

CIP
Glenan

La compression de l'air

LA COMPRESSION DE L'AIR.....	3
OBJECTIFS :.....	3
PLAN DU COURS	4
1. LA STATION DE GONFLAGE.....	5
1.1. CONSTITUTION	5
1.2. LA FONCTION RACCORDEMENT	5
1.3. LA FONCTION CONTRÔLE.....	8
1.4. LA FONCTION STOCKAGE	9
1.5. LA FONCTION SÉCURITÉ.....	10
2. COMPRESSION DE L'AIR / HUMIDITÉ DE L'AIR	13
3. LE COMPRESSEUR.....	15
3.2. LIMITES DU COMPRESSEUR MONOCYLINDRE.....	20
3.3. LA FONCTION REFROIDISSEMENT	21
3.4. LA FONCTION FILTRAGE.....	23
<i>Position de la prise d'air</i>	<i>23</i>
<i>Filtre dépoussiéreur de l'entrée d'air</i>	<i>24</i>
<i>Les filtres décanteurs inter-étages.....</i>	<i>24</i>
<i>Les filtres terminaux :.....</i>	<i>24</i>
3.5. LA FONCTION LUBRIFICATION	28
<i>L'huile.....</i>	<i>28</i>
<i>Les circuits de lubrifications.....</i>	<i>28</i>
3.6. LE SÉCHAGE DE L'AIR.....	30
4. LES RISQUES DIVERS.....	31
4.1. ELECTROCUTION	32
<i>Indices de protection</i>	<i>32</i>
<i>Continuité de terre.....</i>	<i>32</i>
<i>Qualité de câble.....</i>	<i>32</i>
<i>Protection différentielle.....</i>	<i>32</i>
4.2. RUPTURE DE FLEXIBLE OU DE TUYAUTERIE	33
4.3. COURROIES, VENTILATEURS	33
4.4. CHUTES.....	33
4.5. DÉMARRAGE INTEMPESTIF.....	33
4.6. ATTEINTE AUDITIVE.....	33
5. LE RISQUE MAINTENANCE	34
5.1. TRAVAIL SOUS TENSION.....	34
5.2. NEUTRALISATION DE DISPOSITIF DE SÉCURITÉ	34
5.3. ACTION DANGEREUSE POUR LE PERSONNEL DE MAINTENANCE	34
CONCLUSION	35

La compression de l'air

Objectifs :

Il y a quatre secteurs de risques associés à la compression de l'air

- 1/ La station de gonflage comme source d'entrée d'eau dans les bouteilles
- 2/ La station de gonflage comme source de pollution de l'air respirable et les risques d'intoxication
- 3/ La station de gonflage comme source de danger majeur (explosion)
- 4/ La station de gonflage comme source de risques "divers" (électricité, courroie...)

Fréquemment les TIV sont aussi responsables ou au moins impliqués dans l'utilisation de la station de gonflage. Sensibiliser les TIV à ces quatre points est un moyen efficace de sensibiliser les clubs dans leur ensemble.

Les objectifs sont que le TIV soit capable de :

Point 1 :

- reconnaître les conditions de fonctionnement produisant un air humide
- reconnaître les entrées d'eau dues au compresseur, savoir les différencier des entrées d'eau accidentelles
- mettre en œuvre des solutions d'améliorations simples

Point 2 :

- reconnaître les conditions de fonctionnement pouvant produire un air pollué
- mettre en œuvre les moyens de prévention
- faire réaliser une analyse de l'air à bon escient

Point 3 :

- reconnaître les conditions de fonctionnement pouvant amener une situation de risque
- vérifier la conformité d'une installation de gonflage
- proposer des solutions pour mettre en conformité
- vérifier le fonctionnement de systèmes de sécurité
- tenir à jour les documents relatifs à la station

Point 4 :

- reconnaître les principales situations de risques :
 - électriques
 - liés aux organes mobiles (courroies, ventilateurs...)
 - battement de flexibles et de tuyauteries
 - liés à la maintenance
- mettre ou faire mettre en place les systèmes de protection
- établir des règles sûres d'utilisation de l'installation

Plan du cours

A cet effet le cours portera sur :

1. La station de gonflage.
 - 1.1. Constitution
 - 1.2. La fonction raccordement
 - 1.3. La fonction contrôle.
 - 1.4. La fonction stockage
 - 1.5. La fonction sécurité

2. Les phénomènes physiques liés à la compression de l'air
 - 2.1. Compression et élévation de température
 - 2.2. Notion d'humidité de l'air, lien à la pression
 - 2.3. Conséquences pratiques lors de la compression

3. La construction du compresseur :
 - 3.1. Principe de base
 - 3.2. Le refroidissement
 - 3.3. L'étanchéité piston/cylindre
 - 3.4. La lubrification
 - 3.5. Les systèmes d'élimination des condensats, le filtrage
 - 3.6. Les clapets

4. Les sources de risques divers :
 - 4.1. électrocution
 - 4.2. rupture de tuyauteries, de flexibles ou de vannes
 - 4.3. courroies
 - 4.4. chute
 - 4.5. démarrage intempestif
 - 4.6. atteinte auditive

5. Le risque maintenance
 - 5.1. travail sous pression, travail sous tension
 - 5.2. neutralisation de dispositif de sécurité
 - 5.3. démarrage de machine dangereuse

1. La station de gonflage.

La station de gonflage c'est l'ensemble des éléments qui permettent de remplir les blocs : le compresseur bien sûr mais aussi l'ensemble des moyens de contrôle, de sécurité et de stockage qui permettent d'utiliser celui-ci dans les meilleures conditions.

1.1. Constitution

Les objectifs d'une station de gonflage sont les suivants :

1. Qu'elle remplisse les blocs
2. Qu'elle permette des conditions de sécurité acceptables
3. Qu'elle permette un travail rapide (du moins le moins lent possible).

Le premier objectif nous impose des moyens de production d'air comprimé, de raccordement aux blocs à gonfler et des moyens de contrôle de ce gonflage.

Le deuxième objectif nous impose des dispositifs de protections.

Le troisième objectif va nous amener à utiliser des moyens de stockage de l'air comprimé.

De manière globale on peut dire que nous allons retrouver 5 fonctions sur toutes les stations de gonflage :

1. Fonction production d'air comprimé
2. Fonction raccordement
3. Fonction contrôle
4. Fonction sécurité
5. Fonction stockage

Cette dernière fonction peut éventuellement ne pas exister à cause de contraintes financières ou d'encombrement, les 4 autres, par contre, sont incontournables.

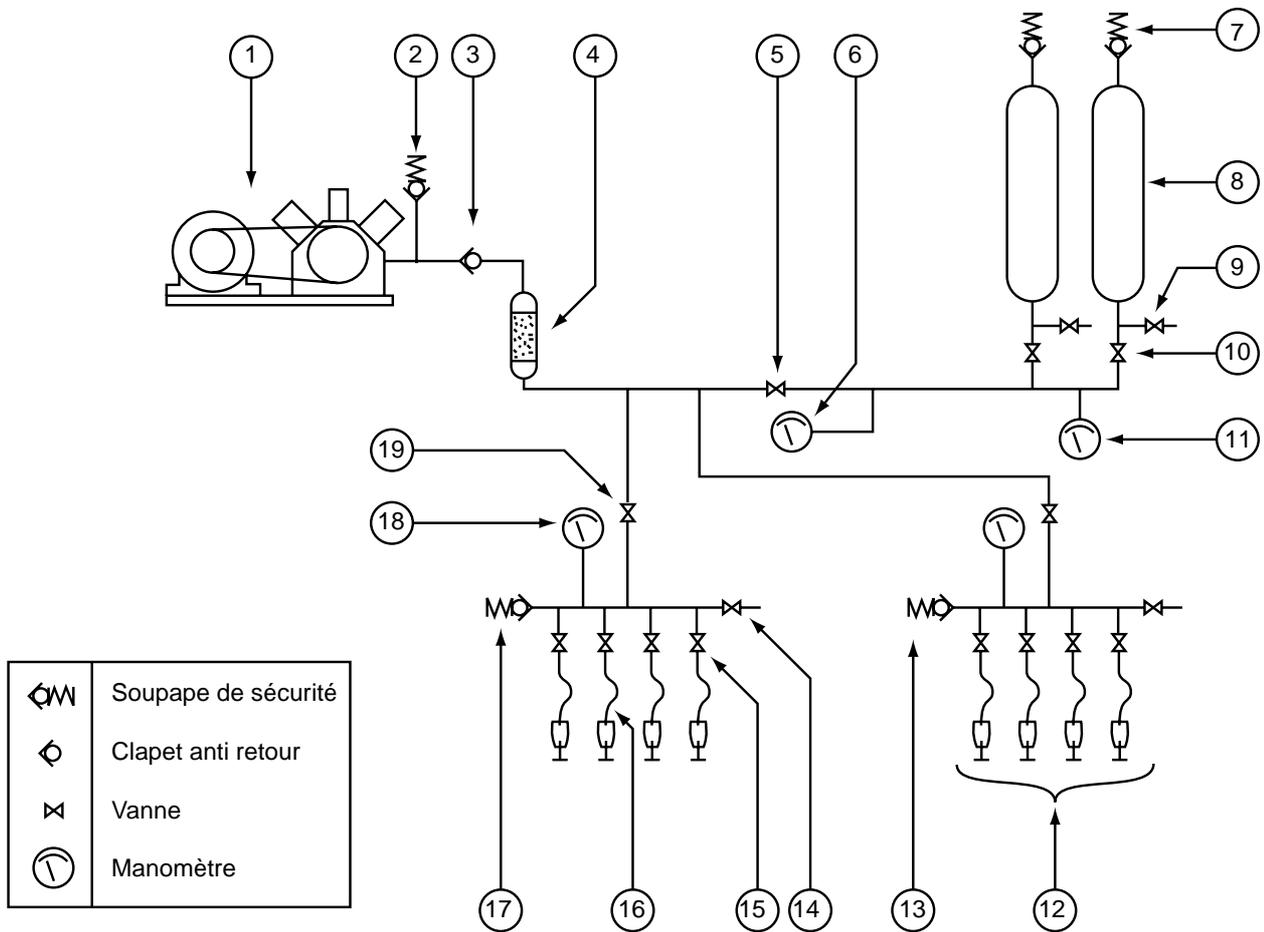
La norme NFE 51 290 est applicable aux installations de compresseurs d'air fixe, mais elle exclu explicitement les compresseurs d'air respirable. Néanmoins, faute d'une norme prenant ces compresseurs en compte, elle est largement applicable, elle constitue un bon guide de conception et d'utilisation des installations. On évitera de faire la confusion entre une norme (texte indicatif) et un arrêté ou un décret (texte réglementaire d'application obligatoire). Il existe des cas où un arrêté rend obligatoire la conformité à une norme (cas de la norme électrique NFC 15.100 par exemple).

1.2. La fonction raccordement

La figure 1 nous présente le plan typique d'une station de gonflage. Les éléments de notre fonction raccordement sont regroupés dans un ensemble que l'on appelle la rampe (numéro 15 à 18). La rampe comporte un certain nombre de flexibles se terminant par des étriers (ou des raccords DIN).

Concernant les montages à étriers, il existe deux standards : le standard français (F) et le standard international (I). Les inserts (ou opercules) F sont généralement à démonter avec une clef six pans creux de 8 les opercules I avec une clef de 5. Ils diffèrent légèrement par le diamètre du siège : 17,8 pour le I 18,2 pour le F. Un étrier F ne se monte pas sur un insert I, un étrier I se monte dans les deux types d'inserts, mais avec un risque d'extrusion du joint torique dans le cas d'un insert F. L'utilisation de joints torique dur (80 SHORE) diminue le risque d'extrusion.

Comme il faut pouvoir démonter les blocs de la rampe après le gonflage, il faut pouvoir purger les canalisations. A cet effet nous avons la vanne de purge (18). Le bruit produit par les purges peut

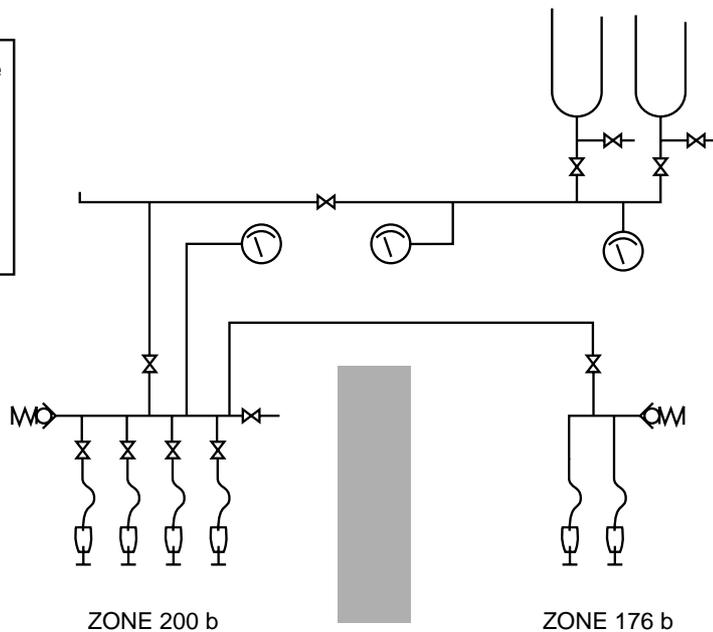


1	Compresseur	
2	Soupape de sécurité du compresseur	(1) et (2)
3	Clapet anti retour	
4	Filtre à charbon activé	
5	Vanne de tampon	
6	Manomètre de tampon (déporté au tableau)	
7	Soupapes de sécurité des tampons	(3)
8	Tampons	
9	Vannes de purge de tampon	
10	Vannes d'isolement du tampon	
11	Manomètre des tampons (montés sur les tampons)	(4)
12	Rampe "pression de service n°1"	(5)
13	Soupape "pression de service n°1"	(5) et (2)
14	Vanne de purge	
15	Vannes individuelles de sorties de rampes	
16	Flexibles avec etriers (ou DIN), doublés par câble anti fouettage si L > 1m	
17	Soupape "pression de service n°2"	(2)
18	Manomètre de rampe	
19	Vanne de rampe	

