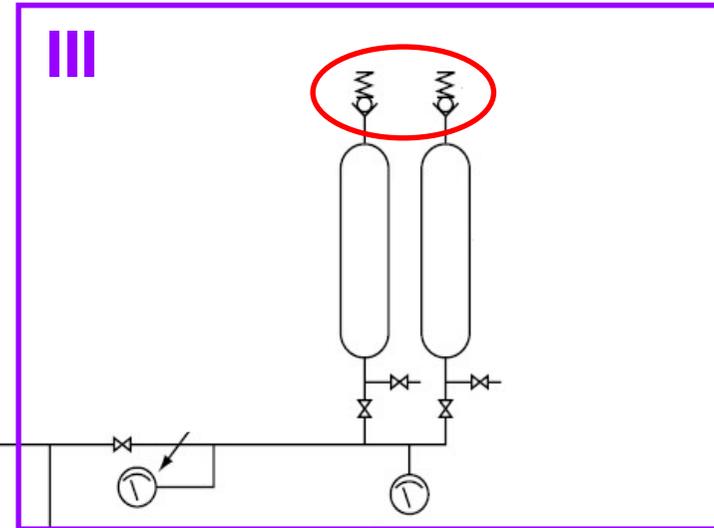
- ➔ **Principes de fonctionnement et d'utilisation d'un compresseur et d'une station de gonflage**
- ➔ **Information générale sur les risques et leur prévention**
- ➔ **Éléments de réglementation applicables à l'exploitation d'une station de gonflage**

Schéma de principe d'une station de gonflage

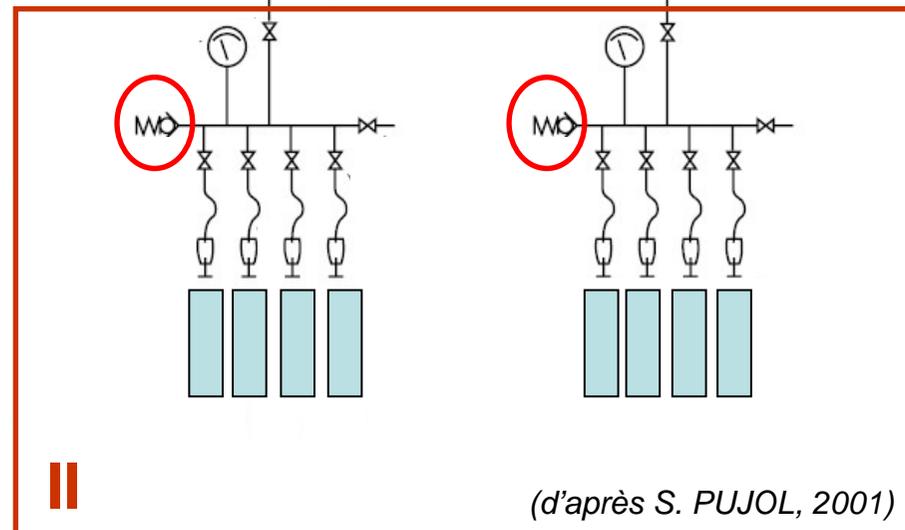
I – Production d'air
(compresseur)



II – Distribution de l'air
et moyens de contrôle
(tuyauterie, vannes,
mano, rampes de
gonflage...)



III – Stockage temporaire
(blocs tampons)



IV – Dispositifs de
sécurité (soupapes de
sûreté, coupe-circuits,
etc.)

(d'après S. PUJOL, 2001)

I – Principe de fonctionnement du compresseur



Bauer Mariner 250



Coltri MCH

Rappels de physique

- Compressibilité des gaz

- Lois régissant la compression et la détente des gaz

$$\frac{P \times V}{T} = \text{Cst}$$

T constante → Loi de Boyle - Mariotte

Applications : calculs d'autonomie, flottabilité, gonflage des blocs...

V constant → Loi de Amontons

Applications : variation de pression dans un bloc en fonction de la température

P constante → Loi de Charles / Gay-Lussac

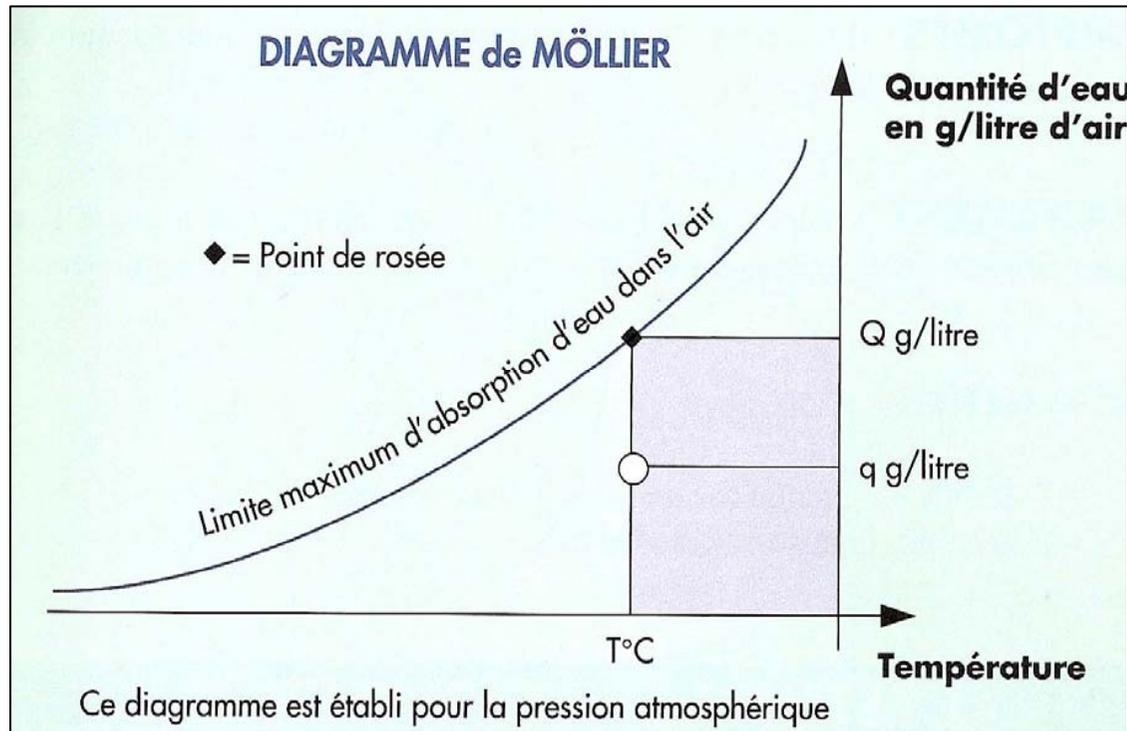
Applications : volume d'une Montgolfière...

