



TOTAL

LES ÉQUIPEMENTS

LES POMPES

**MANUEL DE FORMATION
COURS EXP-PR-EQ070
Revision 0.1**

LES ÉQUIPEMENTS

LES POMPES

SOMMAIRE

1. OBJECTIFS	6
2. LES FONCTIONS DES POMPES	7
2.1. INTRODUCTION.....	7
2.2. LES CATEGORIES PRINCIPALES	8
2.2.1. Les pompes centrifuges	8
2.2.2. Les pompes volumétriques.....	9
2.3. LES DIFFERENTES APPLICATIONS.....	10
2.4. UTILISATION	11
2.5. EXERCICES	12
3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES POMPES.....	15
3.1. THEORIE DE BASE DES POMPES CENTRIFUGES.....	15
3.1.1. Notion de hauteur et de charge d'un liquide	15
3.1.1.1. Différence de pression en hauteur de liquide	15
3.1.1.2. La charge d'un liquide :	16
3.1.2. La charge : augmentation par pompage et réduction par frottement.....	17
3.1.2.1. L'utilisation d'une pompe : L'augmentation de la charge.....	17
3.1.2.2. Les frottements lors de l'écoulement : pertes de charges d'un liquide.	17
3.1.3. L'utilisation d'une pompe dans un réseau avec perte de charge.....	18
3.1.3.1. Caractéristique du réseau	18
3.1.3.2. Caractéristique de la pompe	20
3.1.3.3. Point de fonctionnement :.....	22
3.1.4. Considérations complémentaires :	22
3.1.4.1. Tension de vapeur : origine de la cavitation	22
3.1.4.2. Cavitation : égalité entre pression du liquide pompé et sa T_v	25
3.1.4.3. NPSH - Net Positive Suction Head (Charge nette absolue à l'aspiration)..	26
3.1.4.4. NPSH requis	26
3.1.4.5. Calcul du NSPH disponible	27
3.1.4.6. Prise en compte du rendement	29
3.1.4.7. Adaptation du process à la pompe :.....	29
3.1.4.8. Prise en compte des variations du process.....	30
3.1.5. Étude d'un cas simple	31
3.2. LES POMPES CENTRIFUGES.....	35
3.2.1. Fonction Hydraulique	37
3.2.2. Fonction guidage axial et en rotation du rotor	39
3.2.2.1. Fonction Guidage en Rotation.....	39
3.2.2.2. Fonction guidage axial	40
3.2.3. Fonction Lubrification	42
3.2.3.1. Le bain d'huile ou barbotage	42
3.2.3.2. La circulation autonome	43
3.2.3.3. La circulation forcée	44
3.2.3.4. Conditions d'une bonne lubrification	44

3.2.4. Fonction étanchéité	46
3.2.4.1. La boîte à garniture	47
3.2.4.2. Tresses et joints	47
3.2.4.3. Garnitures mécaniques	48
3.2.5. Fonction Refroidissement	49
3.2.6. Fonction Montage	50
3.3. LES POMPES VOLUMÉTRIQUES	51
3.3.1. Principe de fonctionnement des pompes rotatives	51
3.3.2. Principe de fonctionnement des pompes alternatives	52
3.4. EXERCICES	53
4. LES DIFFERENTS TYPES DE POMPES	57
4.1. LES POMPES CENTRIFUGES	57
4.1.1. Technologie des pompes centrifuges	57
4.1.2. Détails des principales pompes centrifuges	59
4.1.2.1. Pompe "Process" type AA (Aspiration Axiale)	59
4.1.2.2. Pompe "Process" type TT (Tubulures au-dessus)	62
4.1.2.3. Pompes pattes à l'axe	63
4.1.2.4. Pompe palier chaise	64
4.1.2.5. Pompe monobloc	65
4.1.2.6. Pompe « in-line »	65
4.1.2.7. Pompe verticale	66
4.1.2.8. Pompe « immergée »	66
4.1.2.9. Pompe non-métallique	68
4.1.2.10. Pompe multicellulaire haute Pression	69
4.1.2.11. Pompe de puits	70
4.1.2.12. Pompe « double-flux »	70
4.1.2.13. Pompe à « canal latéral »	71
4.1.2.14. Pompe à entraînement magnétique	72
4.2. LES POMPES VOLUMETRIQUES	73
4.2.1. Technologie des pompes volumétriques	73
4.2.2. Détails des pompes volumétriques alternatives	74
4.2.2.1. Pompe alternative à simple effet,	74
4.2.2.2. Pompe alternative à double effet	76
4.2.2.3. Pompe alternative doseuse	77
4.2.2.4. Pompe alternative à air comprimé	78
4.2.2.5. Pompe à piston plongeur simple effet	80
4.2.2.6. Pompe à membrane	81
4.2.3. Détails des pompes volumétriques rotatives	82
4.2.3.1. Pompe à palettes	82
4.2.3.2. Pompe à engrenages	83
4.2.3.3. Pompe à lobes	84
4.2.3.4. Pompe à rotor hélicoïdal excentré (Pompe MOINEAU)	85
4.2.3.5. Pompe rotative à anneau liquide	88
4.3. RESUME DES TYPES DE POMPES	91
4.4. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES DIFFERENTS TYPES	93
4.4.1. Les pompes volumétriques alternatives	93
4.4.1.1. Les pompes à piston	94
4.4.1.2. Les pompes à membrane	95

4.4.2. Les pompes volumétriques rotatives	96
4.4.2.1. Les pompes à engrenages extérieurs	97
4.4.2.2. Les pompes à engrenages intérieurs	97
4.4.2.3. Pompes à vis.....	98
4.4.2.4. Pompes à palettes	98
4.4.2.5. Pompes à rotor hélicoïdal excentré.....	99
4.4.3. Les pompes centrifuges	99
4.5. EXERCICES	101
5. REPRESENTATION ET DONNEES DES POMPES	111
5.1. REPRESENTATION SUR PFD (PROCESS FLOW DIAGRAM).....	111
5.2. REPRESENTATION SUR P&ID (PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM)....	114
5.3. DATASHEETS D'UNE POMPE	116
5.4. DIMENSIONNEMENT D'UNE POMPE	118
5.4.1. Dimensionnement	118
5.4.2. Éléments à prendre en compte	119
5.4.2.1. Débit minimum	119
5.4.2.2. Le contrôle du débit.....	119
5.4.2.3. Importance des conditions de fonctionnement.....	120
5.4.2.4. Prise en compte du rendement de la pompe.....	121
5.4.2.5. Fonctionnement des pompes en parallèle et série.....	121
5.5. EXERCICES.....	123
6. LES POMPES ET LE PROCESS	124
6.1. LOCALISATION ET CRITICITE	124
6.2. EXERCICES	125
7. LES AUXILIAIRES	126
7.1. ACCESSOIRES ET LIGNES PROCÉDÉ	127
7.2. LES CIRCUITS ANNEXES	131
7.2.1. Le refroidissement.....	131
7.2.2. La lubrification	132
7.2.3. Autres circuits annexes	133
7.3. EXERCICES	134
8. PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT	135
8.1. OPERATIONS NORMALES.....	135
8.1.1. L'amorçage.....	136
8.1.2. L'auto-amorçage	138
8.1.3. Les coups de bélier	139
8.1.3.1. Description du phénomène :	139
8.1.3.2. Effets de coups de bélier et prévention	140
8.1.4. LA CAVITATION	142
8.1.5. VORTEX.....	143
8.2. EQUIPEMENTS DE SECURITE	144
8.3. CAPACITES MAXI / MINI.....	145
8.4. EXERCICES	147
9. CONDUITE DES POMPES	149
9.1. MISE EN MARCHÉ D'UNE POMPE	149
9.1.1. Pompes centrifuge	149
9.1.1.1. Premier démarrage	149
9.1.1.2. Démarrage et mise en service	150

9.1.1.3. Après démarrage	150
9.1.2. Pompes volumétriques	151
9.2. MISE A DISPOSITION D'UNE POMPE	152
9.3. MAINTENANCE 1 ^{er} DEGRE	152
9.3.1. Analyse des symptômes.....	153
9.3.1.1. Bruits normaux	153
9.3.1.2. Bruits anormaux	153
9.3.1.3. La cavitation	154
9.3.1.4. Les vibrations	155
9.3.1.5. Les coups de bélier	156
9.3.1.6. Fuites	157
9.3.1.7. Paramètres modifiés	158
10. TROUBLESHOOTING	159
10.1. SI, POURQUOI ? ALORS !	159
10.1.1. Débit nul	159
10.1.2. Débit insuffisant.....	159
10.1.3. Pression insuffisante	160
10.1.4. Désamorçage en marche	160
10.1.5. Puissance absorbée exagérée	160
10.1.6. Vibration de la pompe.....	160
10.1.7. Comment remédier à la cavitation ?	161
10.2. RETOUR D'EXPERIENCE.....	163
11. GLOSSAIRE	164
12. SOMMAIRE DES FIGURES	165
13. SOMMAIRE DES TABLES	169
14. CORRIGÉ DES EXERCICES	170

1. OBJECTIFS

Le but de ce cours est de permettre une meilleure compréhension des pompes et principalement de leurs équipements.

2. LES FONCTIONS DES POMPES

2.1. INTRODUCTION

Les pompes sont des appareils mécaniques servant à véhiculer des liquides d'un point A, à un point B. Elles permettent, notamment, de prendre un liquide à la pression P_1 et de le porter à la pression P_2 (avec $P_2 > P_1$).

Pour véhiculer un liquide d'un endroit à un autre, la pompe doit fournir une certaine pression appelée hauteur manométrique totale, cela dépend des conditions d'aspiration et de refoulement.

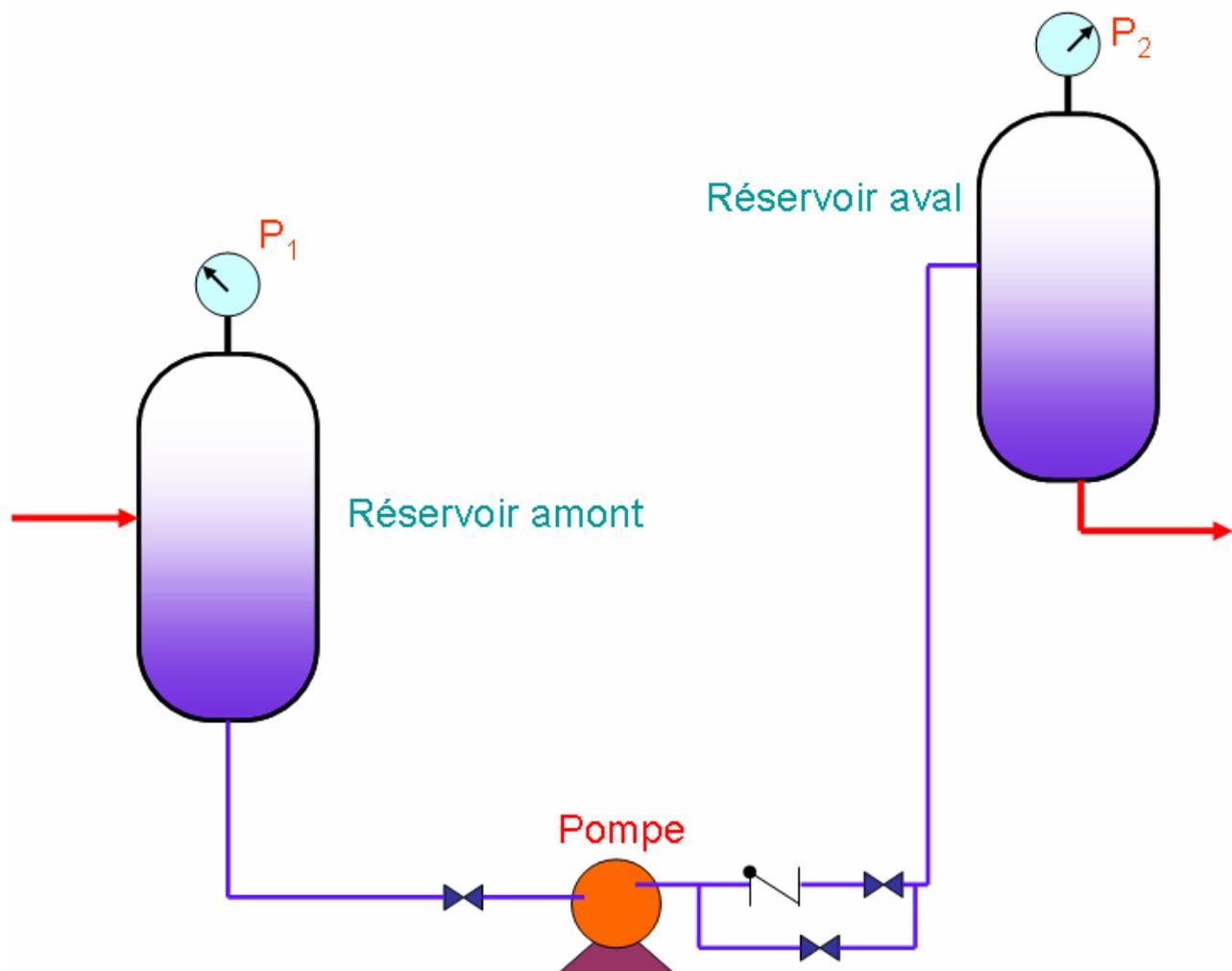


Figure 1: Schéma de principe de transfert d'un ballon à un autre

2.2. LES CATEGORIES PRINCIPALES

Les pompes sont des appareils permettant un transfert d'énergie entre le fluide et un dispositif mécanique convenable. Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide soit principalement de l'énergie potentielle par accroissement de la pression en aval, soit principalement de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide.

L'énergie requise pour faire fonctionner ces machines dépend donc des nombreux facteurs rencontrés dans l'étude des écoulements :

- ✦ Les propriétés du fluide : masse volumique, viscosité, compressibilité.
- ✦ Les caractéristiques de l'installation : longueur, diamètre, rugosité, singularités ...
- ✦ Les caractéristiques de l'écoulement : vitesse, débit, hauteur d'élévation, pression ...

Devant la grande diversité de situations possibles, on trouve un grand nombre de machines que l'on peut classer en deux grands groupes :

- ✦ Les pompes centrifuges
- ✦ Les pompes volumétriques

2.2.1. Les pompes centrifuges

Le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.



Figure 2: Exemple de pompe centrifuge de type Aspiration Axiale

2.2.2. Les pompes volumétriques

L'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide.



Figure 3: Exemple de pompe volumétrique à diaphragme

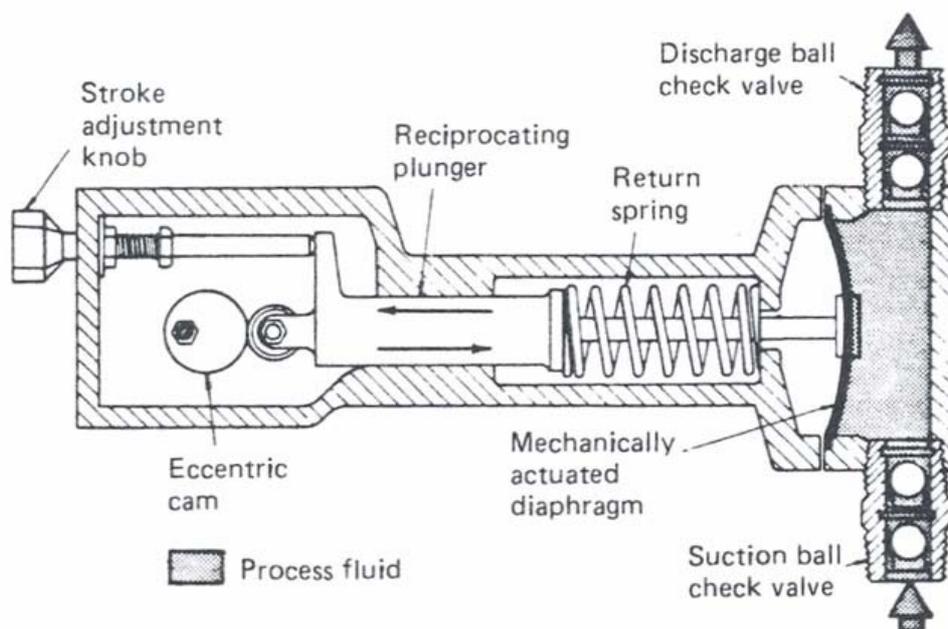


Figure 4: Coupe d'une pompe volumétrique à diaphragme

2.3. LES DIFFERENTES APPLICATIONS

Le moyen le plus simple et le plus répandu pour véhiculer des liquides (Brut, Huile, Eau) est la pompe centrifuge, qui est aussi le moyen le plus économique.

Cependant, il existe au moins trois types d'applications pour lesquelles la pompe centrifuge n'est plus efficace :

- ✦ Le **pompage de produits visqueux** ; en effet, à partir d'un certain degré de viscosité l'emploi d'une pompe centrifuge obligerait à recourir à une machine surdimensionnée débitant en dehors de ses caractéristiques optimales, donc avec un très mauvais rendement et, par voie de conséquence, une puissance absorbée très importante.
- ✦ Les problèmes de **dosages précis instantanés**, pour lesquels l'emploi d'une pompe centrifuge obligerait le concepteur de l'installation à utiliser un débitmètre pour asservir la vitesse de la pompe centrifuge, avec le risque d'utiliser la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.
- ✦ Le **pompage des liquides réputés « susceptibles »**, c'est-à-dire fragiles, qui s'accommodent mal des remous internes qui existent dans une pompe centrifuge (lait, vin, bière, liquides volatils, etc.).

Ces trois types d'applications imposent l'emploi d'une pompe volumétrique.

Le choix de la technologie de conception dépendra essentiellement des caractéristiques du produit véhiculé :

- ▶ Viscosité,
- ▶ Température,
- ▶ Densité,
- ▶ Composition chimique,
- ▶ Susceptibilité
- ▶ etc.

et du type d'application :

- ▶ Transfert,
- ▶ Mélange,
- ▶ Dosage,
- ▶ Débit,
- ▶ Pression à l'aspiration
- ▶ Pression au refoulement
- ▶ etc.

2.4. UTILISATION

Les pompes, qu'elles soient centrifuges ou volumétriques sont utilisées pour véhiculer des liquides de toutes sortes : eau, hydrocarbures, liquides plus ou moins visqueux, produits chimiques ou toxiques tel que le benzène. Cependant, elles peuvent véhiculer du gaz dans le cas des pompes à vide tel que les pompes rotatives à anneaux liquide.

Comme nous l'avons vu précédemment, c'est souvent la composition de l'effluent qui déterminera le type de pompe à utiliser.

L'exemple ci-dessous nous le confirme bien.

Si l'on observe le comportement d'une pompe fonctionnant dans des conditions identiques:

Même {
débit aspiré
pression d'aspiration D
vitesse de rotation

Mais avec des liquides de densités différentes : {
Butane dt = 0,5
Soude dt = 1,2
Eau dt = 1

Le tableau suivant indique les pressions lues aux manomètres de la pompe pour chaque liquide :

Produit pompé (densité)	Pression aspiration (bar relatif)	Pression refoulement (bar relatif)	ΔP (bar)
Butane = 0,5	10,3	14	3,7
Soude = 1,2	10,8	19,6	8,8
Eau = 1	10,7	18,2	7,5

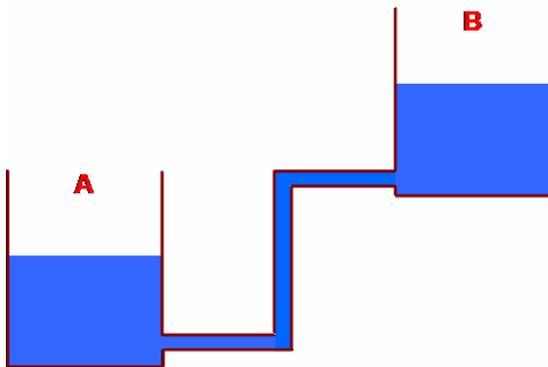
Table 1: Exemple de comportement d'une pompe par rapport à la densité de l'effluent

La ΔP en bar de la pompe est d'autant plus grand que la densité est élevée

La ΔP exprimé en hauteur (m) est la même quel que soit le liquide pompé

2.5. EXERCICES

1. Quel sera le sens d'écoulement du fluide ?

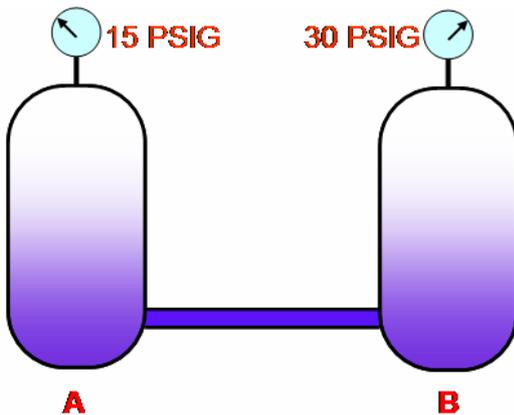


A vers B

B vers A

Pourquoi ?

2. Quel sera le sens d'écoulement du fluide ?



A vers B

B vers A

Le liquide ne coule pas

Pourquoi ?

3. A quoi sert une pompe?

- Faire chuter la pression d'un fluide
- Augmenter la pression d'un fluide de P_1 à P_2
- Véhiculer un fluide d'un point A à un point B

4. Quelles sont les 2 catégories principales de pompes ?

5. Est-ce une pompe ?



- Centrifuge
- Volumétrique

6. Est-ce une pompe ?



- Centrifuge
- Volumétrique

7. Quel est le principe de fonctionnement d'une pompe volumétrique ?

8. Quel est le principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge ?

9. Quel est le moyen le plus répandu pour véhiculer des liquides ?

- Centrifuge
- Volumétrique

10. Quels sont les 3 types d'applications pour lesquels la pompe centrifuge n'est plus efficace ?

- Pompage de produits visqueux
- Véhiculer des liquides à débit élevé
- Pompage des liquides réputés « susceptibles »
- Dosages précis et instantanés

11. Les pompes, qu'elles soient centrifuges ou volumétriques véhiculent principalement du:

- Liquide
- Gaz

12. La composition de l'effluent intervient-il dans le choix de pompe à utiliser ?

- Oui
- Non

3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES POMPES

Dans ce module, nous allons détailler le fonctionnement des pompes à travers leurs équipements et en passant en revue les principes physiques impliqués.

3.1. THEORIE DE BASE DES POMPES CENTRIFUGES

3.1.1. Notion de hauteur et de charge d'un liquide

3.1.1.1. Différence de pression en hauteur de liquide

$$(P_2 - P_1) / \rho \cdot g = h \text{ (hauteur en m)}$$

P_1, P_2 = Pressions relatives en Pascal

ρ = masse volumique (en kg/m^3).

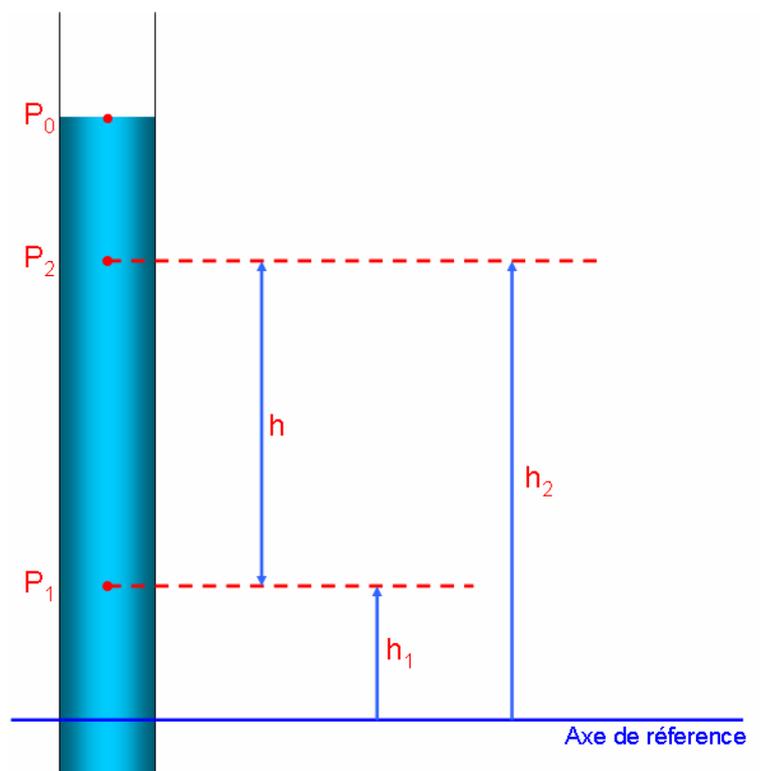
g = attraction de la pesanteur = 9.81 (en m/s^2 ou N/kg).

h = hauteur du point considéré par rapport à un axe de référence (en m).

Notes :

- ✦ La règle de conversion découle de la loi de Pascal : $P + \rho gh = \text{constante}$.
- ✦ La différence de 2 pressions relative est une pression absolue
- ✦ $P \text{ (bar)} = P \cdot 10^5 \text{ (pascal)}$ et P_{relative} (lue mano)
= $P_{\text{absolue}} - P_{\text{atmosphérique}}$
- ✦ $P_{\text{atmosphérique}} = 1 \text{ atmosphère} = 101325 \text{ Pa}$ (arrondi à 1 bar)

Figure 5: Différence de pression en hauteur de liquide



$$P_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

$$\Rightarrow P_2 - P_1 = \rho \cdot g (h_2 - h_1) = \rho \cdot g \cdot h$$

$$\Rightarrow h = (P_2 - P_1) / \rho \cdot g$$

3.1.1.2. La charge d'un liquide :

La charge ht_1 d'un liquide, en un point donné d'un réseau correspond à l'énergie que le liquide dispose en ce point ; cette énergie se présente sous 3 formes :

- ✦ L'énergie de pression
- ✦ L'énergie cinétique (correspond au débit)
- ✦ L'énergie potentielle de pesanteur.

Ce liquide pourra augmenter sa charge, si on lui fournit de l'énergie par une pompe ou perdre une partie de son énergie lorsqu'il s'écoule avec frottement (voir perte de charge)

La charge s'exprime en mCL (m de colonne de liquide), c'est simplement égal à l'énergie divisée par le terme $\rho \cdot g$ (ρ = masse volumique et g = accélération de la pesanteur)

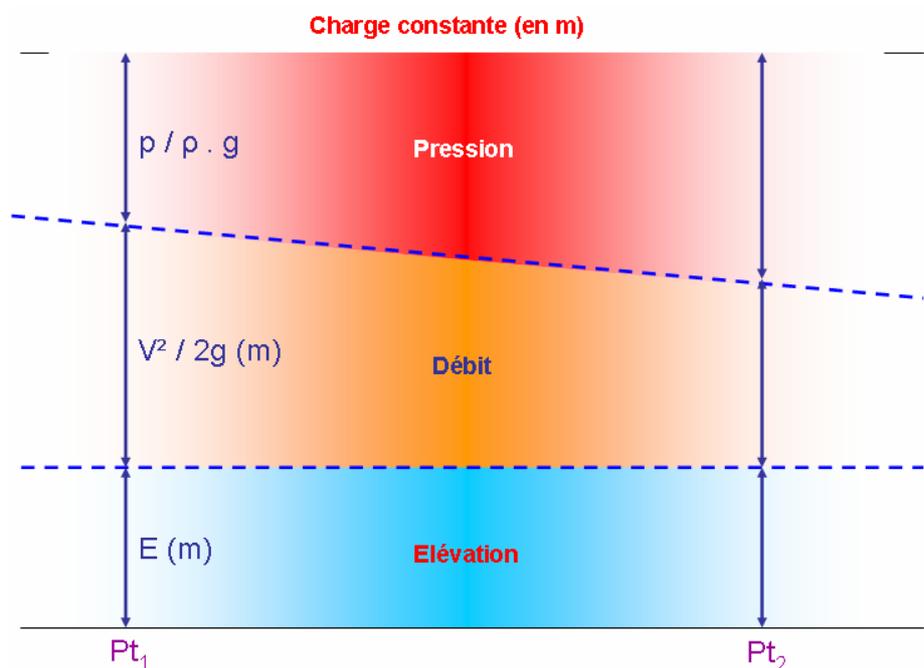
ht = somme des énergies en un point exprimée en mCL

Cette utilisation de l'énergie est très utile car un des principes de physique spécifie qu'il y a toujours conservation d'énergie, donc si l'une des 3 constituantes de l'énergie est réduite, une autre se trouvera augmentée.

Mathématiquement cette ht s'exprime avec la formule $ht \text{ (m)} = p / \rho \cdot g + v^2 / 2g + z$

p : pression absolue du liquide en Pa
 v : vitesse de liquide en m/s
 z : cote en m par rapport au point de référence

Figure 6: La charge entre deux points reste constante



Par exemple si on considère un conduit horizontal, pour lequel l'énergie potentielle reste constante, si entre les points 1 et 2 la vitesse diminue (énergie cinétique), obligatoirement la pression au point 2 sera supérieure à celle au point 1.

3.1.2. La charge : augmentation par pompage et réduction par frottement

3.1.2.1. L'utilisation d'une pompe : L'augmentation de la charge.

Nous avons vu qu'en un point pt_1 un liquide avait une énergie faite de 3 constituants, si on veut à un autre point pt_2 du réseau avoir par exemple une pression supérieure tout en gardant les 2 autres énergies constantes (par exemple débit constant sur une ligne horizontale), il faudra entre ces 2 points apporter de l'énergie ... c'est ce qui sera fait par une pompe.

Cette énergie nécessaire à apporter au fluide pour amener sa charge de la valeur ht_1 à la valeur ht_2 est H (exprimée aussi en mCL) on peut donc écrire :

$$ht_1 + H = ht_2$$

3.1.2.2. Les frottements lors de l'écoulement : pertes de charges d'un liquide.

La perte de charge d'un fluide qui s'écoule dans une conduite entre 2 points pt_1 et pt_2 , représente l'énergie perdue à cause des frottements (sur les parois et entre les particules du produit).

Cette énergie perdue, s'exprime (comme les autres énergies) en mCL et est généralement représentée par la lettre J .