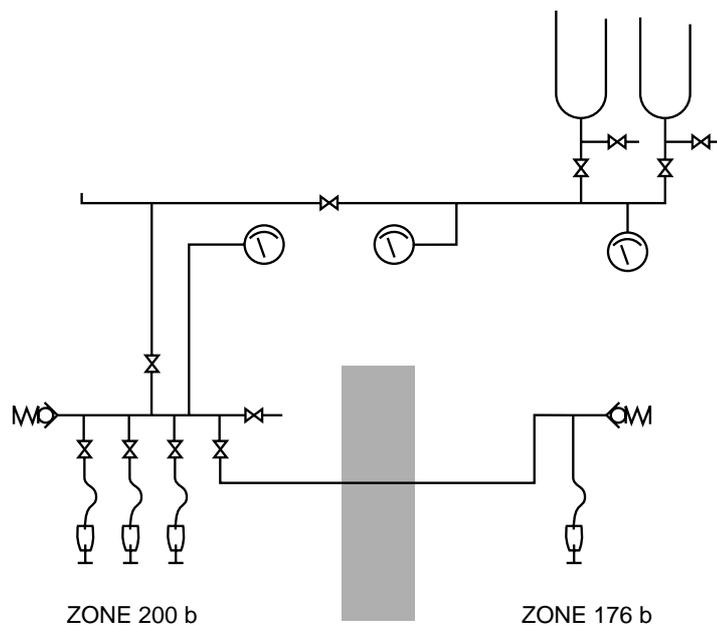
- (1) Tarée selon la pression de service la plus basse des tampons et du filtre à charbon activé
- (2) Contrôle de "manoeuvrabilité" au moins annuel obligatoire
- (3) Sert à empêcher l'éclatement du tampon en cas d'élévation de température (incendie)
- (4) La pression de toute enceinte doit être contrôlable depuis la pièce où se trouve cette enceinte. Le mano du tableau de gonflage (6) peut donc jouer ce rôle si le tableau se trouve à proximité immédiate des tampons.
- (5) Obligatoire si on dispose de blocs avec diverses pressions de services (rampes 176 b)

Fig 1 : Installation de gonflage type

	Soupape de sécurité
	Clapet anti retour
	Vanne
	Manomètre



Extension à partir de la rampe principale :
 Installation d'une petite rampe auxiliaire, avec une ou deux sorties équipées d'une soupape 176 b. On peut simplifier au maximum cette rampe en l'installant en extension de la rampe principale. Dans ce cas, la rampe auxiliaire peut être dépourvue de vanne de purge et de manomètre, ceux de la rampe principale servant pour les deux.



Détournement d'une sortie de la rampe principale :
 Une sortie de la rampe 200 b est équipée avec une soupape 176 b, réalisant une "mini rampe" 176 b.

La sécurité repose sur la séparation physique, "géographique" de la rampe 176 b de la rampe 200 b et sur des signalisation très différenciées (panneau, couleur...)

Fig 2 : Variantes économiques pour la réalisation d'une rampe 176 b

causer des problèmes d'oreilles, il y a lieu de prendre des précautions surtout sur les grosses machines (silencieux d'échappement, étranglement de sortie, casque antibruit...). Les sorties peuvent être pourvues d'une vanne individuelle permettant de les fermer pour gonfler, par exemple 3 blocs, sur une rampe à 4 sorties. Ces vannes sont utiles mais pas absolument nécessaires : si l'on ne peut pas fermer les sorties, on peut toujours les "boucher" avec des bouteilles fermées.

1.3. La fonction contrôle.

Son but est de permettre à l'opérateur de connaître la situation de son installation (pression en divers points) et de diriger son air comprimer là où il en a besoin.

Le tableau de contrôle doit être le plus ergonomique possible :

1. Toutes les vannes doivent se fermer dans le même sens, tous les quarts de tours doivent avoir la même position quand ils sont fermés.
2. Les vannes et les manos qui contrôlent une zone doivent être groupés, ils doivent se trouver logiquement du côté de la zone qu'ils contrôlent.
3. Deux instruments donnant des indications qui doivent être comparées (mano de tampon et de bouteille) doivent avoir la même échelle et la même présentation
4. Les manos sont utilisés à la moitié ou au 2/3 de leur pleine échelle.
5. Les pressions nominales sont visualisées sur les manomètres par des index
6. Des secteurs rouges visualisent les zones de pressions interdites sur les cadrans
7. Un étiquetage rappelle les rôles des éléments, les sens de fermetures

Il y a donc au moins un manomètre de rampe (5) permettant de connaître la pression dans les bouteilles et (si tampons) un manomètre de tampons (8).

Si les tampons se trouvent dans une pièce séparée du tableau, ils doivent comporter un manomètre

Les vannes (6) et (7) permettent de diriger l'air sur les blocs, les tampons, ou de réaliser un équilibrage des blocs avec les tampons. Ce type de montage permet 3 modes de fonctionnement.

1/ Tampons seuls : le compresseur n'est pas mis en route, les vannes 6 et 7 sont ouvertes, jusqu'à ce que la pression désirée soit atteinte dans les blocs. Ce mode est souvent utilisé pour gonfler quelques blocs en dépannage ou pour compléter rapidement un bloc mal gonflé.

2/ Tampons plus compresseur : le compresseur débite. Quand il n'y a pas de blocs sur la rampe, il gonfle les tampons (7 ouverte), quand les blocs sont montés sur la rampe, on ouvre (6), les tampons et le compresseur débitent dans les blocs. Lorsque les blocs sont pleins, on ferme (6) et l'on remplace les blocs pleins par des vides sur la rampe.

On évite ainsi de gaspiller de l'air pendant le changement de rampe, mais surtout on utilise le compresseur à sa plage de fonctionnement la plus favorable. En effet avec cette méthode, la pression de sortie du compresseur est toujours de l'ordre de 150 à 250 bar. Si l'on n'a pas de tampons, le gonflage débute avec une pression de sortie nulle ou presque (blocs vides). On comprime donc l'air dans les étages du compresseur pour le décompresser à 1 bar dans les tuyaux. Le mode de fonctionnement à basse pression est mauvais pour le compresseur, il provoque une usure rapide des pistons libres (si présents) une condensation et une corrosion maximale aux niveaux des derniers étages.

3/ Compresseur seul : ce mode n'est utilisé que si l'on ne dispose pas de tampons (toutes petites installations ou système mobile). Pendant le changement de rampe, on fait débiter le compresseur à l'air libre, et on se dépêche. Le rendement est mauvais, on perd du temps, la machine souffre pendant

les marches à vide. Arrêter la machine n'est pas bon non plus, les phases de démarrages sont les plus sévères en termes d'usure.

L'utilisation d'un deverseur en sortie de compresseur diminue les inconvénients de ce type de fonctionnement.

Une installation de gonflage peut comporter plusieurs compresseurs, dans ce cas, ils doivent disposer chacun d'une vanne d'arrêt en sortie, permettant de les isoler de l'installation. Les clapets anti-retour ne peuvent être pris en compte pour réaliser cette fonction (NFE 51 290 n° 18.8)

Idéalement les manomètres doivent avoir leurs prises de mesures le plus près possible des ensembles dont ils doivent mesurer la pression. Si ces prises sont "piquées" sur les tubes de transport de l'air (par exemple juste en aval des vannes (6) ou (7)) le débit de l'air lors du gonflage produit dans ces tubes une perte de charge importante. La lecture est faussée par excès.

1.4. La fonction stockage

En pratique l'air est stocké dans de grosses bouteilles : les tampons.

Ces tampons sont soumis à la réglementation sur les appareils à pression de gaz. Si l'installation de tampons est fixe, c'est-à-dire que l'on ne peut pas la déplacer sans utiliser d'outils pour démonter ses fixations, la réépreuve est décennale, la visite est tri-annuelle. Le volume "classique" pour les tampons est de 50 l, les pressions de service classiques sont de 200, 250 ou 300 b.

On peut trouver des blocs à 300 voire à 350 b. La réépreuve des tampons à très haute pression pose parfois des problèmes. La réépreuve des tampons à 300 b nécessite une station montant à 450 b qui n'est pas forcément facile à trouver, la réépreuve des tampons à 350 nécessite une station à 525 b. Quelle que soit la pression d'utilisation réelle des tampons il n'est pas possible de demander une diminution de la PS officielle. Seules la PS et la PE d'origine seront prises en compte lors des réépreuves. Pour cette raison, il faut éviter de choisir des pressions de service inutilement fortes. Les tampons se visitent comme les blocs. Sous réserve de disposer des éléments nécessaires le TIV peut se charger de cette opération. Par exemple, si le tampon présente des piqûres justifiant la mesure d'épaisseur, il faudra disposer des épaisseurs de calcul des parois.

On rencontre des tampons alu, acier et alu fretté avec un fil d'acier. Les deux technologies monoblocs sont strictement semblables à celle des bouteilles de plongées. Dans les blocs frettés, un corps en alliage d'aluminium est renforcé par un bobinage de fil d'acier sur sa partie cylindrique. Les tampons peuvent avoir une ou deux ogives, les filetages sont généralement coniques, l'étanchéité se fait au Téflon et par serrage au couple. Il faut éviter les pâtes d'étanchéité (loctite, tubétanche ou autre) sous peine d'avoir de grande difficulté de démontage.

Les tampons se montent généralement par "rack", si les tampons ont une seule ogive, elle doit être vers le bas afin de permettre la purge. Les tampons à une seule ogive doivent être équipés d'une tête à deux circuits indépendants : un avec tube plongeur pour le circuit d'air, un sans plongeur pour la purge.

Les tampons reposent en général sur le rack dans la zone de l'ogive avec une protection plastique sur le rack afin de ne pas détériorer la peinture et d'éviter une corrosion galvanique. cette zone doit être maintenue propre et sèche. Certaines têtes de raccords sont conçues suffisamment robustes pour faire reposer le poids du tampon dessus.

Une vanne doit permettre d'isoler les tampons du reste de l'installation pour éviter de perdre de l'air pendant les périodes de non utilisation et pour permettre la maintenance.

Un tampon ou un ensemble de tampons non isolables entre eux doit être pourvue d'une soupape de sécurité. Cette soupape sert à éviter l'explosion du tampon en cas d'incendie. Elle doit être dimensionnée afin d'empêcher l'élévation de température de provoquer une élévation de pression supérieure à 10 % au-dessus de la PS.

1.5. La fonction sécurité

Quel que soit le soin apporté à l'ergonomie de la station et à la formation des utilisateurs, il faut être persuadé que :

"toutes les combinaisons possibles d'erreurs de manœuvres seront réalisées"

"si plusieurs combinaisons d'erreurs sont possibles, c'est la combinaison la défavorable à la sécurité qui sera réalisée"

Il faut donc qu'il n'y ait des soupapes de sécurité pour protéger chacune des enceintes sous pression. Les soupapes doivent être dimensionnées pour empêcher la pression de monter au-dessus de la pression de service de plus de 10 % (NF E 51 290 n° 20.1).

Soupapes : pression de tarage, pression maximum ou pression d'équilibre

La pression de tarage d'une soupape est caractéristique de la soupape seule : c'est la pression à laquelle elle commence à s'ouvrir.

La figure 3 a représente la courbe caractéristique de débit d'une soupape de sécurité. On peut y distinguer 3 zones :

- Le débit de la soupape est nul en dessous de sa pression de tarage (zone 0).
- Le débit croît progressivement avec la pression au fur et à mesure que le clapet commence à s'ouvrir puis recule (zone 1).
- Quand le clapet est en butée arrière, le débit augmente avec la pression, il n'est limité que par la section de passage de la soupape (zone 2). La valeur de cette section de passage influe fortement sur la pente de la courbe de débit dans cette zone. Une forte section donne un gros débit dès que la pression augmente un peu et donc une courbe à pente raide. Au contraire une petite section amène une augmentation du débit progressive et une courbe à pente faible.

Se focaliser sur la pression de tarage est une erreur : la pression derrière une soupape peut monter bien plus haut que cette pression de tarage.

La pression maximale ou pression d'équilibre dépend non seulement des caractéristiques de la soupape, mais aussi de celle de l'installation. Considérons une soupape protégeant un récepteur alimenté par un "émetteur" de gaz sous pression (le compresseur). La figure 3 b représente la superposition des courbes de débit d'un compresseur et d'une soupape. On notera que le débit du compresseur chute un peu quand la pression de sortie augmente, les fuites internes de la machine et l'influence des volumes morts augmentant. La pression ne cessera de croître que quand le débit de la soupape devient égal à celui de l'émetteur (point A). C'est cette pression que la soupape peut garantir, on l'appelle parfois pression de protection. La pression d'équilibre est obligatoirement plus grande que la pression de tarage. .

Plus la soupape est grosse (forte section de passage), plus la différence entre P_t et P_{eq} est faible. Une soupape doit répondre à deux critères : assurer, dans les conditions les plus défavorables une pression d'équilibre inférieure à $PS + 10\%$ tout en ayant une pression de tarage légèrement au-dessus de P_s afin de ne pas s'ouvrir inutilement. En fait ces conditions reviennent à fixer la courbe de débit de la soupape, c'est-à-dire essentiellement sa section de passage.

Exemple : une soupape de rampe à 200 b sera tarée à 205 / 210 b et devra assurer à 220 b un débit suffisant pour évacuer la totalité de l'air venant du compresseur et des tampons, gonflés à leur pression maximale.

Une soupape est un instrument de sécurité et pas de mesure : on ne doit pas gonfler "jusqu'à ce que la soupape s'ouvre". D'une part l'ouverture répétée des soupapes à pour effet de les user (joints, siège) et

de les dérégler. D'autre part les soupapes étant tarées par principe au-dessus de la pression de service, ce système implique le dépassement systématique de la PS des blocs.

La première soupape (2) se trouve en sortie du compresseur : son parfait état est absolument vital, elle vous sauvera la vie 2 ou 3 fois par an. En effet on peut avoir une surpression en ce point de plusieurs façons :

* On ferme par mégarde les vannes 6 et 7 en même temps. Cela arrive même (surtout ?) aux gonfleurs les plus surs d'eux.

* Blocage du clapet (3) ou colmatage du filtre à charbon (4). Plus rare mais cela arrive si le compresseur, mal purgé, crache beaucoup d'eau (corrosion du clapet, transformation du charbon en boue).

Cette soupape doit être choisie en fonction de la pression de service du plus faible des éléments de l'ensemble de stockage et de filtrage.