👉 Approximation : l'air est un gaz parfait...

De l'eau dans le gaz !

A une pression / température donnée, un volume donné d'air ne peut contenir au max. qu'une quantité Q de vapeur d'eau (**saturation**)

→ **Degré hygrométrique (= humidité relative)** : rapport entre la quantité de vapeur d'eau dans l'air, et la quantité de vapeur d'eau à saturation.



✋ pour 100 % de degré hygrométrique (saturation),
1 m³ d'air à 30°C contient 30
cm³ d'eau

- Q (max) ↘ quand T° ↘
- Q (max) ↘ quand P ↗

Principe de base du compresseur à piston

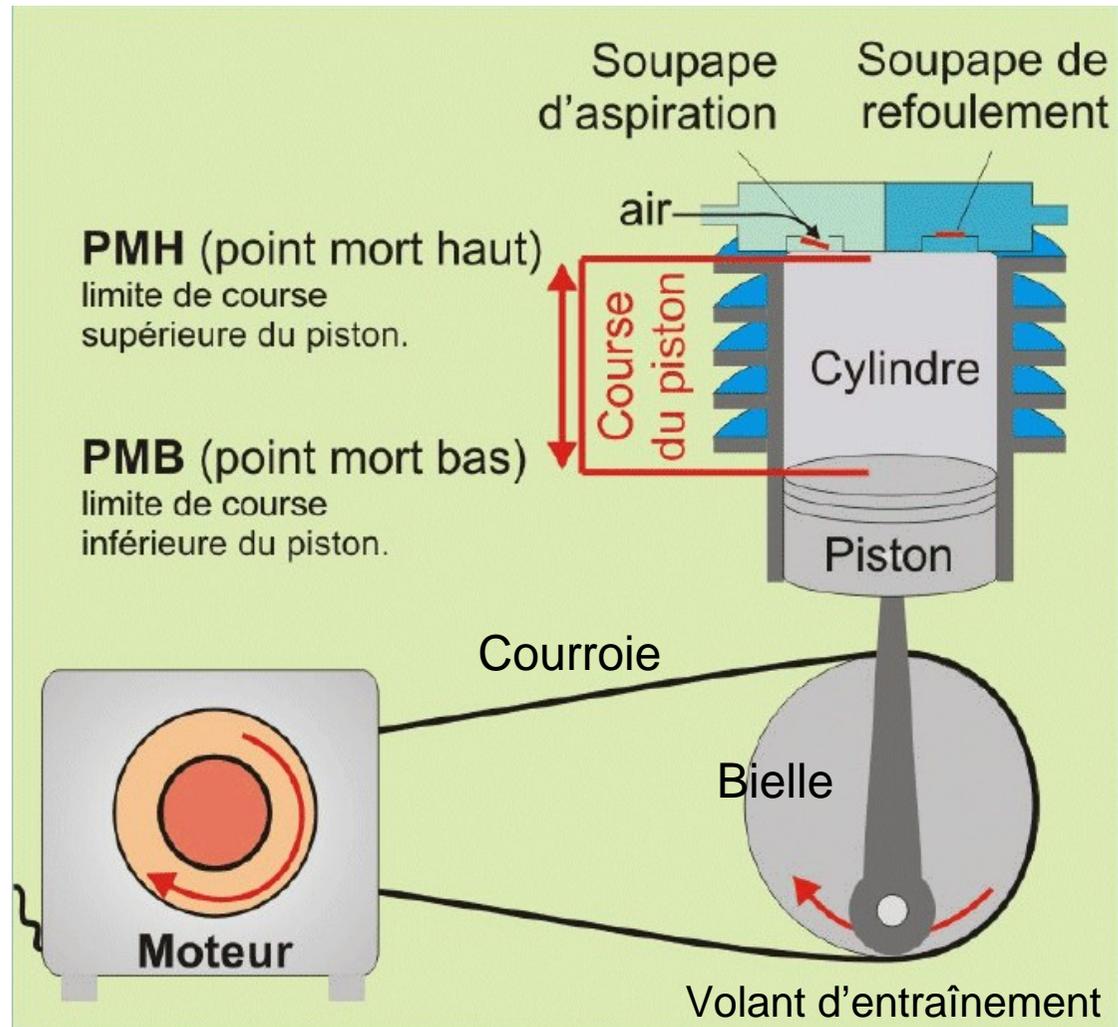
Taux de compression : τ

$$\tau = VMB / VMH$$

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

Débit engendré = cylindrée x
vitesse de rotation du
vilbrequin

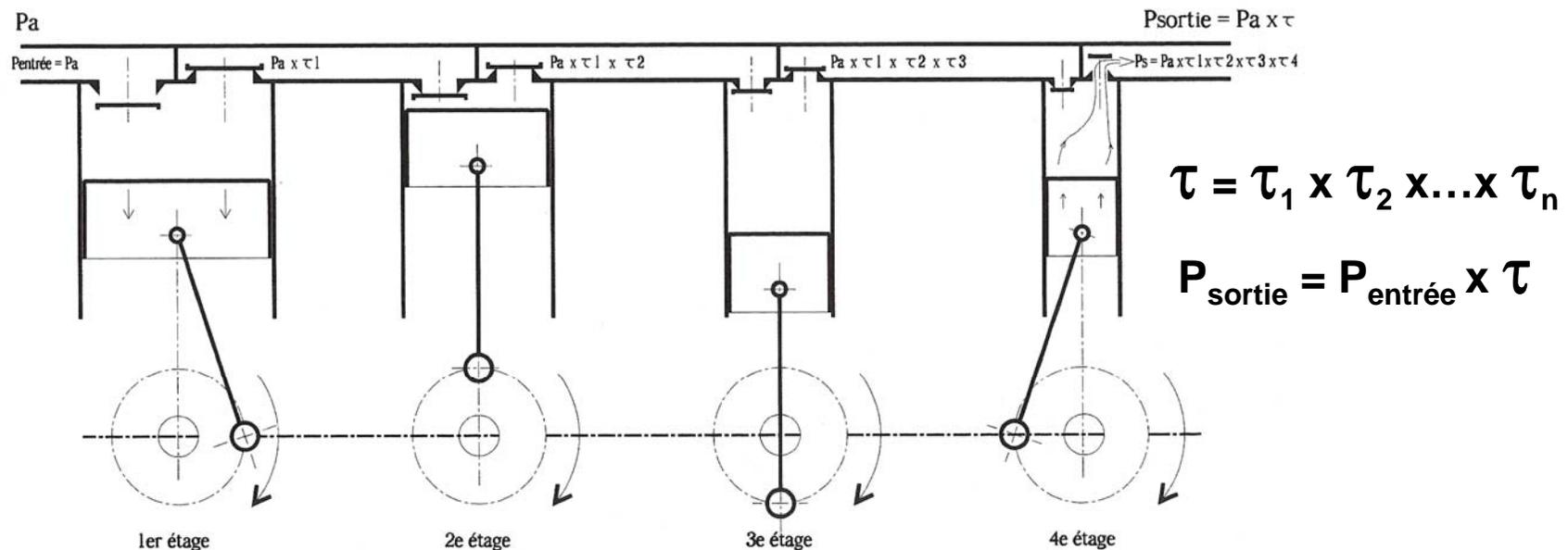
Débit remplissage < débit
engendré (rendement
volumique)