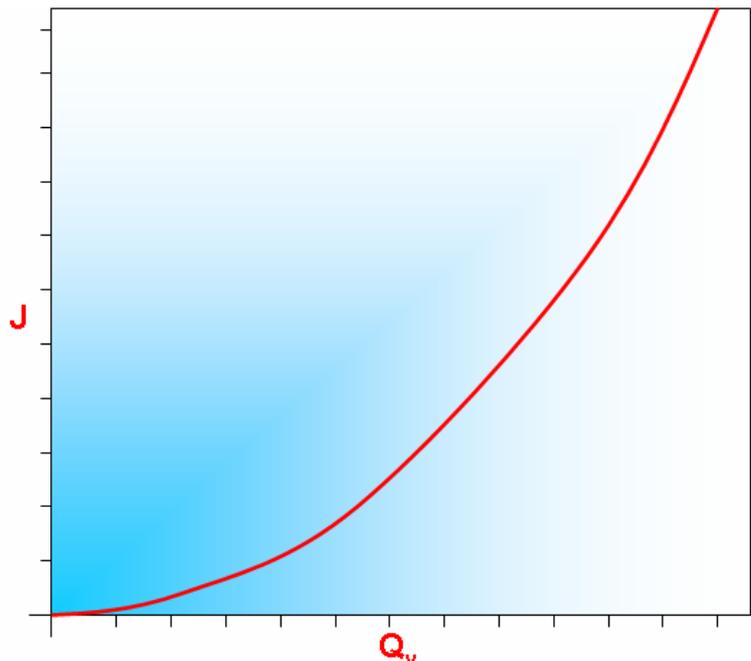
Comme entre 2 points l'énergie totale doit se conserver, si entre les pts 1 et 2 il y a une perte de charge par frottement de J exprimée en mCL on peut écrire :

$$ht_1 - J = ht_2$$

Les pertes de charges peuvent donc être définies dans n'importe quelle portion d'un réseau, et en particulier :

- ✦ Dans la partie aspiration (entre le point d'aspiration et l'entrée de la pompe)
- ✦ Dans la partie refoulement (entre le refoulement de la pompe et le point de rejet)

Figure 7: Perte de charge en fonction du débit volumique



Les pertes de charges dépendent

de l'état de la surface interne du tuyau (plus c'est rugueux plus le fluide va perdre de l'énergie), on appelle ces pertes de charges les pertes de charges linéaires, tous les divers élément du conduit (coude / vanne / clapet / ..) provoquent aussi des pertes de charges, on parle de pertes charges singulières.

On démontre que les pertes de charge entre 2 points sont proportionnelles au carré du débit et est représentée par la courbe $J = f(Q_v^2)$.

3.1.3. L'utilisation d'une pompe dans un réseau avec perte de charge

3.1.3.1. Caractéristique du réseau

On a vu que la charge d'un liquide en un point correspondait à son énergie en ce point, et qu'entre 2 points pt_1 et pt_2 on pouvait avoir des pertes de charges par frottement et une augmentation de la charge par une pompe, donc pour un réseau ayant des pertes de charges et une pompe on peut écrire :

$$ht_1 + H - J = ht_2$$

H étant la charge (l'énergie) à fournir au liquide pour l'amener du point pt_1 (avec condition de départ) au pt_2 (pour avoir les conditions requises au point de distribution) lorsque entre ces 2 points il y a une perte de charge égale à J. H est donc l'énergie à apporter pour vaincre la différence de niveau, de pression entre les ballons, et les pertes de charge.

La charge à fournir $H = (ht_2 - ht_1) + J = hG + J$

H = hG + J : c'est l'énergie exprimée en mCL à apporter au liquide pour aller du pt_1 au pt_2

Le terme hG est appelé hauteur géométrique du réseau, c'est rappelons-le, la différence de charge entre 2 points, donc pas obligatoirement la différence de cotes :

Si $P_1 = P_2$ on a $hG = Z_2 - Z_1$

Si P_1 différent de P_2 on a :

$$hG = (Z_2 - Z_1) + (P_2 - P_1) / \rho g$$

On voit donc qu'effectivement l'énergie à fournir va servir d'une part à augmenter le charge de ht_1 à ht_2 et aussi à compenser les pertes de charges $J = f(Q_v^2)$

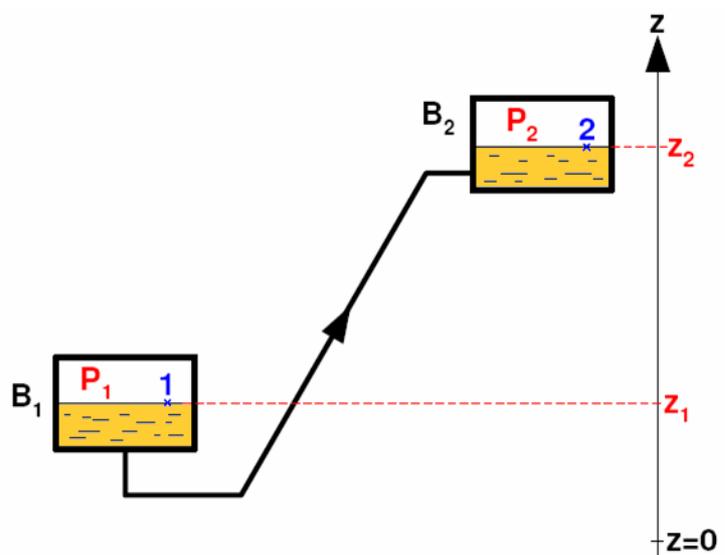


Figure 8: Transfert avec une pompe du bac B_1 vers le bac B_2

Considérons le réseau suivant:

La pression qui règne dans le bac 1 est $P_1 = 3,6$ bar, et celle qui règne dans le bac 2 est $P_2 = 1,4$ bar. La distance entre les niveaux de liquide dans les deux bacs est de 12 m.

On prend comme origine des altitudes le niveau d'eau dans le bac 1.

On aura ainsi :
 $z_1 = 0$ m - $z_2 = 12$ m

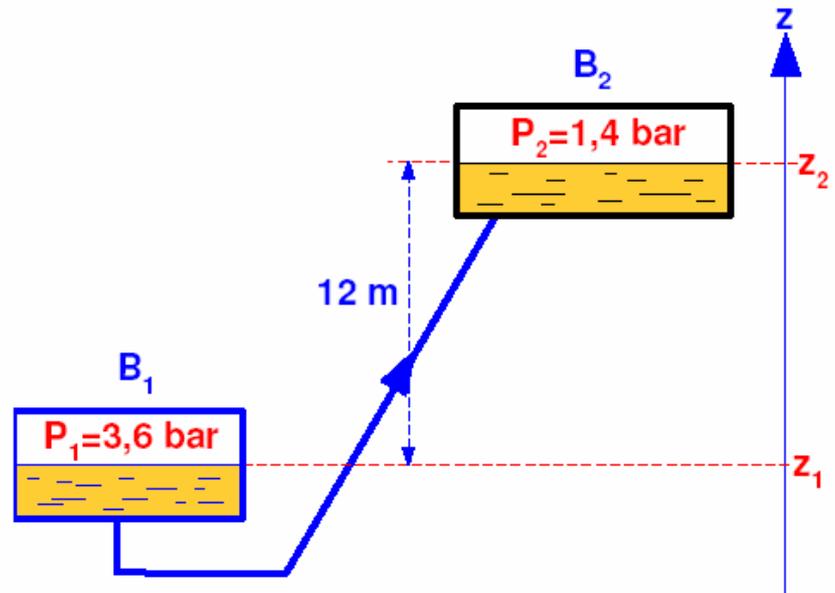


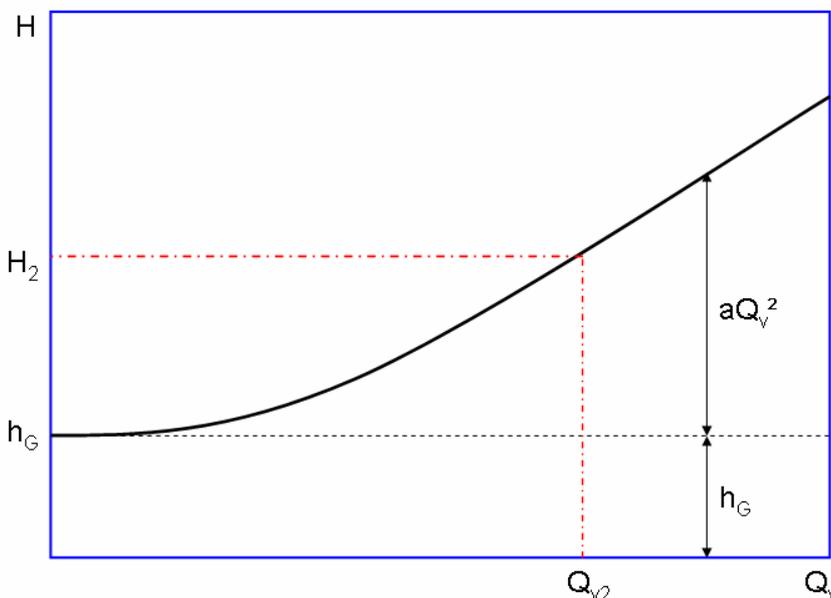
Figure 9: Exemple d'un calcul

de la différence de charge

De plus, on considérera que les bacs fonctionnent à niveau constant: $u_1 = u_2 = 0$

On aura alors :

$$h_G = (P_2 / \rho \cdot g + z_2) - (P_1 / \rho \cdot g + z_1) = (3,6 \cdot 10^5 / 1000 \cdot 9,81 + 12) - (1,4 \cdot 10^5 / 1000 \cdot 9,81 + 0) = 34,4 \text{ m}$$



Pour un réseau donné et pour des conditions connues/voulues on peut donc tracer la courbe $H = h_G + a Q_v^2$ en fonction du débit.

h_G représente en fait l'énergie que la pompe devra fournir (exprimée en mCl) pour un débit nul, si on veut que la pompe délivre au pt₂ un débit Q_{v2} il faudra que la pompe fournisse l'énergie H_2

Figure 10: Courbe d'un réseau

La courbe du réseau est donc l'expression en mCl de l'énergie qui devra être fournie au système pour amener le liquide donné, de son point de départ (P_1, Z_1) au point de destination (P_2, Z_2) en fonction du débit Q_v (Q_v n'intervenant que dans l'évolution des pertes de charge)

La sélection d'une pompe consiste donc à trouver la pompe qui fournira l'énergie demandée pour assurer le débit voulu dans ce réseau, donc fournir l'énergie nécessaire pour répondre :

- ✦ au besoin de la hauteur statique (qui dépend uniquement des hauteurs et des pressions des points de départ et d'arrivée (de P_1 à P_2 et de Z_1 à Z_2))
- ✦ au besoin des pertes de charges (hauteur dynamique)

Si l'énergie de cette pompe est représentée elle aussi en mCl en fonction du débit Q_v , le point d'intersection de cette pompe (capacité) et de la courbe du réseau (besoin) sera donc le point de fonctionnement de l'ensemble réseau / pompe.

On ne peut choisir une pompe que si la courbe du réseau a été correctement établie (ou du moins bien estimée).

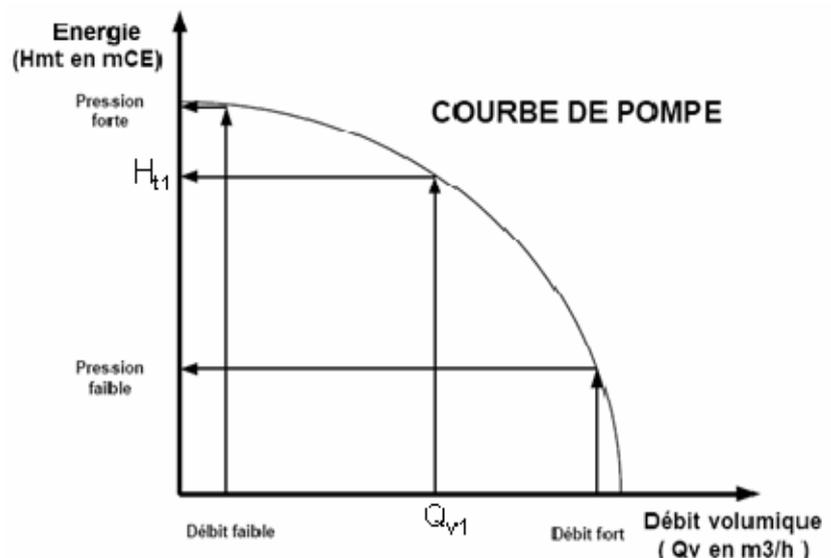
3.1.3.2. Caractéristique de la pompe

Une pompe centrifuge est un équipement qui va fournir au liquide une énergie sous forme de différentiel de hauteur appelé hauteur manométrique de la pompe (ou hauteur manométrique totale de la pompe HMT)

La grandeur HMT représente la hauteur de liquide qui pourra être obtenue dans la tuyauterie de refoulement par rapport au niveau du liquide à l'aspiration.

L'expérience montre que la hauteur HMT pompe est fonction du débit, cette relation est donnée par la courbe constructeur $HMT = f(Q_v)$, ce qui veut dire que pour un débit donné Q_{v1} la pompe fournira à son refoulement une pression donnée qui permettra de « monter » le liquide à une hauteur donnée HMT_1 .

Figure 11: Courbe de pompe



Si on considère que P_a est la pression lue (en bar absolu) à l'aspiration de la pompe et P_r celle au refoulement, la HMT exprimée en mCL de la pompe est de manière simplifiée définie par :

$$HMT = (P_r - P_a) / \rho g$$

On peut schématiser cette grandeur en mCL sur le schéma suivant, dans lequel le liquide au refoulement a atteint un niveau maximum (débit nul) la pompe étant en fonctionnement :

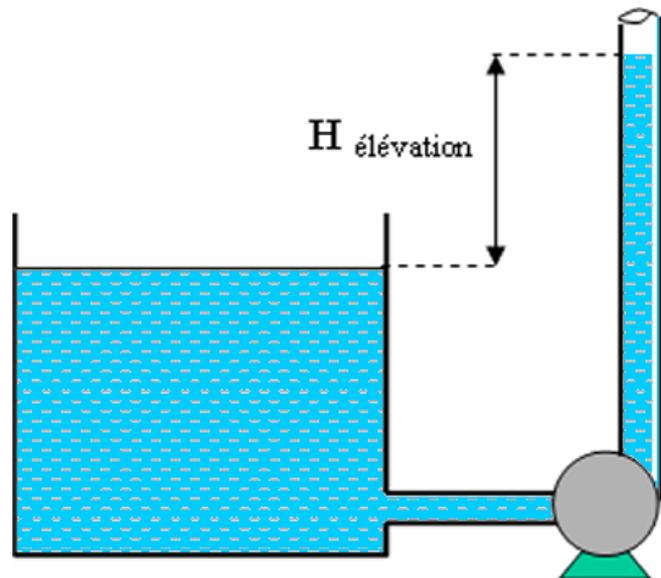


Figure 12: HMT d'une pompe

Comme les pressions sont proportionnelles au terme $\rho \cdot g$ (hauteur manométrique h en un point est telle que $p = \rho \cdot g \cdot h$), la HMT d'une pompe centrifuge exprimée en mCL est indépendante de la masse volumique du produit.

Quand la masse volumique (ou la densité du produit) varie la HMT reste la même, seule la différence de pression $P_r - P_a$ (exprimée en bar) va varier, cette Δp sera d'autant plus élevée que la masse volumique (ou la densité) sera élevée.

Exemple considérons une pompe véhiculant 3 produits différents mais avec un même débit, nous voyons que la HMT reste la même alors que la Δp varie.
(Ref. Tableau Chap 2.4)

Produit pompé (densité)	Pression aspiration (bar relatif)	Pression refoulement (bar relatif)	ΔP (bar)
Butane = 0,5	10,3	14	3,7
Soude = 1,2	10,8	19,6	8,8
Eau = 1	10,7	18,2	7,5

Pour chaque débit Q_v voulu pour un circuit donné, la pompe va fournir la HMT nécessaire qui est définie par l'intersection de la courbe de la pompe ($HMT = f(Q_v)$) avec la courbe de caractéristique du réseau ($H = f(Q_v)$)

3.1.3.3. Point de fonctionnement :

Nous avons vu que la courbe du réseau définissait le besoin, j'ai un liquide (défini par sa masse volumique), soumis à une pression P_1 à un niveau Z_1 que je veux transférer à un niveau Z_2 sur lequel s'applique une pression P_2 , ce réseau a des pertes de charges représentée par $J = f(Q_v^2)$.

Si je veux que le débit soit Q_v^* , l'énergie que la pompe devra apporter, exprimée en mCl est le point H^* correspondant.

Nous avons vu qu'une pompe fournissait de l'énergie, HMT qui était exprimée en mCL en fonction du débit Q_v suivant la courbe du fabricant, il suffit donc de trouver la pompe qui pour le débit recherché Q_v^* fournisse l'énergie HMT* égale à l'énergie H^* nécessaire.

Le point de fonctionnement est donc bien l'intersection de ces 2 courbes.

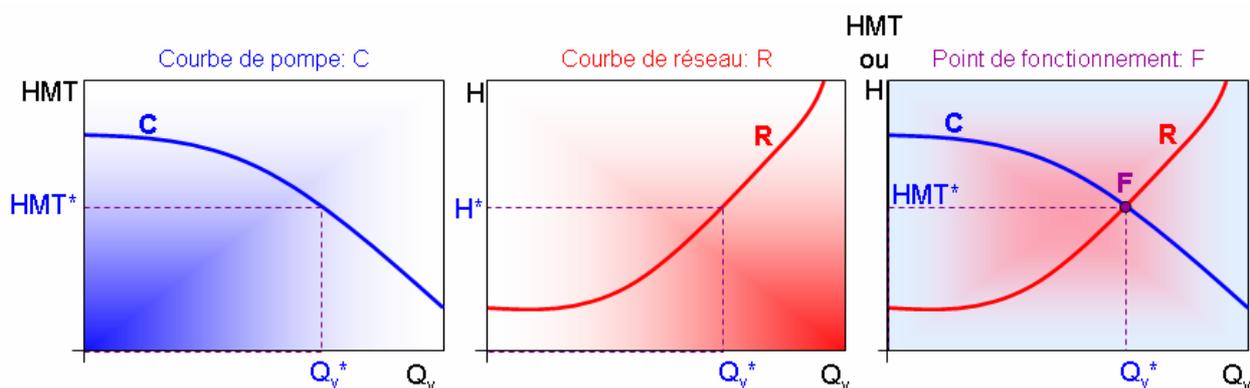


Figure 13: Point de fonctionnement d'une pompe

3.1.4. Considérations complémentaires :

3.1.4.1. Tension de vapeur : origine de la cavitation

Pour une température donnée tout liquide à une pression d'ébullition bien déterminée dite tension de vapeur T_v , donc pour tout liquide quand on atteint la pression de vapeur T_v , le liquide commence à se vaporiser (exemple au niveau de la mer l'eau bout à 100°C , au sommet d'une haute montagne, l'eau va bouillir avant d'attendre 100°C car la pression aura baissé par rapport à celle du niveau de la mer).

Si on considère le cas de l'eau par exemple, on sait que l'eau à la pression atmosphérique boue à une température de 100°C .

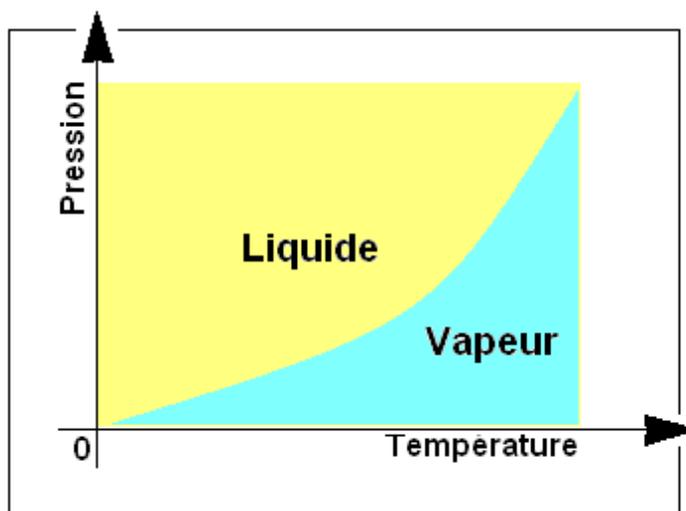
Toutefois, si la pression qui règne au-dessus du liquide est différente de la pression atmosphérique, la température d'ébullition sera modifiée.

Ainsi, lorsque la pression augmente, la température d'ébullition augmente (et lorsque la pression diminue, la température d'ébullition diminue).

Figure 14: Graphe liquide - vapeur

Le tableau ci-dessous donne la température d'ébullition de l'eau sous différentes pressions.

On constate donc que si de l'eau à 20 °C voit sa pression passer sous la valeur de 0,023 bar, alors l'eau va se mettre à bouillir.



Pression (bar)	Température d'ébullition (°C)
50	264
6	159
2	120
1	100
0,5	81
0,023	20
0,2	17,5

Table 2: Température d'ébullition d'eau en fonction de la pression

Il existe des abaques température-pression permettant de déterminer graphiquement de façon approchée la température d'ébullition d'un liquide sous pression réduite à partir de sa température d'ébullition normale.

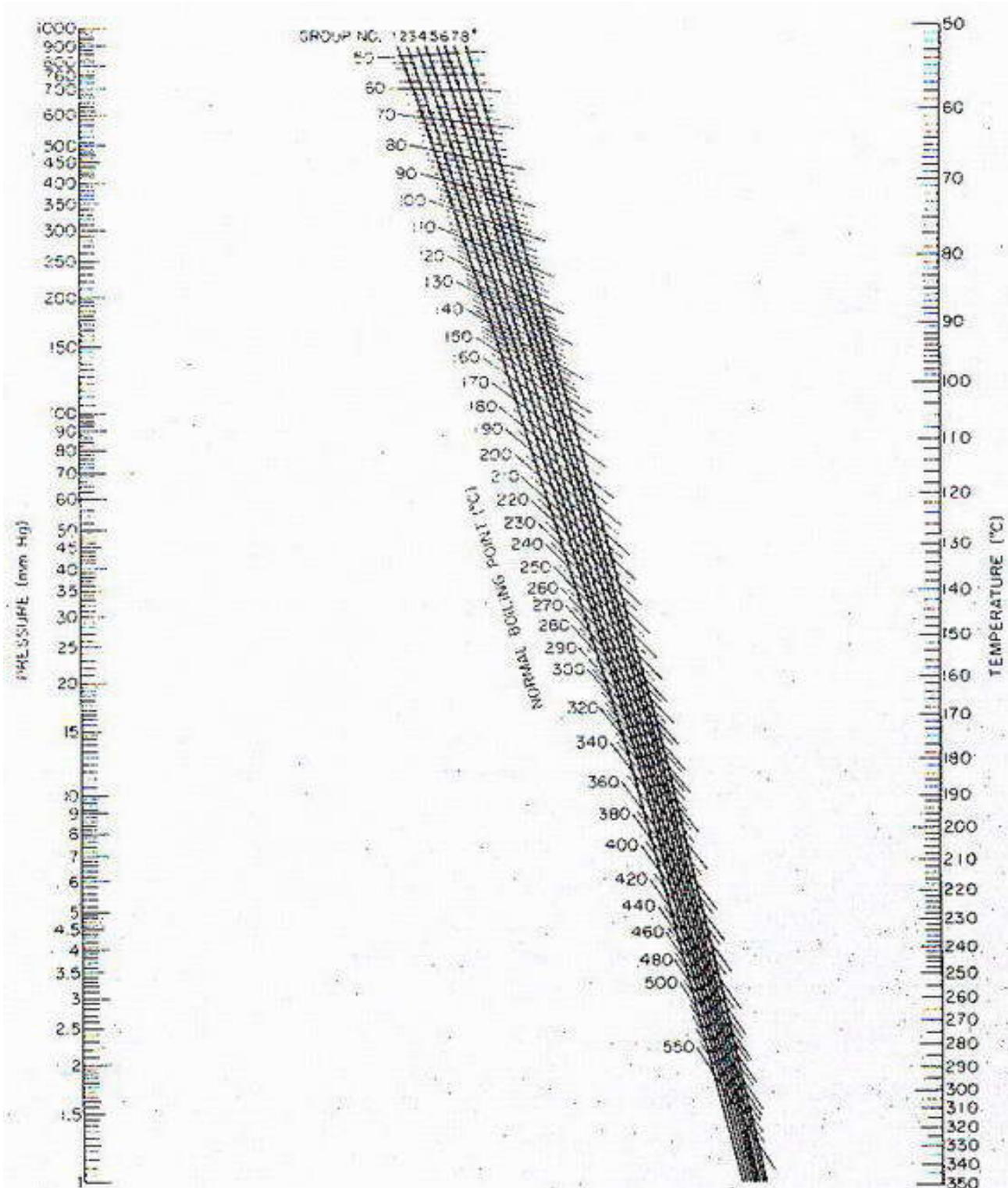


Figure 15: Exemple d'abaque température - pression

3.1.4.2. Cavitation : égalité entre pression du liquide pompé et sa T_v

La conception des pompes centrifuges fait que c'est à l'entrée de la roue (impulseur) que la pression est la plus faible.

Ceci vient du fait que le liquide entrant a tendance à être propulsé vers l'extrémité des aubes, créant ainsi une dépression à l'entrée de l'impulseur.

Si la pression devient $= T_v$ du liquide pompé, ce liquide se vaporise partiellement, les bulles de gaz sont entraînées avec le liquide vers des zones où la pression augmente (plus on s'éloigne de l'axe), les bulles de gaz repassent alors au-dessus de T_v et se condensent en implosant près des parois, c'est le phénomène de cavitation, ce phénomène, en fonction de son importance se traduit par des bruits, des vibrations, des instabilités de fonctionnement, des pertes d'énergie et éventuellement par des érosions du métal ..

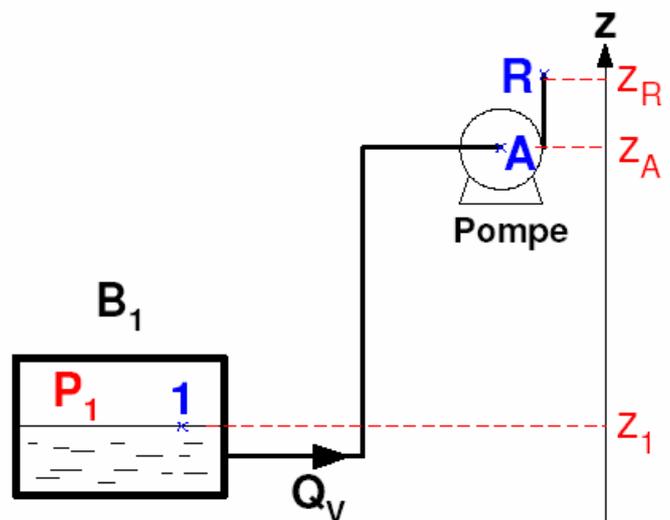
Pour éviter le phénomène de cavitation il suffit que le liquide arrive à l'entrée de la pompe avec une pression suffisante, de manière à ce que la pression à l'entrée de la roue reste $>T_v$ (quand la pompe tourne).

Considérons maintenant le réseau suivant :

Nous pouvons alors écrire le bilan de charge sur la partie du réseau située avant la pompe :

$h_{t1} - J = h_{tA}$ où h_{t1} est la charge totale du fluide dans le bac, h_{tA} la charge totale du fluide à l'entrée de la pompe et J la perte de charge subie par le fluide entre le bac et la pompe.

Figure 16: Bilan de charge



On peut en déduire $P_A = P_1 - \rho \cdot g \cdot (Z_A - Z_1) - J$

Nous voyons que, compte tenu des termes qui se retranchent, la pression P_A peut être très faible. En particulier, elle peut devenir égale à la pression de vapeur saturante du liquide. Il se produit alors une vaporisation partielle du liquide, analogue à une ébullition, donnant naissance à des bulles de vapeur. C'est le phénomène de cavitation.

On constate donc que selon l'implantation de la pompe, il y aura ou non cavitation. Ainsi, dans le cas de la figure ci-dessus, l'aspiration de la pompe se trouve bien au-dessus du niveau de liquide dans le bac B_1 , et par conséquent le terme $z_A - z_1$ est positif. Plus la pompe se trouvera au-dessus du liquide, plus la pression P_A à l'aspiration sera faible et le risque de cavitation sera grand. De même, plus la perte de charge J sera importante dans le réseau d'aspiration de la pompe, plus P_A sera faible et donc là aussi le risque de cavitation sera grand.

Il est donc nécessaire pour l'utilisateur de savoir dans quelle mesure selon l'implantation de la pompe, il risque ou non de voir apparaître ce phénomène de cavitation. C'est le rôle du $NPSH_D$.

Concrètement pour éviter la cavitation, quand c'est possible

- ✦ Préférer des montages avec pompes en charge.
- ✦ Limiter les températures des fluides (car le liquide chaud se vaporise plus vite que froid pour une même pression)
- ✦ Éviter les pertes de charge à l'aspiration
- ✦ Éviter de pomper à partir d'un réservoir à pression réduite

3.1.4.3. *NPSH - Net Positive Suction Head (Charge nette absolue à l'aspiration)*

NPSH est l'abréviation anglo-saxonne de «Net Positive Suction Head» over vapour pressure, ce qui se traduit en français par : «Charge Totale Nette d'Aspiration» au-dessus de la tension de vapeur.

D'une manière plus concrète, cela représente la pression qui existera à l'aspiration de la pompe, uniquement du fait du réseau et du liquide pompé (quelque soit la pompe utilisée).

Définition du NPSH : C'est la pression totale en m de colonne liquide pompé déterminée à la bride d'aspiration de la pompe, moins la T_v du liquide à la température de fonctionnement.

Mathématiquement le $NPSH = P_a / \rho g + u_a^2 / 2g - T_v / \rho g$ ($Z_a = 0$ côte aspiration)

Dans l'étude des systèmes avec pompe, on définit deux types de NPSH.

- ✦ Le $NPSH_d$ (disponible)
- ✦ Le $NPSH_r$ (requis)

Le NPSH disponible est une caractéristique du réseau, indépendante de la pompe, et que l'utilisateur doit définir pour choisir correctement sa pompe.

3.1.4.4. *NPSH requis*

Pour chaque pompe, il y a un NPSH minimal en dessous duquel la cavitation apparaît.

C'est ce qu'on appelle le NPSH requis. On le note $NPSH_{requis}$.

Chaque constructeur de pompe détermine par des essais de cavitation forcée, le NPSH requis de ses pompes.

Expérimentalement, comme le montre la figure suivante, le NPSH requis augmente avec le débit Q_V . Le constructeur de la pompe fournit la courbe NPSH_{requis} en fonction de Q_V .