La deuxième soupape (13) se trouve directement sur la rampe. Son rôle est d'empêcher de dépasser la pression de service des blocs. Elle aussi, sert assez souvent : chaque fois que le gonfleur est inattentif.

La loi impose un contrôle des soupapes ("essai de manoeuvrabilité") au moins annuel et un tarage au moins décennal. Notons également que les essais de manoeuvrabilité doit aussi être fait « aussi souvent que nécessaire », pour assurer la sécurité de l'installation. Ce sera le cas, par exemple, après toute modification de l'installation susceptible de modifier les débits ou tout travaux susceptibles de dégrader le fonctionnement de la soupape (introduction de débris, limaille dans les canalisations). L'essai annuel de manoeuvrabilité peut être réalisé par l'exploitant de la station, sans démonter les soupapes.

Il suffit de fermer les vannes en aval (ou de monter des blocs sans les ouvrir) et de faire débiter l'installation jusqu'à l'ouverture de la soupape à tester. A ce moment, on N'ARRETE PAS le test, on continue à laisser débiter le compresseur jusqu'à ce que la pression se stabilise, A CE MOMENT SEULEMENT on mesure la pression. Il y a deux valeurs à noter : la pression de tarage et la pression d'équilibre, la différence entre les deux renseigne sur l'état de la soupape (section de passage réelle, course de la tige...).

La pression de tarage seule n'a pas grand sens, en particulier, on ne peut absolument pas en déduire "à l'expérience" la pression d'équilibre. En effet, le vieillissement de la soupape (gommage ou grippage de la tige par exemple) peut très bien modifier la pression d'équilibre et pas celle de début d'ouverture. La figure 3 c illustre l'influence d'une dégradation de la sur la pression d'équilibre.

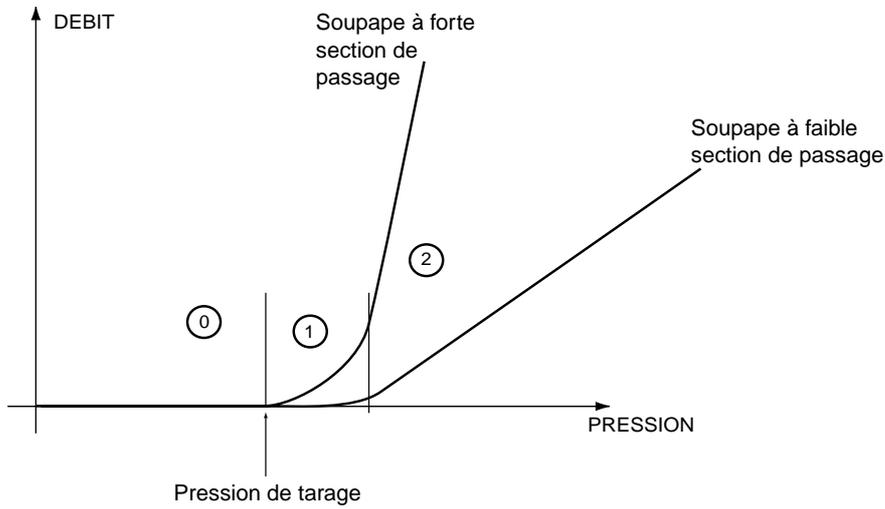


FIG 3 a : Courbe de débit caractéristique d'une soupape

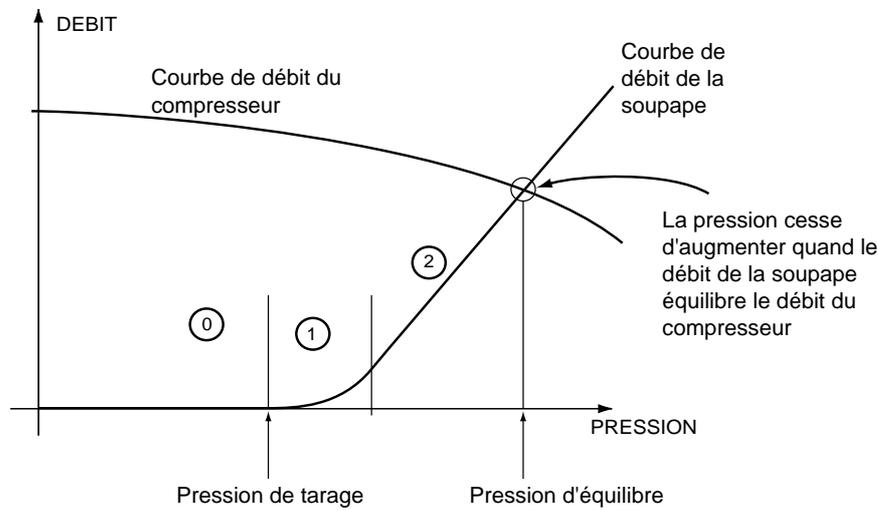


FIG 3 b : pression d'équilibre émetteur / soupape

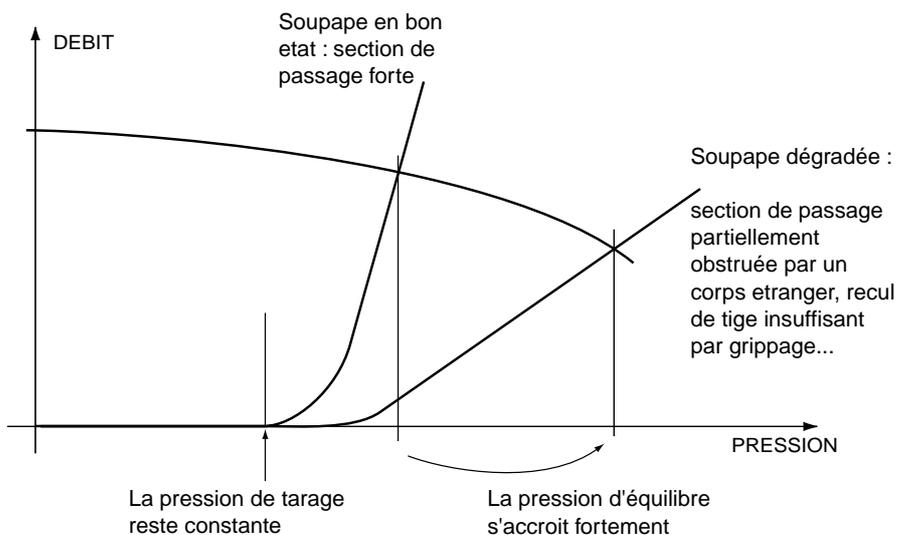


Fig 3 c : Variation de la pression d'équilibre en fonction de l'état de la soupape

2. Compression de l'air / humidité de l'air

La notion d'humidité de l'air est un peu plus complexe qu'il n'y paraît

Il faut en fait distinguer deux notions : l'humidité relative et l'humidité absolue

Dans la vie courante, nous sommes essentiellement sensibles à l'humidité relative de l'air

On dit que l'air est sec quand les vêtements sèchent rapidement, que le corps ressent cette faible humidité (peau sèche, soif, lèvres gercées...)

On dit que l'air est humide quand les vêtements ne sèchent pas, que de la buée condense sur les surfaces froides, ou que l'on ressent une sensation d'air lourd, de moiteur.

Nous savons que l'humidité relative s'exprime par un pourcentage : le degré hygrométrique. En fait ce degré est le rapport entre la masse de vapeur d'eau effective dans l'air et la masse maximale de vapeur d'eau possible, dans les conditions de température et de pression.

Pour une température et une pression donnée la masse de vapeur d'eau que peut contenir un mètre cube d'air peut se calculer ou se trouver à l'aide de table. Cette masse d'eau M dépend de deux facteurs : la pression et la température.

P augmente M_{\max} diminue

T augmente M_{\max} augmente

Si la masse d'eau effectivement présente est égale à cette masse maximale, l'air est saturé, le degré hygrométrique est de 100 %. Si la masse effectivement présente est la moitié du maximum on dit que le degré hygrométrique est de 50 %.

Le degré hygrométrique de l'air modifie sensiblement son comportement :

Si l'air est très loin de la saturation, l'eau aura tendance à passer facilement en phase vapeur, les flaques d'eau, la peau, les tissus sèchent.

Si l'air est très proche de la saturation, il ne peut pratiquement pas absorber d'eau supplémentaire : l'eau liquide ne s'évapore pas, les vêtements restent humides.

Si l'air est saturé, une toute petite augmentation de la pression ou une petite diminution de la température fera descendre la masse d'eau maximale en dessous de la masse d'eau effective. On aurait un taux d'hygrométrie supérieur à 100 % ce qui n'est pas possible. A ce moment, la vapeur d'eau va se condenser. On voit apparaître un brouillard ou de la buée.

De nombreux phénomènes s'expliquent par cela :

Si on veut sécher du linge, on le met dans une pièce chauffée ou on lui fait circuler de l'air chaud dessus. En effet on prélève de l'air ambiant relativement froid, donc qui ne peut contenir que peu d'humidité même s'il est saturé. En le réchauffant on fait grimper la masse potentielle d'eau qu'il peut contenir, cela sans faire grimper la masse d'eau réellement présente. Par conséquent son degré hygrométrique chute donc l'air devient "relativement sec".

Si on veut disposer d'air sec, on climatise. L'air en se refroidissant voit sa masse d'eau maximum potentielle diminuer, l'eau en excès condense. Ensuite en réchauffant cet air "asséché" on obtient un air avec un taux d'hygrométrie faible.

L'humidité de l'air joue un rôle important lors de la compression de l'air. Nous avons vu que si P augmentait la masse de vapeur d'eau maximale par m^3 diminue. Par conséquent, lors de la

compression de l'air, la vapeur d'eau va se trouver en excès dans l'air. La quantité en excès va se condenser et on devra éliminer cette eau. L'élimination de l'eau par condensation s'arrête au moment où la masse de vapeur est juste égale à la masse maximale : l'air comprimé produit sera automatiquement un air saturé en eau (degré hygrométrique = 100 %).

Par ailleurs la compression de l'air chauffe cet air, même avec un bon refroidissement, l'air sortant du compresseur sera plus chaud que l'air ambiant. Cet air va se refroidir dans les bouteilles, en se refroidissant comme c'est un air saturé, de l'eau va se condenser, dans les blocs.

La quantité d'eau qui va se condenser sera d'autant plus forte que :

1/ la température de l'air de sortie du compresseur sera forte (machine mal refroidie).

2/ la quantité d'eau à l'entrée du compresseur sera forte, c'est-à-dire que le degré hygrométrique est élevé et que la température ambiante est forte. 100 % d'humidité à 30 °C (Antilles) produit beaucoup plus d'eau que 100 % à 17 °C (Bretagne).

Par contre, à la détente à la pression atmosphérique, le degré hygrométrique de l'air va tomber très bas puisque la masse maximale potentielle de vapeur augmente quand P diminue. C'est ce dernier phénomène qui explique que l'air fourni au plongeur soit très « sec » et déshydratant, alors même qu'il peut y avoir de l'eau condensée dans le bloc.

.

3. Le compresseur.

3.1 Fonctionnement, principe de base

Le compresseur sert à remplir les bouteilles de plongée ou les bouteilles-tampons à partir de l'air ambiant à la pression atmosphérique.

C'est un système mécanique entraîné par un moteur qui peut être électrique ou thermique (Diesel ou essence). Nous n'aborderons pas cette partie motrice.

L'élément de base du compresseur et le système piston-cylindre-clapet (Figure 4).

Ce système fonctionne en deux phases : aspiration et refoulement qui correspondent respectivement à la montée et à la descente du piston.

Lors de l'aspiration (descente du piston), le volume délimité par l'ensemble piston-cylindre augmente, donc la pression dans ce volume a tendance à diminuer (loi de Mariotte). Donc la pression atmosphérique devient plus grande que la pression dans le cylindre, elle repousse le clapet d'aspiration et l'air rentre dans le cylindre.

Lors du refoulement (montée du piston), le volume diminue et la pression augmente. Le clapet de refoulement s'ouvre et l'air est chassé vers la sortie du compresseur (utilisation).

On notera la ressemblance très forte avec le principe des moteurs à explosions. De fait pratiquement toutes les techniques utilisées sont semblables (conception des paliers, construction des pistons et des chemises, segmentation). La seule différence est que les pistons des compresseurs sont plus couramment en fonte qu'en alliage d'aluminium.

La montée et la descente du piston sont commandées par un système que l'on appelle le système "bielle-manivelle" (Figure 5). Il sert à transformer le mouvement de rotation du volant en un mouvement alternatif linéaire (translation).

Au cours de la rotation du volant, le piston passe par deux positions extrêmes : le Point Mort Haut (PMH) et le Point Mort Bas (PMB). Ces deux positions définissent deux volumes (V_{mH} et V_{mB}) du système piston-cylindre. Le rapport entre ces deux volumes va nous définir le taux de compression maximum ($T_c = V_{mB}/V_{mH}$). Notons que ce taux de compression "volumétrique" n'est pas égal au rapport des pressions d'entrée et de sorties, la température s'élevant au cours de la compression. De plus la compression ne se fait pas dans un cylindre fermé, comme sur un moteur, mais dans un cylindre qui communique librement avec l'étage suivant via le clapet de refoulement. On démontre facilement que l'on a intérêt à réduire au maximum le V_{mH} qui se comporte comme un volume mort parasite nuisant au rendement. Dans ce cadre, le rapport de compression réel d'un étage est donc fixé par le rapport des flux entre les deux étages et non par le taux de compression du cylindre.

La liaison piston chemise est une partie critique du compresseur qui doit supporter des contraintes contradictoires. La vitesse de glissement assez importante du piston dans la chemise, les efforts latéraux sur le piston (angle de bielle) imposent que cette zone soit très bien lubrifiée.

Il faut laisser un jeu fonctionnel entre le piston et la chemise et il faut qu'il reste un jeu suffisant quand la machine est en température. Le piston n'ayant pas de surface d'échange avec le fluide de refroidissement, il chauffe plus, donc se dilate plus que la chemise. On prévoit donc une marge de dilatation qui se rajoute au jeu fonctionnel.