Limites du compresseur mono-étagé

Pour des raisons mécaniques (élévation de T° trop importante, volume mort minimum réalisable, fuites aux pistons...), le taux de compression maximum obtenu avec un étage est inférieur à 10.

→ Pour obtenir des pressions supérieures, on procède en plusieurs étapes :
compresseur multi-étagés



Dans la pratique, les compresseurs de plongée nécessitent 3 à 4 étages, avec des taux de compression variant de 4 à 6 en moyenne.

Contraintes mécaniques importantes

- **Compression de l'air** → Elévation importante de T°

 De l'air comprimé de 1 à 4 bar entraîne une élévation de T° de 20°C à 237°C

- **Frottements mécaniques** → Elévation de T° + production de particules métalliques

**Refroidissement et lubrification sont
indispensables au bon fonctionnement
du compresseur**

La lubrification

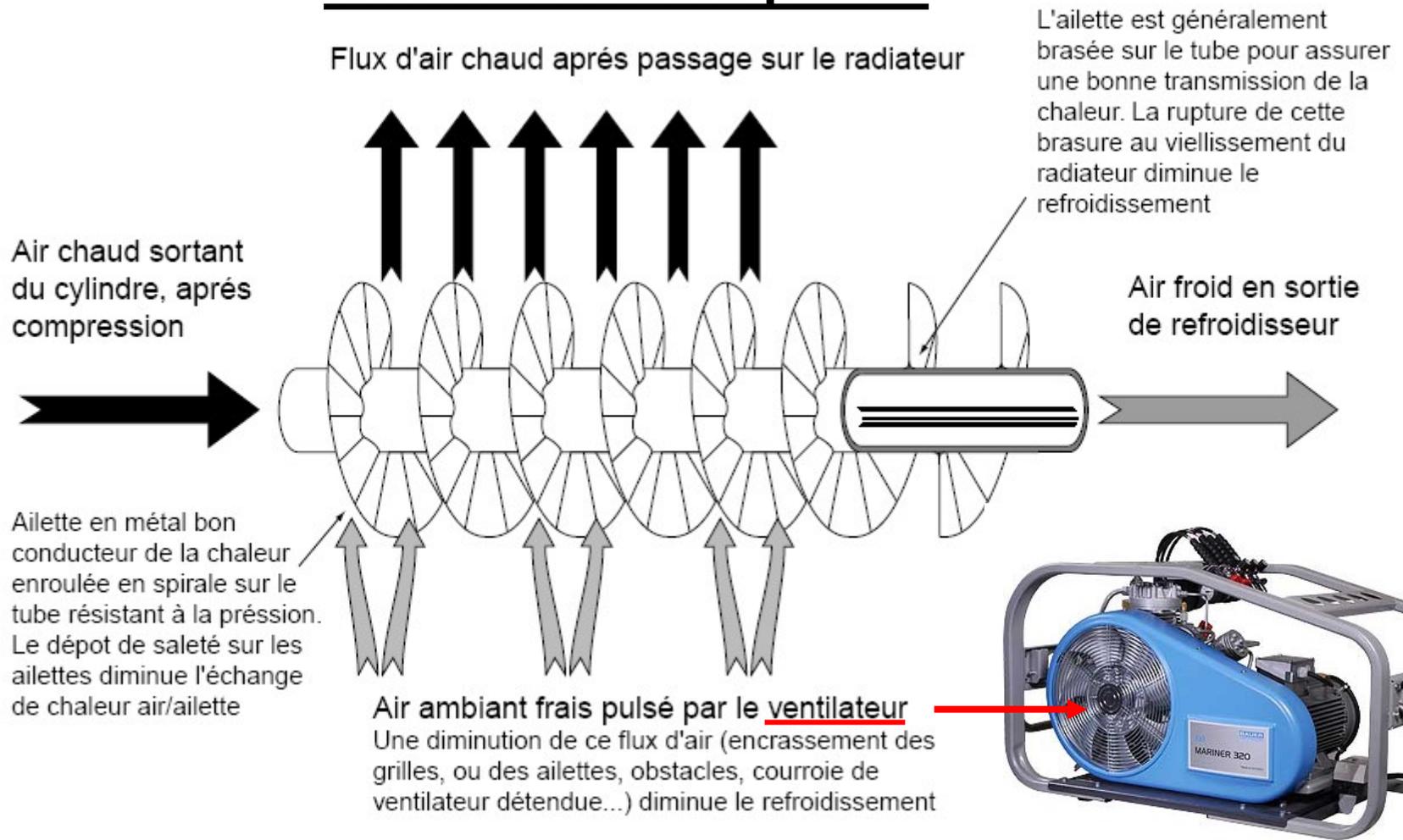
L'huile utilisée doit avoir :

- (i) des caractéristiques de lubrification suffisantes
- (ii) dans les conditions de T° et de PpO_2 rencontrées dans le compresseur
- (iii) avoir une toxicité minimale

**L'huile est le principal polluant
dans un compresseur**

- Utiliser l'huile préconisée par le constructeur
- Vérifier le niveau d'huile avant chaque démarrage
- Surveiller pression d'huile (manomètres / jauges électroniques)
- Vidange périodique