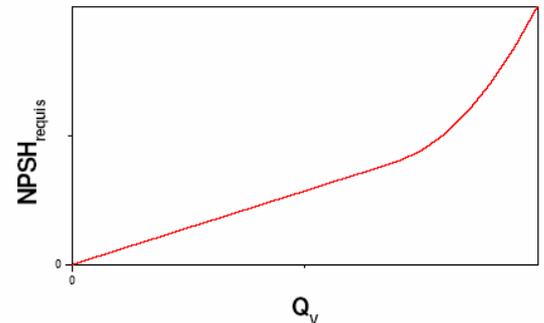


Figure 17: Variation du NPSH requis avec le débit circulé par la pompe

En pratique, pour qu'une pompe puisse fonctionner normalement (sans cavitation), il faut calculer le NPSH disponible et vérifier qu'il est bien supérieur au NPSH requis (qu'on aura déterminé à l'aide de la courbe fournie par le constructeur).

Une pompe fonctionne dans des conditions d'aspiration d'autant meilleures que la différence $NPSH_{disp} - NPSH_{requis}$ est grande. On estime nécessaire de se réserver une marge de sécurité d'au moins 0,5 mCL et donc d'avoir : $NPSH_{disp} > NPSH_{requis} + 0,5$

En général, les courbiers des fabricants de pompes donnent la courbe caractéristique du NPSHr [$NPSHr = f(Q)$] correspondant au diamètre nominal de la roue (= diamètre maximum). Si la roue est rognée le NPSHr est modifié. Sa nouvelle valeur peut être approchée graphiquement, comme l'indique la figure suivante.

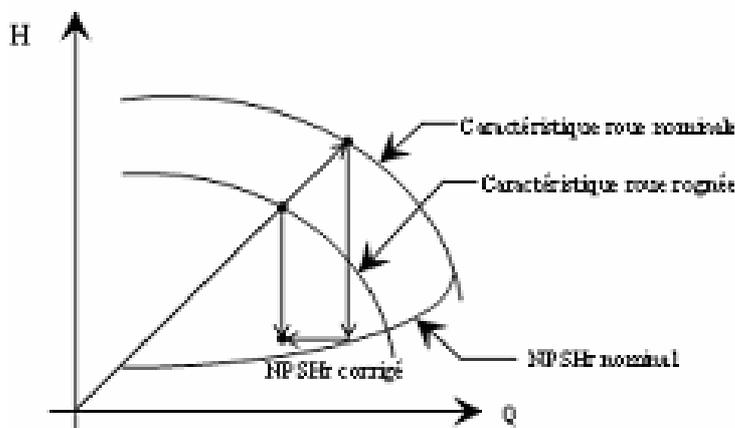


Figure 18 : Influence du diamètre de la roue sur le NPSHr

3.1.4.5. Calcul du NSPH disponible

Suivant la configuration de montage et du produit véhiculé, il y a une pression P_a à l'aspiration de la pompe. En conséquence seule la quantité de pression supérieure à T_v sera utile (si cette pression arrive à la T_v on aura du gaz à l'entrée de la pompe).

$$NPSH_d = P_1 / \rho \cdot g + z_1 - J - T_v / \rho \cdot g$$

Si ces valeurs sont exprimées en mCL on peut écrire :

$$NPSH_d = P_1 \text{ (mCL)} - T_v \text{ (mCL)} + z_1 \text{ (mCL)} - P_{dc} \text{ aspiration (mCL)}$$

Il faut cependant tenir compte de la position relative du point z_1 par rapport au point de référence qui est l'aspiration de la pompe.

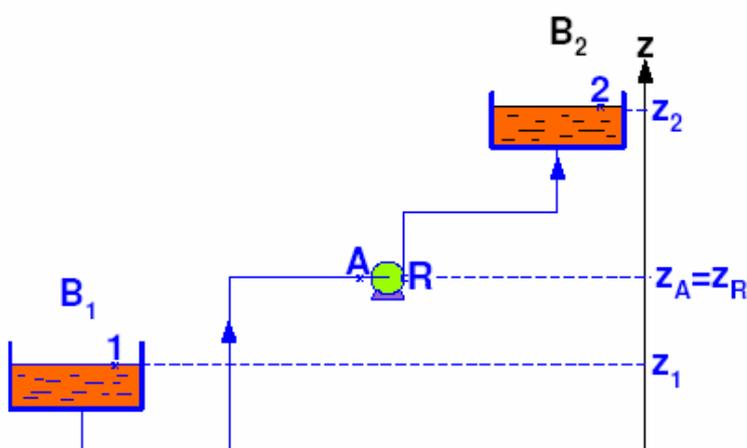
Il existe donc 2 cas possibles d'installation d'une pompe qui seront détaillés dans l'exemple 3.1.5 (Étude d'un cas simple)

On peut calculer le NPSH soit à partir des données à l'aspiration de la pompe, soit à partir des données au niveau du ballon d'aspiration.

Exemple pratique de vérification de NPSH disponible:

Le liquide pompé est de l'eau à 20 °C.

A cette température, la tension de vapeur saturante de l'eau est $T_v = 0,023$ bar.



Une fois la pompe installée, on mesure à l'aspiration une pression $P_A = 0,6$ bar avec un débit $Q_v = 23$ m³/h.

La conduite d'aspiration à un diamètre $D = 32$ mm.

Figure 19: Calcul du NPSH disponible dans un réseau

On doit calculer le NPSH disponible à partir de la formule:

$$NPSH_{disp} = P_A / \rho \cdot g + u_A^2 / 2 \cdot g - T_v / \rho \cdot g$$

On peut calculer la vitesse u_A à l'aspiration à l'aide du débit volumique :

$$u_A = Q_v / \pi \cdot D^2 / 4 = (23 / 3600) / (\pi \cdot 0,032^2 / 4) = 7,9 \text{ m/s}$$

On aura alors :

$$NPSH_{disp} = 0,6 \cdot 10^5 / 1000 \cdot 9,81 + 7,9^2 / 2 \cdot 9,81 - 0,023 \cdot 10^5 / 1000 \cdot 9,81 = 9,27 \text{ mCE}$$

Le NPSH disponible sur cette installation est donc de 9,27 mCE.

3.1.4.6. Prise en compte du rendement

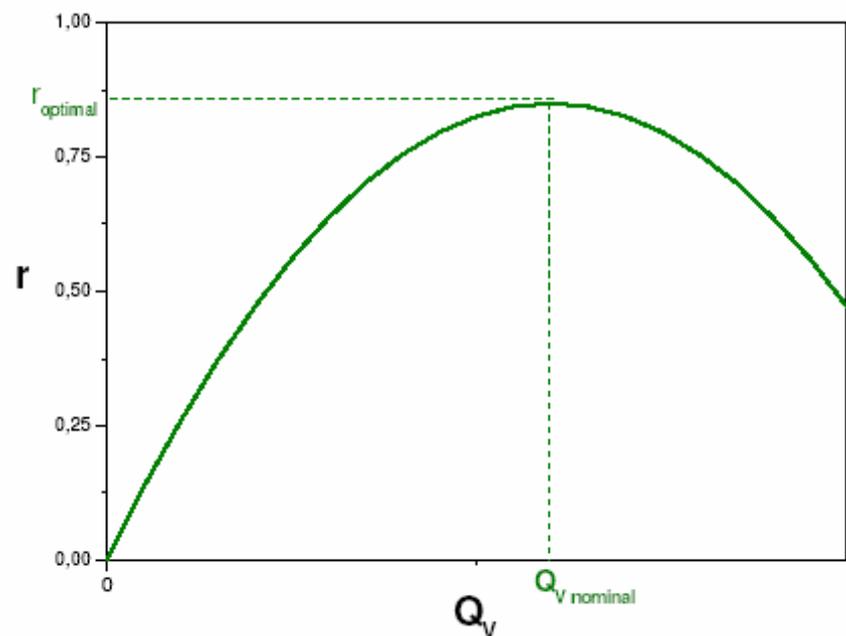
Le rendement R d'une pompe est le rapport entre la puissance absorbée par la pompe P_a (celle fournie par le moteur qui l'entraîne) et l'énergie effectivement transmise par la pompe au liquide, puissance hydraulique P_h (En effet il va y avoir des pertes dans la pompes par frottements/turbulences/fuites internes).

Le rendement est égal au rapport de ces deux puissances :

$$R = P_h / P_a$$

Pour les pompes centrifuges, le rendement présente un maximum en fonction du débit Q_v , cette courbe fournie par le constructeur doit être prise en compte lors du choix d'une pompe de façon à ce que le point de fonctionnement se trouve dans une zone de rendement maximum de la pompe.

Figure 20: Rendement en fonction du débit



3.1.4.7. Adaptation du process à la pompe :

Lors du choix d'une pompe (elle peut fournir le débit souhaité, amener le produit en un point Z avec une pression P, cela dans une zone de fonctionnement ou le rendement est le meilleur), on s'aperçoit que cette pompe n'existe pas pour des paramètres aussi précis.

On choisi donc une pompe de capacité (HMT) supérieure et on augmente artificiellement la perte de charge en installant une vanne automatique au refoulement (vanne 100% ouverte => perte de charge additionnelle du réseau= 0, plus la vanne se ferme plus la perte de charge augmente), on peut donc se retrouver toujours au point de fonctionnement choisi.

Ci-dessous un exemple de simulateur permettant de comprendre et d'illustrer le fonctionnement d'un réseau hydraulique simple, d'observer en temps réel le point de fonctionnement d'un circuit en fonction de l'ouverture de la vanne de réglage, de montrer l'intérêt des courbes de réseau, etc...

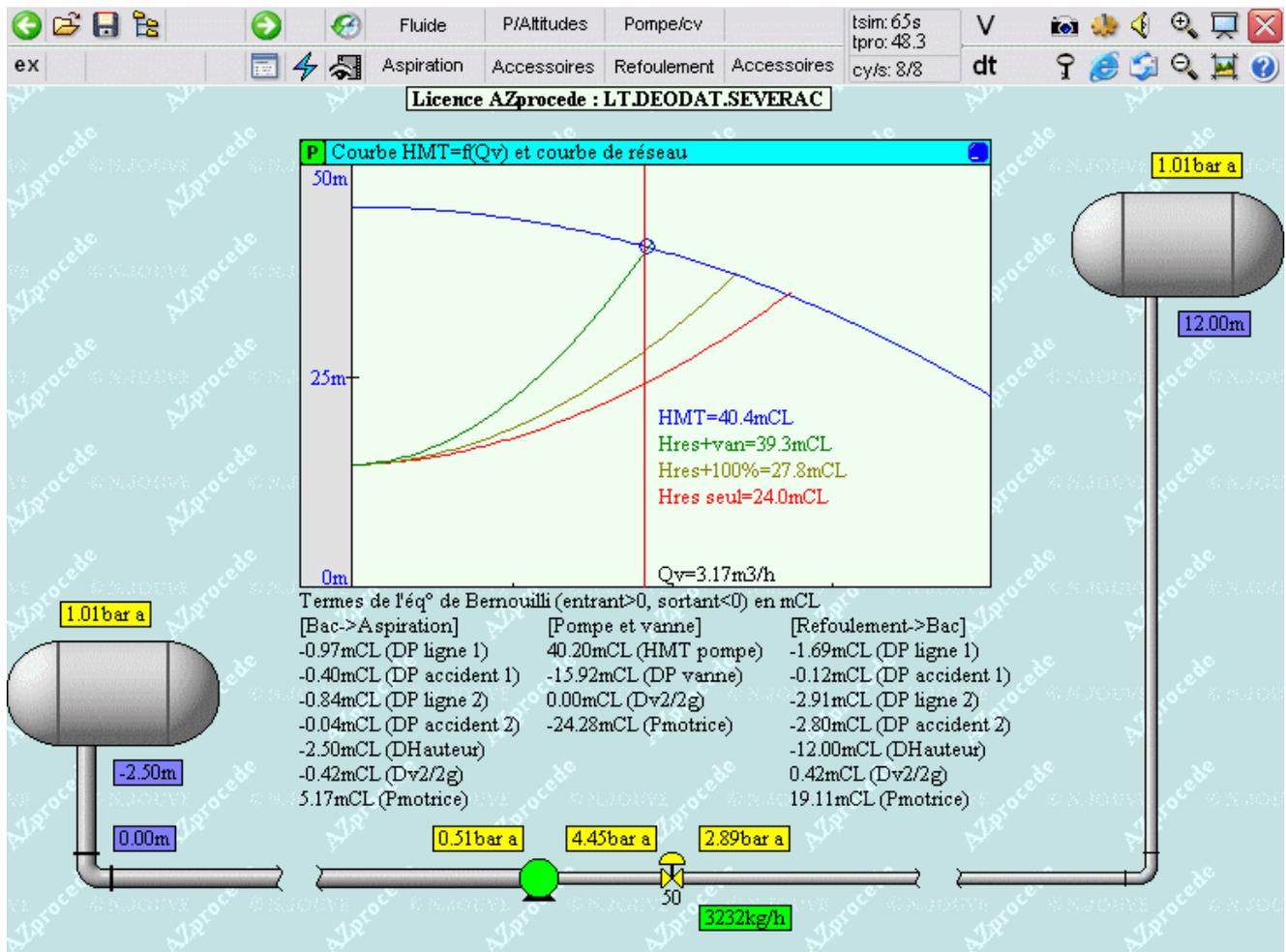


Figure 21 : Courbe point de fonctionnement d'une pompe

3.1.4.8. Prise en compte des variations du process

Autant la courbe d'une pompe est une donnée figée (pour une pompe donnée à une vitesse donnée) autant les conditions opératoires peuvent changer dans le temps, en particulier les niveau des ballons (aspiration et refolement).

Il faudra donc au cas par cas analyser les cas extrêmes les plus défavorable avant le choix de la pompe.

- ⊕ Pression à l'aspiration de la pompe la plus faible suite a une baisse de pression éventuelle dans le ballon et/ou niveau mini dans ce ballon
- ⊕ Pression au refolement de la pompe la plus élevée suite à une augmentation de pression dans le ballon d'arrivée et/ou le niveau haut dans ce ballon.

En dehors de ces considérations process on notera que l'encrassement des filtres, le vieillissement des lignes, des recycles et des modifications sont des changements qui

modifient la courbe du réseau et qui donc changent le point de fonctionnement de la pompe, on prendra généralement une marge de sécurité (de l'ordre de 20%) pour compenser ces possibles variations

3.1.5. Étude d'un cas simple

- ⊕ Pompe fonctionnant en aspiration : la pompe est installée plus haut que le niveau du liquide à pomper, dans ce cas la pompe doit monter ce liquide jusqu'à l'aspiration avant de l'évacuer en sortie.

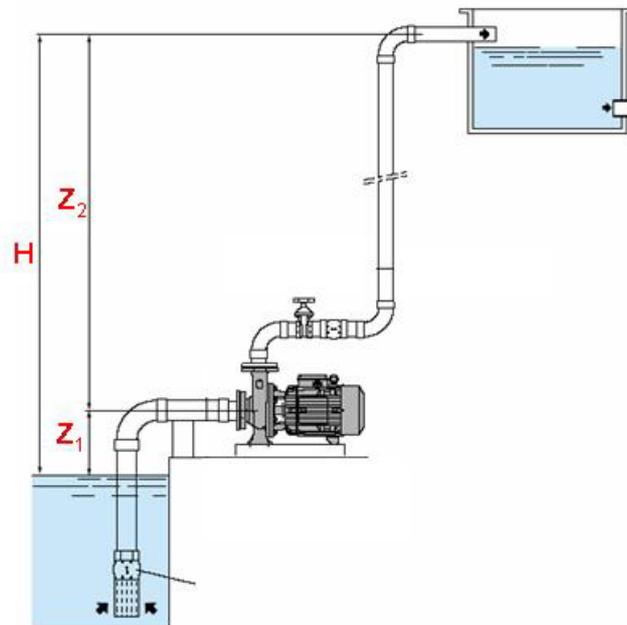


Figure 22: Fonctionnement en aspiration

Exemple : Sur l'installation ci-dessus ou on a mesuré par rapport à l'axe de l'aspiration $z_1 = 3,5$ m et $z_2 = 39$ m. On a une perte de charge à l'aspiration 0,8 mCe et 7,2 mCe au refoulement. On cherche à sélectionner une pompe permettant un débit de 42 m³/h d'eau.

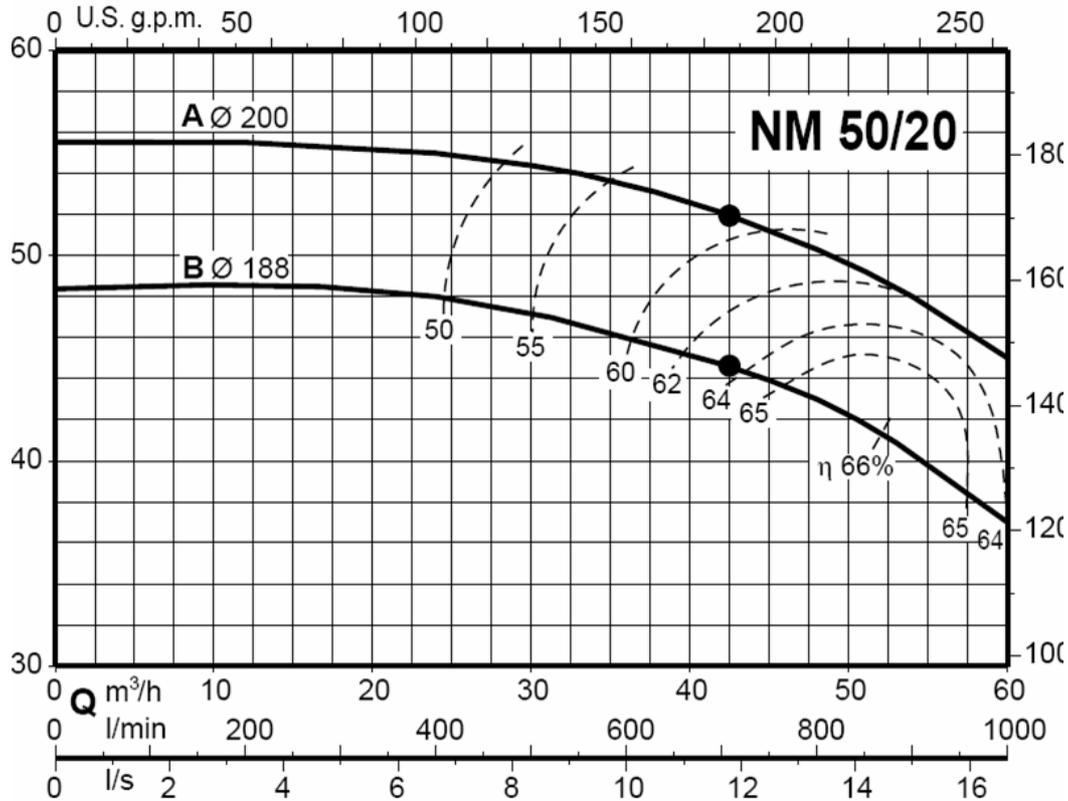


Figure 23: HMT en fonction du débit (pompe A et pompe B)

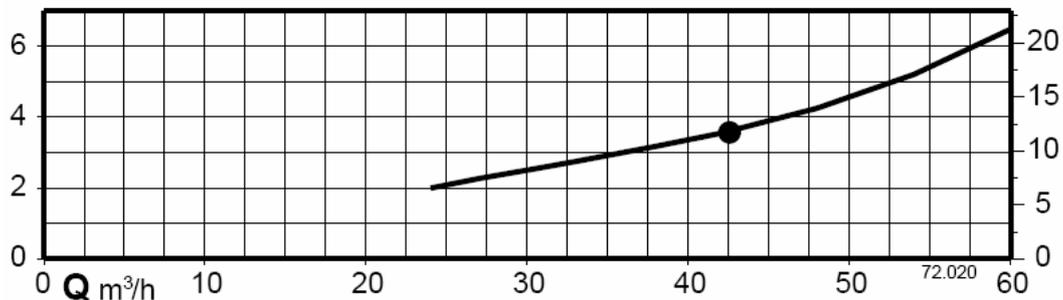


Figure 24: NPSH requis en fonction du débit pour les deux pompes

Le bilan d'énergie exprimé en charge : $h_{t1} + HMT - Pdc = h_{t2}$

$HMT = h_{t2} - h_{t1} + Pdc = P_2 / \rho \cdot g + \frac{1}{2} u_2^2 / g + z_2 - (P_1 / \rho \cdot g + \frac{1}{2} u_1^2 / g - z_1) + Pdc$
 $P_1 = P_2 = P_{atm}$, $u_1 = u_2 = 0$ (niveau constant), $-z_1$ car le niveau de référence est l'axe de la pompe.

Donc $HMT = z_2 + z_1 + Pdc = 3,5 + 39 + (0,8 + 7,2) = 50,5$ (mCe).

On voit que la pompe courbe B n'a pas la capacité suffisante car pour un débit de 42 m³/h elle ne fournit qu'une HMT de 45 mCe.

La pompe courbe A qui peut fournir jusqu'à 57 mCe sera prise si la condition NPSH est respectée ($NPSH_d > NPSH_r + 0,5$ mCe).

Pour cette pompe, a ce débit le $NPSH_r$ (requis) est de 3,5 mCe

$$\text{NPSH}_d = P_{\text{atm}} - P_{\text{dcasp}} - z_1 = P_{\text{atm}} - 0,8 - 3,5$$

$$P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa et } 1 \text{ mCe} = 9810 \text{ Pa donc } P_{\text{atm}} = 10,33 \text{ mCe}$$

$$\text{NPSH}_d = 10,33 - 4,3 = 6,03 \text{ mCe donc on a bien } \text{NPSH}_d > \text{NPSH}_r + 0,5$$

- ⊕ Pompe fonctionnant en charge : la pompe est installée plus bas que le niveau du liquide à pomper, dans ce cas le liquide qui est dans le conduit d'aspiration produit une pression « utile » que la pompe n'aura pas à compenser

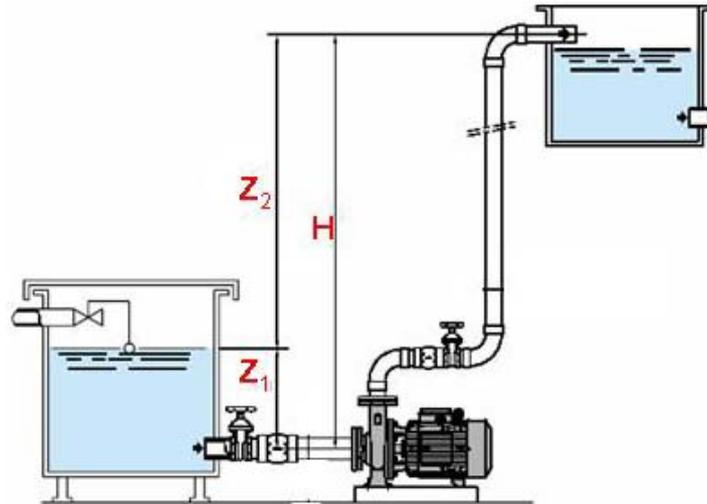


Figure 25: Fonctionnement en charge

Exemple : Sur l'installation suivante on a mesuré par rapport à l'axe de l'aspiration $z_1 = 3,5$ m et $z_2 = 39$ m. On a une perte de charge à l'aspiration 0,8 mCe et 7,2 mCe au refoulement.

On cherche à sélectionner la pompe permettant un débit de 42 m³/h d'eau.

Le bilan d'énergie exprimé en charge : $h_{t1} + \text{HMT} - P_{dc} = h_{t2}$

$$\text{HMT} = h_{t2} - h_{t1} + P_{dc} = P_2 / \rho \cdot g + \frac{1}{2} u_2^2 / g + z_2 - (P_1 / \rho \cdot g + \frac{1}{2} u_1^2 / g + z_1) + P_{dc}$$

$P_1 = P_2 = P_{\text{atm}}$, $u_1 = u_2 = 0$ (niveau constant), $+z_1$ car le niveau de référence est l'axe de la pompe.

$$\text{Donc } \text{HMT} = z_2 - z_1 + P_{dc} = 39 - 3,5 + (0,8 + 7,2) = 43,5 \text{ (mCe)}.$$

On voit que la pompe courbe B a la capacité suffisante car pour un débit de 42 m³/h elle fournit une HMT de 45 mCe.

Cette pompe sera prise si la condition NPSH est respectée ($\text{NPSH}_d > \text{NPSH}_r + 0,5 \text{ mCe}$).

Pour que cette pompe a ce débit le NPSH_r (requis) est de 3,5 mCe

$$\text{NPSH}_d = P_{\text{atm}} - P_{\text{dcasp}} + z_1 = P_{\text{atm}} - 0,8 + 3,5$$

$$P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa et } 1 \text{ mCe} = 9810 \text{ Pa donc } P_{\text{atm}} = 10,33 \text{ mCe}$$

$NPSH_d = 10,33 + 2,7 = 13,03$ mCe donc on a bien $NPSH_d > NPSH_r + 0,5$

Remarque: existe-t-il une côte maxi pour une pompe fonctionnant en aspiration ?

$T_v \text{ eau} = 0.1252$ mCe (à 10°C)

Pour une pompe fonctionnant en aspiration: $NPSH_d = P_{atm} - \Delta h - T_v - P_{dc} \text{ aspiration}$

Si on considère qu'il n'y a pas de $P_{dc} \text{ aspiration}$: $NPSH_d = P_{atm} - \Delta h - T_v$

Pour que l'on puisse pomper il faut $NPSH_d > NPSH_r$ donc > 0

Soit $P_{atm} - \Delta h - T_v > 0$

$\Rightarrow \Delta h < P_{atm} - T_v < 1013 \cdot 10^5$ Pa (à convertir en mCe) – 0.1252m

$\Delta h < 10.2$ mCe – 0.1252 m donc on peut dire qu'il n'est pas possible d'aspirer de l'eau si l'aspiration est à plus de 10 m en dessous de la pompe.

En fait les problèmes commencent vers les 8 m quand les pertes de charges à l'aspiration interviennent)

3.2. LES POMPES CENTRIFUGES

Pour assurer la fonction hydraulique, une pompe centrifuge est constituée de :

- ⊕ une roue à aubes tournant autour de son axe
- ⊕ une tubulure d'aspiration dans l'axe de la roue
- ⊕ un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge, générée par la rotation de la roue à aubes, le projette vers l'extérieur de la roue.

Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur où la section est croissante.

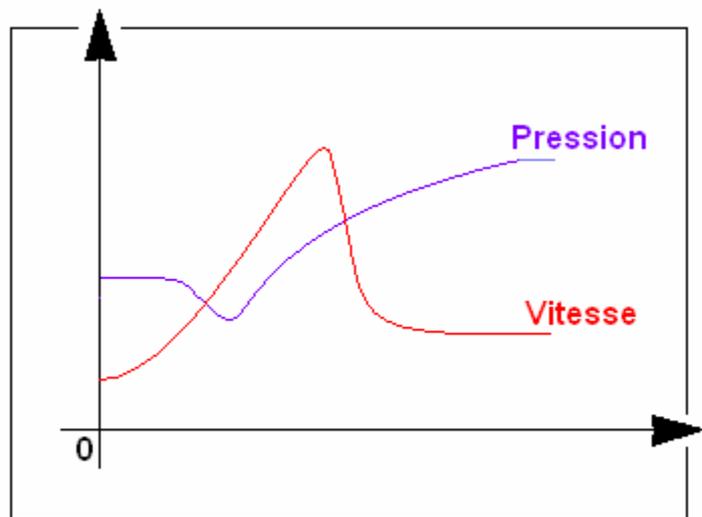


Figure 26: Evolution des pressions et vitesses du fluide dans la roue et le corps de pompe

Alors pourquoi augmenter la vitesse du filet d'eau dans la roue à aube pour aussitôt la ralentir dans le diffuseur et la volute ?

- ⊕ Augmenter la vitesse d'une veine fluide c'est lui faire gagner de l'énergie, **l'énergie cinétique**. La roue à aube transmet donc une énergie cinétique au fluide.
- ⊕ Ralentir une veine fluide, c'est faire diminuer sa vitesse, donc lui faire perdre de l'énergie cinétique. Cette énergie perdue se transforme obligatoirement en une autre énergie, une **énergie de pression** et cela se matérialise par une augmentation de la pression.

L'examen de la coupe de la Pompe Monocellulaire en Porte à faux, et de son environnement, permet de situer les différentes pièces constitutives selon leur fonction.