Le maintien du jeu entre piston et chemise est une condition de fonctionnement : sans jeu, il est impossible de lubrifier la zone de glissement et d'y garantir une pression de contact raisonnable. Sans un jeu et une lubrification suffisant le frottement du piston dans la chemise engendre un fort échauffement du piston qui augmente la dilatation du piston. A son tour, la dilatation du piston accroît la pression de contact, augmente le frottement producteur de chaleur et concourt à chasser le film de lubrifiant. Ce cercle vicieux se poursuit jusqu'au blocage du piston dans la chemise : on parle de "serrage" du cylindre. De plus la création d'un point ou d'une zone surchauffée sur le piston risque de provoquer une décomposition de l'huile et la production de polluants (CO CO₂).

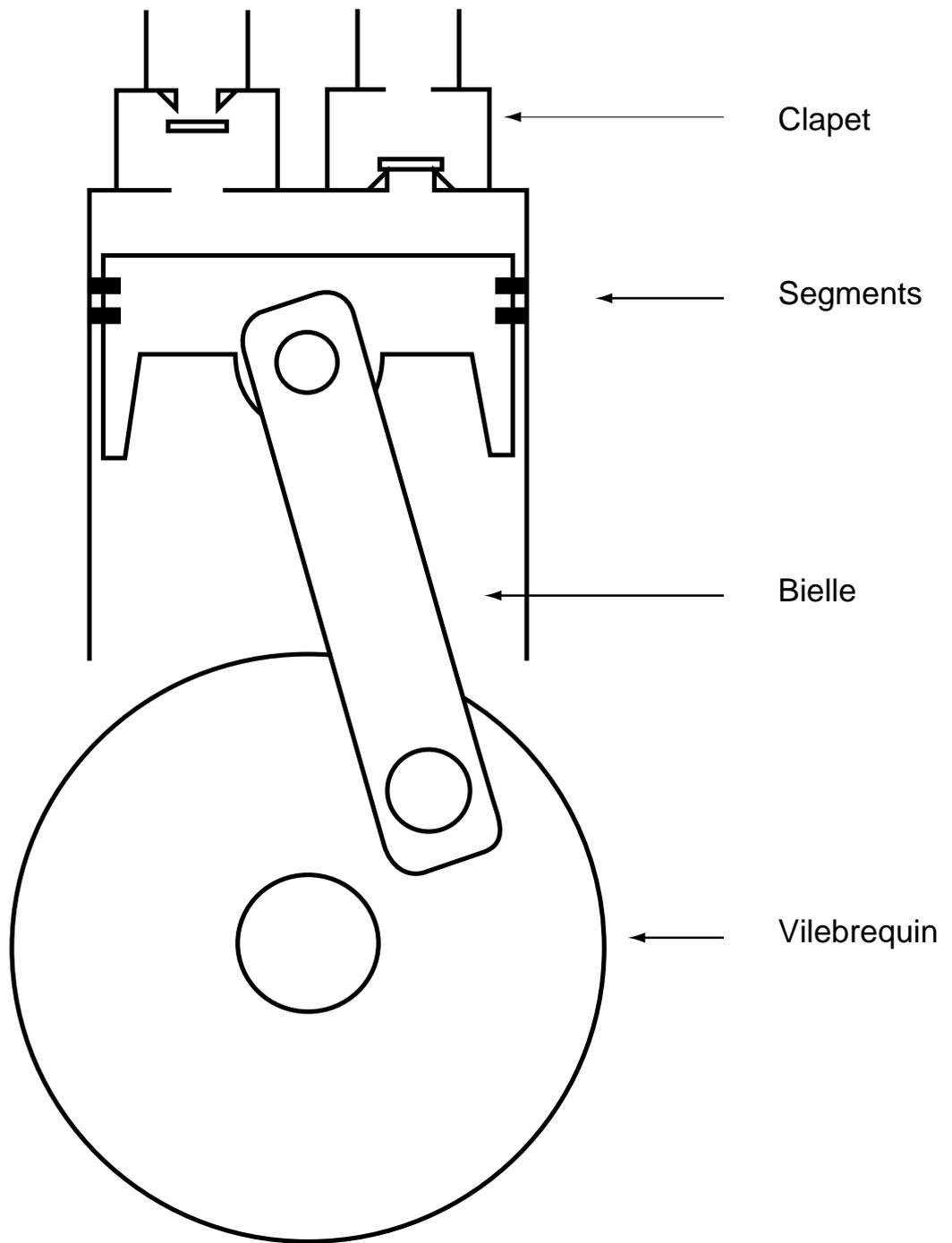


Fig 4 : Principe de base de la compression de l'air.
Le système piston-cylindre-clapet

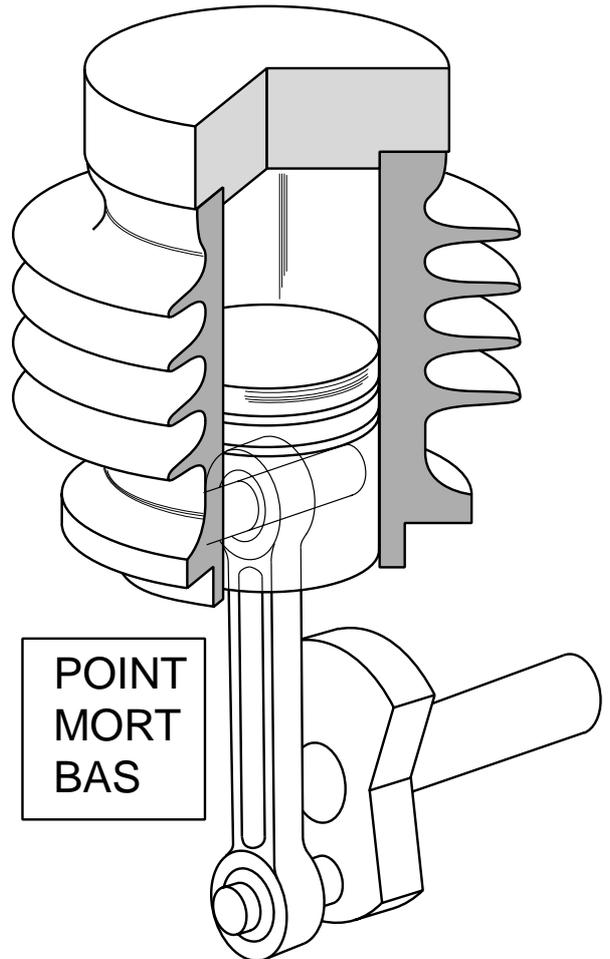
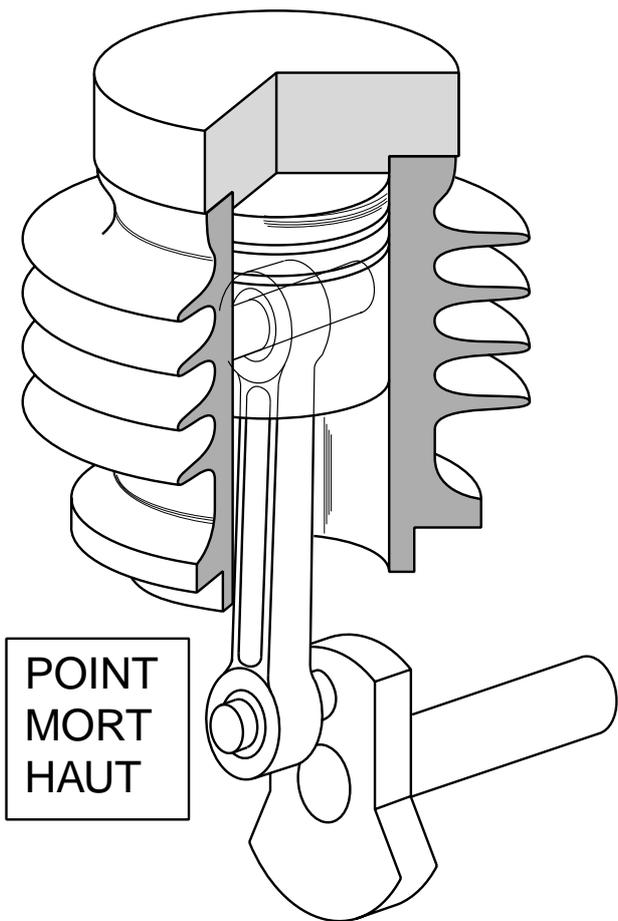
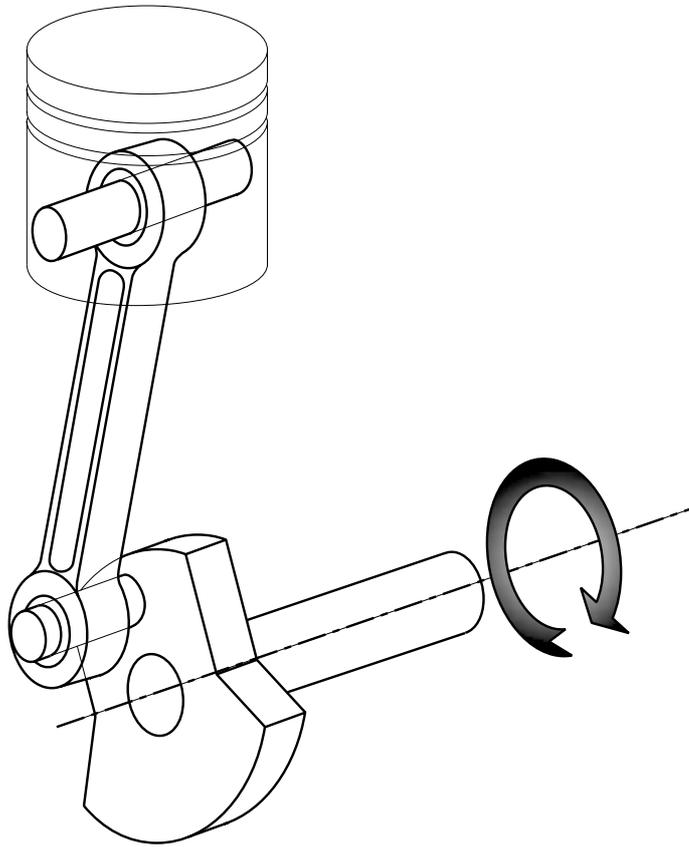


Fig 5 : Système bielle manivelle

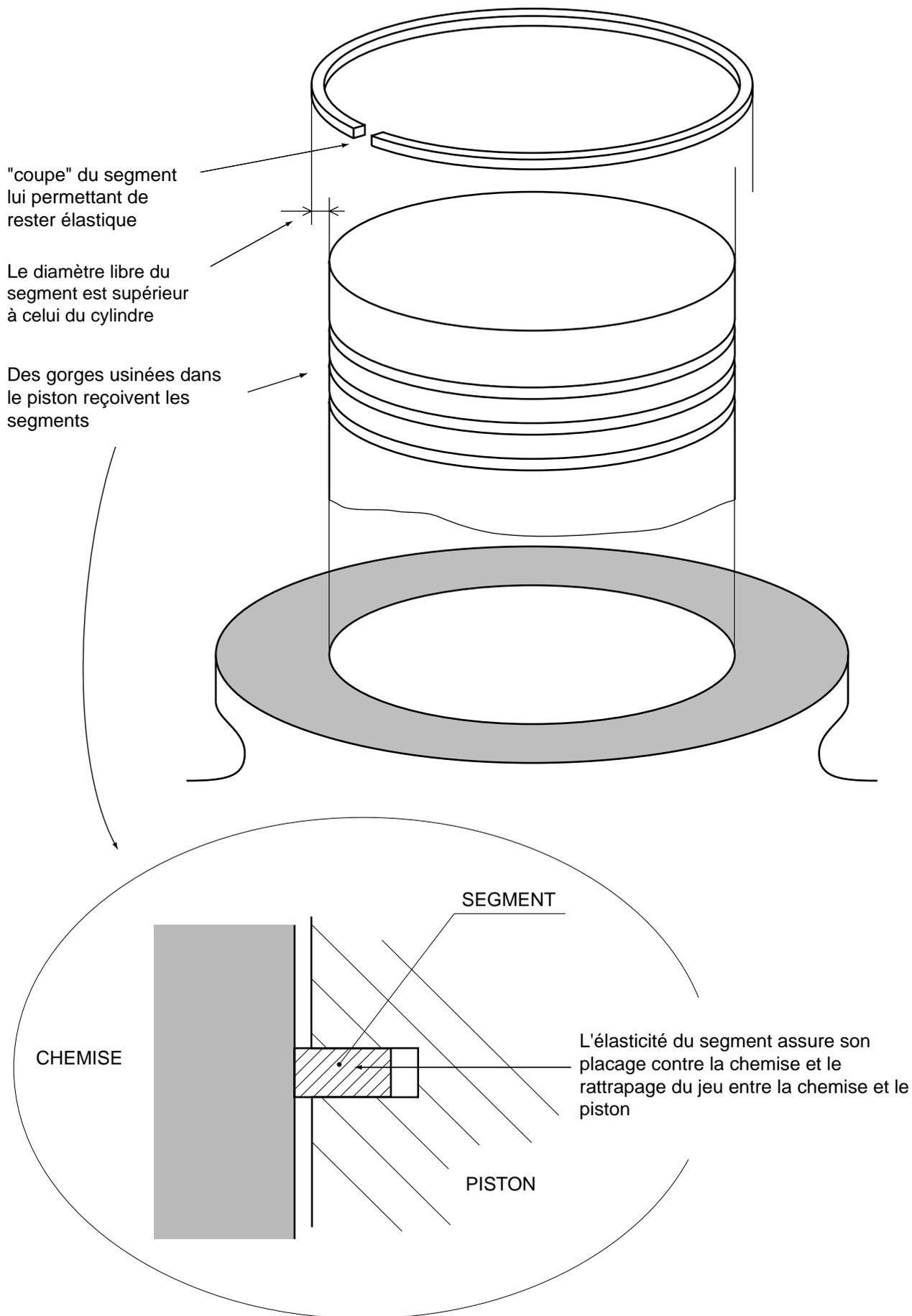


Fig 6 : Les segments

En même temps, il faut que la liaison piston chemise soit le plus étanche possible. Si le jeu est trop important l'étanchéité sera impossible à réaliser. Cela amène un compromis et à des jeux fonctionnels piston chemise de l'ordre du dixième de millimètre pour un piston de diamètre 100 mm. L'état de surface de la chemise ne doit pas être trop lisse afin de favoriser la tenue du film d'huile de lubrification : un dépolissage, laissant des stries, croisées à 45 ° de l'axe du cylindre est spécialement réalisé à cet effet.