Refroidissement par air

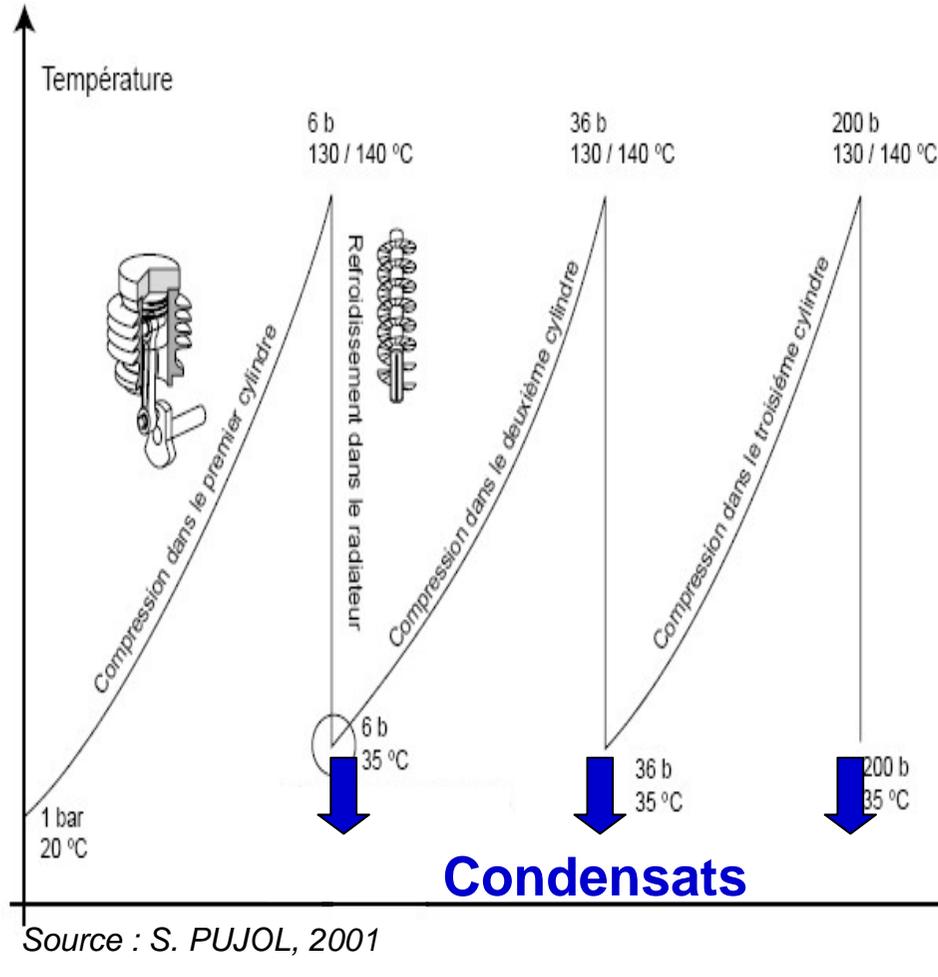


Principe d'un radiateur (ou refroidisseur) à air

(d'après S. PUJOL, 2001)

Compresseur multi-étagé

→ Succession compression / refroidissement à chaque étage



→ « Production » de condensats (eau, huile, etc.) nuisibles :

- au fonctionnement du compresseur;
- à l'efficacité des filtres épurateurs en aval, donc risques pour les plongeurs eux-mêmes (toxicité de l'air);
- pour les blocs (risques de corrosion) et détendeurs (risque de givrage);

→ A éliminer au maximum !

La filtration

Le fonctionnement normal d'un compresseur, outre une production de **chaleur**, induit une production d'**huile** (liquide, vapeurs, aérosols) et d'**eau** (par condensation).

Un fonctionnement anormal peut provoquer la production de **gaz toxiques** (e. g. CO₂ et CO provenant d'une combustion de l'huile).

Enfin, des polluants (gaz ou particules) peuvent avoir une origine exogène (mauvaise qualité d'air en entrée du système).

→ Utilisation de **filtres** à l'entrée, entre chaque étage, et en sortie du compresseur.

La surveillance et la maintenance de ces filtres sont cruciaux !

Filtres en entrée du compresseur

- Positionnement de la prise d'air

L'emplacement de la prise d'air doit être exempt de pollution... Elle peut être pourvue d'un « col de cygne », pour éviter de collecter les eaux de pluies, et d'une grille (brindilles, insectes...).

- Filtres dépoussiéreurs :

Il sont situés juste avant le 1^{er} étage. Différentes technologies existent : papiers spéciaux, feutres gras, bronze fritté, bain d'huile...

 Ces filtres protègent avant tout le compresseur des fines poussières abrasives. Leur colmatage induit en outre une perte de charge réduisant la pression en sortie du compresseur.

→ A nettoyer / changer régulièrement !

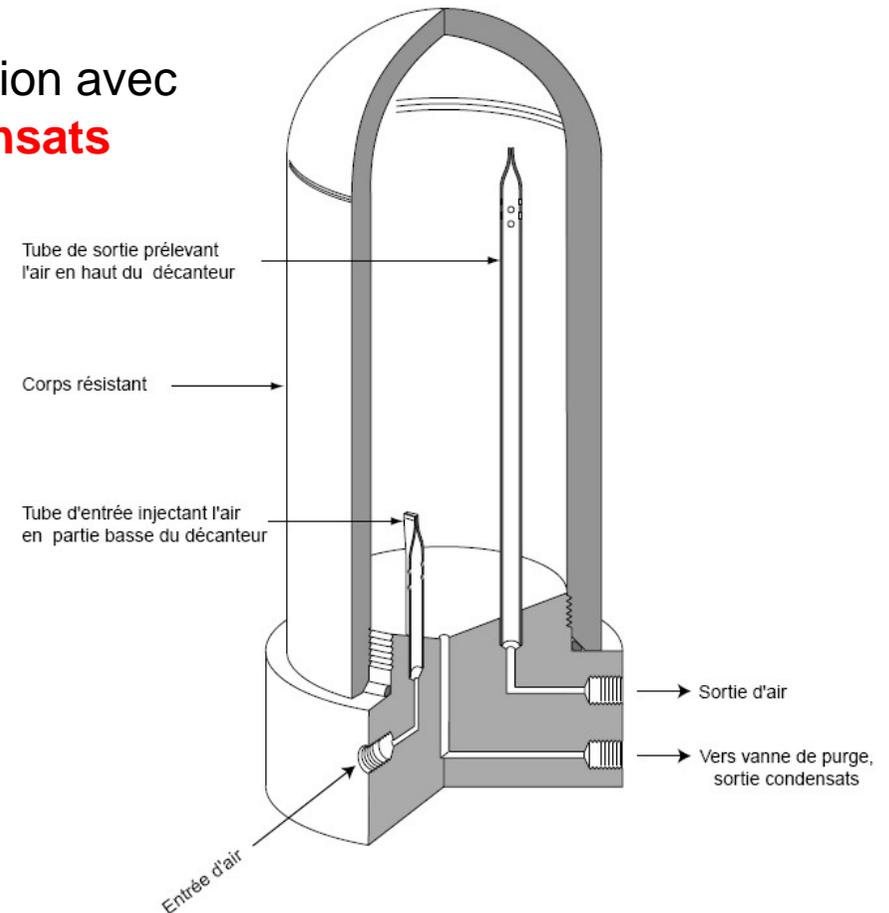
« Filtres » décanteurs

Refroidissement (+ élévation de pression) = condensation de l'eau, qui forme une émulsion avec les traces d'huile et les poussières : **condensats**