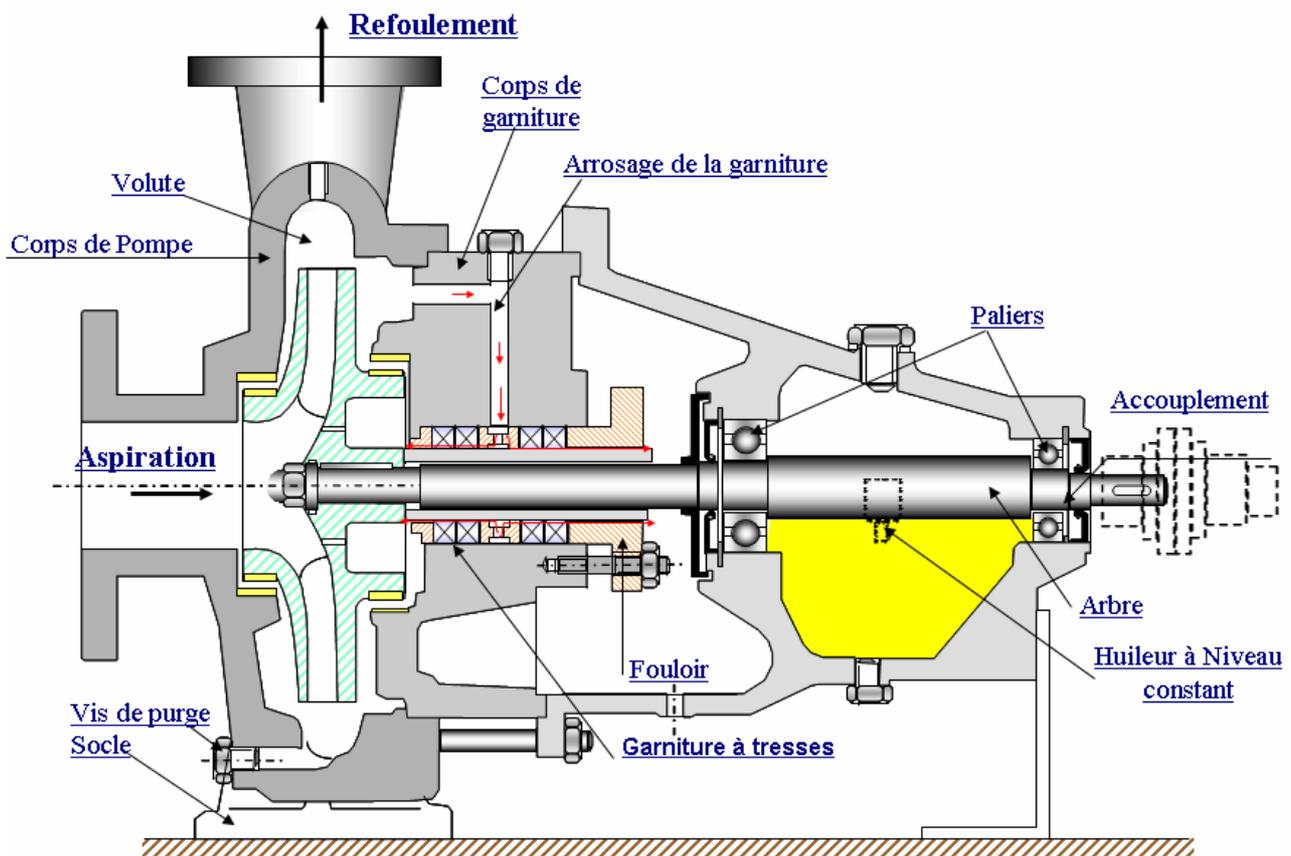


Figure 27: Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux

On peut ainsi distinguer :

- ✦ Celles intervenant dans le pompage du fluide : **Fonction Hydraulique**
- ✦ Celles contribuant au maintien des parties tournantes : **Fonction Guidage en rotation et déplacement axial du rotor.**
- ✦ **Fonction Lubrification**
- ✦ Les dispositifs limitant les fuites : **Fonction Étanchéité.**
- ✦ Le refroidissement de certaines pièces : **Fonction Refroidissement.**
- ✦ Et enfin dans l'entretien : **Fonction Montage**

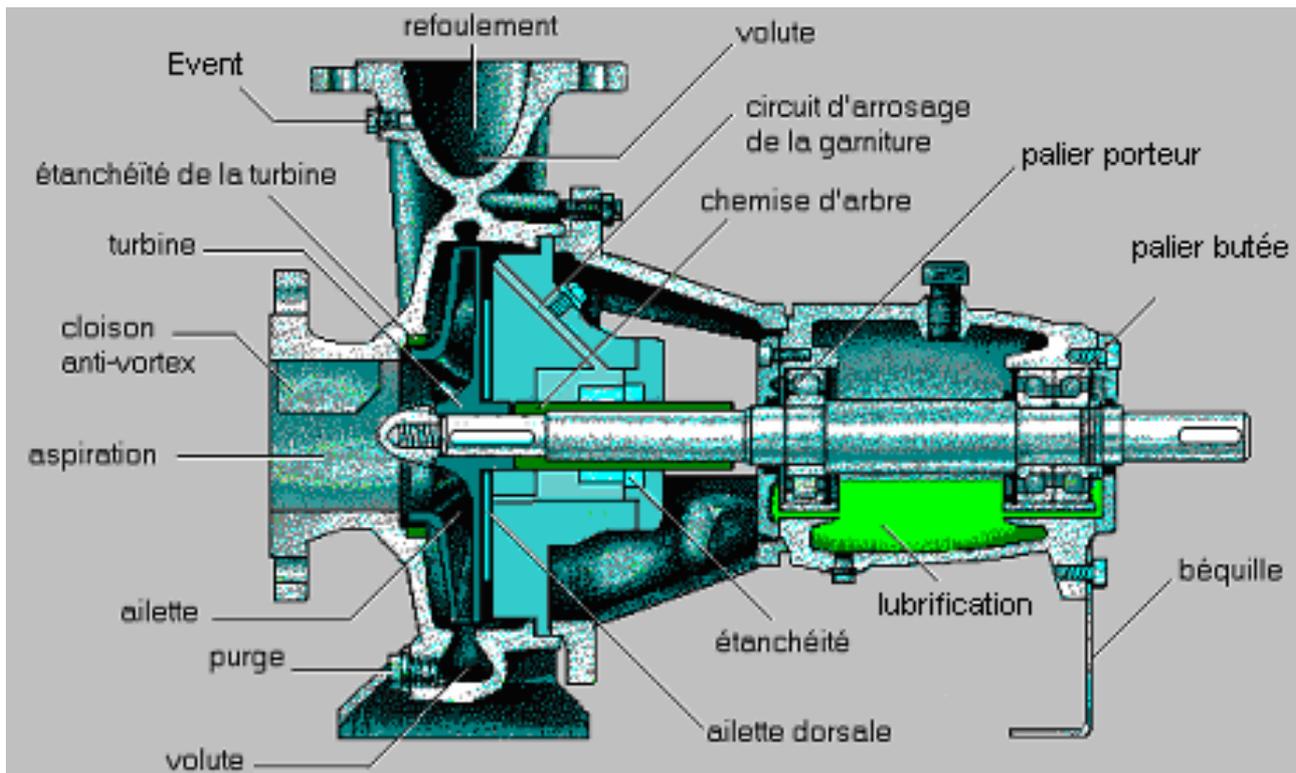


Figure 28 : Vue en coupe d'une pompe monocellulaire

3.2.1. Fonction Hydraulique

Le fluide pompé entre dans la pompe par la **tubulure d'aspiration** et arrive à l'**ouïe** de la **roue**.

Il est guidé dans la roue par les **flasques** entre lesquelles sont disposées les **aubes**.

A la sortie il est entraîné dans la **Volute** de section croissante transformant une partie de l'énergie de vitesse acquise dans la roue en pression.

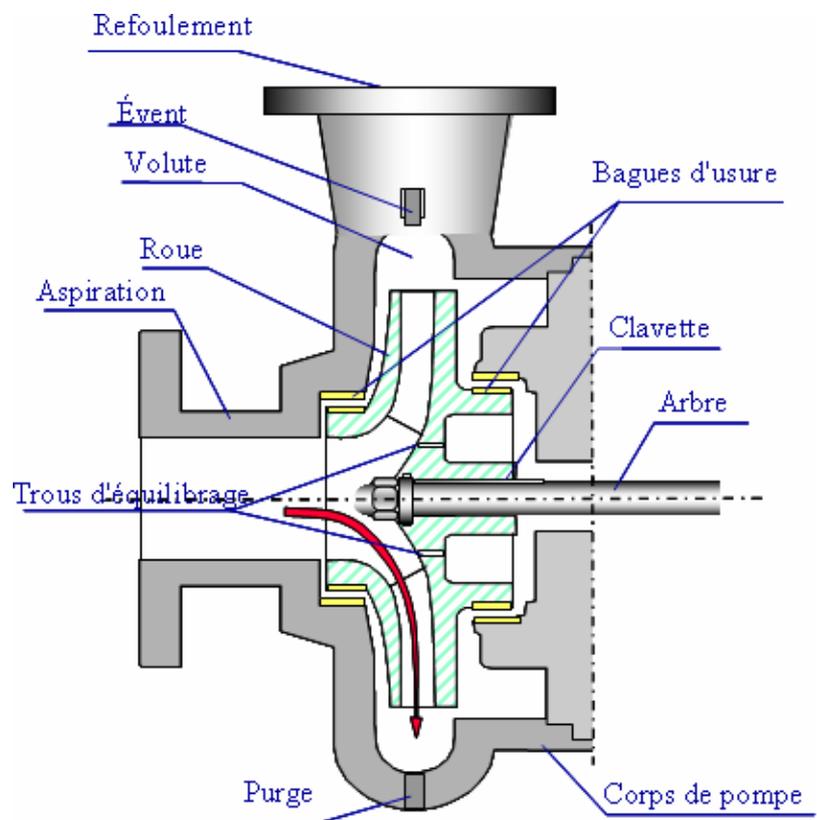
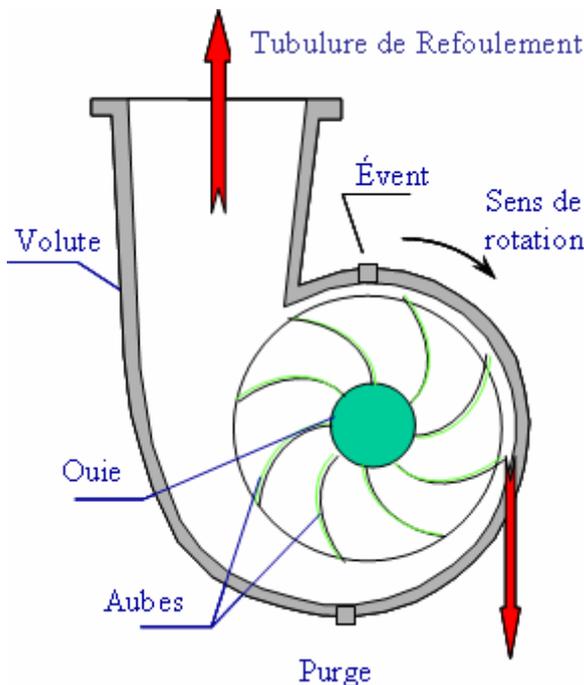


Figure 29: Fonction hydraulique (1)
– Pompe Monocellulaire



A la sortie de l'**impulseur** le liquide est recueilli dans la **volute**, qui le dirige vers la **tubulure de refoulement**.

Il passe dans la **roue** ou **impulseur** qui lui apporte l'énergie de vitesse et de pression.

Le liquide reçoit dans la pompe un accroissement de pression (Δp pompe) que l'on mesure avec des manomètres à l'aspiration et au refoulement.

Figure 30: Fonction hydraulique (2) – Pompe Monocellulaire

Des **bagues d'étanchéité** ou **bagues d'usure** sont installées pour limiter la fuite inévitable du fluide à la sortie de la roue vers l'aspiration.

L'efficacité des bagues dépend de la valeur du jeu.

Trop important, ce dernier diminue les performances de la pompe.

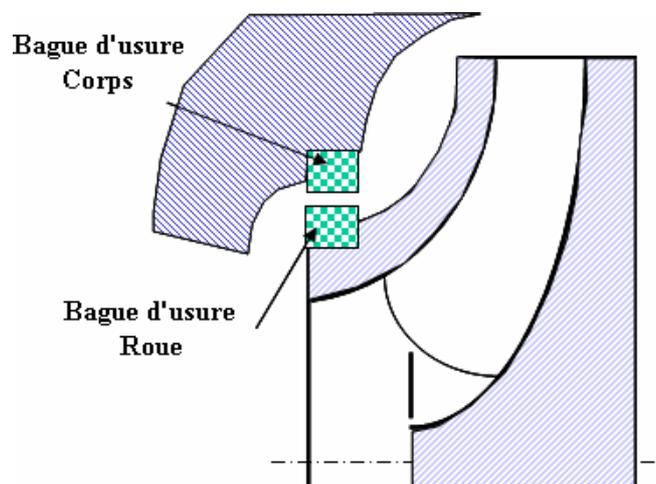
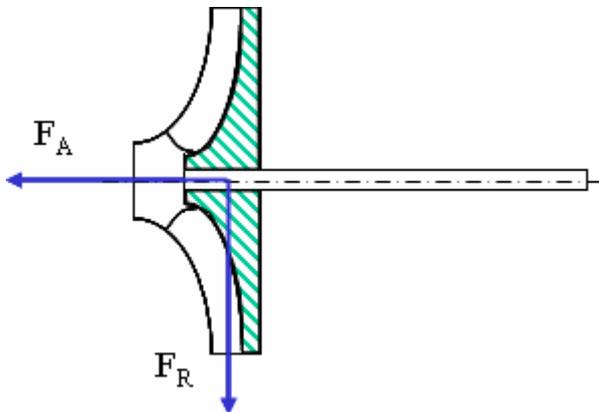


Figure 31: Bagues d'étanchéité ou d'usure

Par contre, un jeu trop faible augmente les risques de contact entre les bagues et le danger de détérioration.

Sur la volute un **évent** permet le dégazage de la pompe, et une **purge** en point bas permet sa vidange.

3.2.2. Fonction guidage axial et en rotation du rotor



La roue est solidaire de l'arbre par l'intermédiaire d'une clavette, et bloquée par un écrou.

L'ensemble : Roue – Clavette – Écrou – Arbre
Parties tournantes des roulements et accouplement, forme le ROTOR

Figure 32: Rotor

En mouvement le rotor est soumis à 2 forces :

- ⊕ Une **Force Radiale FR**, due à son poids et à la réaction de la volute.
- ⊕ Une force **axiale FA**, dirigée vers l'avant de l'impulseur. Force résultante, des forces produites par la pression du liquide sur les surfaces de l'impulseur.

L'impulseur doit donc être **guidé dans sa rotation** et immobilisé **axialement**.

3.2.2.1. Fonction Guidage en Rotation

La fonction guidage en rotation est assurée par **deux paliers**

La roue peut être soit en **porte à faux** par rapport aux paliers (pompe de faible ou moyenne puissance),

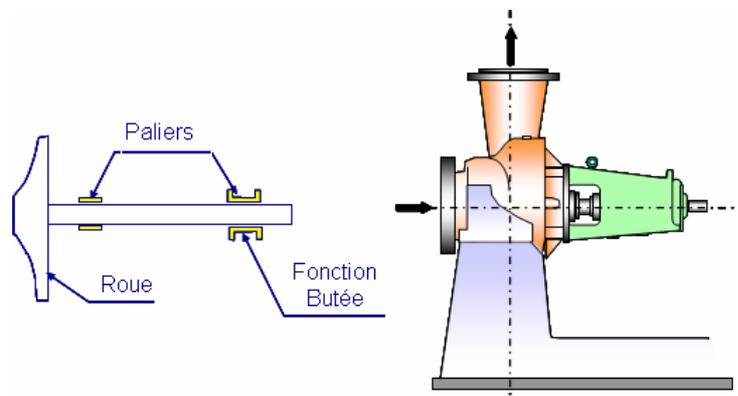
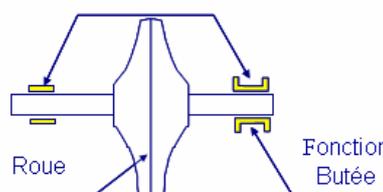
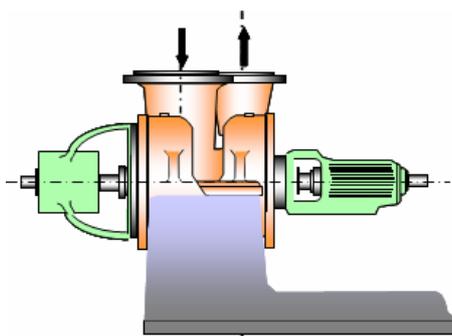


Figure 33: Roue en porte à faux



soit **placée entre** les deux paliers (pompes avec impulseur à 2 ouïes et pompes multi-étagées.)

Figure 34: Roue placée entre deux paliers

Un guidage en rotation peut être réalisé soit par un **roulement à billes**, soit par un **roulement à rouleaux**.

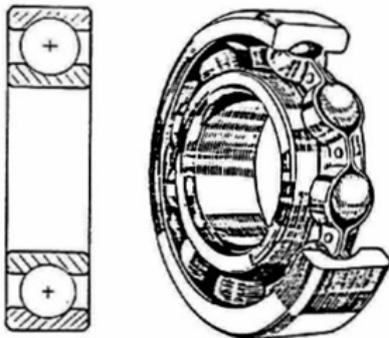


Figure 35: Roulement à billes

La durée de vie de ces roulements est de l'ordre de 24000 heures, à condition qu'ils aient été bien montés et qu'ils soient bien lubrifiés

A l'arrêt, les billes mais surtout les rouleaux peuvent marquer les bagues si les vibrations d'une machine voisine se propagent

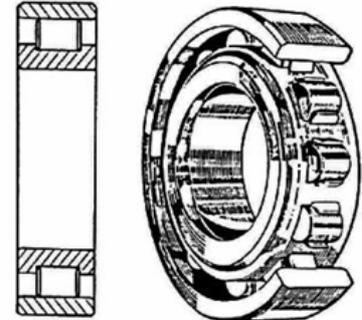


Figure 36: Roulement à rouleaux cylindriques

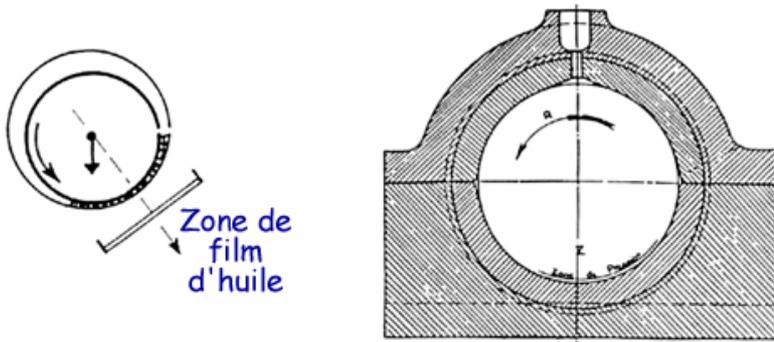


Figure 37: Paliers lisses

Un arbre tourne dans un alésage appelé **coussinet** réalisé en métal antifricction. La présence d'un film d'huile empêche le frottement entre les deux métaux.

Il est exceptionnel de trouver des **paliers lisses** avec des roues en porte à faux.

3.2.2.2. Fonction guidage axial

Le rotor est soumis à une force axiale due à la pression du liquide sur la roue.

Le positionnement axial du rotor, est dans la grande majorité des cas, assuré par une **butée**. En fait, lorsqu'on utilise des paliers à roulements, la fonction butée est souvent assurée par un roulement à billes (à gorge profonde ou à 2 rangées de billes à contact oblique montées en opposition) bloqué axialement.

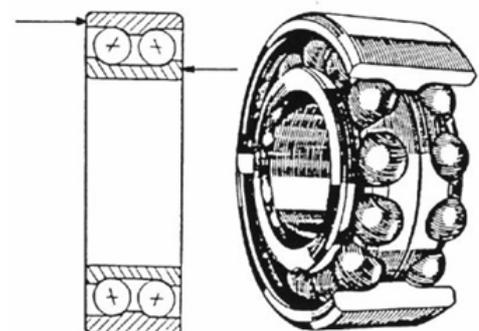


Figure 38: Roulement à 2 rangées de billes à contact oblique

Sur des grosses pompes on peut trouver des butées lisses ou à patins.

L'ensemble des paliers et de la butée, est souvent installé dans un même corps de palier.

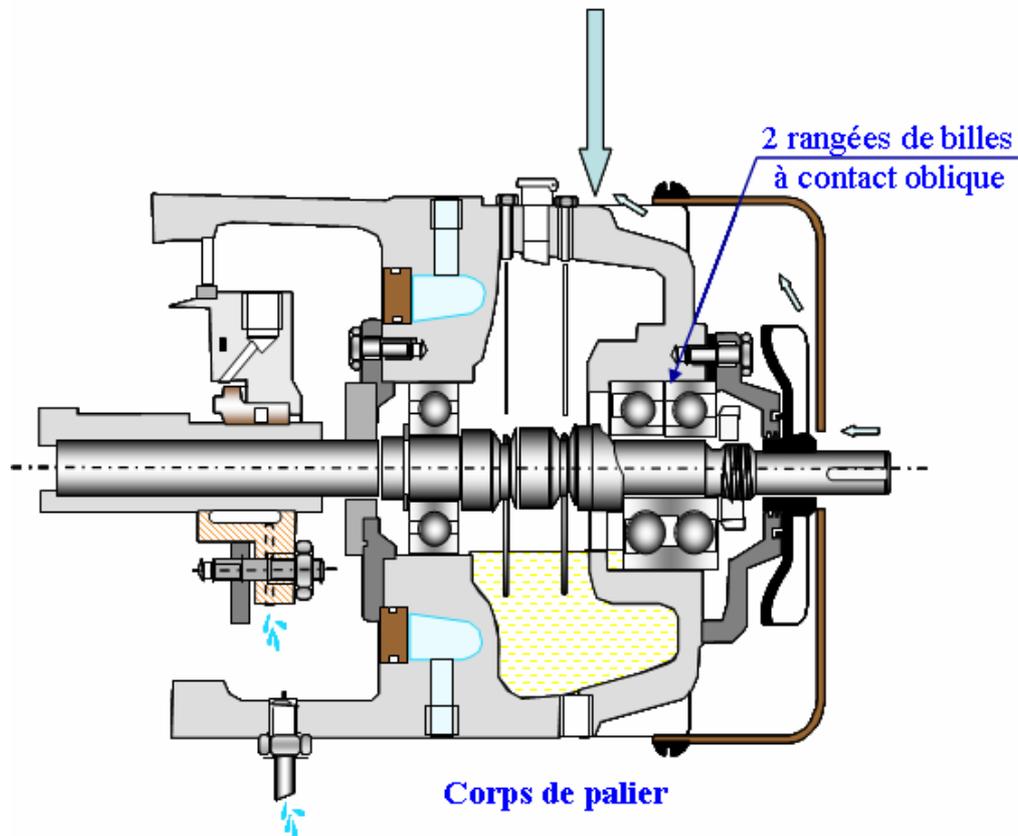


Figure 39: Ensemble paliers - Butée

Les constructeurs conçoivent des impulseurs à forme appropriée ou utilisent comme sur les pompes multicellulaires, des systèmes d'équilibrage tels que tambour, disques ou encore opposent les roues deux à deux (ou par groupe).

But du système d'équilibrage: Limiter la force axiale à des valeurs acceptables pour les butées.

3.2.3. Fonction Lubrification

Tout organe mécanique en rotation (roulement à billes, à rouleaux, coussinet lisse...), nécessite pour son bon fonctionnement, une lubrification adaptée.

Dans le cas contraire, il y a échauffement, usure excessive, grippage et même blocage.

On distingue deux types de lubrifiants : **la graisse et l'huile**.

- ✦ **La lubrification à la graisse** est réservée aux roulements. Elle est retenue pour des pompes de petite puissance (< 10 kW) ou dont la vitesse de rotation est au maximum 1500 tr/min.

La consommation de graisse est très faible, mais il faut de temps en temps faire des appoints.

Tout excès de graisse (bourrage) conduit à un échauffement pouvant provoquer des détériorations.

- ✦ **La lubrification à l'huile** est la plus courante sur les pompes "procédé".

Différents systèmes de lubrification sont utilisés

- ▶ Le bain d'huile
- ▶ La circulation autonome par déflecteur ou bague
- ▶ La circulation forcée
- ▶ Le brouillard d'huile.

Détaillons le fonctionnement des principaux systèmes de lubrification

3.2.3.1. Le bain d'huile ou barbotage

Ce système est très répandu pour les roulements qui baignent directement dans l'huile. Le niveau d'huile doit permettre une lubrification suffisante mais les billes ne doivent pas être trop immergées.

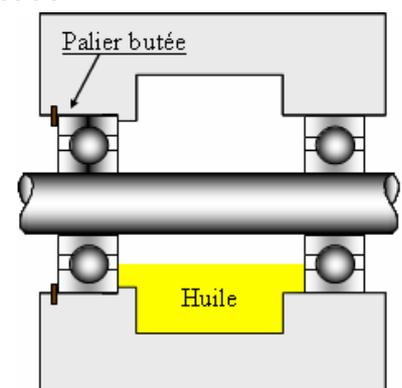
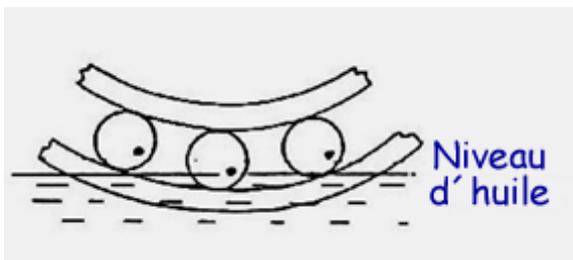


Figure 40: Bain d'huile (1)

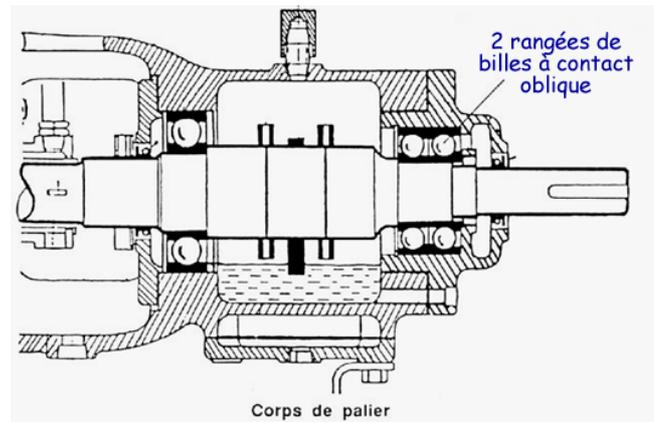


On considère que seul le quart de la bille inférieure doit se trouver dans l'huile.

Figure 41: Bain d'huile (2)

Ce système de roulement lubrifié par bain d'huile est donc inadapté lorsque les roulements sont de tailles différentes.

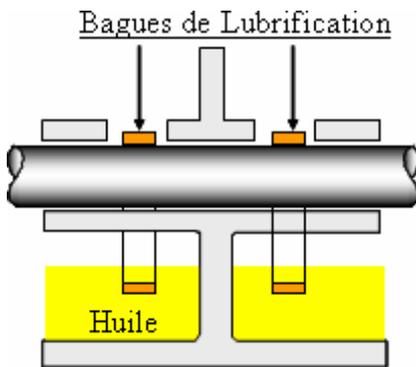
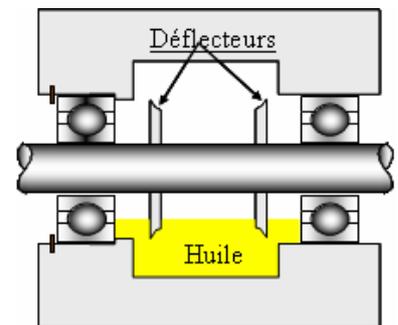
Figure 42: Système de roulement lubrifié par bain d'huile inadapté



3.2.3.2. La circulation autonome

L'huile est projetée sous l'effet de la rotation par des déflecteurs qui baignent dans l'huile. Ce système est surtout utilisé dans le cas de roulements.

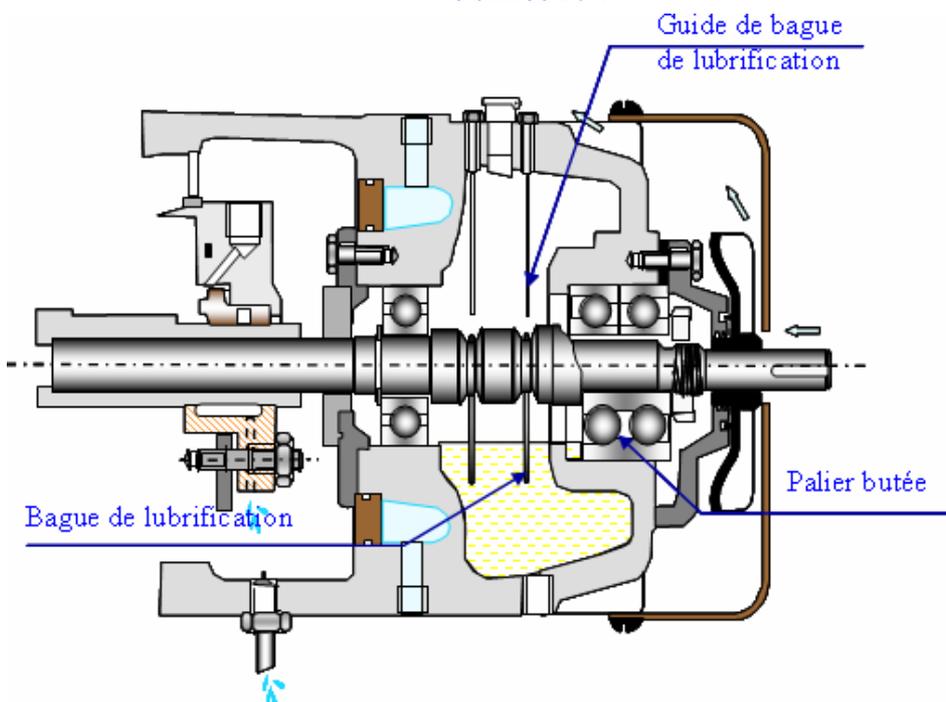
Figure 43: Circulation autonome - Déflecteurs



Celle-ci est ensuite canalisée jusqu'aux paliers par des formes convenables prévues sur le corps.

On trouve également des bagues de remontée d'huile qui amènent l'huile sur l'arbre. Ce système se rencontre dans les paliers à roulement mais aussi sur les paliers lisses.

Figure 44: Palier à coussinet lisse équipé de bagues de lubrification



Un niveau d'huile trop bas ne permet plus la remontée d'huile.

Un niveau trop haut peut entraîner des fuites au niveau de l'arbre et un ralentissement de l'anneau donc une mauvaise lubrification ou un barbotage des éléments de roulements préjudiciables à la tenue des roulements.

Figure 45: Palier à roulement équipé de bagues de lubrification

3.2.3.3. La circulation forcée

La pompe de lubrification peut être **indépendante** ou **attelée** à la machine.

Dans ce cas, un système complémentaire permet d'établir la circulation d'huile avant la mise en route de la machine jusqu'au moment où la pompe attelée prend le relais.

L'huile est filtrée, généralement **réfrigérée**, soit dans la caisse à huile, soit par échangeur sur la ligne de refoulement.

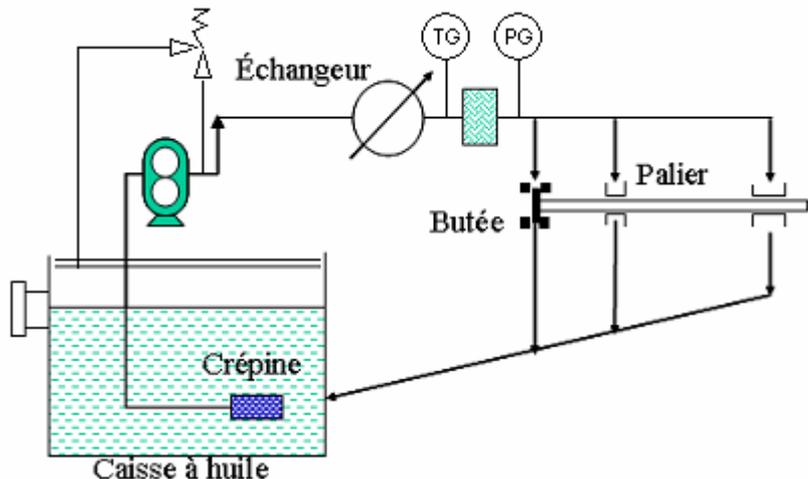


Figure 46: La circulation forcée (roulements et paliers lisses)

Une **pompe de reprise à engrenages**, puise l'huile dans une réserve d'huile et la distribue aux différents points de graissage (butée, palier...)

Le système de circulation d'huile sous pression peut être **muni de sécurités** (température, pression...) qui empêchent le démarrage ou provoquent l'arrêt de la machine par défaut de lubrification.

La réserve peut être contenue soit dans un des paliers de la machine soit dans une caisse à huile.