Un tel jeu ne permet pas d'assurer une étanchéité "naturelle" suffisante entre piston et cylindre. L'étanchéité est réalisée comme sur les moteurs thermiques par des segments.

Les segments sont des anneaux en fonte, de sections carrées qui se logent dans des gorges usinées dans le piston. Ils sont élastiques et sont prévus avec un diamètre légèrement supérieur à celui du cylindre. Leur élasticité leur permet d'assurer le rattrapage du jeu entre le piston et le cylindre (Figure 6)

Afin de rester élastiques, ces anneaux ne sont pas complètement fermés, il reste donc un jeu entre les extrémités des segments quand ils sont montés, ce jeu doit être suffisant pour permettre la dilatation du segment. Pour augmenter étanchéité on met en série plusieurs segments. On a couramment 3 ou 4 segments sur les étages basses pressions et jusqu'à 12 sur la haute pression.

Le film d'huile tenant sur les parois et dont le dépolissage du cylindre limite la circulation concourt à étanchéité. Ce film d'huile réalise un vrai joint fluide mobile avec le piston. Un segment spécial (segment racleur) placé en bas du cylindre limite l'épaisseur du film d'huile qui reste sur la paroi.

Ce qu'il faut retenir, c'est que l'étanchéité piston cylindre ne peut être qu'une étanchéité relative : de l'air sous pression fuit vers le carter, et de l'huile du carter passe dans l'air. Cette étanchéité peut se dégrader de plusieurs façons.

L'usure en faisant disparaître l'état de surface dépolie d'origine favorise la circulation de l'huile, fait tomber le taux de compression du cylindre (on parle de glaçage). La machine consomme de l'huile qui part dans l'air

Les segments peuvent perdre de leur raideur, perdre de l'épaisseur et ne plus s'appliquer correctement contre le cylindre.

Les gorges des segments peuvent sous l'effet des contraintes alternatives s'élargir, le segment prend du jeu dans la gorge. A partir de là, le segment fait dans les gorges un mouvement de piston qui pompe l'huile du carter vers le cylindre

Une huile de viscosité insuffisante peut ne pas former un film suffisamment tenace sur les parois. L'air passe rapidement vers le carter et à l'aspiration, l'huile circule rapidement vers le cylindre.

Les clapets sont des points très sensibles : un clapet s'ouvre et se ferme à chaque tour du compresseur soit jusqu'à, environ 1500 fois par minute, tout cela dans une ambiance corrosive et encrassante (huile + haute pression + température). L'usure et l'encrassement sont rapides surtout pour les clapets les plus chauds (refoulement) et ceux se trouvant le plus près du carter.

La figure 7 montre quelques éclatés de clapets.

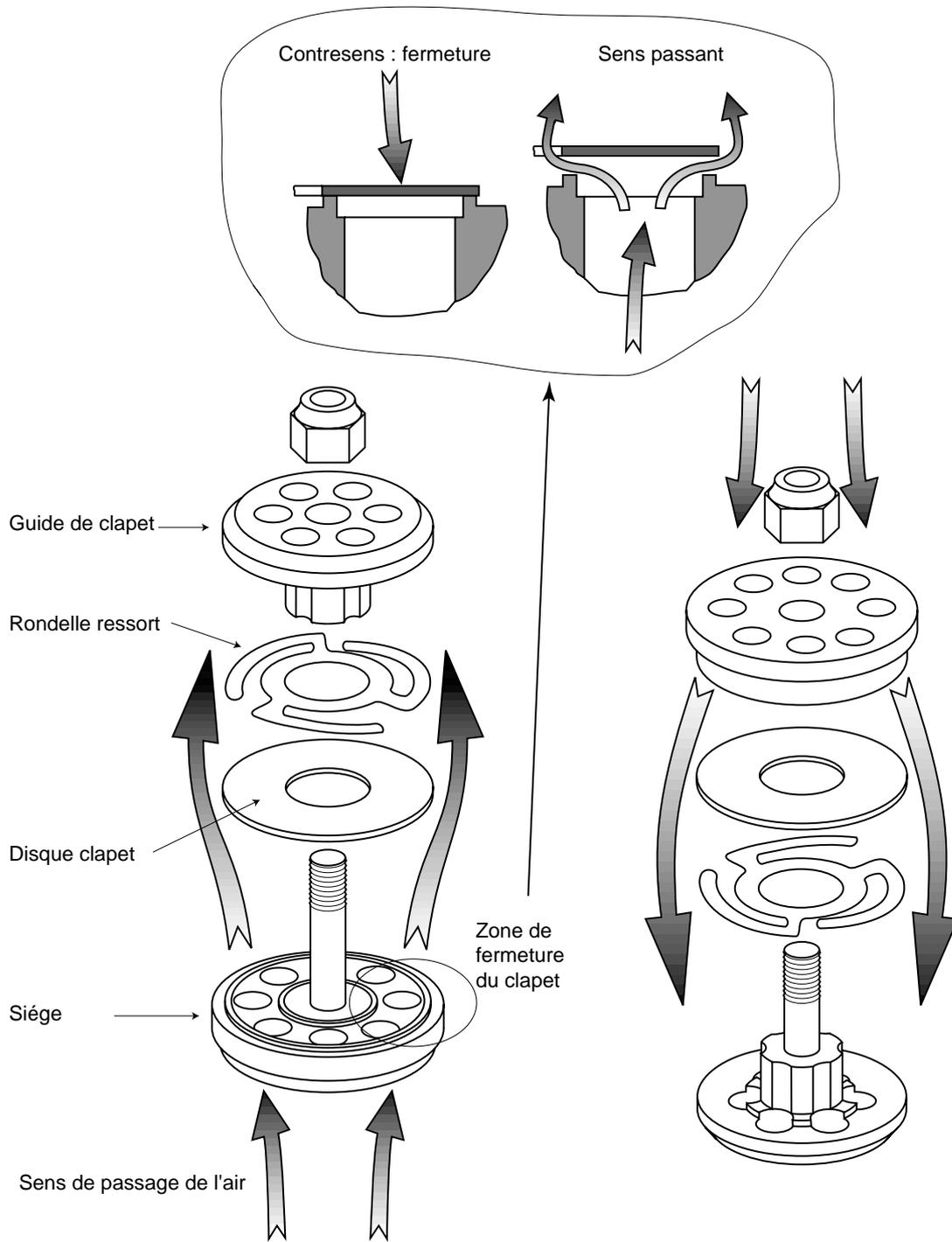


Fig 7 a : éclaté d'un clapet de refoulement

Fig 7 b : éclaté d'un clapet d'aspiration

3.2. Limites du compresseur monocylindre

Nous avons donc construit un appareil capable de nous fournir de l'air sous pression. De fait beaucoup de compresseurs sont construits sur ce principe (cylindre unique). Mais pour nous plongeur qui a besoin d'air à une haute pression ce système est insuffisant.

Tous ceux qui ont manipulé une pompe à vélo ont remarqué que la pompe chauffe quand on comprime l'air. Il se passe exactement la même chose dans le cylindre d'un compresseur. Cette élévation de température est d'autant plus importante que le taux de compression est important. Si on suppose que le gaz dans le cylindre n'échange pas du tout de chaleurs avec l'extérieur (c.a.d qu'il n'est pratiquement pas refroidi par le contact des parois du cylindre) on parle de compression "adiabatique". Les calculs sont alors assez simples et l'on trouve qu'un taux de compression de 4 suffit à élever la température de 20 °C à 237 °C. Ce résultat est théorique, bien sur l'air se refroidi au contact des parois du cylindre et sa température de sortie serait plus faible. Plus la cylindrée est faible plus le refroidissement naturel est important (rapport surface volume plus grand). Néanmoins, en pratique on peut difficilement dépasser un taux de compression volumétrique de 4 ou 5. Notons que la température s'élevant, un taux de compression volumétrique de 4 donne rapport de pression de l'ordre de 7.

Donc un compresseur monocylindre qui aspire l'air à la pression atmosphérique ne pourra pas dépasser 5 à 7 de bar de pression de sortie.

Pour tourner cette difficulté il faut comprimer l'air en plusieurs étapes :

1: Comprimer l'air une première fois à une pression P1 telle que l'élévation de température reste acceptable.

2: Refroidir cet air comprimé

3: Reprendre cet air à la pression P1 et le recomprimer à une pression P2 toujours en respectant un taux de compression limité afin que l'élévation de température reste acceptable.

4: Refroidir à nouveau et recommencer le processus jusqu'à ce que l'on obtienne la pression de sortie désirée.

C'est pour cela que tous nos compresseurs comportent plusieurs étages de compression. Le minimum est de trois étages avec un rapport de pression moyen de 6 par étage.

3.3. La fonction refroidissement

La méthode utilisée pour refroidir un fluide est toujours un peu la même : on fait passer le fluide à refroidir dans un ensemble de tuyaux (radiateur), cet ensemble baignant dans un milieu froid.

Ce milieu froid peut être de l'air ou de l'eau. Généralement l'échange de chaleur naturel est insuffisant par rapport aux performances voulues, on est donc amené à utiliser toutes sortes d'astuces pour augmenter cet échange.

Dans le cas du refroidissement par air, les tubes du radiateur portent des ailettes qui augmentent la surface d'échange et le radiateur lui-même est placé dans le souffle d'un ventilateur. La figure 8 a montre le principe de réalisation d'un de ces refroidisseurs.

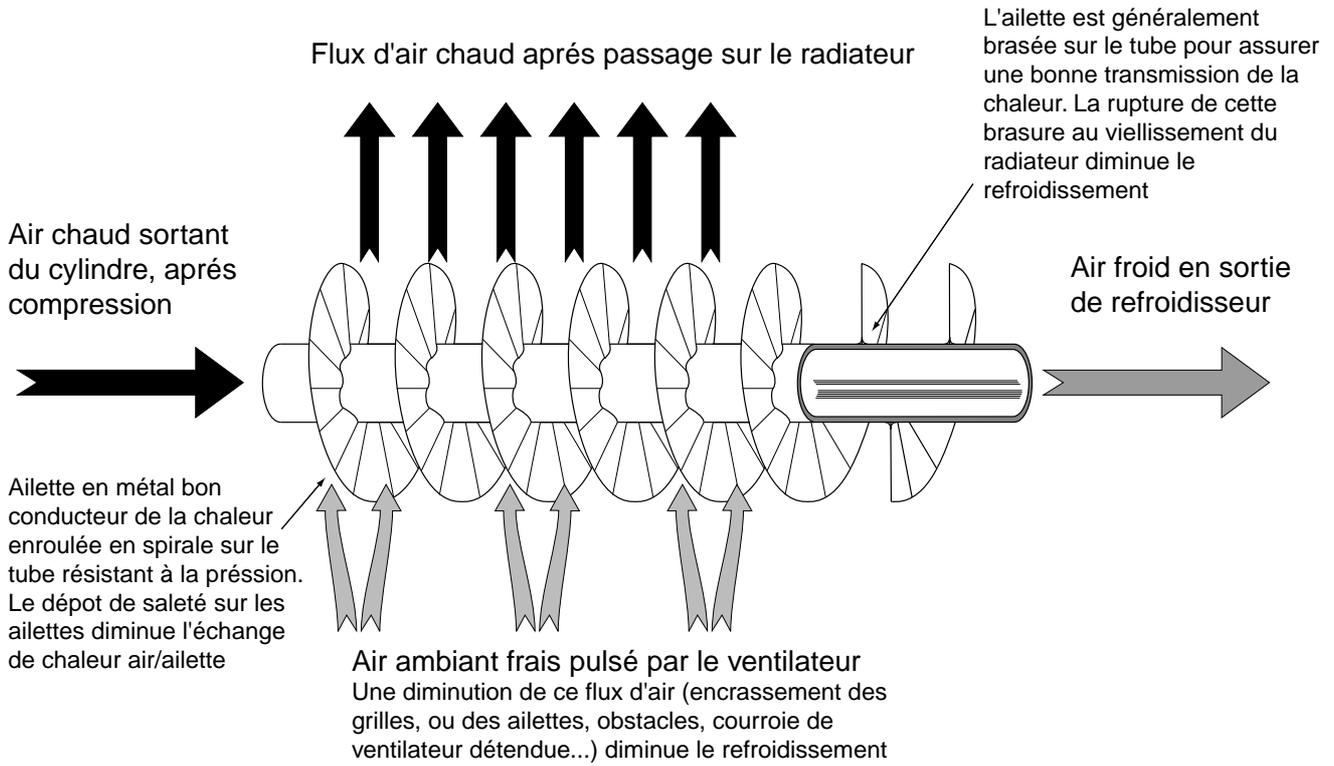


Fig 8 a : Principe d'un radiateur (ou refroidisseur) à air

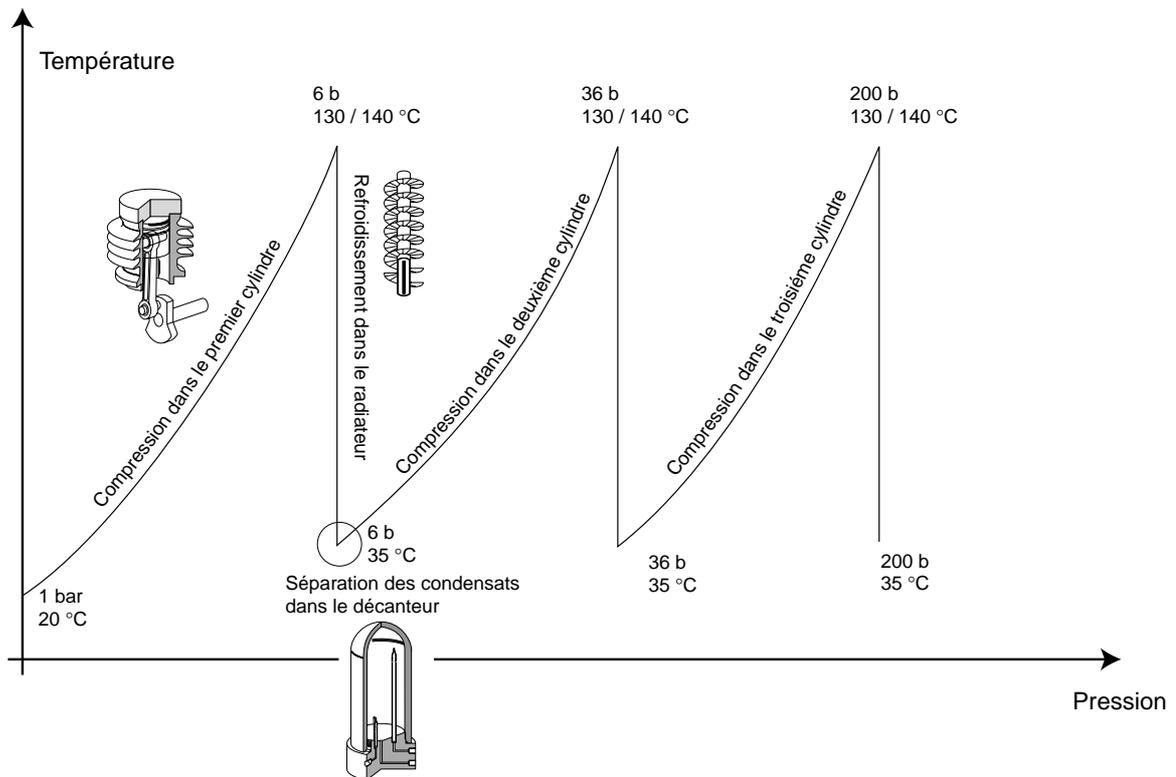


Fig 8 b : variation de température et de pression de l'air au cours de sa compression.