→ DECANTEURS :

- ✓ Situés entre chaque étage (optionnel entre 1er et 2ème étage)
- ✓ Favorisent la condensation des aérosols (ph. de coalescence)
- ✓ Elimination des condensats par décantation → Purge manuelle ou automatique

 **Rigueur et vigilance durant le gonflage !**



Exemple de décanteur
(d'après S. PUJOL, 2001)

Filtres terminaux

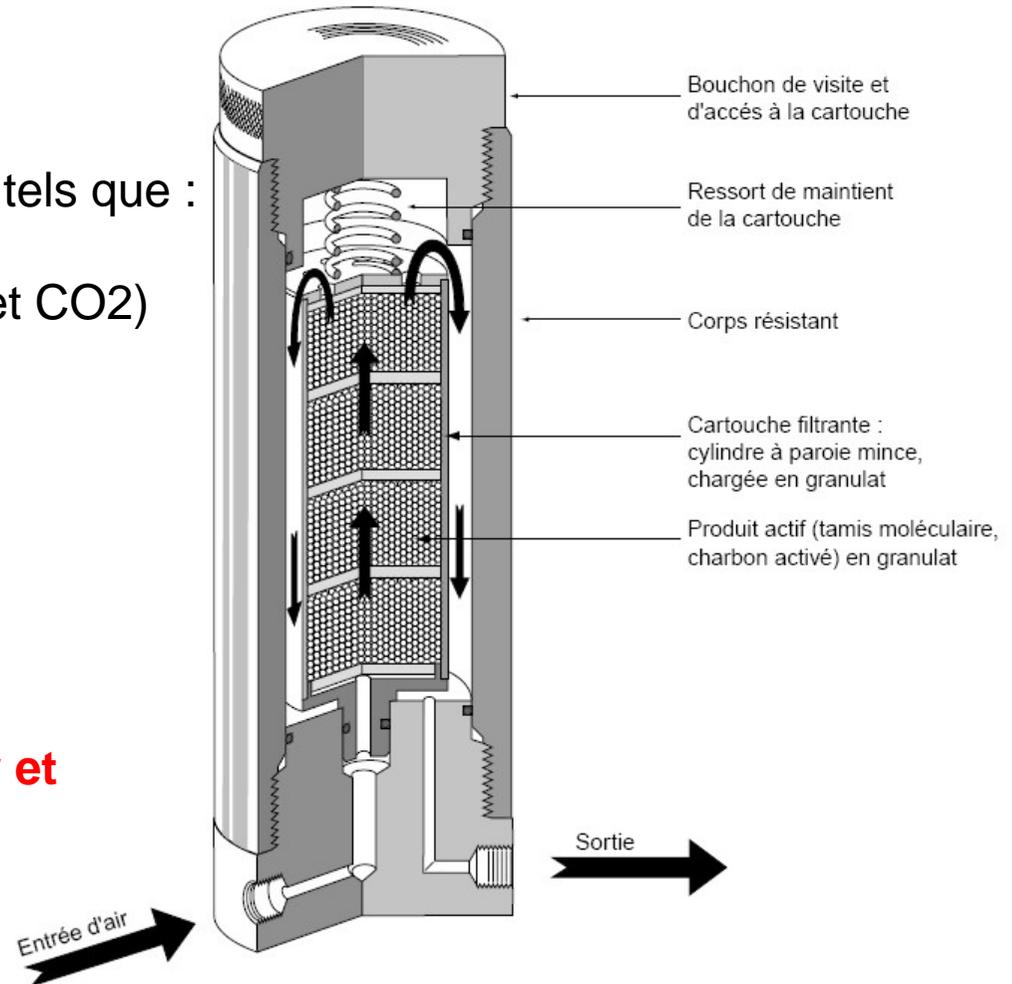
Placé(s) en sortie du compresseur

Utilisation de **divers produits actifs** tels que :

- *Tamis moléculaire* : vapeur d'eau (et CO₂)
 - *Silicagel* : vapeur d'eau
 - *Charbon actif* : huile, odeurs, etc.
 - *Hopcalite* (CO)
- + feutres (poussières)

→ Le bon état de ces filtres est déterminant pour la qualité de l'air et donc la sécurité des plongeurs

Remplacement périodique selon consignes du constructeur (voire plus si air humide...)



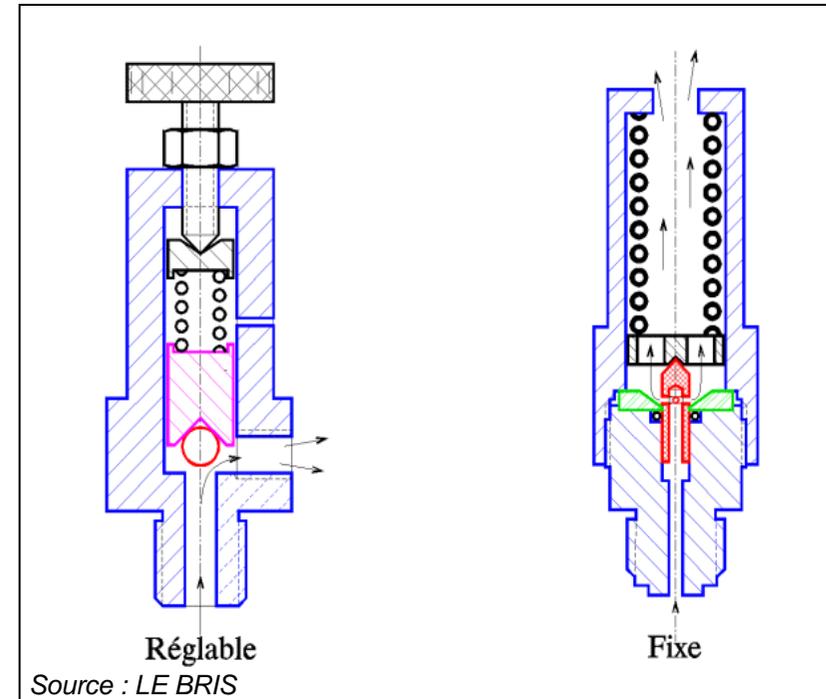
Cartouche filtrante
(d'après S. PUJOL, 2001)