Un des intérêts de la circulation forcée est la **bonne évacuation de la chaleur** se trouvant dans les paliers provenant soit des frottements liés au palier (cas des paliers lisses et des butées lisses) soit du transfert de la chaleur du liquide pompé à une température élevée.

3.2.3.4. Conditions d'une bonne lubrification

Pour conclure, quel que soit le système utilisé, et pour que la lubrification soit satisfaisante, deux conditions doivent être satisfaites :

- ✦ L'huile doit être présente en quantité suffisante (ni trop, ni trop peu)
- ✦ L'huile doit être de qualité appropriée.

Huile en quantité suffisante

Dans le cas d'une lubrification par barbotage ou par circulation autonome, il est absolument indispensable d'assurer un niveau d'huile correct dans le corps de palier, ni trop haut, ni trop bas.

Ce niveau peut être :

- ✦ Soit établi au démarrage, et contrôlé par un **voyant à niveau visible**.

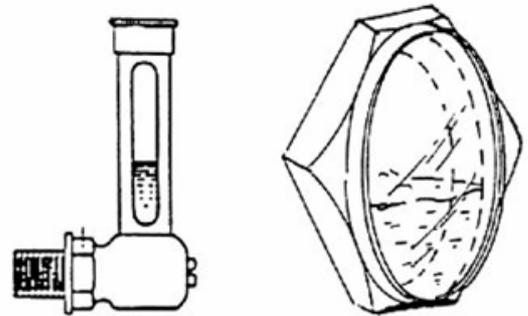
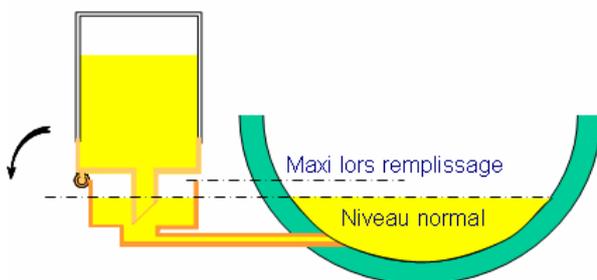


Figure 47: Voyant à niveau visible



- ✦ Soit réalisé par un appareil qui conserve un niveau constant en assurant l'appoint, appelé **réservoir à niveau constant**.

Figure 48: Réservoir à niveau constant

Huile de qualité appropriée

- ✦ L'huile utilisée doit être celle prévue pour cet usage. Elle doit être propre, exempte d'impuretés solides et d'eau
- ✦ Le bidon de stockage et la burette de remplissage doivent donc être munis de leur couvercle pour empêcher la présence de toute matière étrangère.

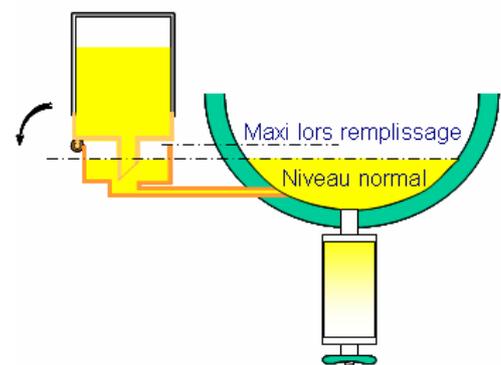
On installe souvent un **pot de décantation** qui permet de visualiser l'état de l'huile et de purger l'eau, les dépôts ou l'huile usagée.

Figure 49: Couvercle et pot de décantation

Enfin, la **température de l'huile** ne doit pas être :

- ✦ **trop basse** : pour conserver une bonne viscosité
- ✦ **trop élevée** : pour éviter une oxydation thermique.

On essaye de ne pas dépasser 70°C.



Pour éviter d'atteindre ces limites de températures certains paliers sont munis d'ailettes de refroidissement ou équipés de réfrigérants.

En ce qui concerne le moteur, la lubrification des paliers (à la graisse ou à l'huile) obéit aux mêmes règles que celles énoncées pour la pompe.

3.2.4. Fonction étanchéité

Par définition une pompe permet de relever la pression d'un liquide, l'intérieur de la pompe contient donc un liquide sous pression, qui peut fuir vers l'atmosphère le long de l'arbre.

Il y a donc nécessité de réduire ou d'éliminer cette fuite au moyen d'une garniture d'étanchéité qui peut être, soit une garniture à tresses, soit une garniture mécanique.

Cette fuite est dangereuse dans le cas de gaz liquéfiés, de produits chauds ou toxiques.

Elle peut en outre poser les problèmes d'environnement.

Le détail du fonctionnement des **garnitures d'étanchéité*** sera étudié par la suite.

Le liquide d'arrosage est généralement le produit pompé lui-même. Il est prélevé au refoulement de la pompe et envoyé vers la garniture, soit par une tuyauterie extérieure, soit par un canal interne au corps de garniture.

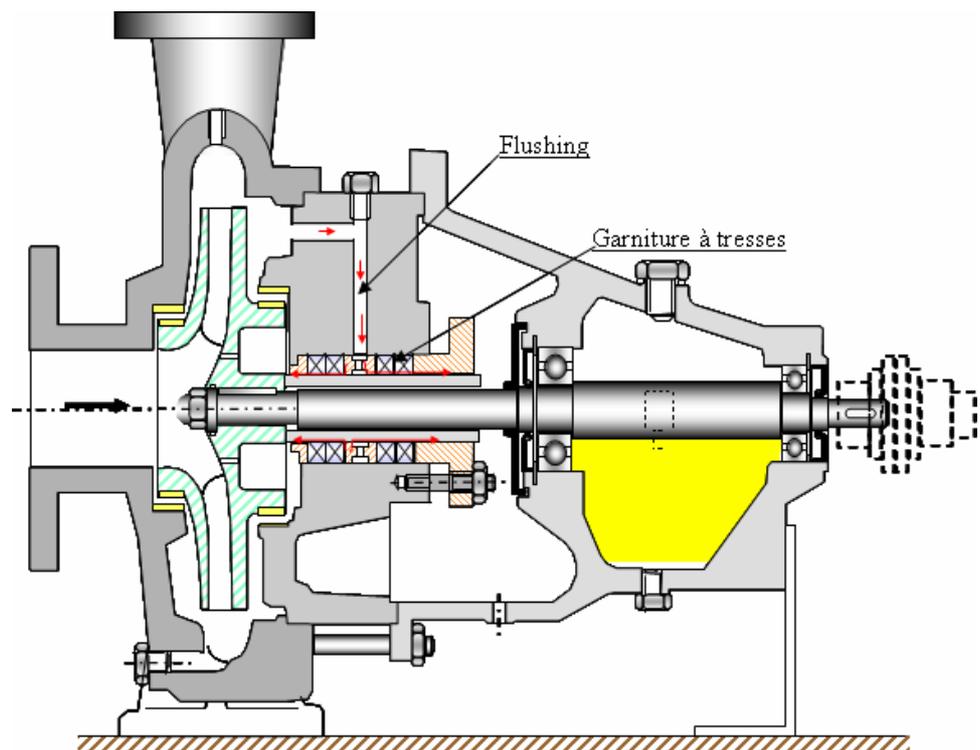


Figure 50: Flushing - Fonction étanchéité

Il est parfois utile de prévoir derrière la garniture, une injection destinée à diluer les fuites ou "quench". Le fluide utilisé pour faire ce quench peut être de l'eau ou de la vapeur d'eau.

Pour fonctionner correctement, une garniture d'étanchéité peut être refroidie et alimentée en permanence par un liquide appelé "**flushing**" ou "arrosage" ou encore "circulation".

Lorsque les systèmes d'étanchéité posent trop de problèmes, on peut utiliser, sous certaines conditions des pompes sans garniture (pompe à rotor noyé, pompe à entraînement magnétique).

Certaines applications exigent l'utilisation de garnitures doubles dans lesquelles est injecté un liquide de barrage différent du liquide véhiculé par la pompe.

3.2.4.1. La boîte à garniture

La **boîte à garniture** comporte une lanterne, arrosée soit par la pompe elle-même, (alimentation intérieure), soit par une source extérieure, formant ainsi un joint hydraulique.

Le rôle de cette **lanterne** est très important.

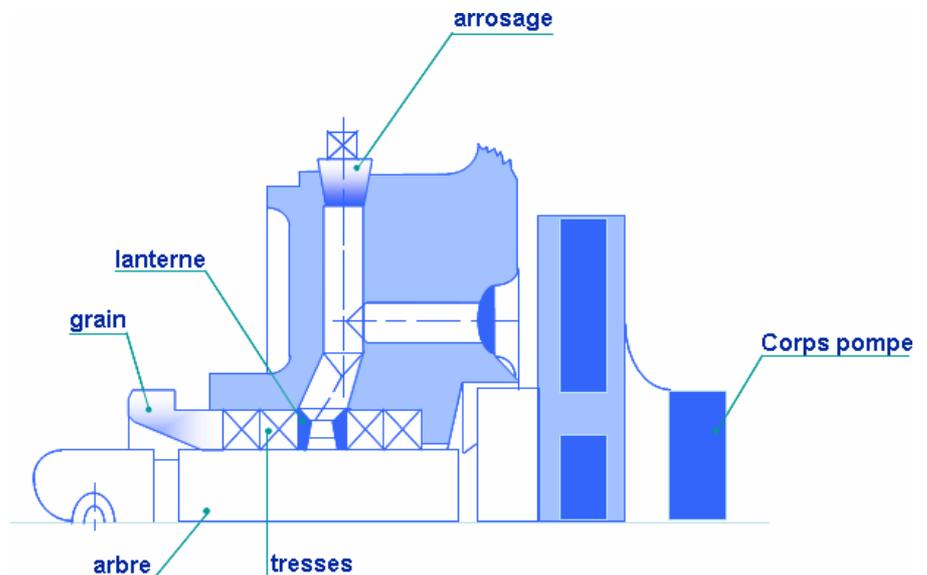


Figure 51: Boîte à garniture

Il assure le refroidissement et la lubrification de la garniture, empêche les rentrées d'air à l'intérieur de la pompe et dans le cas d'alimentation indépendante, expulse les légères particules solides en suspensions dans le liquide pompé.

Ceci est particulièrement intéressant dans le cas de pompes à impulseur ouvert, pour liquides chargés.

Important : En aucun cas, il ne faut bloquer un presse-étoupe sous peine de provoquer une usure plus rapide de la garniture et des rayures sur la chemise.

3.2.4.2. Tresses et joints

Les joints dynamiques (garnitures de presse-étoupe) étant destinés à assurer l'étanchéité entre deux pièces mobiles, soit toutes deux, soit une seule en mouvement par rapport à l'autre, doivent être conçus en tenant compte de :

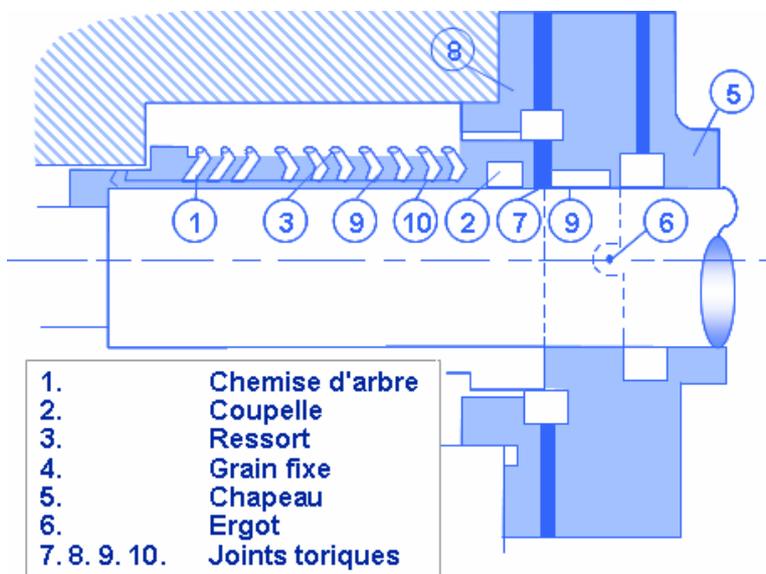
- ⊕ la nature des fluides véhiculés,
- ⊕ la nature des métaux en contact avec la garniture,
- ⊕ les températures,
- ⊕ les vitesses de rotation ou de translation,
- ⊕ les pressions de service,
- ⊕ les frottements.

Les tresses à base de cotons sont employées pour l'eau.
Les tresses de fils diamant graphitées pour la vapeur.

Des fabrications de tresses spéciales sont utilisées actuellement en fonction des produits véhiculés, de la température et des pressions.

3.2.4.3. Garnitures mécaniques

La garniture mécanique a pour but d'assurer l'étanchéité sur les appareils rotatifs, elle tend de plus en plus à remplacer les garnitures tressées.



Description

La garniture mécanique se monte à l'intérieur d'une boîte à garniture.

La chemise d'arbre (1) fait partie de la garniture et entraîne la coupelle (2), la coupelle est libre axialement sur la chemise pour compensation du défaut d'alignement.

Un joint (6) empêche les fuites entre chemise et coupelle.

Figure 52: Garniture mécanique

Le grain fixe (4) fait en carbone est logé à l'intérieur du chapeau (5), le joint torique (7) sert d' "amortisseur" au grain fixe et assure l'étanchéité entre chapeau et grain.

Le joint torique (8) empêche les fuites entre le chapeau et la boîte à garniture. Le ressort (3) est emmanché sur la chemise d'arbre et sur la coupelle, il applique les faces du grain et de la coupelle l'une sur l'autre.

Le joint torique (9) fait étanchéité entre l'arbre et la chemise.

Fonctionnement

La chemise d'arbre (1) solidaire de l'arbre tourne en entraînant la coupelle (2) par l'intermédiaire du ressort (3). Cette coupelle vient frotter sur le grain fixe (4) qui lui est solidaire du chapeau (5). Ce grain est immobilisé en rotation par un ergot (6), l'étanchéité de la garniture est assurée entre les faces en contact coupelle et grain fixe.

Arrosage

Une circulation de liquide est prévue lorsqu'il est nécessaire de :

- ✦ Evacuer les calories dans la garniture
- ✦ refroidir les faces de friction en contact,
- ✦ réchauffer ces faces,
- ✦ préserver ces faces contre des accumulations de sédiments.

3.2.5. Fonction Refroidissement

Lorsque le produit pompé est chaud, il peut être nécessaire de procéder :

- ✦ Au refroidissement du corps de garniture pour conserver une bonne tenue mécanique de la garniture. Selon le cas, le fluide réfrigérant peut être de l'eau ou de la vapeur.
- ✦ Au refroidissement du corps de palier, ce qui permet de maintenir la viscosité de l'huile à une valeur correcte (tenue mécanique des paliers).
- ✦ Au refroidissement des chandelles de socles pour en éviter les dilatations (risque de désalignement de la pompe par rapport au moteur).

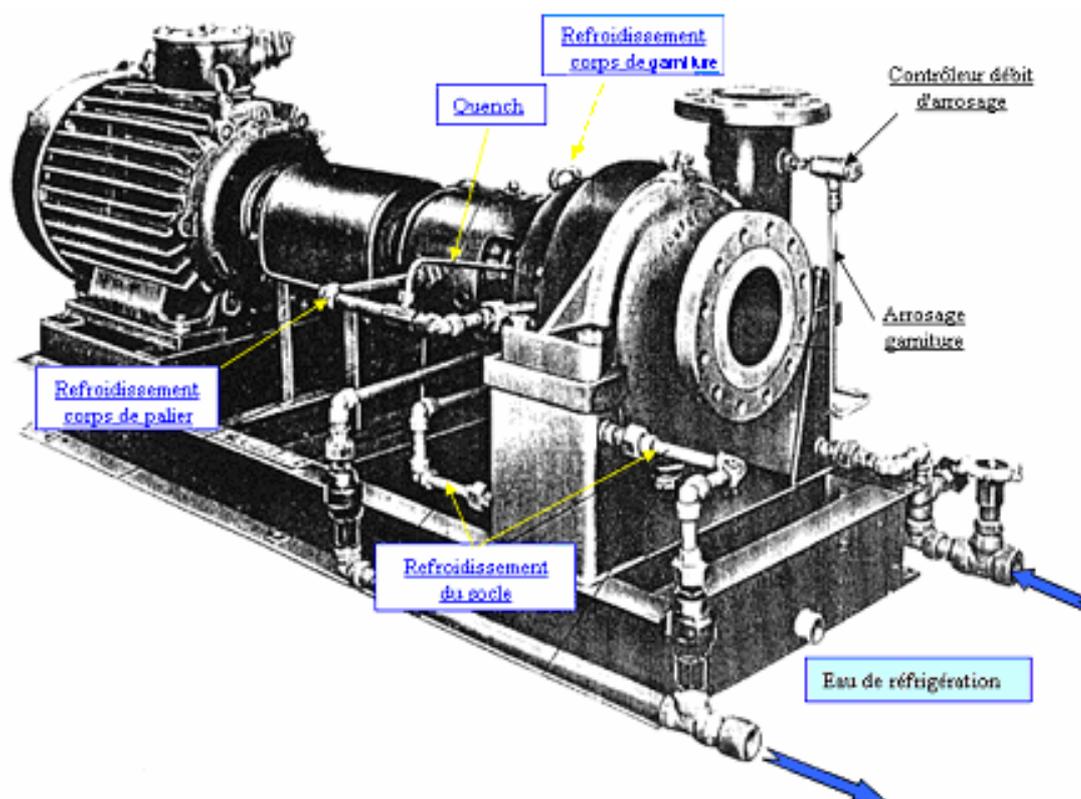


Figure 53: Fonction refroidissement

3.2.6. Fonction Montage

Le démontage de la pompe pour visite de l'impulseur, réparation de la garniture ou des roulements doit être possible sans démontage des tuyauteries d'aspiration et de refoulement.

Pour cette raison, la pompe est divisée en deux parties :

- ✦ Le **mobile** étant en réparation, on procède à la pose de joint plein sur le corps de pompe ou au niveau des brides d'aspiration et de refoulement pour se protéger de toute fuite des vannes de sectionnement.

Le **mobile** est composé du corps de la garniture et du corps de palier et du rotor.

Une fois la pièce intermédiaire de l'accouplement retirée, on peut faire coulisser l'ensemble mobile sans toucher aux tuyauteries principales.

- ✦ Le **corps de pompe**, là se montent les tuyauteries d'aspiration et de refoulement. Il reste normalement fixé au socle lorsqu'une réparation est à effectuer sur les pièces tournantes.

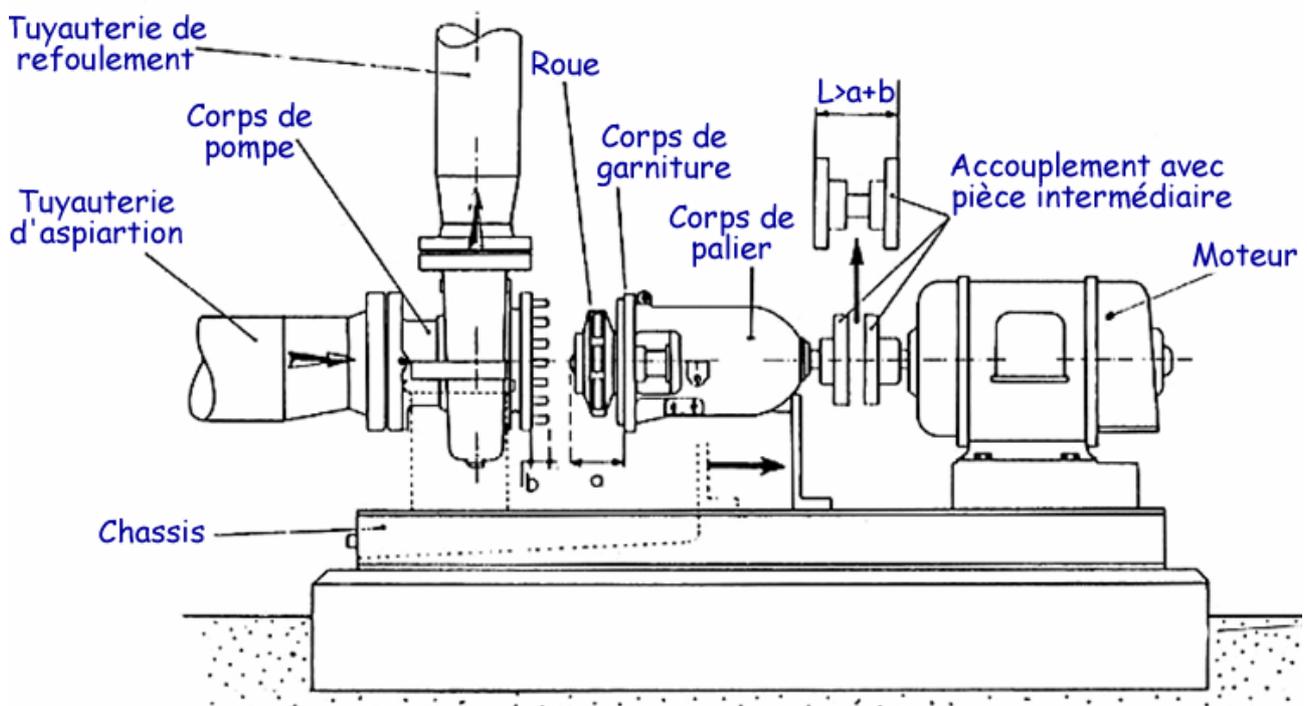


Figure 54: Fonction montage

3.3. LES POMPES VOLUMÉTRIQUES

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Leur fonctionnement repose sur le principe suivant:

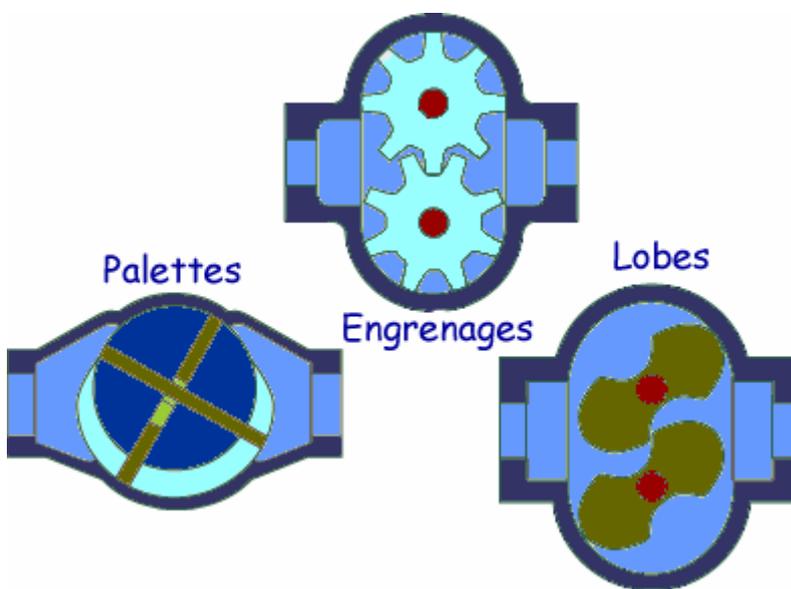
Exécution d'un mouvement cyclique, pendant lequel un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé à la fin.

Ce mouvement permet le déplacement du liquide entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement.

On distingue généralement:

- ✦ les pompes volumétriques rotatives :
- ✦ les pompes volumétriques alternatives:

3.3.1. Principe de fonctionnement des pompes rotatives



Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement.

Figure 55: Fonctionnement pompes volumétriques rotatives

3.3.2. Principe de fonctionnement des pompes alternatives

Les volumes engendrés à l'aspiration et au refoulement, résultent du déplacement alternatif sur son axe, d'un piston ou d'un plongeur, à l'intérieur d'un cylindre.

Un temps est consacré au remplissage du cylindre (aspiration) et un temps est consacré à la vidange du cylindre (refoulement). Le débit du liquide engendré par la pompe sera donc discontinu.

Lorsque le piston se déplace pour créer les conditions d'aspiration, il faut que le remplissage s'effectue avec du liquide provenant de la tuyauterie d'aspiration. Il est nécessaire de fermer l'ouverture de refoulement et d'ouvrir l'arrivée d'aspiration.

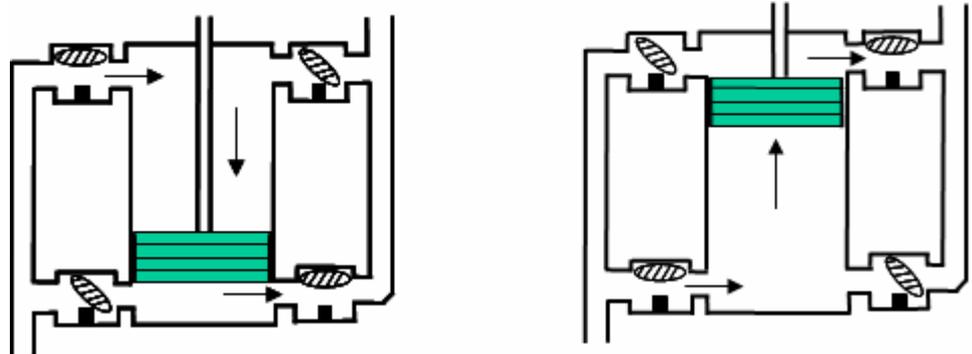


Figure 56: Exemple de fonctionnement d'une pompe alternative à double effet

Au contraire, lors du refoulement, il faut ouvrir vers le refoulement et fermer vers l'aspiration.

Ceci est réalisé par un jeu de clapets.

Une pompe volumétrique alternative comportera toujours des clapets d'aspiration et d'autres au refoulement.

Les 2 principales catégories de pompes alternatives sont :

- ✦ Simplex : 1 cylindre – simple effet
- ⊕ Duplex : 2 cylindres – double effet.

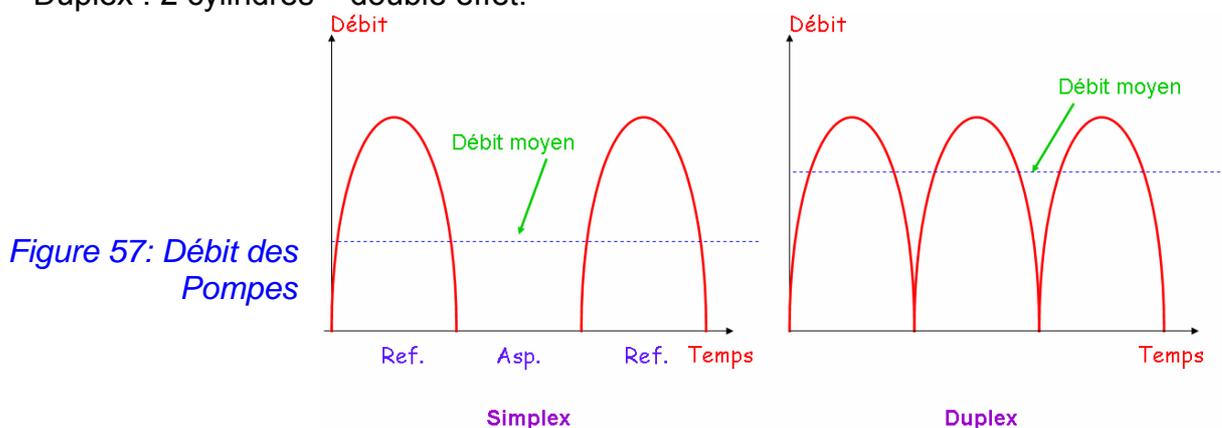
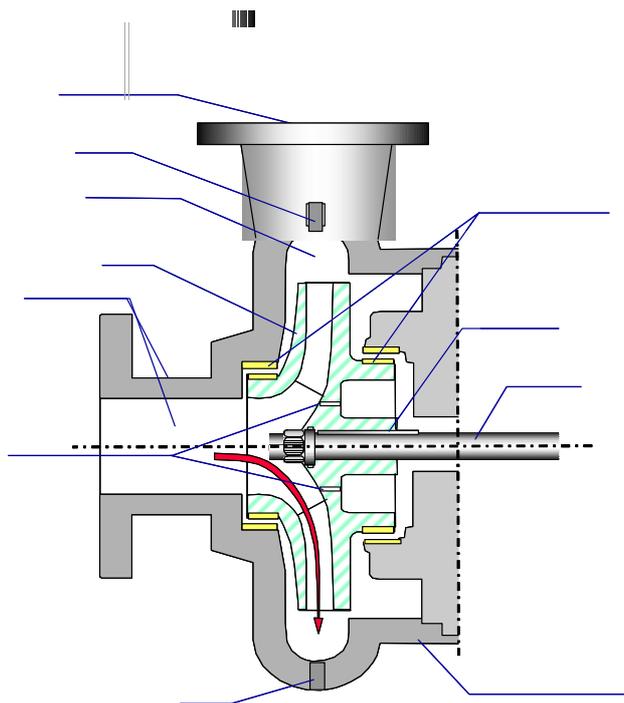


Figure 57: Débit des Pompes

3.4. EXERCICES

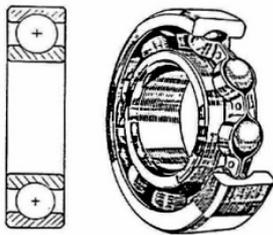
13. Quelles sont les différentes fonctions d'une pompe centrifuge ?

14. Compléter le schéma suivant :



15. Quelle fonction assure les paliers ?

16. Quel est ce type de roulement ?



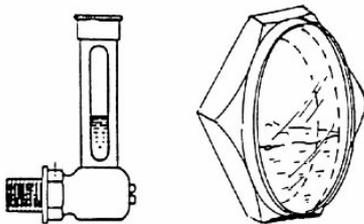
17. Le positionnement axial du rotor est assuré par une butée

- Vrai
- Faux

18. La lubrification à la graisse est la plus courante sur les pompes « procédé »

- Vrai
- Faux

19. Quel est ce type de contrôleur ?



20. La température de l'huile ne doit pas être trop basse pour conserver une bonne viscosité

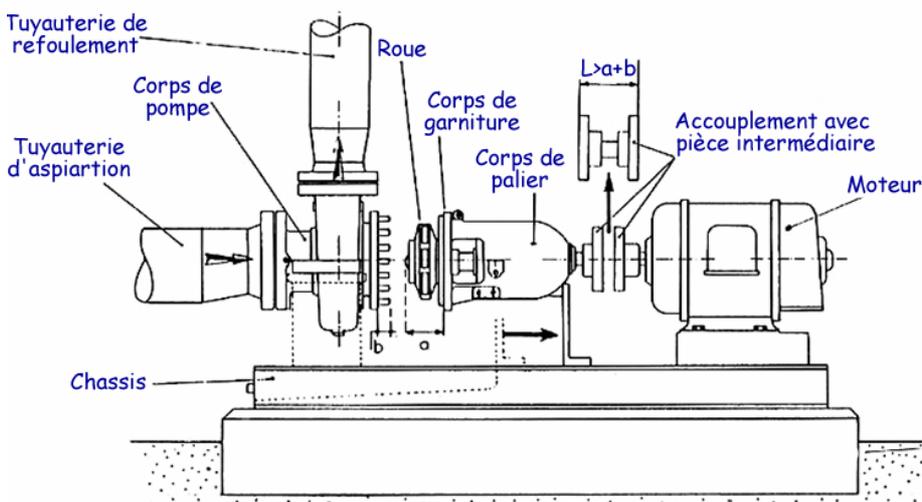
- Vrai
- Faux

21. La température de l'huile ne doit pas trop élevée pour éviter une oxydation thermique

- Vrai
- Faux

22. Quels sont les 2 types de garnitures d'étanchéité que l'on peut rencontrer le long d'un arbre ?

23. Il est impossible de réparer la garniture ou ses roulements sans démontage des tuyauteries d'aspiration et de refoulement sur ce genre de pompe.