L'eau fournit un refroidissement plus énergique qui permet d'avoir des radiateurs plus simples (simple serpentins sans ailettes) et moins volumineux. Certains systèmes sont à eau perdue, mais la plupart utilisent un circuit d'eau fermée, l'eau étant elle-même refroidi par un radiateur à air.

La figure 8 b illustre les variations de température de l'air au cours de sa compression et son passage dans les cylindres puis les refroidisseurs. On notera après le refroidissement de l'air la nécessité d'éliminer l'eau qui se condense.

Les refroidisseurs sont un des points vulnérables d'un compresseur :

- * Les ailettes de refroidisseurs par air s'encrassent tandis que les tubes souffrent des vibrations
- * Les serpentins des refroidisseurs à eau s'entartrent et souffrent de la corrosion.

Un compresseur mal refroidi commence par perdre son rendement, puis si sa température s'élève trop il se pose des problèmes d'encrassement par l'huile qui se carbonise, il engendre du CO et du CO₂ qui pollue l'air produit. Mécaniquement un mauvais refroidissement accroît l'usure des cylindres (mauvaise tenue du film d'huile trop chaud), accroît la consommation d'huile et peut amener un serrage.

Il faut veiller sur les points suivants sur les compresseurs refroidit par air :

1. les ailettes ne sont pas encrassées
2. les ailettes restent solidaires des tubes
3. la grille de protection du ventilateur n'est pas encrassée
4. il n'y a pas d'obstacle au flux d'air, ni devant ni derrière
5. il n'y a pas de recyclage c'est-à-dire un retour de l'air chaud vers l'aspiration du ventilateur
6. la pièce est suffisamment ventilée, la température n'y monte pas plus que quelques degrés quand le compresseur tourne
7. le ventilateur tourne bien, s'il est entraîné par courroie, sa courroie est en bon état et bien tendue

Sur les compresseurs refroidis par eau, il faut :

1. surveiller la température de l'eau en sortie de machine
2. surveiller l'état des serpentins (tartre, dépôts de sels...)
3. surveiller le refroidisseur d'eau en cas de circuit d'eau fermé.

3.4. La fonction filtrage

Il y a deux grandes contraintes à propos de l'air :

1. L'air fourni par le compresseur est destiné à être respiré, il doit donc être biologiquement "propre".
2. Il ne doit pas contenir d'éléments susceptibles de nuire au fonctionnement du compresseur.

A cet effet il existe divers types de filtres. Nous allons suivre le cheminement de l'air et étudier les filtres que celui-ci traverse.

Position de la prise d'air

La position de la prise d'air est fondamentale pour éviter que des toxiques (en particulier le CO ou monoxyde de carbone) ne soit aspirés par le compresseur.

Elle doit se trouver en hauteur et correctement placée par rapport aux échappements des moteurs thermiques. Elle doit de préférence se trouver en extérieur, dans une zone bien exposée au courant d'air, sans se trouver en position d'aspirer des embruns ou de la pluie.

Filtre dépoussiéreur de l'entrée d'air

Le but de ce filtre est essentiellement de limiter la pénétration dans le compresseur de poussières abrasives. Il y a de nombreuses technologies possibles : filtres papiers (type prise d'air de voiture), filtres à bain d'huile, à feutre gras, filtres centrifuges. La plupart des systèmes de filtrage comportent des arrangements plus ou moins complexe de ces différents systèmes. Le type de filtre choisi dépend de la sévérité du milieu. La surveillance de ces filtres (vidage des bols à poussières, changement des éléments consommables est fondamental pour la longévité des compresseurs. Dans le cas de filtre à bain d'huile ou à feutre gras, l'huile utilisée doit être du même type que celle du compresseur.

Il faut noter que ces filtres, s'ils sont intéressants pour la durabilité de la machine, n'apportent aucune "dépollution" de l'air vis-à-vis du plongeur.

Les filtres décanteurs inter-étages

Le rôle de ces filtres est de séparer l'air des condensats d'huile et d'eau. En effet à chaque refroidissement il y a une condensation des vapeurs contenues dans l'air. Ces condensats sont doublements nocifs : pour le compresseur et pour le plongeur.

Le passage d'une quantité notable de liquide (incompressible) dans les cylindres serait catastrophique tandis que les excès d'huile encrassent les clapets.

Aucune huile n'est réellement non toxique, il est important de délivrer un air en contenant le moins possible.

Le principe de base de ces filtres est celui de la décantation. Si la vitesse de l'air reste importante, les gouttelettes d'eau et d'huiles sont entraînées par la vitesse, pour pouvoir les séparer, il faut que la vitesse de l'air devienne très faible, pendant un temps suffisamment long pour que les gouttelettes aient le temps de tomber. Pour diminuer la vitesse de l'air il faut accroître la section de passage.

Ces filtres sont constitués par des réservoirs où l'air ralenti un certain temps avant d'être réaspiré par l'étage suivant. Ils comportent à leur partie basse une sortie de purge, qui ouverte à intervalle régulier permet l'évacuation des liquides qui se sont déposés. Une purge trop rare de ces décanteurs provoque l'encrassement des clapets et abrège la durée de vie des filtres terminaux.

Ces filtres sont des réservoirs sous pression et sont donc soumis à la réglementation (réépreuves, visites...). La visite de ces récipients métalliques peut être effectuée par un TIV comme pour un bloc.

Le volume est la condition essentielle d'efficacité d'un décanteur. Néanmoins, des "astuces" permettent d'augmenter cette efficacité sans faire trop grimper le volume. On peut, grâce à une hélice, utiliser la force centrifuge pour accélérer le dépôt des condensats sur les parois, on peut faire circuler l'air contre une ou plusieurs parois ou les goulettes ont tendances à se déposer (coalescence) La fig. 9 présente le principe d'un décanteur.

Les filtres terminaux :

Ces filtres sont constitués d'un granulat de produit actif qui est traversé par l'air. Il y a 3 types de produits actifs classiques.

- tamis moléculaires

Son rôle est de supprimer les vapeurs d'eau et de fixer le gaz carbonique qui restent dans l'air à la sortie du compresseur. L'eau n'est pas un toxique, mais elle dégrade efficacité des filtres à charbon activé, elle accroît la corrosion des blocs et favorise le givrage des détendeurs.

Les tamis moléculaires se présentent sous la forme de billes blanches d'environ un millimètre de diamètre. Ces granulats peuvent être recyclés par chauffage, à environ 300° C.

- le silicagel

C'est un sel d'alumine qui fixe la vapeur d'eau.

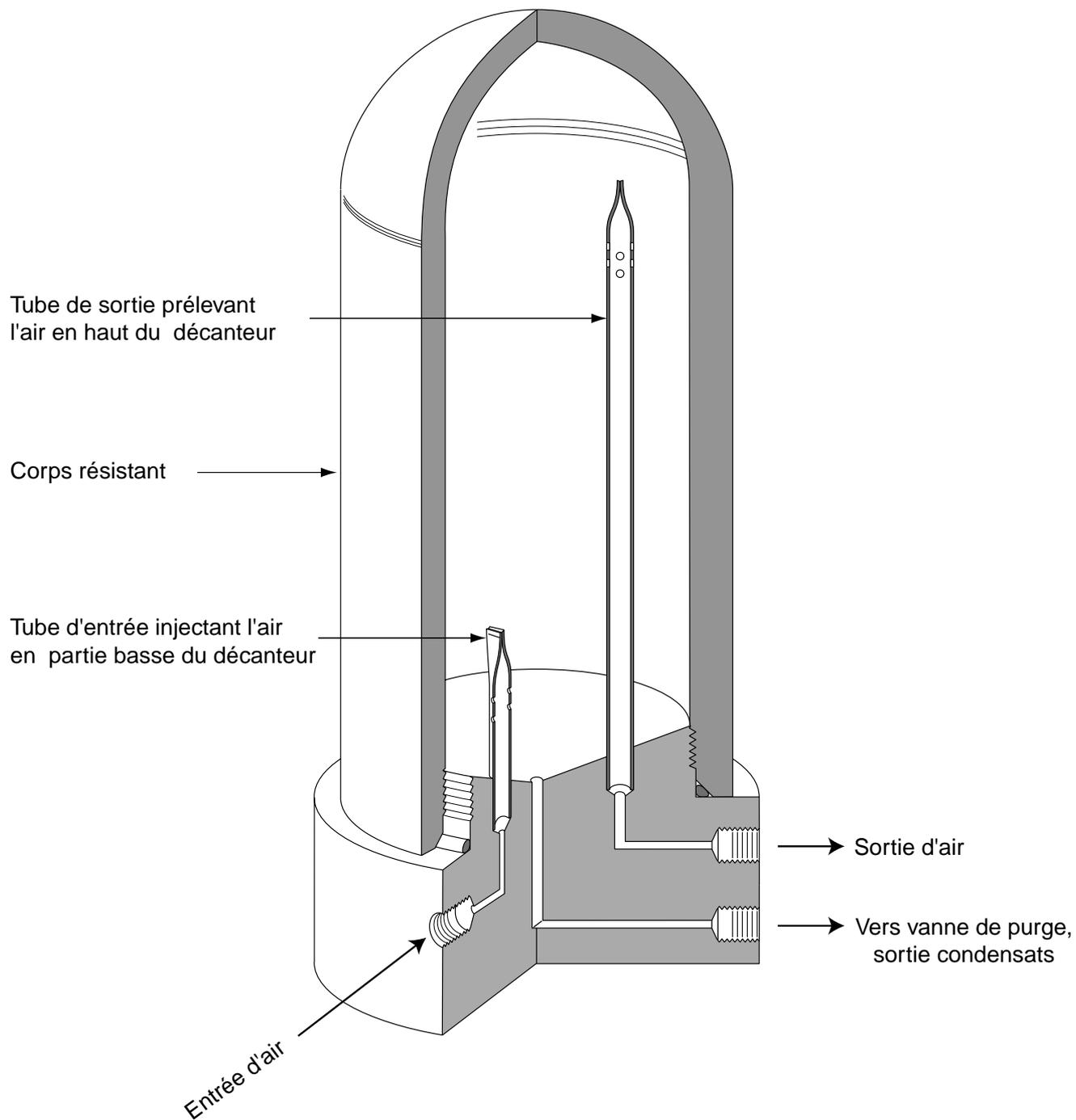


Fig 9 : Exemple de conception d'un décanteur

- charbon activé

Rôle de ces filtres est essentiellement de fixer les vapeurs d'huile (toxique) avant le remplissage des bouteilles. Ils sont constitués de granulé de charbon, en général obtenu par carbonisation de bois, sous atmosphère contrôlée.

Le charbon activé est conçu pour fixer une certaine quantité d'huile, quand il est saturé, il devient complètement inefficace. Son efficacité diminue fortement en présence d'eau. Sa durée de vie dépend de la quantité d'huile que rejette le compresseur, une purge trop rare des décanteurs ou un mauvais état de la segmentation abrège cette durée de vie.

Ce dernier type de filtration est couramment utilisé seul en sortie de compresseur.

On utilise aussi couramment un arrangement de deux de ces filtres. Un filtre à tamis moléculaire ou à silicagel arrête l'humidité est suivi d'un filtre à charbon qui fixe les vapeurs d'huile. Dans ce cas, les deux types de granulats peuvent être chargés dans le même corps de filtre, par couches successives.

Ces filtres sont réalisés avec un corps sous pression, pourvus de bouchons de visites assez larges permettant le changement du milieu actif. Les granulats peuvent être chargés "en vrac" dans le filtre, auxquels cas des tampons de feutres ou des bronzes poreux empêchent les granulats d'être entraînés par l'air dans la tuyauterie. Ils peuvent aussi être fournis emballés dans des cartouches. La figure 10 présente un principe de filtre à cartouche consommable.

Il faut noter que ces deux filtres sont des réservoirs sous pression soumis à la réglementation.