Soupapes de sûreté

- Une soupape de sûreté est **obligatoire** en sortie du compresseur

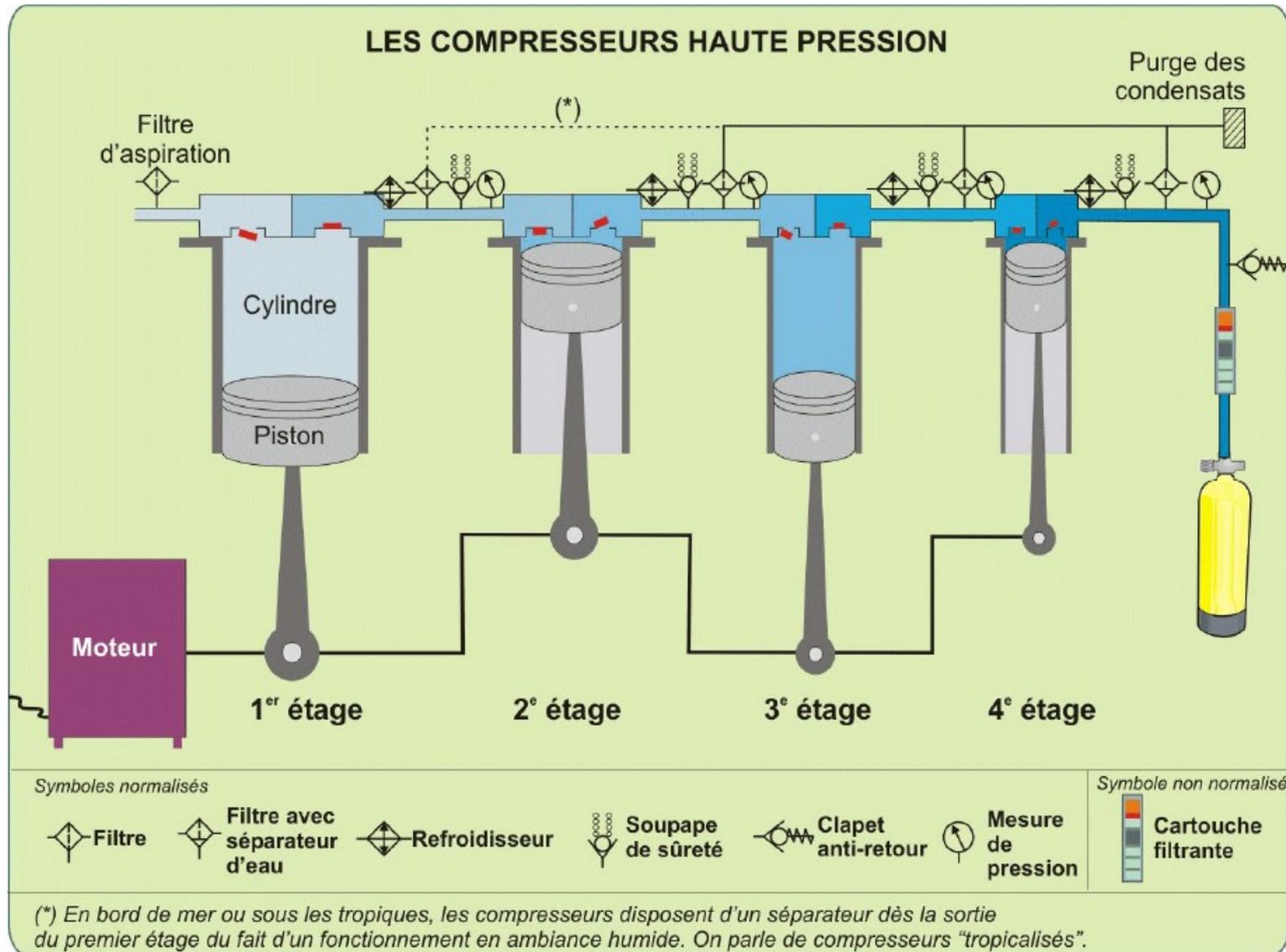
Eventuellement installées à chaque étage de compression (gros compresseurs).

- La **pression de tarage** et le **débit** sont calibrés afin d'assurer que la pression ne puisse en aucun cas dépasser 10 % de la pression de service



👉 Les filtres (et soupapes de sûreté) sont soumis à la réglementation sur les équipements sous pression (arrêté 15 / 03 / 2000 modifié) concernant l'inspection périodique et la requalification

Schéma de principe du compresseur



Source : Foret & Torres, 2003

Principaux critères de choix d'un compresseur

- Type : piston ou membrane
- Fixe / mobile
- Débit de remplissage et pression max. de chargement
- Mode d'entraînement (thermique / électrique)
- Manuel / automatique
- Mode de refroidissement (air / eau)
- Volume sonore
- Coût d'achat et d'entretien



Principaux fournisseurs :

COLTRI (<http://www.coltrisub.it>)