- Vrai
- Faux

24. L'exécution d'un mouvement cyclique, pendant lequel un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé à la fin est le principe de fonctionnement d'une pompe volumétrique

- Vrai
- Faux

25. Les pompes rotative sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement

Vrai

Faux

26. Les volumes engendrés, dans une pompe alternative, à l'aspiration et au refoulement, résultent du déplacement alternatif sur son axe, d'un piston ou d'un plongeur, à l'intérieur d'un cylindre

Vrai

Faux

4. LES DIFFERENTS TYPES DE POMPES

Comme nous l'avons vu précédemment, on peut classer les pompes sous deux types principaux : les centrifuges et les volumétriques. Nous allons les détailler dans ce chapitre.

4.1. LES POMPES CENTRIFUGES

4.1.1. Technologie des pompes centrifuges

Cette famille de pompes est très répandue en industrie pétrolière.

Phénomène physique : c'est l'utilisation de la force centrifuge qui élève la pression du liquide.

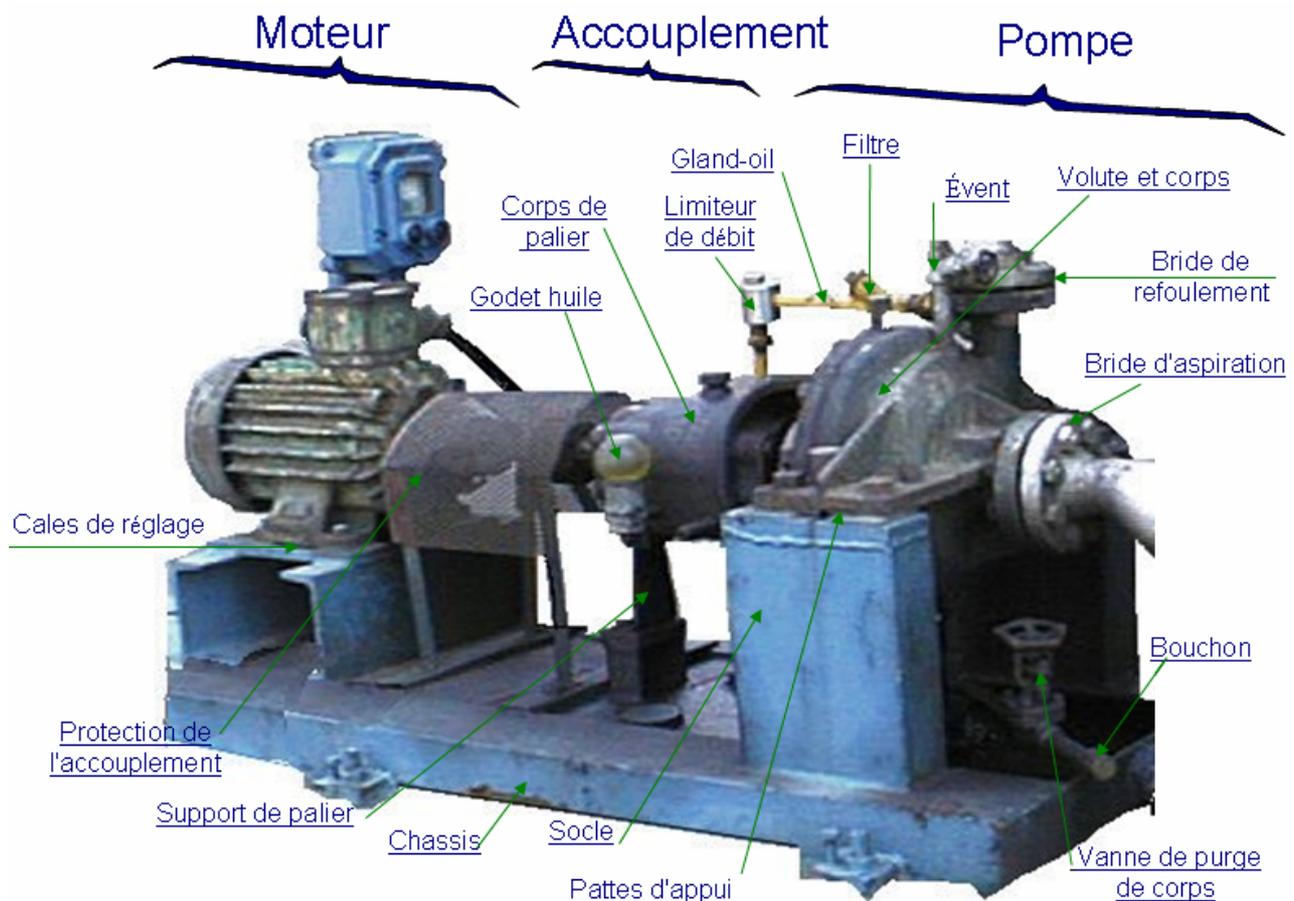


Figure 58: Exemple de pompe centrifuge

L'impulseur (ou roue) est l'élément qui transforme l'énergie reçue par l'arbre en énergie hydraulique.

La volute, partie du **corps de pompe** prolonge l'effet hydraulique de la roue.

L'arbre qui supporte l'impulseur et lui communique l'énergie doit être guidé en rotation par un ou plusieurs **paliers** (le plus souvent à roulements).

Les paliers nécessitent une lubrification correcte (amenée d'huile et limitation de la température).

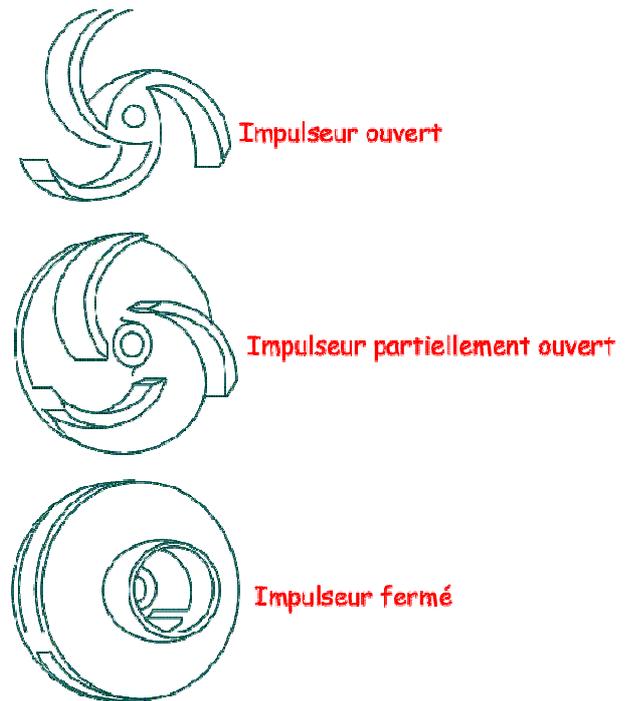


Figure 59: Différents types d'impulseurs

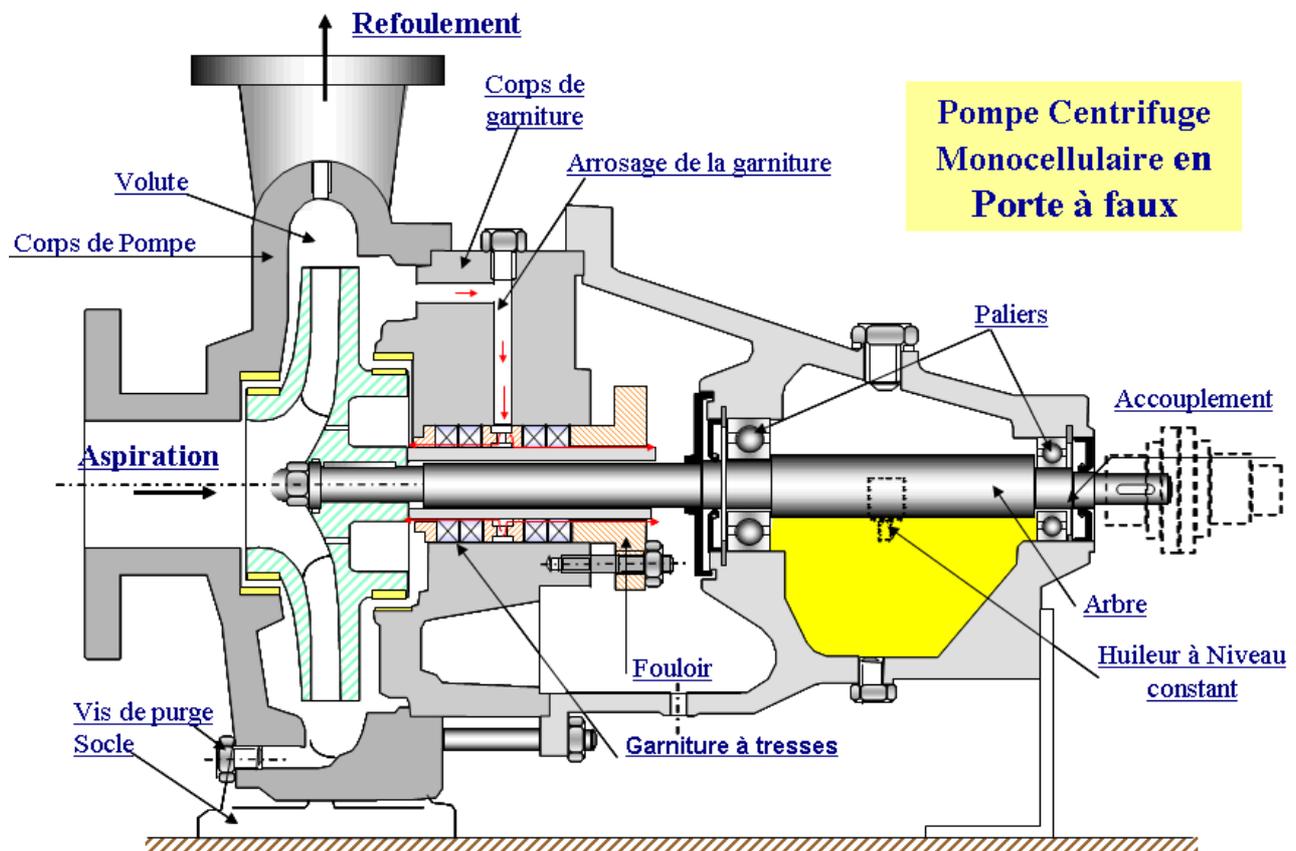


Figure 60: Schéma en coupe d'une pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux

Entre le liquide qui se trouve en pression dans la pompe et l'atmosphère, une étanchéité doit être réalisée. On utilise pour cela soit des **tresses**, soit des **garnitures mécaniques**. Ces garnitures (à tresses ou mécaniques) nécessitent des conditions de marche bien précises qui conduisent à l'installation de **lignes auxiliaires** (lubrification, arrosage, barrage, dilution, refroidissement du **corps de garniture**).

La liaison entre l'arbre et le moteur (électrique, turbine, etc.) est assurée par un **accouplement**.

La coaxialité entre les arbres menant et menés, conditionne la durée de vie du matériel. Afin d'éviter des variations de position d'un axe par rapport à l'autre, les pompes peuvent être prévues avec pattes à l'axe et même pour les pompes très chaude (300°C par exemple) avec des socles refroidis.

L'entraînement est assuré le plus souvent par des moteurs asynchrones "3000 tr/min" ou des turbines à vapeur mais aussi par des moteurs diesel ou des turbines à gaz (cas de pipeline). Dans ces derniers cas, la variation de vitesse est possible directement à partir de la machine d'entraînement.

Pour que l'élévation d'un liquide soit suffisante, on ajoute des impulseurs à la pompe (ou alors il faut monter les pompes en série).

Comme dans les pompes en série le travail d'un impulseur s'ajoute au précédent.

4.1.2. Détails des principales pompes centrifuges

4.1.2.1. Pompe "Process" type AA (Aspiration Axiale)

On désigne ainsi les pompes n'ayant qu'une seule roue en porte à faux et dont l'axe de la tubulure d'aspiration est confondue avec l'axe de rotation de la machine. La tubulure de refoulement est verticale.

Les pompes de procédé A-A. sont bien adaptées aux **débits modérés** et aux **hauteurs d'élévation moyennes** ou **faibles**.

Comme leur technologie est simple, leur prix est modéré, et leur entretien normalement faible.

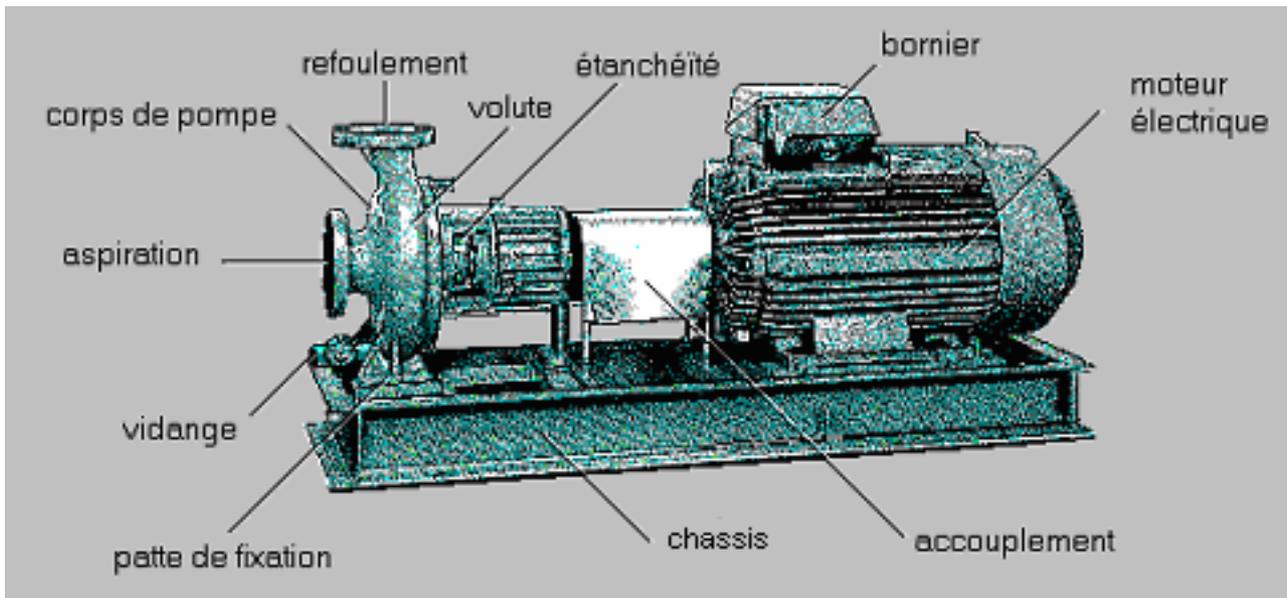


Figure 61: Vue externe pompe monocellulaire

L'orifice de refoulement est toujours plus petit que celui d'aspiration.

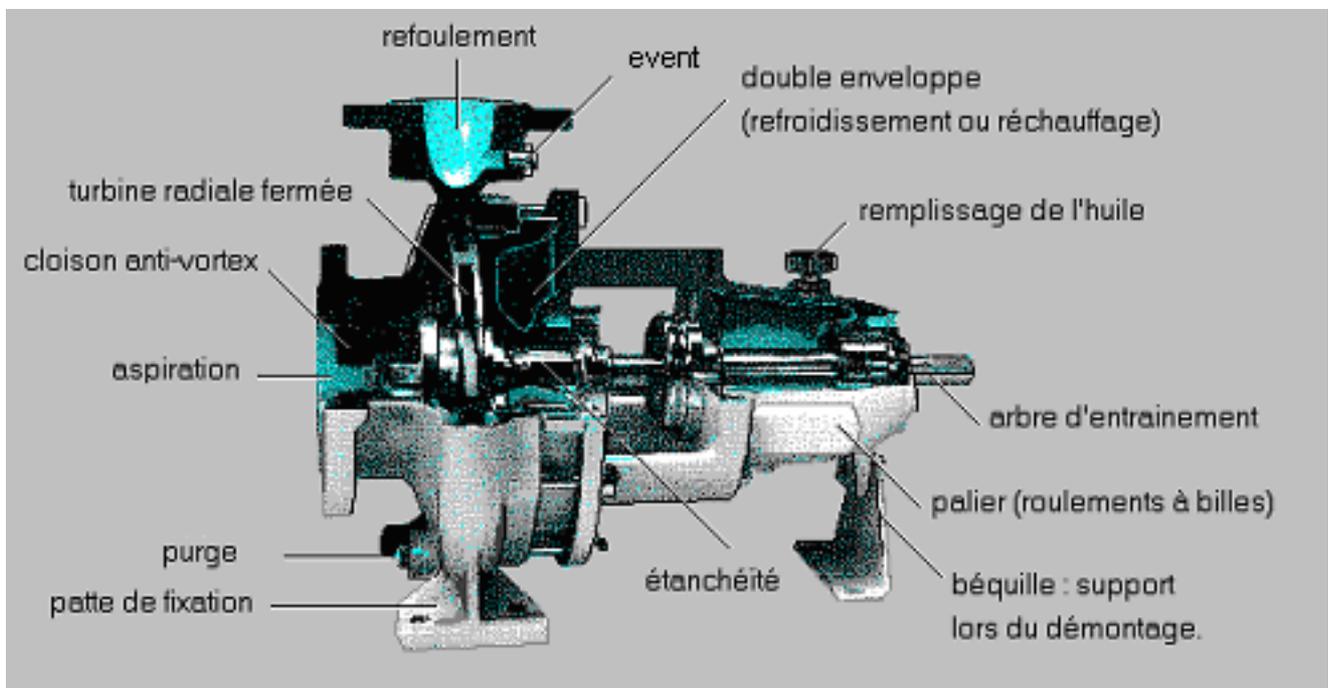


Figure 62: Vue écorchée pompe monocellulaire

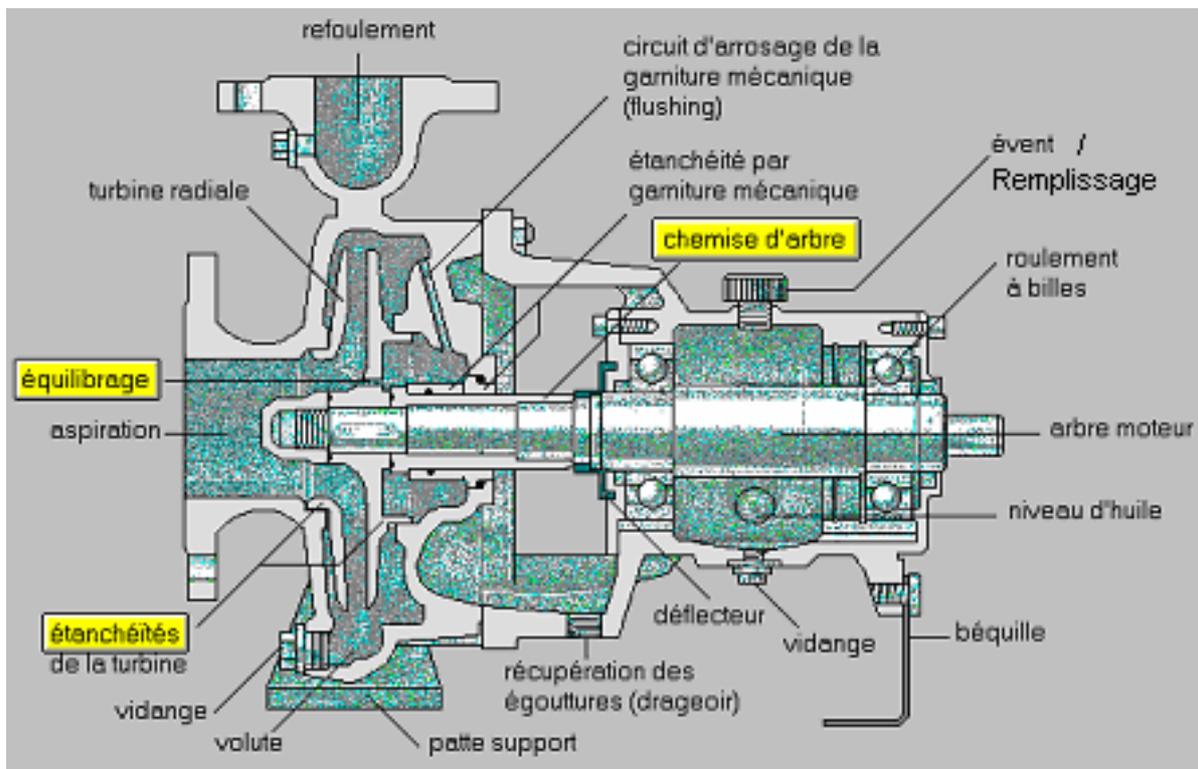


Figure 63: Vue en coupe d'une pompe monocellulaire (1)

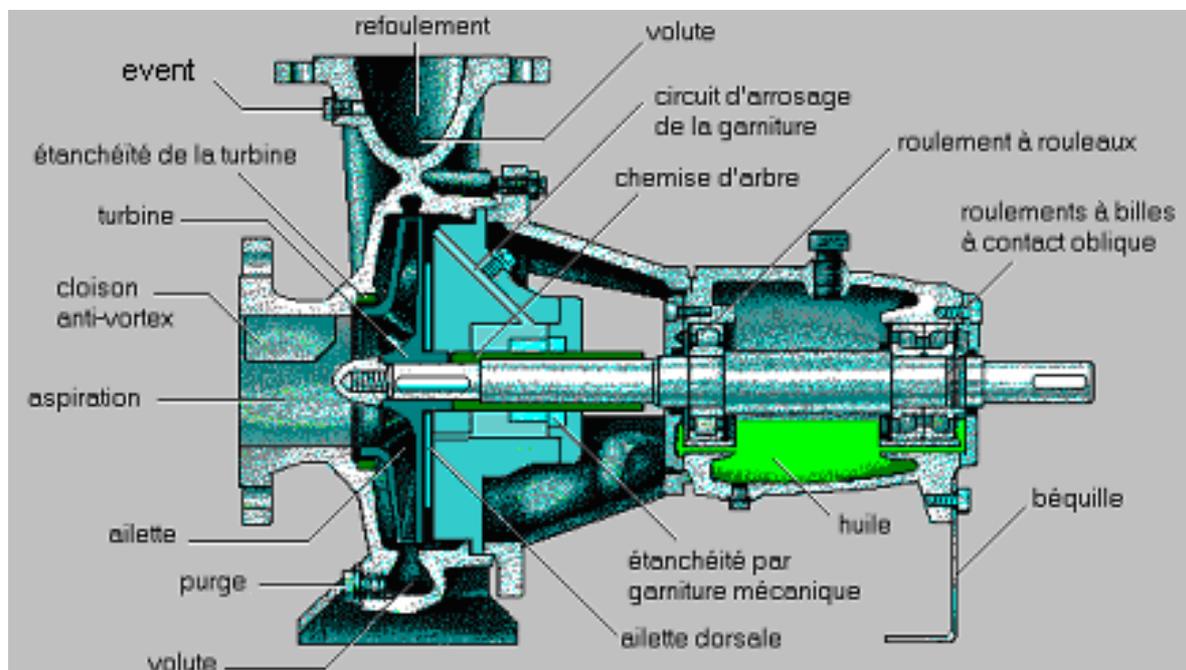


Figure 64: Vue en coupe d'une pompe monocellulaire (2)

Dans cette vue, la répartition des poussées sur la turbine est obtenue par des ailettes placées au dos, qui diminuent aussi la pression du liquide à étancher.

4.1.2.2. Pompe "Process" type TT (Tubulaires au-dessus)

Ces pompes ont leurs tubulures d'aspiration et de refoulement, disposées verticalement, les brides étant dans le même plan horizontal

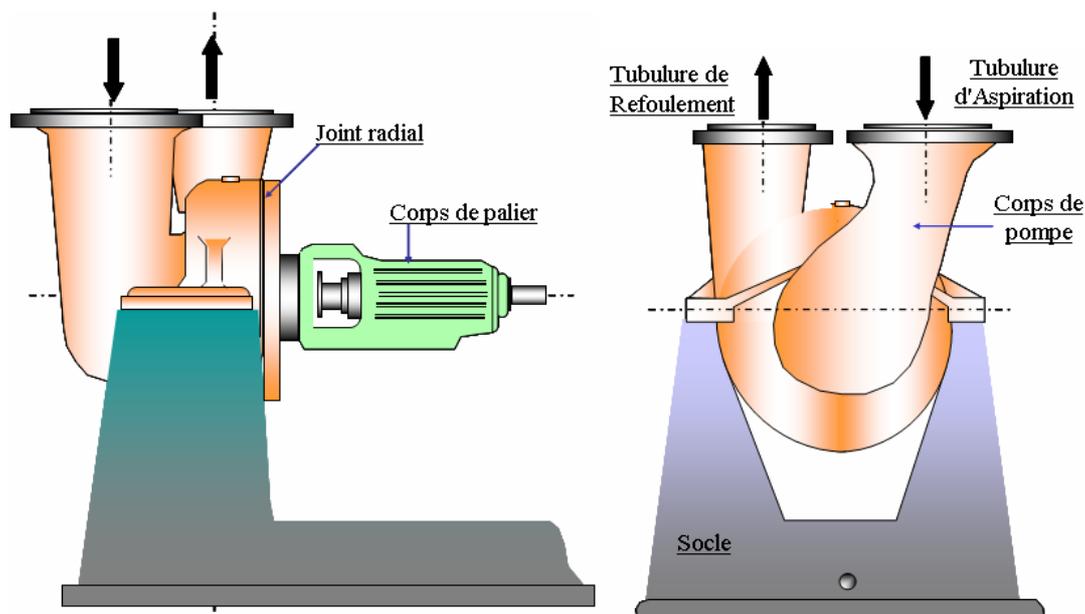
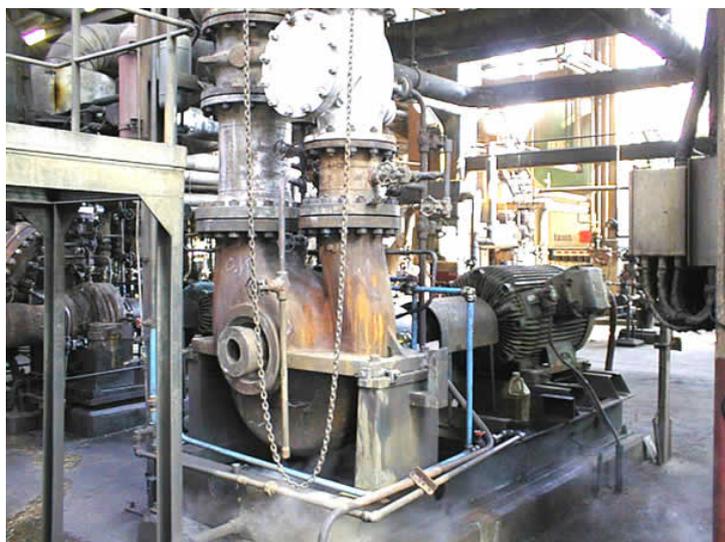


Figure 65: Pompe procédé TT, roue en porte à faux

Ces pompes peuvent être équipées :

- ✦ D'une seule roue en porte à faux.



Le démontage par plan radial se fait à l'identique des pompes procédé AA.

Il existe des modèles à roue double (Roue à double ouïe)

On trouve aussi des pompes procédé TT équipées de **deux roues en porte à faux** avec 2 plans de joints radiaux.

Figure 66: Pompe procédé, une seule roue en porte à faux

- ✦ D'une double roue disposée entre deux paliers.

La pompe possède 2 plans de joints radiaux.

On utilise ces pompes pour des **débits moyens** (100 – 400 m³/h) ou **importants** (2 000 m³/h – pompe d'expédition) et des **hauteurs d'élévation moyennes**.

Leur installation est pratique en unité, où leurs tubulures verticales se prêtent bien aux raccordements descendant d'une pipe rack.

Figure 67: Pompe procédé TT, roue double entre paliers



4.1.2.3. Pompes pattes à l'axe

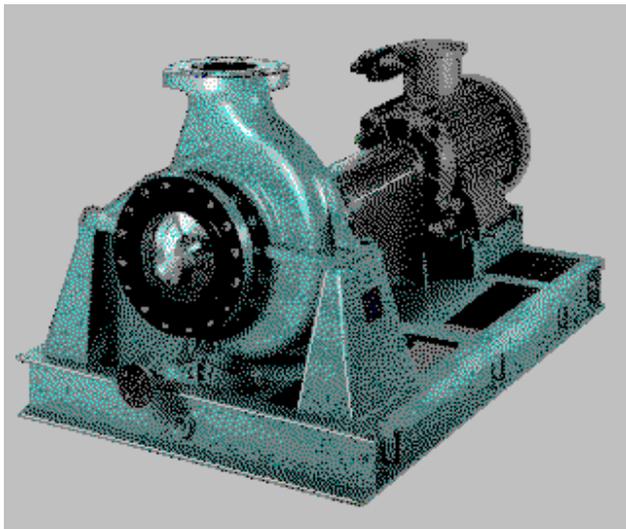


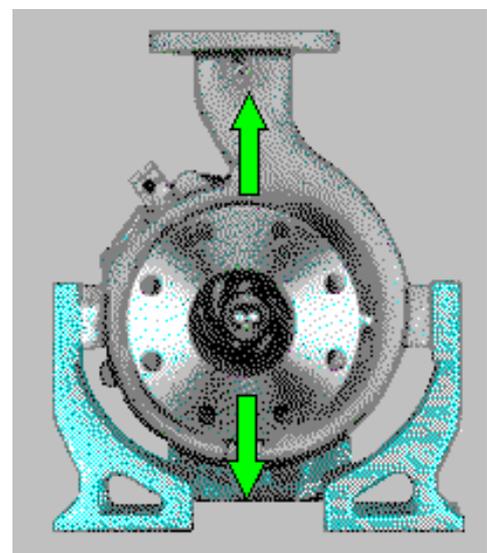
Figure 68: Vue extérieure d'une pompe pattes à l'axe

Ces pompes de construction très robuste mais aussi très soignée, sont prévues pour des conditions de fonctionnement difficiles en continu, et peuvent travailler sans avarie à 25 bars et 450°C.