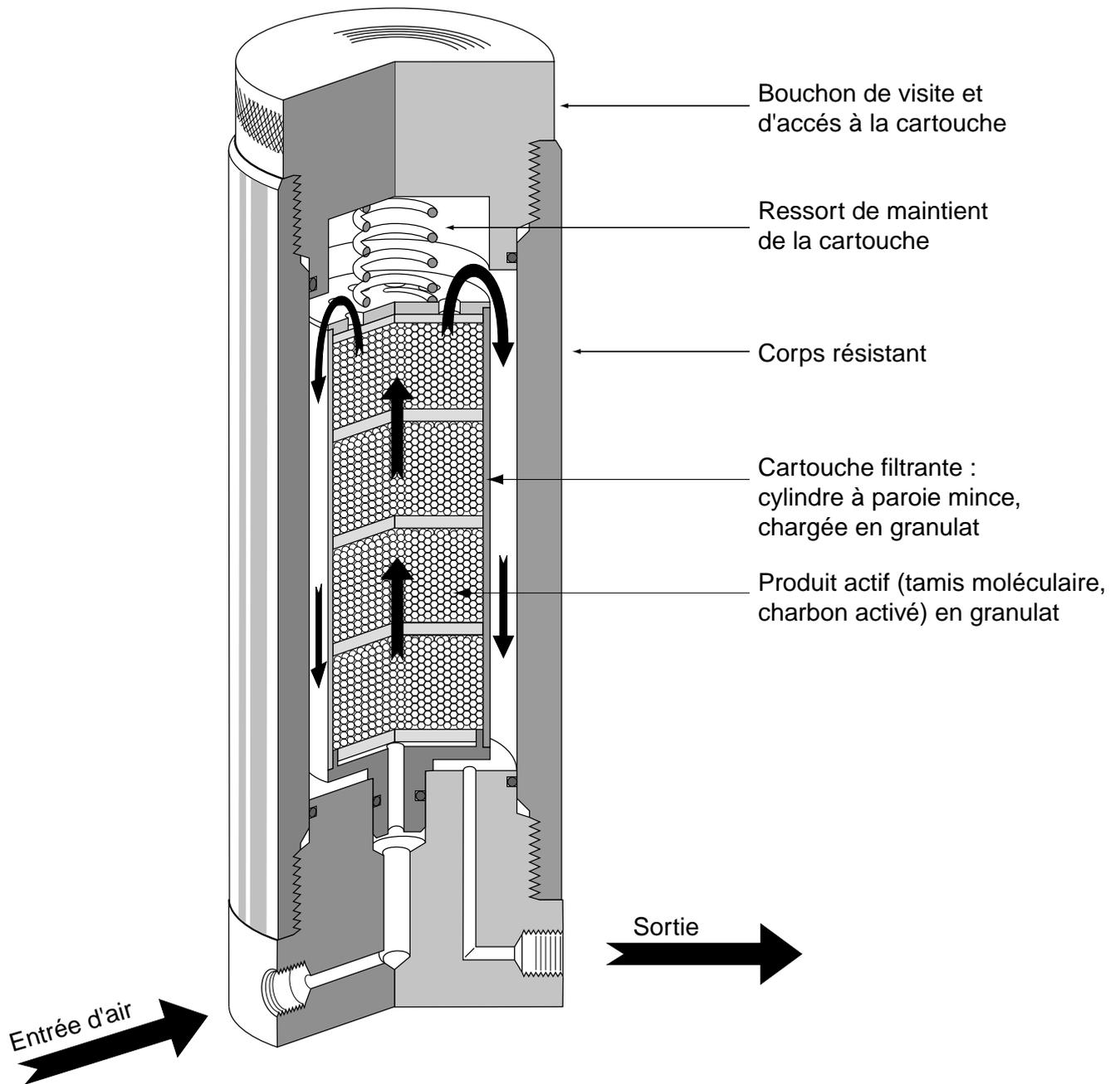


Fig 10 : Filtre à charbon activée ou à tamis moléculaire, avec cartouche consommable.

3.5. La fonction lubrification

Un compresseur c'est avant tout un ensemble de pièces mécaniques en mouvements : ces mouvements doivent être lubrifiés si on espère voir la machine tourner plus de 4 ou 5 minutes sans se transformer en bloc de métal soudé ou en ferraille claquante.

L'huile

L'huile utilisée pour les compresseurs doit répondre à trois critères :

1. Toxicité minimale
2. Résistance aux températures et surtout aux pressions d'oxygène rencontrées dans le compresseur.
3. caractéristiques de lubrification suffisante pour la machine

Les huiles moteurs classiques se décomposent au contact de l'air haute pression et sont fortement toxiques. L'huile pour compresseur est une huile minérale de qualité particulière (obtenue par distillation ou cracking du pétrole) ou de plus en plus souvent une huile de synthèse (molécule construite à partir de ses composants élémentaires). Contrairement à ce qui se dit souvent, les huiles végétales ne sont pas utilisées.

On ne peut pas parler d'huile alimentaire mais d'huile à faible toxicité. De plus il faut rappeler qu'un produit alimentaire peut être absorbé au niveau de l'estomac, mais pas au niveau des poumons.

L'huile est en contact avec l'air tout au long de la compression, elle est donc soumise à deux « agressions » : la forte pression partielle d'oxygène et la température. Si ces agressions ou leur combinaison deviennent trop fortes l'huile risque de se décomposer, de s'oxyder en produisant du CO et du CO₂. L'huile a donc un domaine « interdit », en termes de PO₂ et de température qui ne doit pas être franchi, sous peine de produire un air pollué

La figure 11 a montre sur un diagramme pression température la nécessité de choisir l'huile en fonction des caractéristiques de la machine. Ce choix est bien sûr établi par le constructeur, en fonction de critères plus complexes encore et il convient de s'y tenir.

Les figures 11 b et 11c illustrent les risques de décomposition de l'huile et de pollution de l'air associés à des dysfonctionnements du compresseur ou à une qualité insuffisante de l'huile.

Les circuits de lubrifications

La plupart des compresseurs comportent un circuit de lubrification sous pression des paliers du vilebrequin (comme dans les moteurs thermiques). L'arrêt de cette lubrification provoque la même conséquence que pour un moteur thermique : la destruction des paliers des bielles (bielle coulée) ou de ligne. Le fonctionnement de ce circuit est surveillé par un manomètre. La valeur nominale de la pression varie selon les constructeurs mais est en général aux alentours de 1 à 3 bar.

Les tout petits compresseurs n'utilisent pas des paliers lisses avec coussinets, mais des paliers à roulements ou à aiguille qui se contentent d'une lubrification par barbotage, cela permet de se passer d'une lubrification sous pression.

Les gros compresseurs ou ceux comportant des pistons étagés comprennent souvent un circuit de lubrification haute pression qui amène à intervalle régulier une goutte d'huile aux têtes des cylindres. En effet au-delà du premier étage tous les cylindres sont en permanence à une pression relative positive qui a tendance à empêcher la lubrification naturelle des chemises par l'huile projetée par le vilebrequin. Il y a alors une pompe spéciale (plusieurs centaines de bars de pression de sortie) qui commande cette injection.

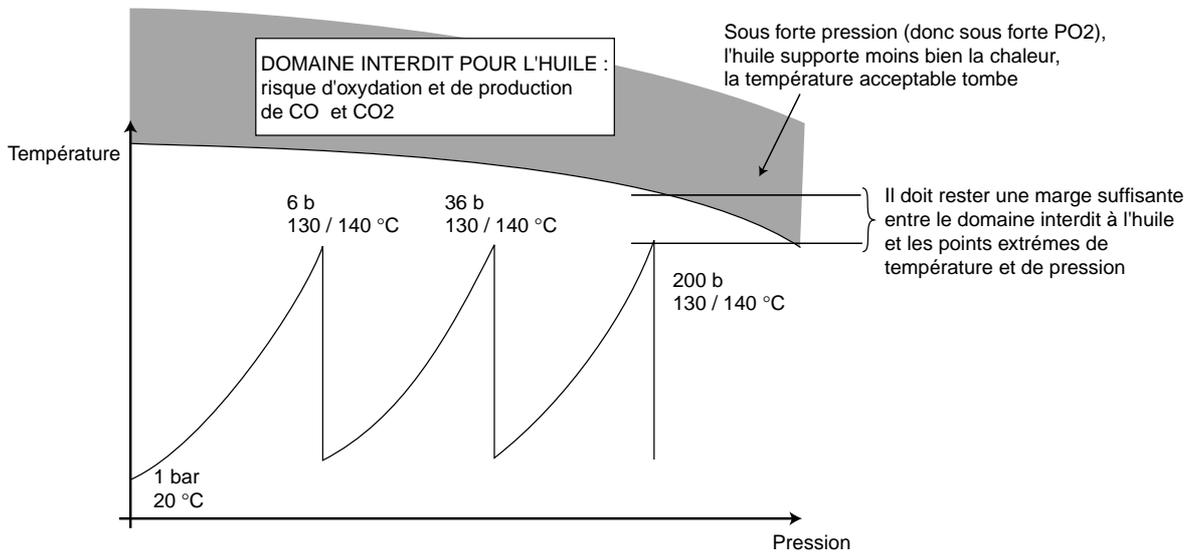


Fig 11 a : Contraintes de pression et température sur l'huile

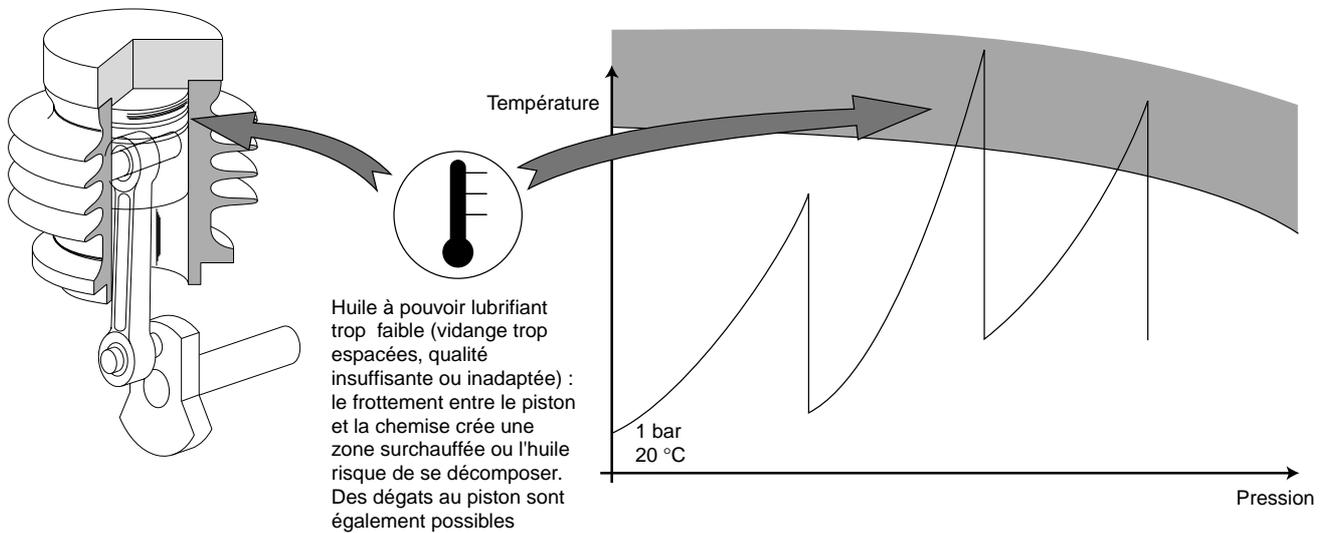


Fig 11 b : Surchauffe du piston par mauvaise lubrification et oxydation de l'huile

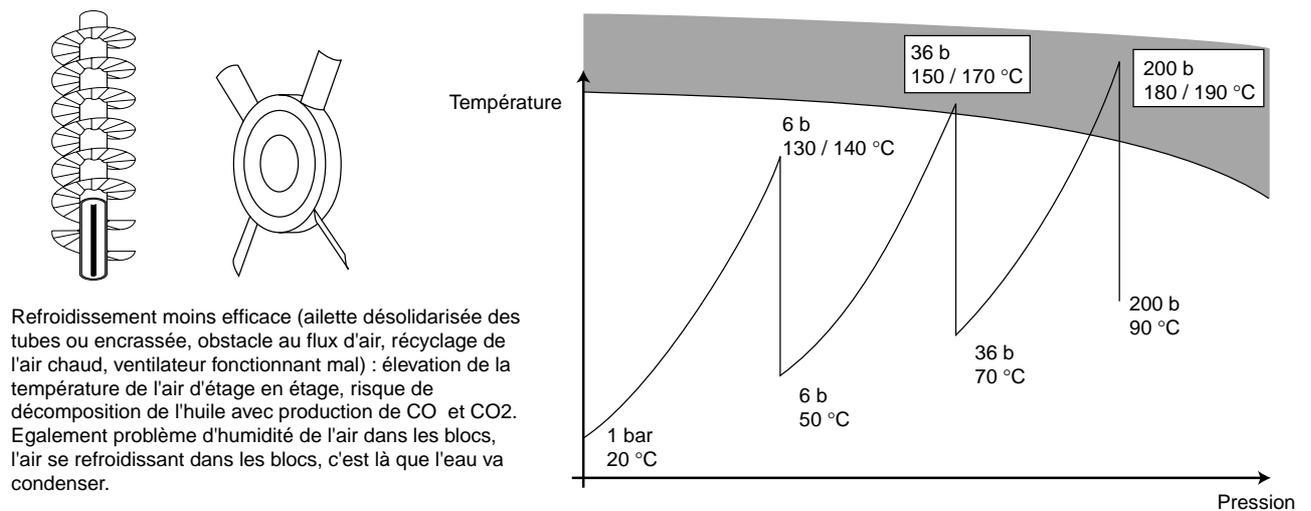
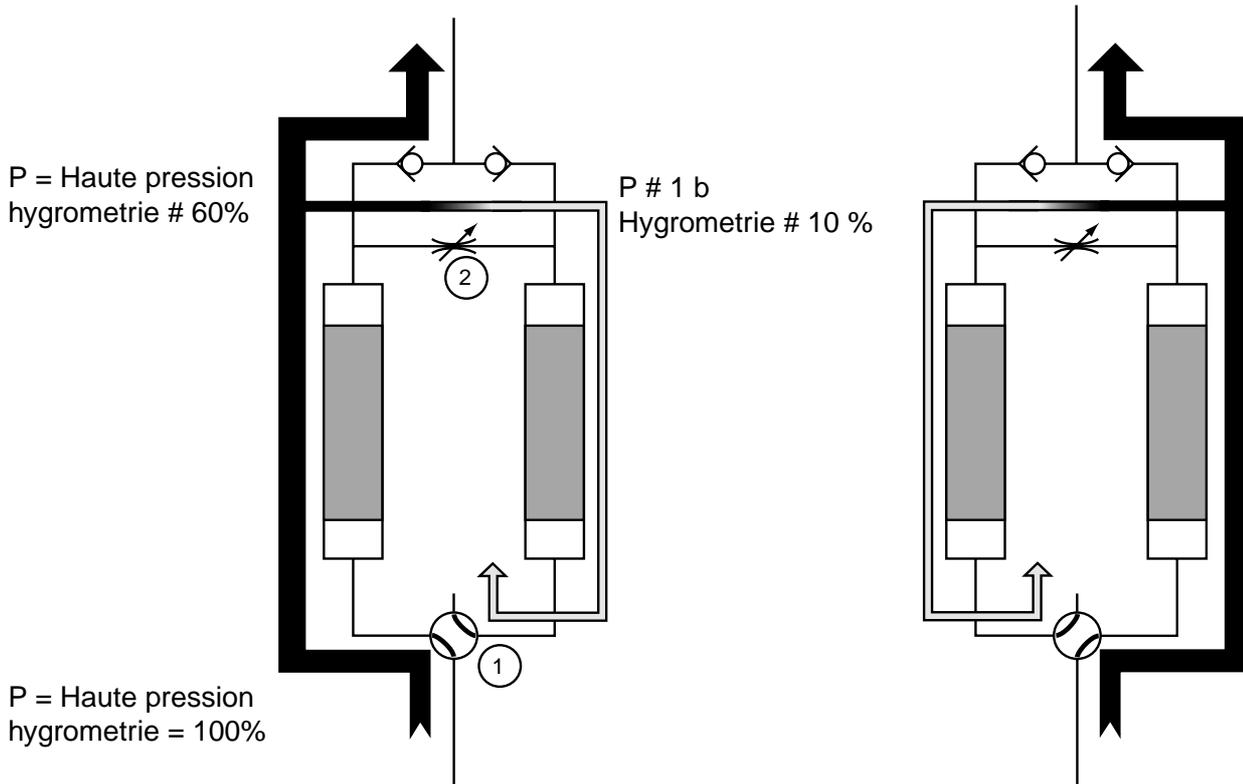