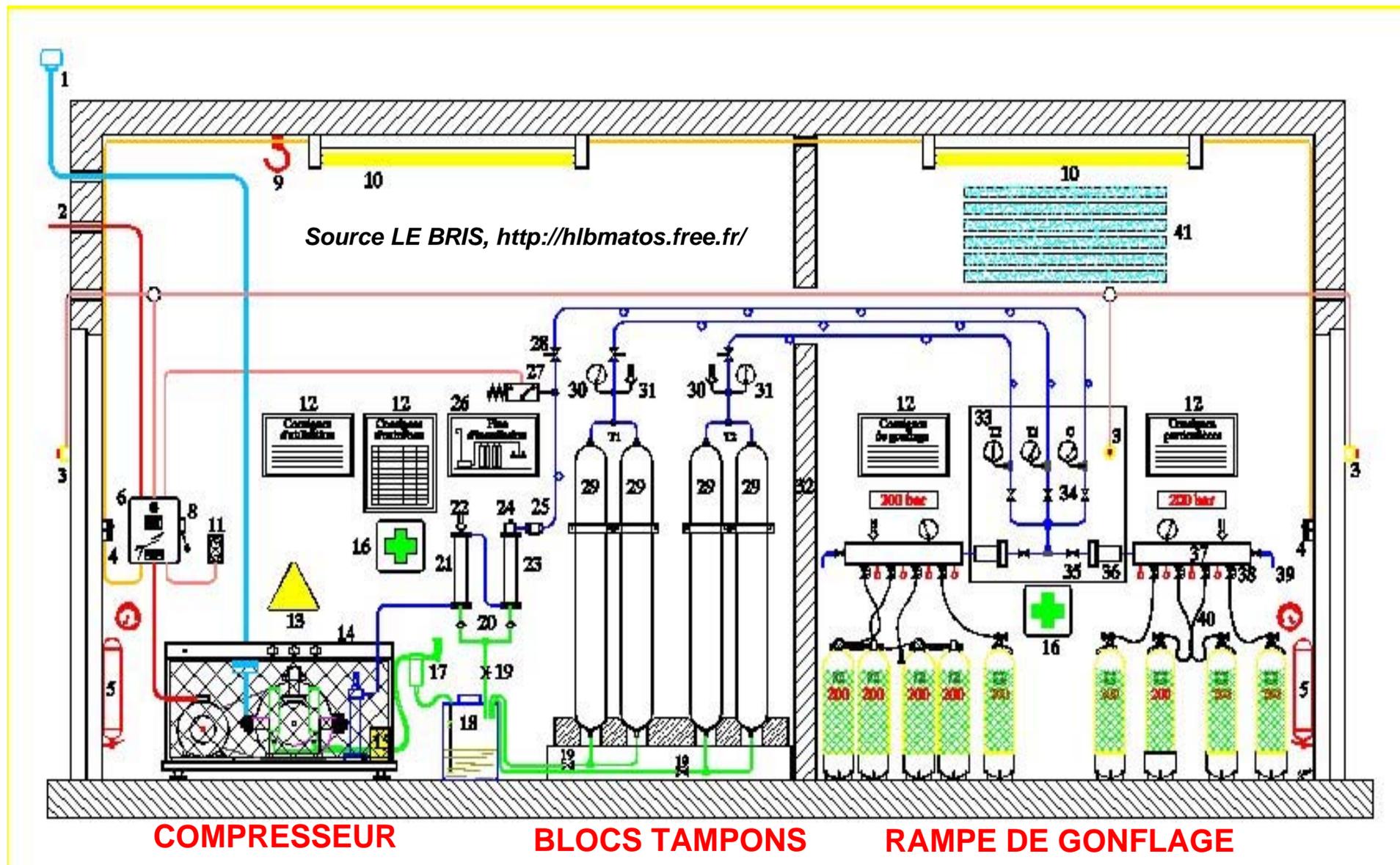
COMPAIR (<http://www.compair.fr>)

BAUER (<http://www.bauer-kompressoren.de>)

II – Station de gonflage



Exemple de station de gonflage (fixe / automatique)



Principaux risques liés à une station de gonflage

→ *Risques majeurs*

- Pollution de l'air
- Explosion

→ *FILTRES...*

→ *SOUPAPES DE SURETE...*

→ *Risques généraux*

- Electrocutation
- Ruptures de flexibles ou de canalisation
- Courroies, ventilateurs, arbre d'entraînement
- Risques liés à la maintenance
- Chutes
- Niveau sonore

**Une station de gonflage est
une zone potentiellement
DANGEREUSE**

- Installation conforme aux normes.
- Limiter l'accès.
- Mise en œuvre et maintenance par du personnel compétent et informé.
- Réparations importantes / contrôles par expert agréé.

Élément de maintenance d'une station de gonflage

Maintenance préventive (principaux éléments) :

- Vidange périodique huile compresseur
- Changement périodique filtres terminaux
- Dépoussiérage des échangeurs et radiateurs
- Contrôle des courroies, des flexibles, vannes, purges...
- Inspection et requalification périodique
- Vérification des soupapes de sûreté
- Révision annuelle du compresseur
- Analyse d'air annuelle

**Par professionnel
agréé**

→ Tenir à jour un cahier de maintenance.

Maintenance corrective :

Exemple de guide de dépannage (cf. photocopie)

**🚫 Ne jamais intervenir sur un compresseur
sous tension ou sous pression !**

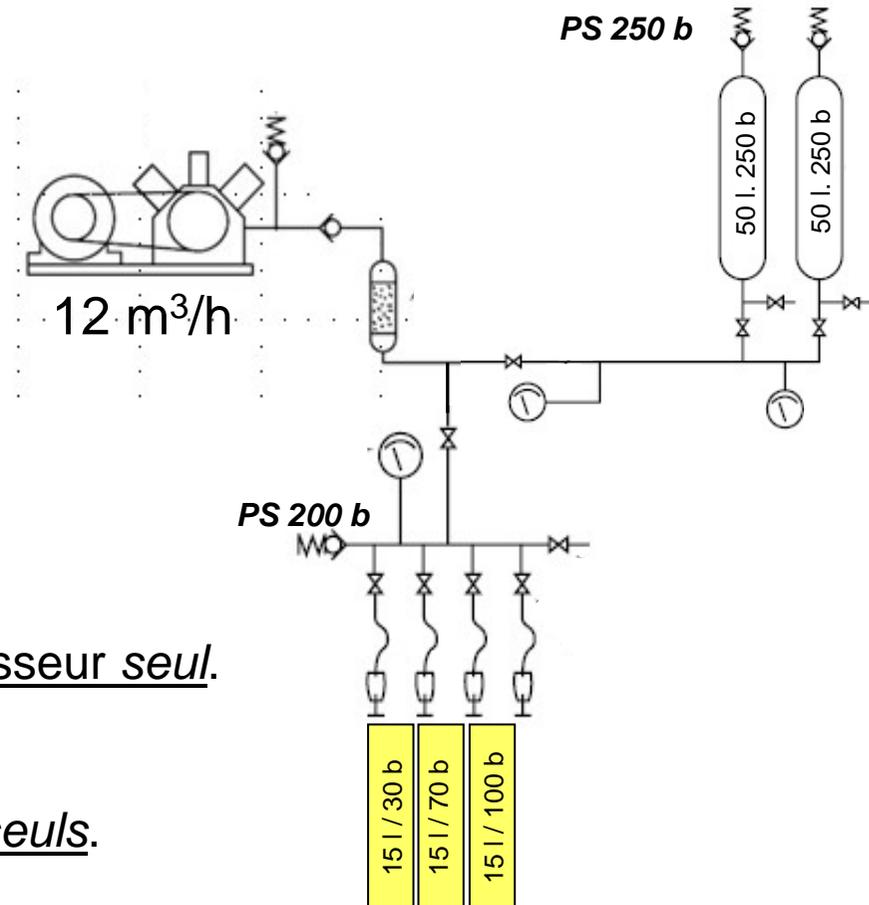
Consignes de gonflage (à afficher près de la rampe)

- 1 - Vérifier le niveau d'huile avant le démarrage du compresseur.
- 2 - Avant le raccordement de la bouteille, vérifier :
 - ✓ son état extérieur
 - ✓ date de dernière épreuve (< 2 ans)
 - ✓ Pression de service (PS)
- 3 - Purger la robinetterie.
- 4 - Raccorder la robinetterie à une rampe correspondant à sa PS.
- 5 - Surveiller régulièrement le manomètre de la rampe.
- 6 - Purger régulièrement les décanteurs et filtres (ou vérifier le bon fonctionnement des purges automatiques).
- 7 - Ne pas dépasser la pression de service.