En cas de fortes températures, la pompe se dilatera, mais l'axe de rotation ne sera pas déplacé.

Elles ont souvent une volute particulière, dédoublée, qui leur permet d'être moins sensibles aux conditions de fonctionnement.

Figure 69: Dilatation de la pompe



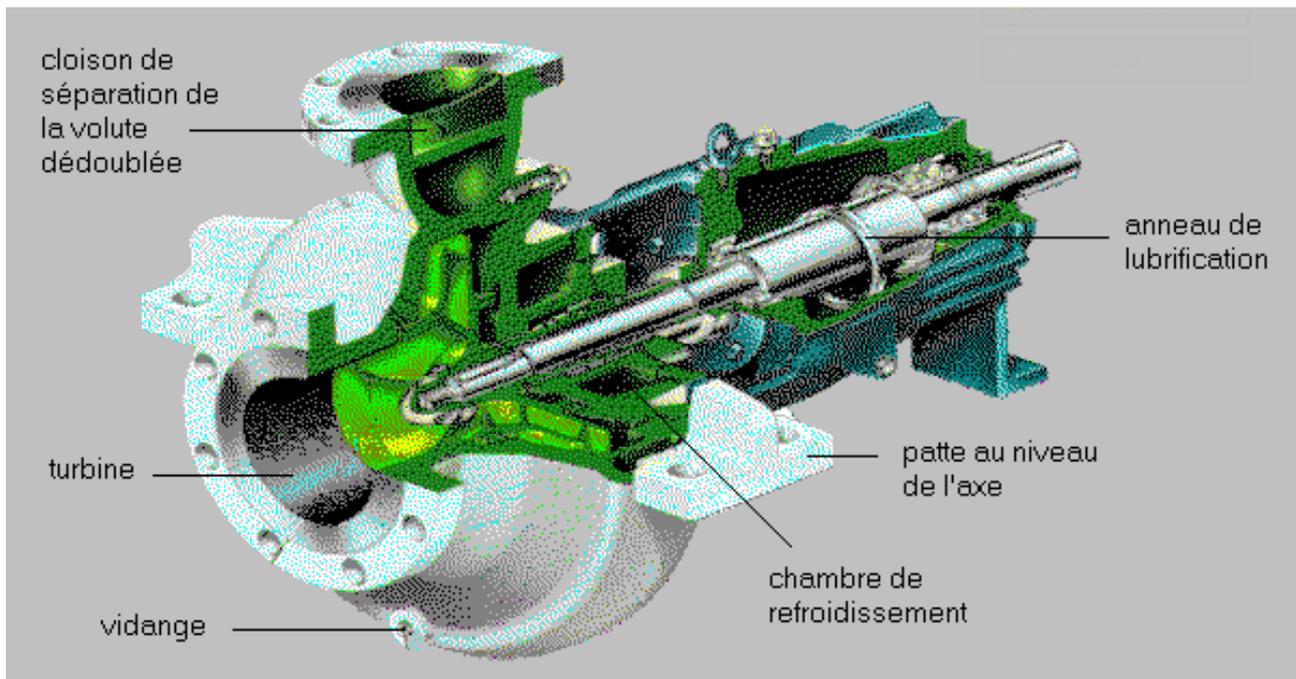


Figure 70: Vue écorchée d'une pompe pattes à l'axe

4.1.2.4. Pompe palier chaise

Arrosage de l'étanchéité : du liquide est prélevé dans la zone haute pression de la turbine, afin de faire un balayage du liquide, ou « flushing » qui lubrifie, refroidit et nettoie l'étanchéité.

La bague d'usure amovible est une étanchéité qui limite la recirculation interne, entre la partie haute pression et l'aspiration

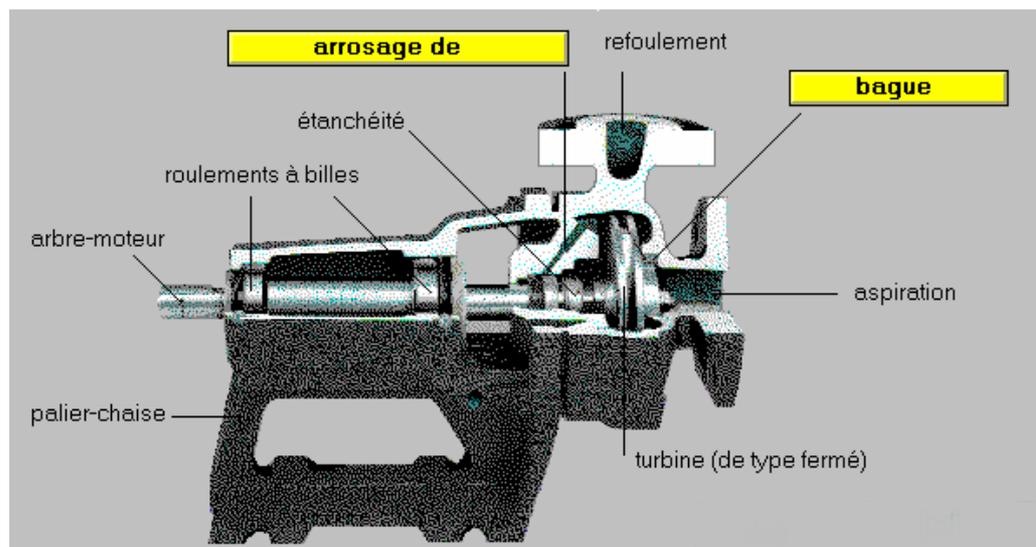
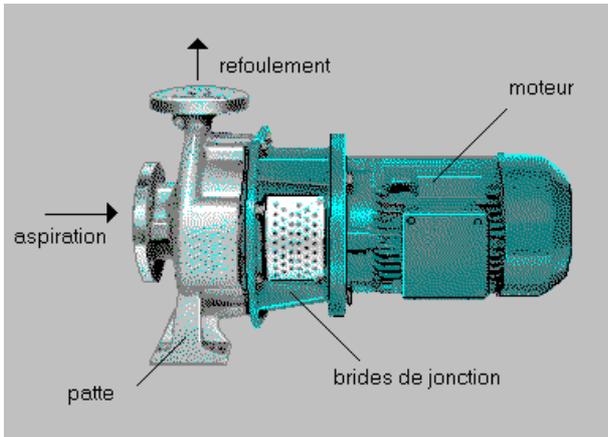


Figure 71: Vue écorchée d'une pompe palier chaise

4.1.2.5. Pompe monobloc

Les pompes « monobloc », dont font partie les pompes « in-line » et les pompes « immergées », sont des pompes dont le moteur est positionné directement sur le carter de la pompe. L'alignement du moteur dépend uniquement de la précision des usinages.



L'ensemble est relié au sol uniquement par les pattes du corps de pompe. Le socle, n'ayant plus de rôle de guidage, est très simplifié ; il est même parfois remplacé pour les petites tailles de pompes en montage « in-line », par les tuyauteries elles-mêmes, qui jouent alors un rôle de support.

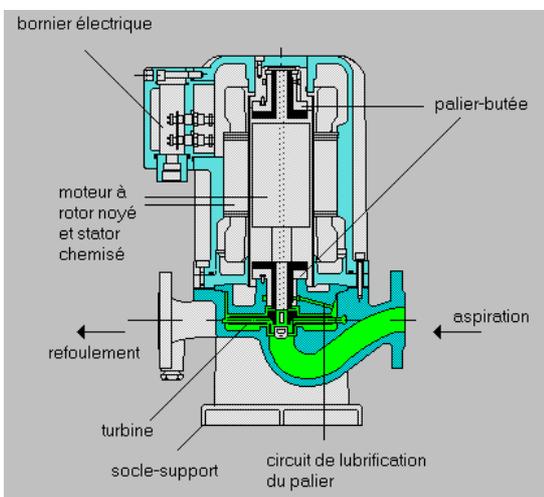
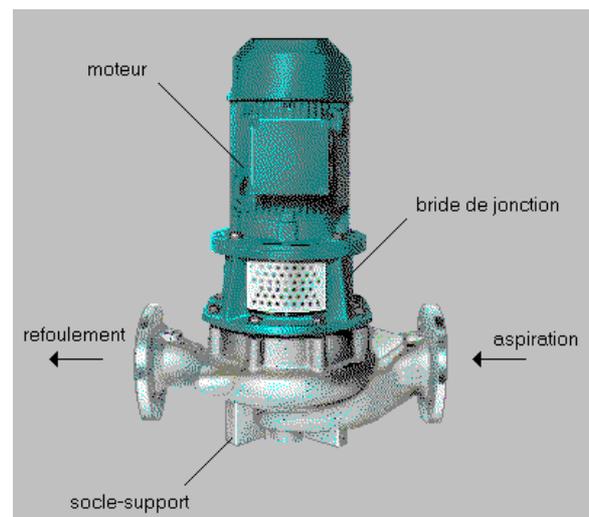
Figure 72: Vue extérieure d'une pompe monobloc

4.1.2.6. Pompe « in-line »

Le nom de cette pompe provient du fait que la bride d'aspiration et la bride de refoulement sont alignées : la pompe peut se monter en ligne dans la tuyauterie. La pompe est dite monobloc, c'est-à-dire qu'elle supporte directement le moteur.

Dans le cas de petites puissances installées, il est fréquent que les tuyauteries elles-mêmes supportent la pompe.

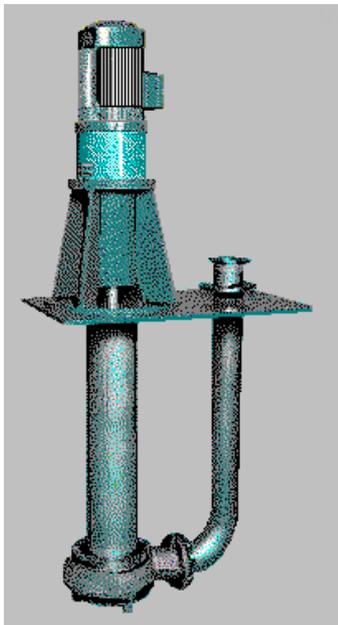
Figure 73: Vue extérieure d'une pompe "in-line"



Comme dans toute pompe centrifuge classique, l'aspiration a lieu au centre de la turbine. La seule particularité est qu'ici, la tubulure d'aspiration comprend un coude, venu de la fonderie avec le corps de pompe. La coupe montre un système à « rotor noyé », qui sera explicité dans la partie étanchéité.

Figure 74: Coupe d'une pompe "in-line"

4.1.2.7. Pompe verticale



Ce type de pompe est utilisé pour vider des fosses ou des réservoirs enterrés, quand une pompe submersible n'est pas acceptable.

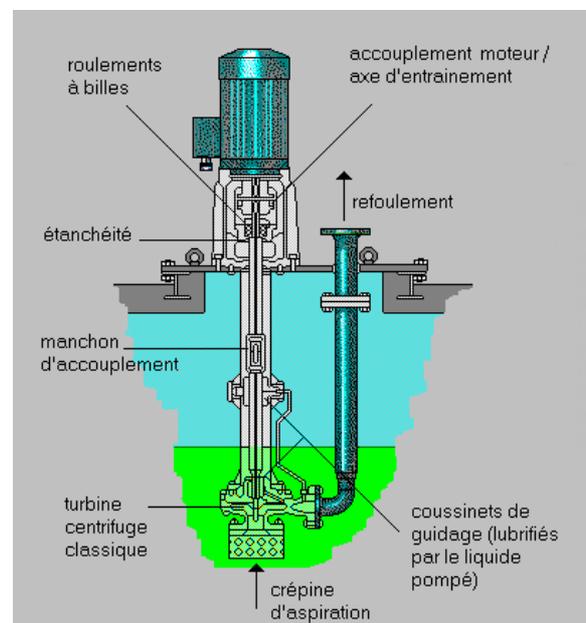
Un problème provient de la grande longueur de l'axe qu'il faut guider de proche en proche, pour éviter qu'il ne se mette à fouetter.

Le poids de l'ensemble en rotation est supporté par des roulements à billes, ou à rouleaux, situés sous le moteur électrique.

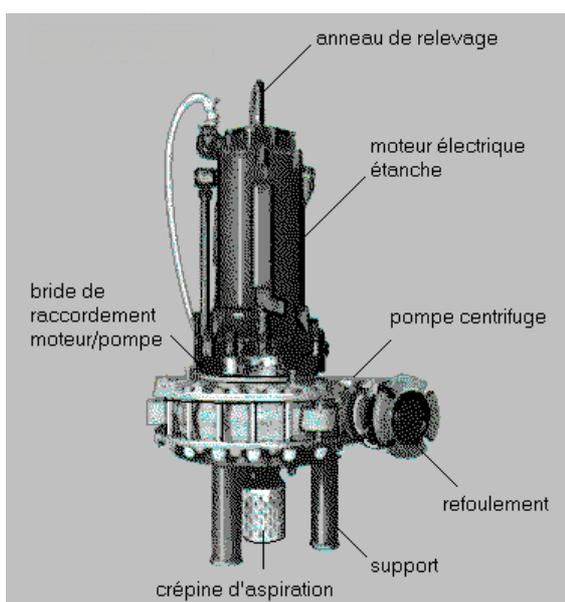
Figure 75: Vue extérieure d'une pompe verticale

Les roulements sont placés hors d'atteinte du liquide. Des étanchéités les protègent de l'eau, des poussières, des vapeurs et du liquide

Figure 76: Vue en coupe d'une pompe verticale



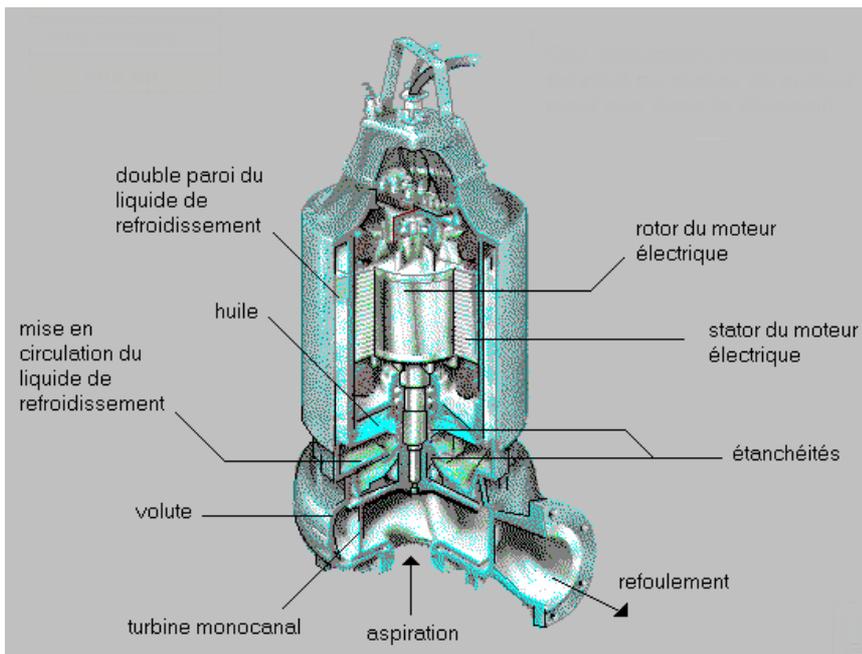
4.1.2.8. Pompe « immergée »



La pompe immergée où pompe submersible, est une pompe centrifuge classique, de conception monobloc, c'est-à-dire dont le moteur est directement supporté par le corps de pompes. Le montage est généralement à axe vertical.

L'ensemble est prévu pour fonctionner immergé dans le liquide pompé. Le moteur est donc étanche. Son refroidissement est assuré par circulation d'un liquide auxiliaire, ou par le liquide pompé.

Figure 77: Vue extérieure d'une pompe immergée



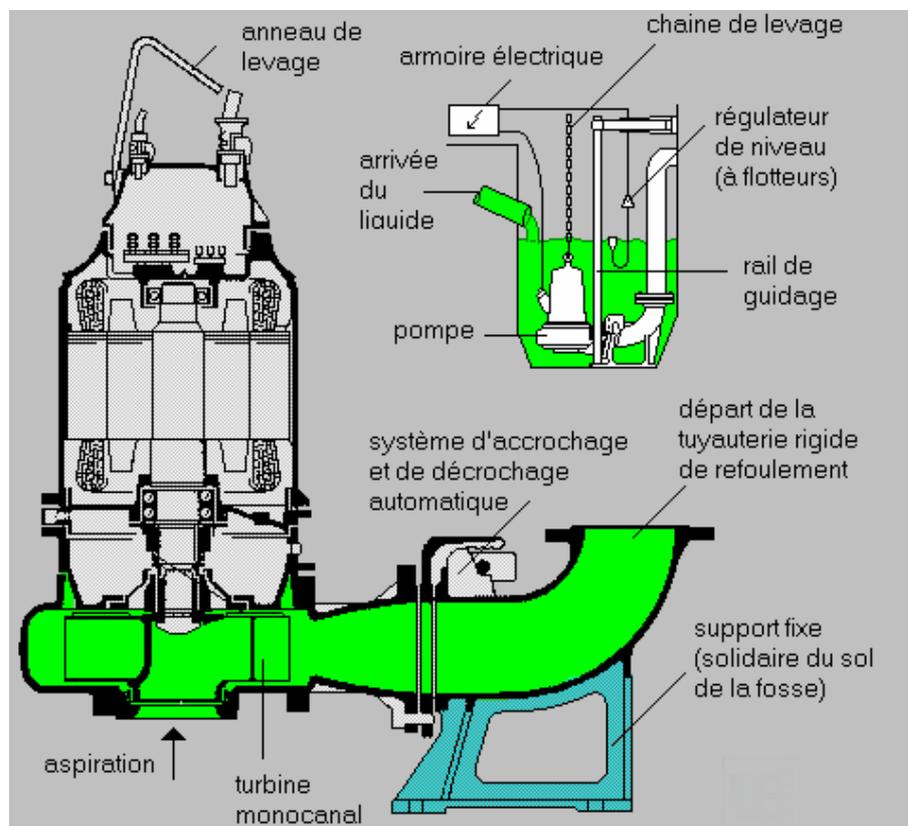
Des détecteurs d'humidité existent au niveau du moteur ainsi que dans le réservoir d'huile.

Un ingénieux système de rails de guidage permet la mise en place et le décrochage automatique de la pompe sur son support placé sur le fond de la fosse.

Figure 78: Vue écorchée d'une pompe immergée

On peut donc retirer la pompe immergée sans qu'il soit nécessaire de descendre dans la fosse, ni même de la vidanger au préalable ce qui facilite singulièrement les opérations de maintenance.

Figure 79: Système de mise en place d'une pompe immergée



4.1.2.9. Pompe non-métallique

✦ Graphite

Le corps de pompe est en graphite imprégné, afin qu'il ne soit pas poreux.

La turbine est en polyfluore de vinylidène, en polypropylène. a rigidité du corps de pompe est assurée par un blindage métallique (Le carbone résiste à 170°C)

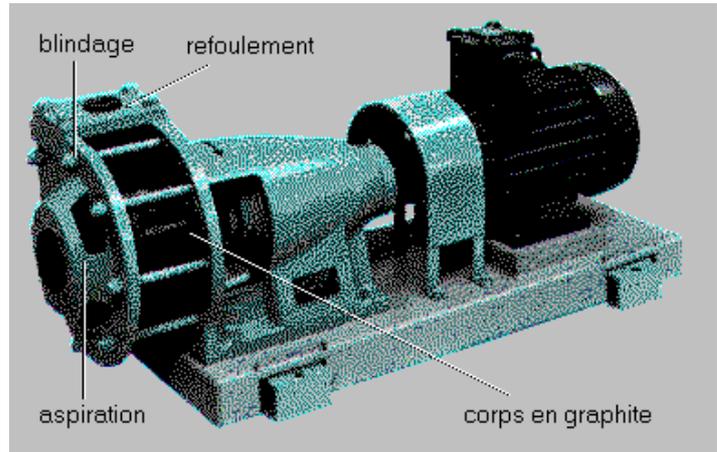
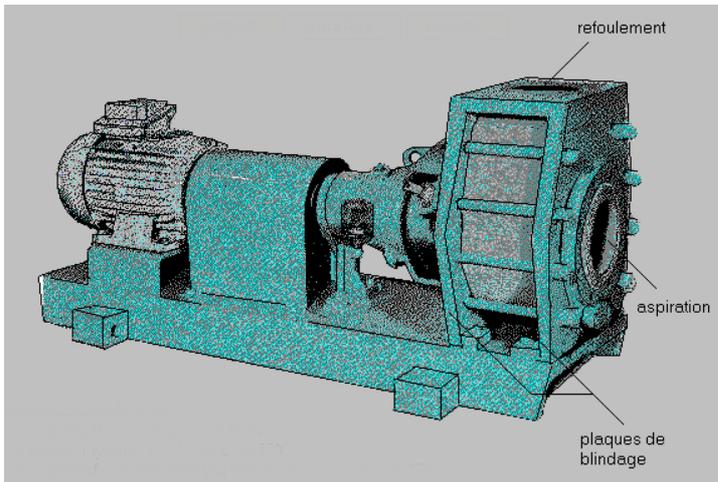


Figure 80: Pompe Graphite

✦ Plastique



Les matériaux utilisés sont :

- ▶ Le polyéthylène : P.E. jusqu'à 80°C
- ▶ Le polypropylène : PPH jusqu'à 90°C
- ▶ Le polytétrafluoroéthylène (ou téflon) : jusqu'à 120°C
- ▶ Le polyfluorure de vinylidène : PVDF jusqu'à 150°C

Figure 81: Pompe plastique

Une attention particulière doit être apportée au refroidissement du dispositif d'étanchéité car les plastiques ne dissipent pratiquement pas la chaleur.

✦ Revêtue

La pompe est de type process, mais toutes les parties en contact avec le liquide pompé sont en matière plastique soit massive, comme la turbine, soit très épaisse, comme le corps ou le fond de pompe.

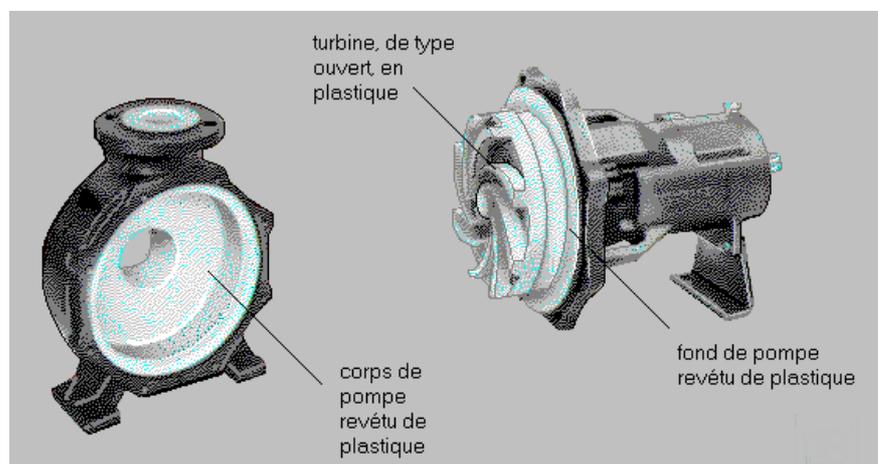


Figure 82: Pompe revêtue

4.1.2.10. Pompe multicellulaire haute Pression

Les pompes haute pression sont composées d'étages placés en série. Chaque étage correspond à une pompe centrifuge élémentaire, c'est-à-dire une turbine tournant dans une volute ou dans un diffuseur.

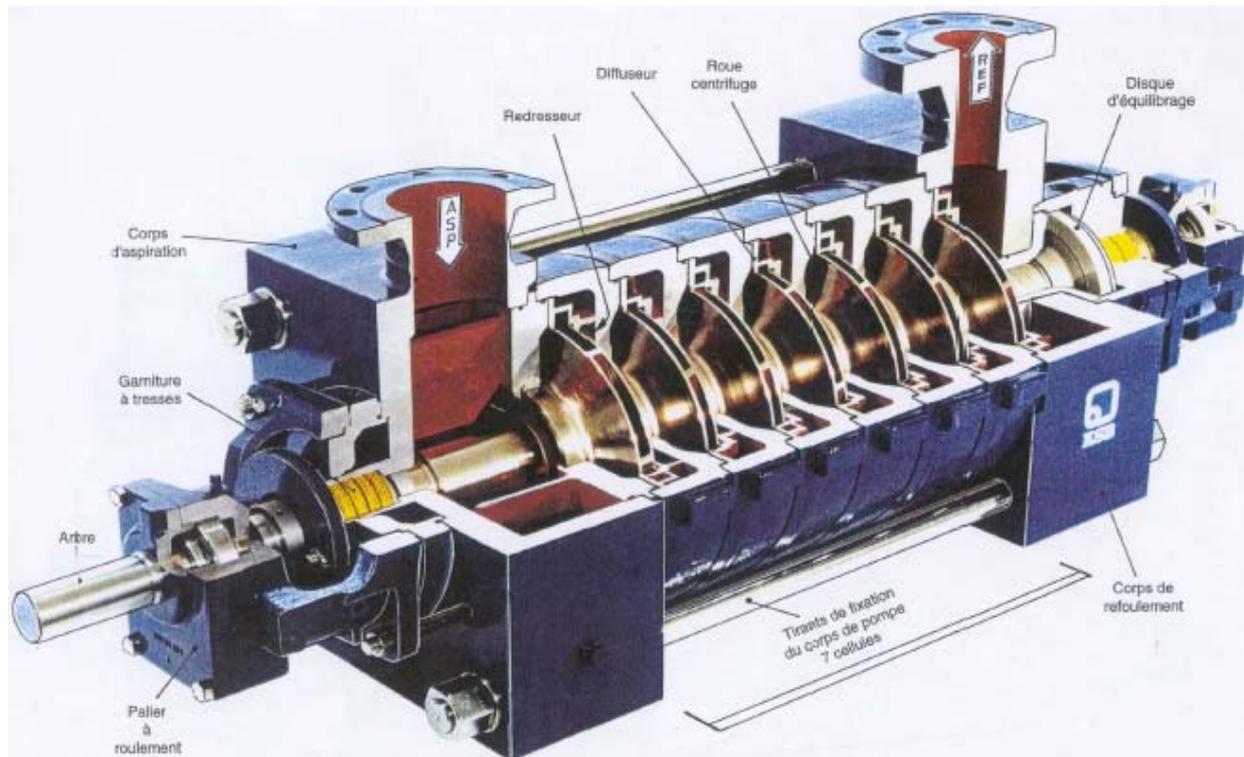


Figure 83: Vue écorchée d'une pompe multicellulaire

On peut ainsi assembler une vingtaine d'étages, et dépasser une pression de refoulement de 400 bars, pour un débit de 1000 m³/h.

Un piston, ou un disque d'équilibrage reprend l'ensemble des poussées axiales. Les poussées radiales sont équilibrées par la symétrie des diffuseurs.

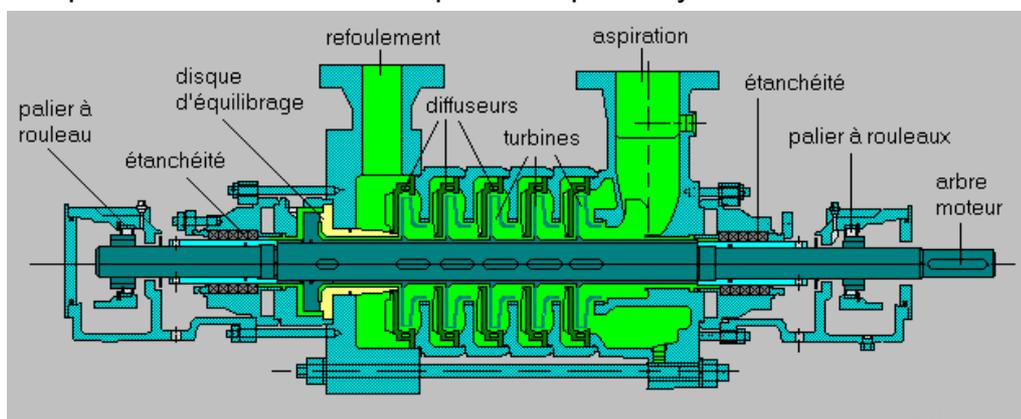


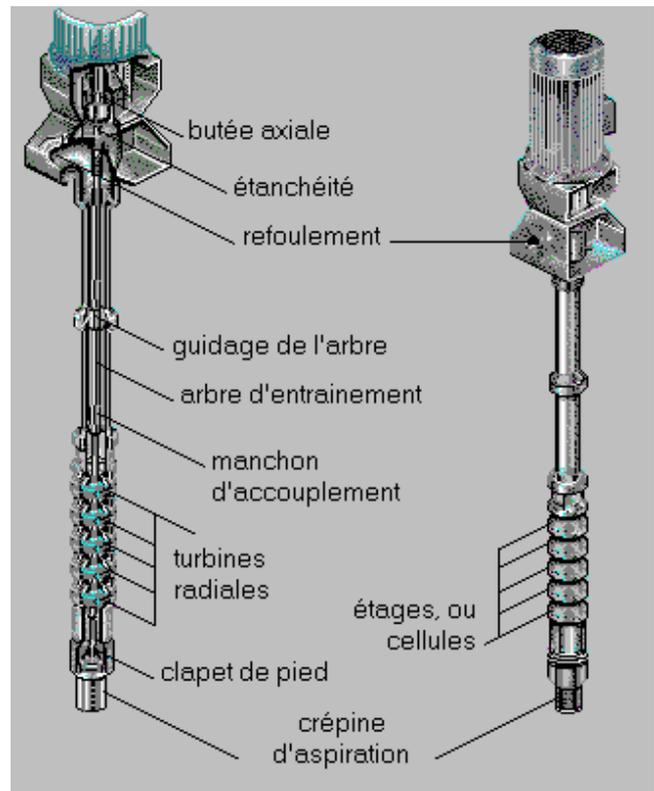
Figure 84: Vue en coupe d'une pompe multicellulaire

4.1.2.11. Pompe de puits

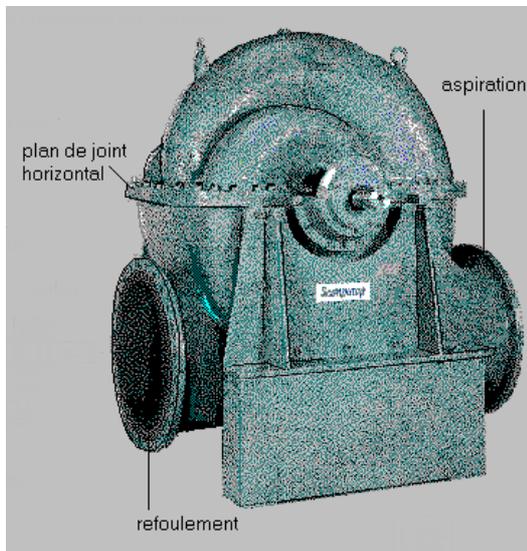
Les pompes de puits, ou pompes de forages sont généralement utilisées pour prélever de l'eau de mer, de nappe ou de rivière. On les utilise aussi pour le pompage d'hydrocarbures. La profondeur maximum est limitée à 120 mètres, principalement pour des raisons de longueur de l'arbre d'entraînement.