Fig 11 c : mauvais refroidissement général et oxydation de l'huile

3.6. Le séchage de l'air

Nous avons vu que l'air en sortie du compresseur est saturé en eau. Afin d'éviter la condensation dans les bouteilles, on peut avoir besoin de disposer d'air de degré hygrométrique plus faible. Le défaut de ces filtres est qu'ils doivent être régénérés quand ils sont saturés en eau. Cela se fait assez simplement en chauffant les granulats à 300°C. Ces filtres simples sont d'un prix très accessible et peuvent constituer un bon investissement pour un club. Par ailleurs beaucoup de cartouches filtrantes modernes intègrent une fonction de séchage de l'air par l'intégration de couche de silicagel ou de tamis moléculaire.

Il existe des systèmes utilisant ces milieux actifs et en assurant automatiquement la régénération. La figure 12 présente un système de ce type utilisant alternativement deux colonnes de séchage. Il existe également des systèmes cryogéniques, où l'air est refroidi grâce à un groupe frigorifique pour forcer la condensation de l'eau. Le prix élevé de ces systèmes n'en fait généralement pas un investissement justifié.



Phase 1 : L'air venant du compresseur est envoyé via la vanne 4 voies (1) vers la colonne secheuse de gauche. Après séchage une partie de l'air asséché est détournée et détendue via l'étranglement (2). Cet air ultra sec circule à contre sens et basse pression dans la colonne de droite et seche le silicagel, avant d'être rejeté à l'air libre. On dit que la colonne de droite est phase de "régénération".

Phase 2 : La vanne 4 voie est permutée. La colonne de droite seche l'air, la colonne de gauche est en régénération. Ces deux phases sont alternées régulièrement afin de maintenir la capacité d'absorption des colonnes.

Fig 12 : Sechage de l'air dans un secheur double colonne

4. Les risques divers

Il y a les risques majeurs (explosion, intoxication) qui doivent être évités en priorité, mais ils ne doivent pas faire oublier des risques moins spectaculaires mais néanmoins très présents. Ces risques s'apparentent aux "accidents du travail" classiques. On se reportera avec profit aux brochures éditées par l'INRS (Institut National de Recherche sur la Sécurité) ou les CRAM (Caisse Régionale d'Assurance Maladie). Le chapitre suivant est loin d'être exhaustif, il constitue une première liste de points à contrôler. Ces quelques éléments ne remplacent pas l'intervention d'un spécialiste, en particulier pour la partie électrique.

4.1. Electrocutation

Le compresseur est généralement électrique, il comporte un bâti métallique assez conséquent, les vannes, les tuyaux sont métalliques, le sol est souvent mouillé, par de l'eau salée ou chlorée. Toutes les conditions sont réunies pour des accidents électriques.

La prévention essentielle est le respect des normes électriques (essentiellement la NFC 15.100). Sans rentrer dans le détail de ces normes les points essentiels sont :

Indices de protection

Contre les contacts directs : les tableaux électriques, les boîtes de connexions, les borniers doivent être fermés et en bon état, ils doivent empêcher tout contact d'un doigt avec un conducteur sous tension

Protection contre les entrées d'eau : les salles de gonflages sont souvent humides, les gonfleurs ont souvent les mains mouillées, les boîtiers doivent empêcher l'eau d'atteindre les conducteurs.

L'humidité peut oxyder les contacts, rompre la continuité de terre ou favoriser une fuite électrique vers un bâti ou vers le corps.

Protection contre les chocs : la salle de gonflage est une zone de manutention d'objets lourds, les matériels électriques doivent pouvoir encaisser.

En pratique il faut choisir un indice de protection IP 55 ou IP 57 pour la salle de gonflage. L'état des presses étoupe sera contrôlé régulièrement

Continuité de terre.

TOUS les bâtis métalliques, TOUTES les tuyauteries, TOUS les tableaux doivent être mis à la terre. La vérification de cette continuité est une manœuvre simple, à faire au moins annuellement et après toute intervention. La mise à la terre est LA manœuvre de sécurité la plus importante.

Qualité de câble

Les câbles doivent résister aux agressions possibles : vibrations, frottements, agent chimique (chlore, huile). En milieu normal, on choisira du câble type R 02 V. Certains milieux très agressifs (matériels embarqués, atmosphères très chlorées) peuvent demander des câbles différents. Les sections seront en rapport avec les courants véhiculés.

L'état des isolants sera vérifié au niveau des zones de frottement : entrées de tableaux, de borniers moteurs.

Protection différentielle.

Elle consiste à mettre en tête de tableau un disjoncteur qui coupe le courant dès qu'une partie du courant fuit hors du circuit. Il existe des disjoncteurs très sensibles (disjoncteurs 30 mA) qui rendent les risques d'électrocutions très faibles. Cette protection à 30 mA n'est pas obligatoire, elle est quand même très souhaitable. Ces matériels existent même pour les grosses puissances, ils se justifient malgré leurs prix (300 à 700 f)

4.2. Rupture de flexible ou de tuyauterie

Un flexible rompu peut battre très violemment sous l'effet de l'air qui s'échappe. Ceci peut se produire aussi avec une canalisation en acier ou en cuivre, si le débit est fort.

Tout flexible de plus de 1m doit être doublé par un câble "anti fouettage". C'est un câble en acier de 5 ou 6 mm de diamètre, qui court le long du flexible. Il est lié au flexible tous les 20 cm par des colliers (type collier plastique d'électricien ou colliers à oreilles pour le pneumatique) ou des surliures. Le câble est fixé, à ses deux extrémités à un point fixes (rampe, tableau, étrier de connexion). La fixation est bien sur démontable.

Les canalisations sont fixées solidement environ tous les 70 cm. Il faut renforcer les fixations de toutes les canalisations auxquelles on peut imaginer de se tenir ou d'accrocher un objet.

4.3. Courroies, ventilateurs

Les courroies, les ventilateurs doivent être protégés. Les protecteurs doivent respecter les critères suivants :

Suffisamment rigides pour ne pas venir au contact des parties mobiles sous la poussée du corps

Facile à démonter et à remettre, si un protecteur est long à déposer, il ne sera pas remis "dés fois qu'il faille ré intervenir"

Laissant l'accès aux repérés de calage, graisseurs, tendeurs et tout point d'utilité courante, sinon ils seront démontés et non remis

Laissant un contrôle visuel des courroies faciles

Il faut prendre garde à sa tenue : possibilité de se faire prendre une manche, un foulard, une cravate, un bracelet, un collier... Il ne faut jamais utiliser un chiffon sur une machine qui tourne.

4.4. Chutes

Sols maintenus propres

Sols lisses (stabilité des blocs)

Pas de marches, de trous

Eclairage suffisant

Porter de chaussures fermées dans la station

Pas d'objet qui traînent

Pas de positions de travail en déséquilibre ou en hauteur (vannes ou manomètre mal placés)

4.5. Démarrage intempestif

Le démarrage d'une machine alors que des personnes non prévenues se trouvent à proximité est source de risque : on peut être pris par une courroie, ou on peut simplement être surpris, faire une chute ou laisser tomber un objet.

Toute machine à démarrage automatique (pressostat) doit être signalé par un panneau dans le local machine.

Des consignes doivent être données, sur les machines démarrées manuellement à distance pour contrôler la situation de la salle machine avant tout démarrage.

Il doit toujours y avoir un arrêt d'urgence dans le local même où se trouve la machine (coup de poing rouge)

Toute machine doit être pourvu d'un relais auto-alimenté qui empêche son redémarrage après une coupure de secteur.

4.6. Atteinte auditive

Le niveau sonore peut être élevé : il faut tenir compte du bruit permanent mais aussi des bruits discontinus (purges) ou accidentels (rupture de joints).

On préférera toujours les protections collectives ou protections à la source (capotage, silencieux) aux protections individuelles (casques). Néanmoins il n'y a pas de protection à la source possible pour les ruptures de joints, le port du casque antibruit peut être souhaitable. On se souviendra que si l'on veut qu'un matériel de protection serve, il faut qu'il soit propre, en bon état, confortable, disponible en évidence.

5. Le risque maintenance

La maintenance est une zone de risque qui mérite que l'on s'y attarde. La plupart des machines sont assez sûres, dans leur état "normal", les normes auxquelles elles doivent être conformes en sont une bonne garantie. Par contre les procédures de maintenances, même correctement exécutées conduisent à travailler sur une machine notablement différente de cet état normal. Soit la machine est en panne (donc anormale) soit on en démonte une partie, soit on en neutralise certaines sécurités.

5.1. Travail sous tension

On ne doit pas travailler sous tension. Le courant doit être coupé en tête de tableau et il faut prendre toutes les précautions nécessaires pour que personne ne puisse le remettre malencontreusement (panneau de consignation, cadenassage du coupe-circuit, retrait des fusibles...). On ne doit pas oublier que couper le courant peut être source de risque ou tout au moins de gênes pour d'autres personnes. Les mesures de tension se feront ponctuellement, avec des appareils conformes (pointes de touches isolées...) et en bon état. Après chaque mesure, le courant est coupé puis les capots ou tableau refermés. On ne remonte pas un capot sur un matériel sous tension

On ne travaille pas sous pression. Quand on resserre un olivage fuyard, il arrive que l'on arrache le filetage. La canalisation peut alors dégager brutalement. Il faut purger l'ensemble de l'installation. Si on ne purge pas les tampons, qu'on se contente de les isoler, il faut s'assurer que personne ne peut rouvrir. Il faut s'assurer que la vanne de tampons n'est pas fuyarde et qu'une fuite ne risque pas de regonfler sournoisement une partie de l'installation. Toutes les vannes doivent être maintenues ouvertes pendant la totalité de l'intervention.

5.2. Neutralisation de dispositif de sécurité

Certaines manœuvres demandent que certains dispositifs de sécurité ou concourant à la sécurité soient mis hors services. C'est le cas quand on fait un contrôle de soupape et que l'on doit mettre le pressostat en marche forcée pour pouvoir atteindre la pression d'équilibre. C'est le cas quand on démonte un protecteur pour changer une courroie.

Il faut prendre toutes les précautions pour que personne ne puisse utiliser l'installation avant qu'elle n'ait été remise dans un état normal.

Quand on démonte une soupape de sécurité, il est interdit de mettre un bouchon à la place "en attendant qu'elle revienne de réparation".

On pensera également qu'une machine vidangée (ou partiellement démontée) peut subir de gros dégâts si on la fait démarrer.

5.3. action dangereuse pour le personnel de maintenance

Une action sur l'installation, (démarrage, ouverture ou fermeture d'une vanne) peut être dangereuse pour les personnes travaillant sur l'installation.

Toutes les opérations de maintenance doivent être annoncées.

Les opérations de maintenance doivent être affichées sur le tableau de gonflages.

Les vannes, les disjoncteurs importants doivent être consignés (étiquettes) ou carrément condamnés pendant les opérations.

Les dispositifs de démarrage automatiques doivent être bloqués. La coupure d'alimentation en tête de tableau est encore la méthode la plus sûre.

Conclusion

La station de gonflage est une zone assez dangereuse. On rajoutera que les matériels sont assez coûteux. Ceci devrait inciter les responsables de clubs à une grande prudence, les précautions les plus élémentaires qu'ils doivent prendre portent sur les personnes qui peuvent utiliser la station.

Ces personnes doivent :

Etre informées des risques

Etre formées à l'utilisation

Connaître les anomalies de fonctionnement et savoir comment réagir.

La formation des gonfleurs n'est pas soumise à un diplôme, mais il est souhaitable que chaque club fasse un effort pour formaliser cette formation :

Les gonfleurs autorisés doivent être répertoriés, et acceptés par le responsable du club

1. Il faut garder trace de quand et par qui ils ont été formés.
2. Le "contenu de formation" doit être un minimum précisé.
3. Il doit y avoir un responsable de formation qui assure un minimum de régularité au contenu de formation.

Contenu de formation est un terme un très prétentieux dans notre cas, mais il faut au moins s'assurer que les gonfleurs :

1. Aient lu au moins une fois le manuel du compresseur fourni par l'usine et aient pu avoir les commentaires du responsable de la machine dans le club.
2. Aient bénéficié d'une visite guidée et commenté de l'installation avec un responsable du club.
3. Aient compris le schéma de principe de l'installation et sachent situer les organes essentiels (vannes, mano, soupapes).
4. Sachent identifier les anomalies les plus courantes et les situations dangereuses.
4. connaissent les procédures de démarrage, d'arrêt normal et d'arrêt d'urgence.
5. aient travaillé plusieurs fois sous le contrôle d'une personne expérimentée