Exemple de calcul de gonflage

DONNEES DU PROBLEME :

- Compresseur 12 m³/h
- Rampe PS 200 b / 4 blocs
- 2 tampons 50 l / 250 b
- 3 blocs 15 l. à 50, 70 et 100 b
- 1 bloc de 12 l. à 100 b



1) Raccordement des blocs.

Quelle est la **pression à l'équilibre** ?

2) Gonflage des blocs avec le compresseur seul.

Temps de gonflage nécessaire ?

3) Gonflage des blocs avec tampons seuls.

Pression à l'équilibre ?

- 1^{er} cas : tampons ouverts *simultanément*.
- 2^{ème} cas : tampons ouverts *séquentiellement*.

**III - Réglementation relative à
l'exploitation d'une station de gonflage**

Bases juridiques

L'**Arrêté du 15 mars 2000** (modifié), pris en application du décret 99-1046 du 13 décembre 1999, rassemble dans un texte unique l'essentiel des dispositions applicables à l'exploitation des équipements sous pression.

S'applique à tous les équipements sous pression dont le PS x V > 200 l.bar → Blocs, tampons, filtres...

Mise en service (ou modification notable) d'une installation

Une **déclaration de mise en service** est à effectuer (auprès de la DREAL) pour tout équipement sous pression dont **PS x V > 10 000 l.bars** (seuil atteint dès qu'on a une bouteille tampon de 50 l / 200 b...) (art. 15§1).

→ Dossier de déclaration comprenant *notamment* :

- Une description succincte de l'installation
- Une copie du certificat de conformité du fabricant

Inspection périodique et requalification des équipements sous pression

- Inspection périodique (Titre III) : vérification extérieure des équipements et examen des accessoires de sécurité (+ investigations complémentaires si besoin) → **Compte-rendu** par une personne compétente désignée par l'exploitant.

- Requalification périodique (Titre V) : inspection de l'équipement sous pression, épreuve hydraulique et vérification des accessoires de sécurité associés → **Attestation** par un expert d'un organisme habilité.

Type d'équipements	Inspection	Requalification
Blocs tampons	40 mois	10 ans
Filtres de compresseurs	40 mois	10 ans
Blocs de plongée	12 mois	2 ans

Documents de la station de gonflage

Art. 9 : « L'exploitant doit tenir à jour un dossier dans lequel sont consignées toutes les opérations ou interventions datées relatives aux contrôles, inspections et requalifications périodiques, aux incidents, aux réparations et modifications (...) »

→ Regrouper et tenir à jour :

- Manuels et consignes d'utilisation
- Cahier d'entretien (maintenance préventive et corrective)
- PV de requalification, rapports d'inspection
- Factures
- Récépissé de déclaration à la DREAL
- Cahier de gonflage...

Le personnel

Art. 6§6 : « L'exploitant doit disposer du personnel nécessaire à l'exploitation, à la surveillance et à la maintenance des équipements sous pression. Il doit **fournir à ce personnel tous les documents utiles** à l'accomplissement de ces tâches. »

→ Accès aux documents de la station, affichage des consignes d'utilisation et de gonflage

Art. 8. : « 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. (...) ce personnel doit être **formellement reconnu apte à cette conduite par leur exploitant** et périodiquement confirmé dans cette fonction. »

→ Liste des personnes habilitées (à afficher)

→ Prévoir une formation chez le constructeur

L'analyse d'air

Décret du 2 mars 90 n°90 Titre III Art 10 (extrait) :

"L'air et les mélanges fournis par des compresseurs et destiné à la respiration hyperbare doivent être analysés après tout montage d'une installation nouvelle, puis **au moins une fois par an**, ainsi qu'après constatation d'une anomalie, ou après toute réparation de l'installation".

Norme NF EN12021 :

- Huile : 0,5 mg / m³
- CO₂ : 500 ml / m³
- CO : 15 ml / m³
- Vapeur d'eau : 50 mg / m³

→ **Affichage obligatoire des résultats** (avec date et signature)



Mallette d'analyse d'air BIGATA

CONCLUSIONS

La station de gonflage est un **équipement stratégique**, en raison de son coût et de sa dangerosité potentielle. Une mauvaise conception, installation, entretien ou utilisation peuvent avoir des **conséquences désastreuses** pour l'équipement lui-même, et pour la sécurité du personnel et des plongeurs.

Quelques conseils :

- ✓ Envisager les **solutions alternatives** à l'acquisition d'un compresseur ou d'une station (location ponctuelle, sous-traitance du gonflage des blocs...)
- ✓ **Dimensionner correctement** l'installation. Plus c'est gros, plus c'est cher à l'entretien (et dangereux !)
- ✓ N'assurer que les interventions correspondant à vos compétences (**formation adaptée**), et y être **formellement autorisé par l'exploitant**.
- ✓ **Gérer rigoureusement** l'installation (entretien, mise à jour de la documentation, formation, etc.)

Principales sources d'information utilisées

- « **Compresseurs et station de gonflage** » – Diaporama de Frédéric ZUBERER (disp. sur <http://jacquet.stephan.free.fr/Zuberer.pdf>)
- « **Les bouteilles de plongée et la station de gonflage** » – Diaporama de François OLIVIER & Roland GRAILLE (disp. sur <http://jacquet.stephan.free.fr/coursplongee.htm>)
- « **La compression de l'air** », 2001 - S. PUJOL, CIP GLENANS (http://www.infoplongee.fr/ctn/cd_tiv/UC06_Chaine_air/UC6.1_Compression.pdf)
- « **Compresseurs et stations de gonflage** », 2002 - H. LE BRIS. (ISBN 2-9514960-0-1) et site web de H. Le Bris (<http://hlbmatos.free.fr/>)
- **Pages web de l'AIDA** (risques des équipements sous pression) <http://aida.ineris.fr/aida>