Au delà, on utilise des « électropompes immergées », ou pompes submersibles, capable de refouler à 120 mètres.

Figure 85: Vues écorchée et extérieure d'une pompe de puits



4.1.2.12. Pompe « double-flux »



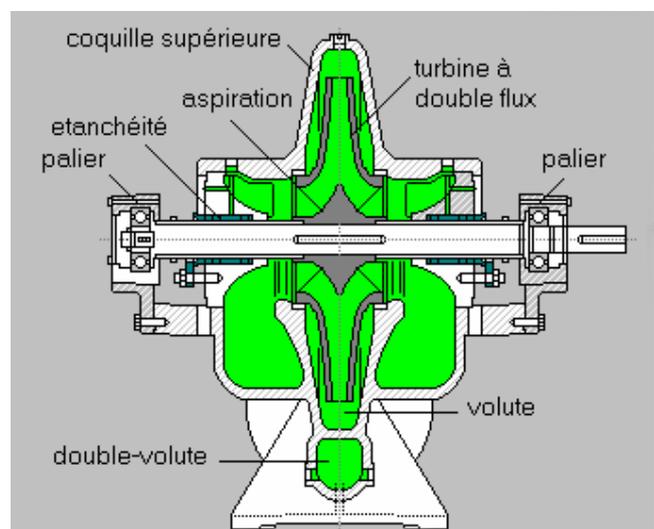
Les 2 aspirations se rejoignant sur une seule bride : le montage est « in line ».

Figure 87: Vues écorchées et extérieure d'une pompe double flux

Les pompes à double flux sont souvent à plan de joint horizontal. On les utilise pour de très grands débits, à des pressions modérées.

Leur **NPSH*** requis est très bas. La turbine est composée de 2 turbines radiales classiques, assemblées dos à dos. Il y a donc une aspiration de chaque côté.

Figure 86: Vue extérieure d'une pompe double flux



4.1.2.13. Pompe à « canal latéral »

Les pompes à canal latéral sont souvent appelées « auto-amorçantes ». En fait, c'est un type de pompe centrifuge qui ne se désamorçe pas si elle aspire un mélange de gaz et de liquide.



Les pompes à canal latéral sont capables de fournir des hauteurs manométriques totales très élevées, mais les débits sont modestes. Elles sont très sensibles à l'usure, de sorte qu'on limite en général la vitesse de rotation à 1450 t/mn, et que les liquides chargés ou abrasifs sont proscrits. Elles résistent très mal à la cavitation et ont un NPSH requis assez élevé.

Elles sont presque toujours placées horizontalement, et doivent être démarrées vannes de refoulement et d'aspiration entièrement ouvertes.

Figure 88: Vue extérieure d'une pompe à canal latéral

Un clapet anti-retour placé au refoulement évitera les problèmes de dévirage à l'arrêt.

Les deux éléments caractéristiques d'une pompe dite à canal latéral sont :

- ▶ Une turbine ouverte à ailettes radiales
- ▶ Un corps comprenant la « canal latéral », une ouïe d'aspiration, une ouïe de refoulement, un canal auxiliaire et une ouïe de refoulement auxiliaire.

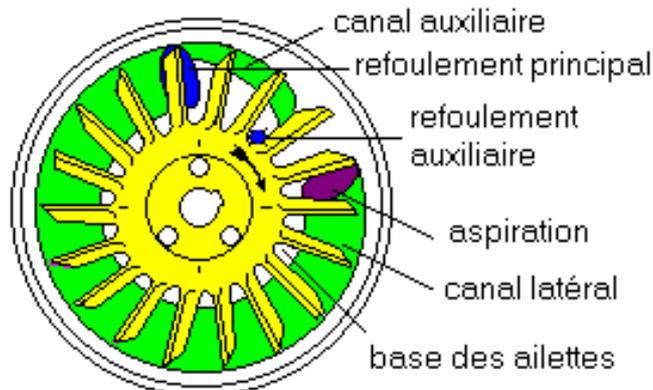
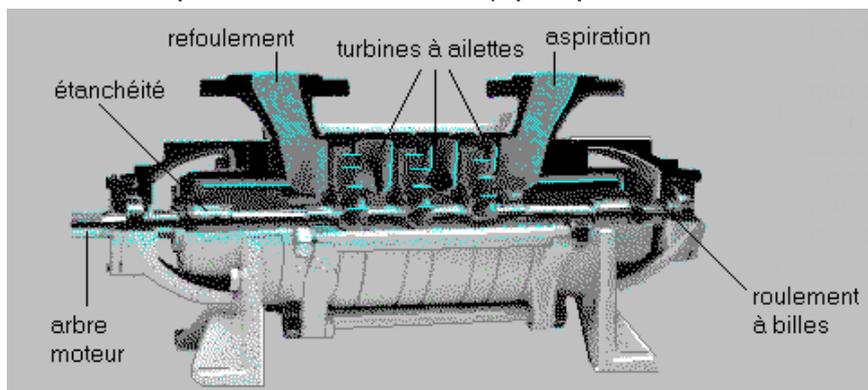


Figure 89: Éléments caractéristiques d'une pompe à canal latéral

Les pompes à canal latéral sont souvent multicellulaires afin d'obtenir des hauteurs nanométriques totales très forte (quelques centaines de mètres)



Très souvent, les étanchéités et les roulements sont très accessibles ; on peut les changer sans démontage complet de la pompe.

Figure 90: Vue écorchée d'une pompe multicellulaire à canal latéral

Les pompes centrifuges peuvent avoir un NPSH requis très faible, mais sont sujettes au désamorçage si le liquide pompé contient des bulles de gaz. Les pompes à canal latéral ont exactement les propriétés inverses.

Les pompes à canal latéral « bas NPSH » utilisent donc une turbine centrifuge classique, placée en amont de turbines à ailettes radiales. On combine ainsi les propriétés de résistance à la cavitation et de résistance au désamorçage.

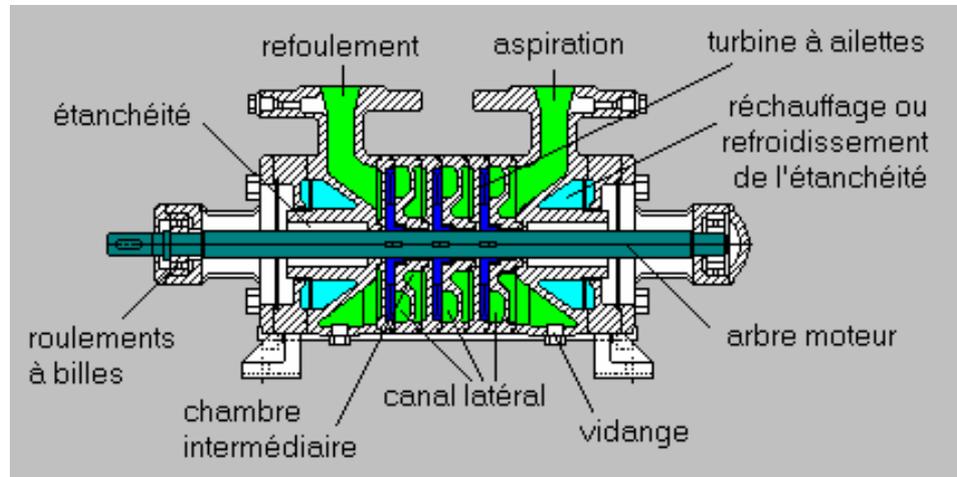
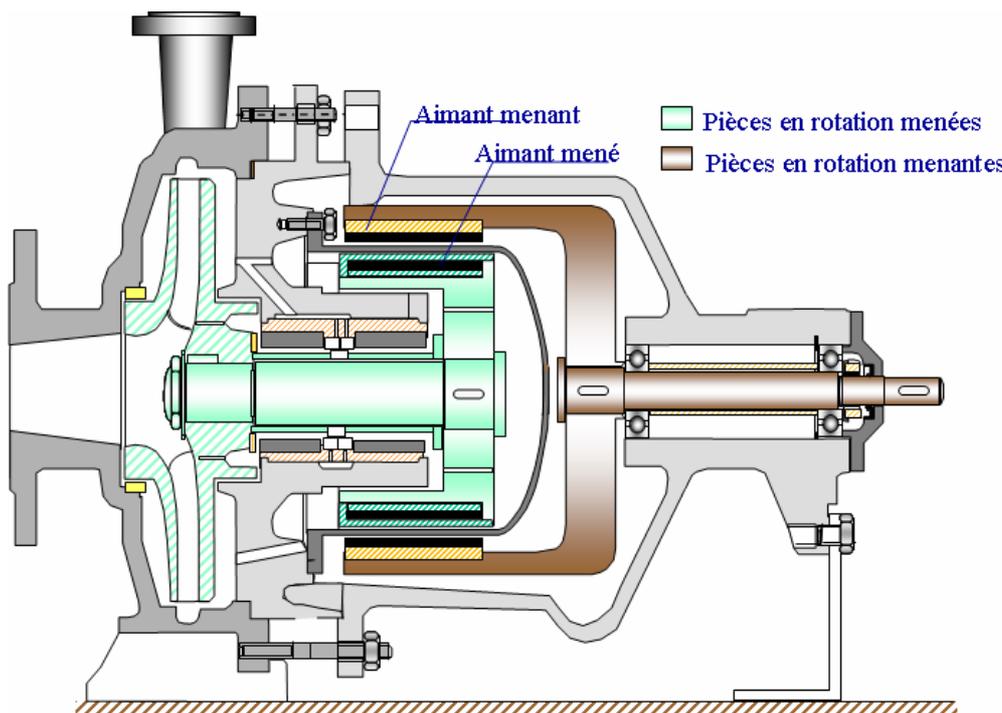


Figure 91: Vue en coupe d'une pompe multicellulaire à canal latéral

4.1.2.14. Pompe à entraînement magnétique

Le pompage de produits toxiques (ex: benzène) est rendu délicat par le risque de fuite vers l'atmosphère, au passage de l'arbre d'entraînement, toujours possible et ce quel que soit le type de garnitures installées. La solution à ce problème, c'est l'entraînement magnétique.

La lubrification de l'arbre qui porte la roue est réalisée par le fluide pompé.



Par conséquent ces pompes ne supportent pas de tourner sans produit ou désamorçées (grippage de l'arbre)

Leur hauteur d'élévation est limitée à 100 m, et leur débit à 100 m³/h

Figure 92: Coupe d'une pompe à entraînement magnétique

4.2. LES POMPES VOLUMETRIQUES

4.2.1. Technologie des pompes volumétriques

Les pompes volumétriques se composent d'un volume hermétiquement clos (corps de pompe) à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile qui fait augmenter et diminuer alternativement le volume des chambres. Ce mouvement s'effectue par cycle : un volume déterminé de liquide est aspiré au début et refoulé à la fin. Ce volume représente la cylindrée de la pompe.

Dès leur mise en route, les pompes volumétriques provoquent une diminution de pression en amont qui permet l'aspiration du liquide : on dit qu'elles sont auto-amorçantes.

Les pompes volumétriques permettent d'obtenir des hauteurs manométriques totales beaucoup plus élevées que les pompes centrifuges.

La pression au refoulement est ainsi plus importante.

Le débit est par contre généralement plus faible mais il ne dépend pratiquement pas des caractéristiques du réseau.

Le rendement de ces pompes est souvent très proche de 90 %.

Si la canalisation de refoulement est bouchée, il faut arrêter immédiatement une pompe volumétrique dans cette situation pour éviter les risques d'une augmentation de pression très importante dans la pompe qui pourrait entraîner de graves détériorations

S'il y a possibilité de fermetures de vannes placées sur le circuit de refoulement, il faut prévoir un dispositif de sécurité à la sortie de la pompe : une dérivation équipée d'une soupape de sûreté et reliée au réservoir d'aspiration constitue une bonne solution.

Le réglage du débit s'effectue en agissant sur la vitesse de rotation du rotor pour les pompes rotatives et sur la fréquence ou la course du piston pour les pompes alternatives.

L'utilisation d'une vanne de réglage sur le circuit de refoulement est bien entendu à proscrire.

Parmi l'ensemble des types de pompes volumétriques pour liquides existant sur le marché, on peut distinguer deux principes de fonctionnement.

- ✦ Les pompes volumétriques alternatives (ex. : pompes de produits chimiques comme le désémulsifiant, l'antimousse)
- ✦ Les pompes volumétriques rotatives (à cylindrée constante) (ex. : pompe de ballon de torche pour récupération des condensats)

4.2.2. Détails des pompes volumétriques alternatives

4.2.2.1. Pompe alternative à simple effet,

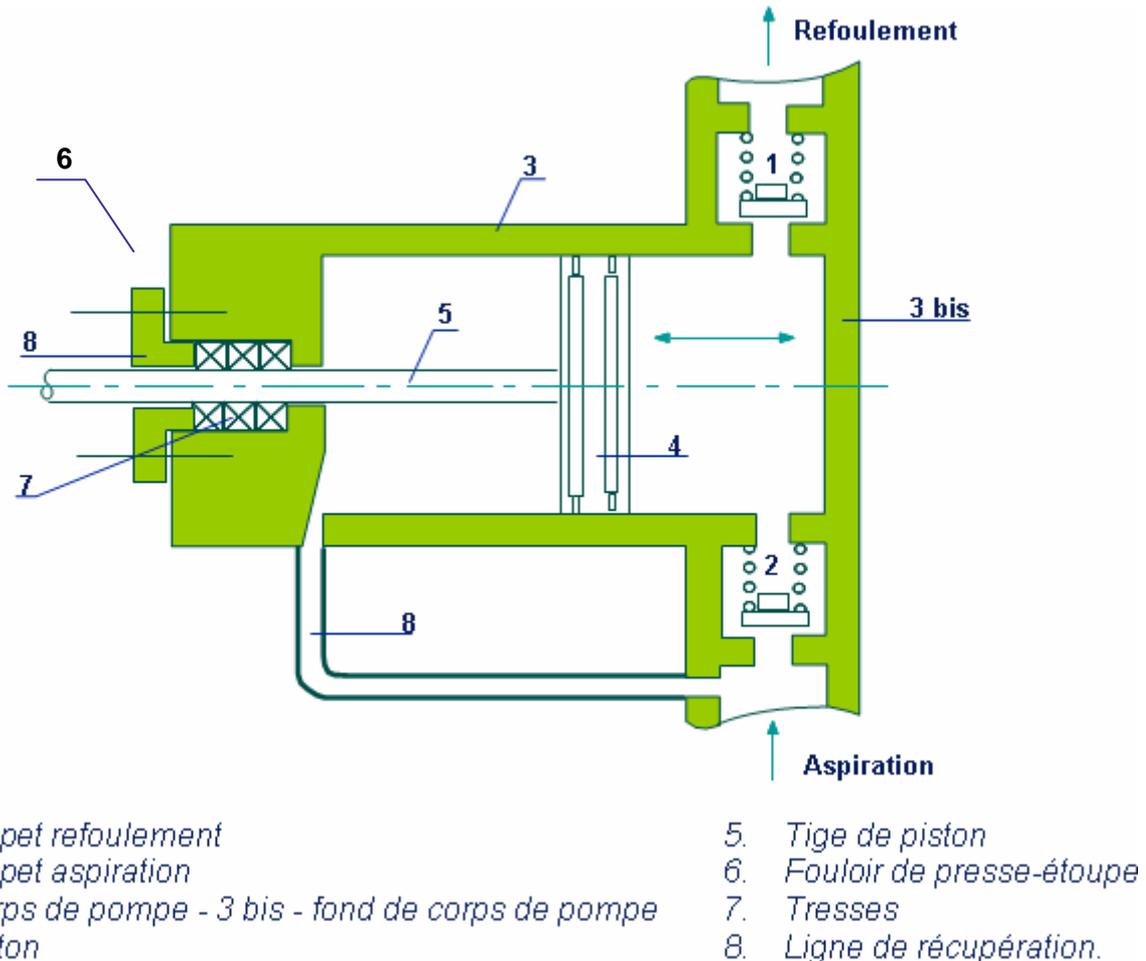


Figure 93: Pompe alternative à simple effet

Principe de fonctionnement

1. Le piston est entraîné vers le presse-étoupe (6-7) – la pression dans la chambre A diminue:
 - ▶ fermeture du clapet refoulement 1,
 - ▶ ouverture du clapet aspiration 2,
 - ▶ le liquide remplit le corps de pompe.

2. Le piston est repoussé vers le fond du corps de pompe (3 bis) – la pression dans la chambre A augmente :
 - ▶ fermeture du clapet aspiration 2,
 - ▶ ouverture du clapet refoulement 1,
 - ▶ le liquide est refoulé vers l'extérieur.

Pour un déplacement complet du piston (aller-retour) seul un temps est producteur de débit pression, la course du piston vers le fond de corps de pompe, d'où le nom de "Pompe Alternative simple Effet".

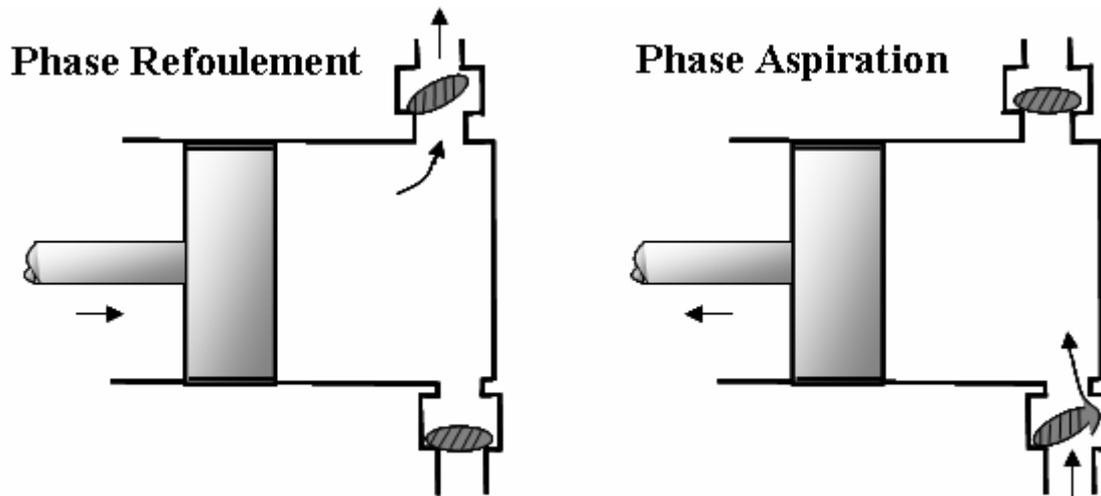


Figure 94: Principe pompe à piston

Compte tenu de ce fonctionnement, la pompe ne refoule du liquide que pendant la moitié d'un cycle et, en conséquence, le débit du fluide n'est pas constant dans le temps mais pulsé. Si le débit moyen horaire est Q_m , alors le débit maximum instantané vaut $3,14 \cdot Q_m$ (figure ci-dessous).

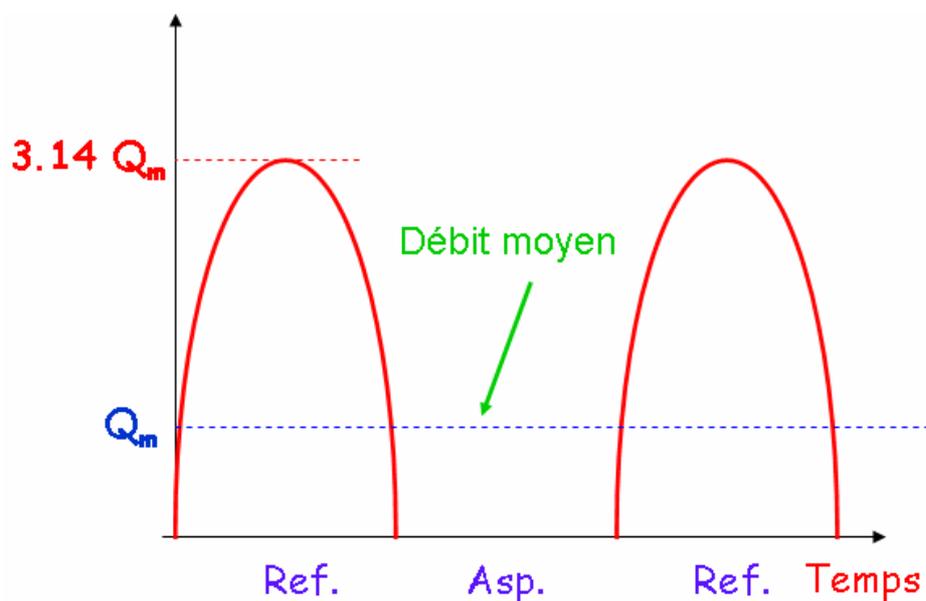
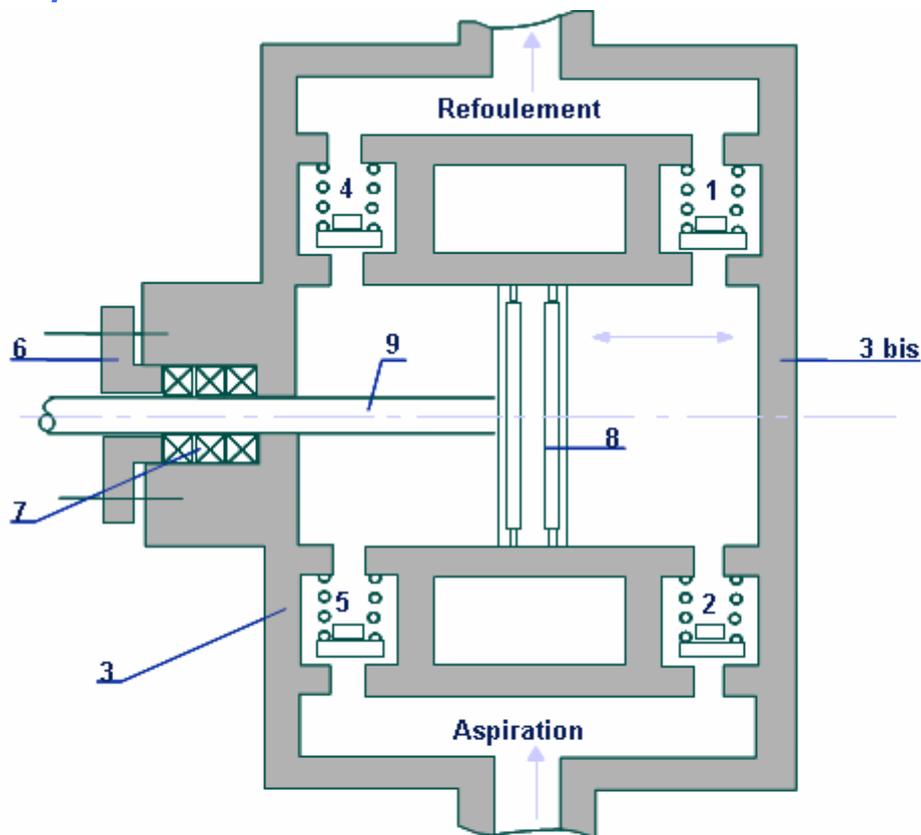


Figure 95: Débit en fonction du temps pour une pompe alternative simple effet

4.2.2.2. Pompe alternative à double effet



- | | | | |
|---------|------------------------|----|--------------------------|
| 1.- 4. | Clapet refoulement | 6. | Fouloir de presse-étoupe |
| 2. - 5. | Clapet aspiration | 7. | Tresses |
| 3. | Corps de pompe | 8. | Piston |
| 3. bis | Fond de corps de pompe | 9. | Tige de piston |

Figure 96: Pompe alternative à double effet

Principe de fonctionnement

1. Le piston est entraîné vers le presse-étoupe (6-7) :

- ▶ fermeture du clapet refoulement 1
- ▶ fermeture du clapet aspiration 5
- ▶ ouverture du clapet aspiration 2
- ▶ ouverture du clapet refoulement 4

2. Le liquide remplit le corps de pompe côté fond (3 bis) et le liquide est refoulé côté orifice (clapet 4).

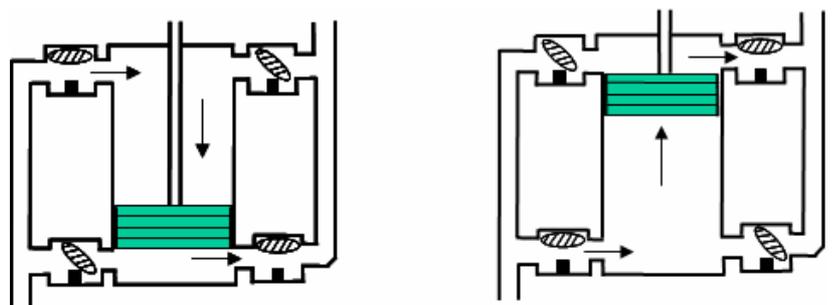


Figure 97: Principe pompe alternative à double effet

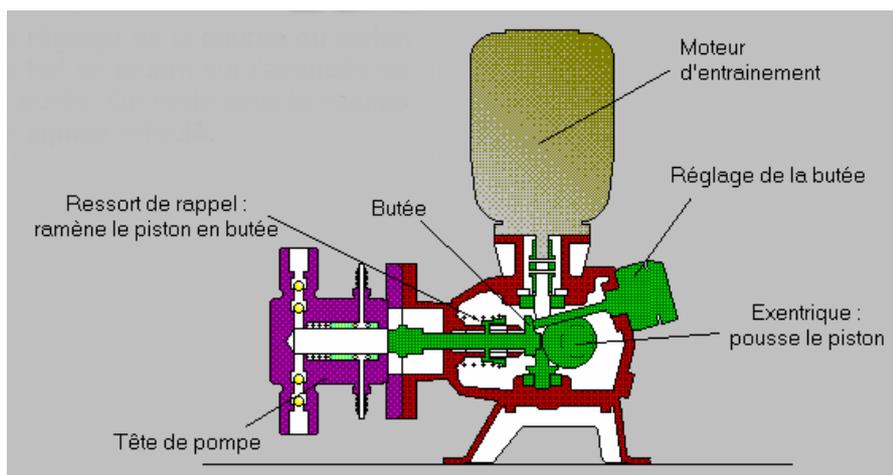
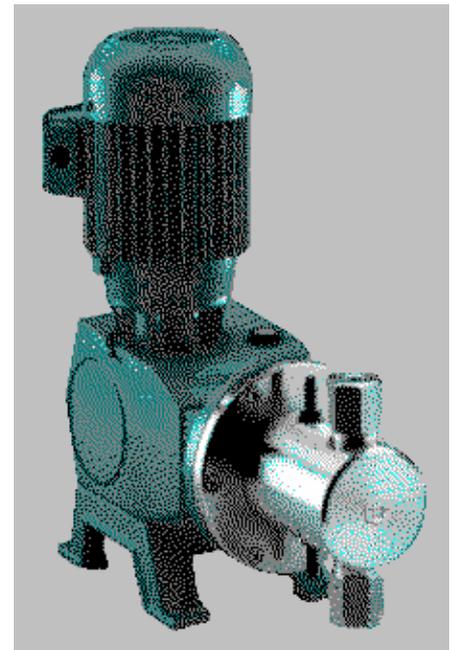
4.2.2.3. Pompe alternative doseuse

Le réglage de la course du piston se fait en jouant sur l'avancée de la butée.

On règle ainsi le volume de liquide refoulé.

- ✦ Débit : jusqu'à 6 m³/h
- ✦ Pression : jusqu'à 500 bars
- ✦ Viscosité : jusqu'à 300000 centipoises
- ✦ Température : jusqu'à 150°C

Figure 98: Vue extérieure d'une pompe doseuse

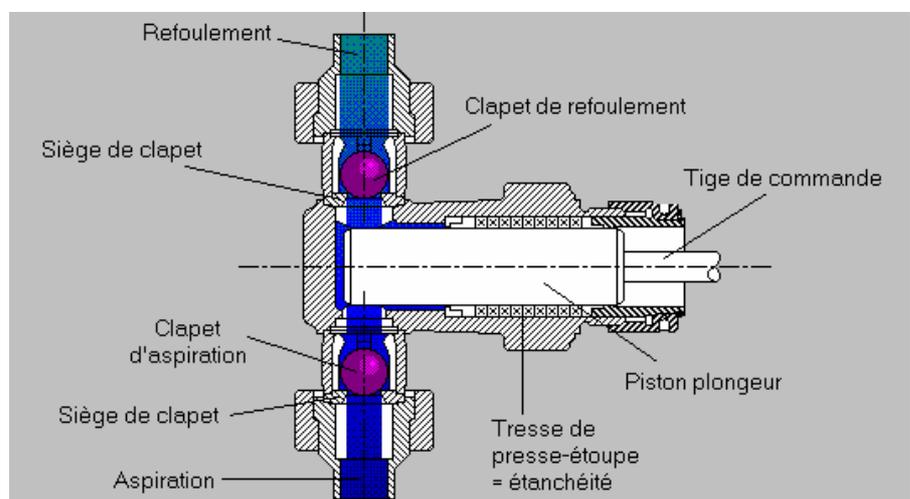


- ✦ Liquides : de toutes natures, suivant les matériaux constituant la pompe
- ✦ Précision de dosage : de l'ordre de 1%

Figure 99: Coupe d'une pompe doseuse

- ✦ Auto-amorçante : jusqu'à 4 m (pour de l'eau)
- ✦ Peut être immergée.
- ✦ Sécurité : un clapet de décharge doit être installé sur le refoulement

Figure 100: Vue détaillée de la tête de pompe



4.2.2.4. Pompe alternative à air comprimé

Principe de fonctionnement :

Les **membranes** sont poussées alternativement par de l'air comprimé issu d'un distributeur pneumatique.

Quand une membrane est poussée, elle repousse le liquide, et elle ramène l'autre membrane par l'intermédiaire d'une tige de commande.

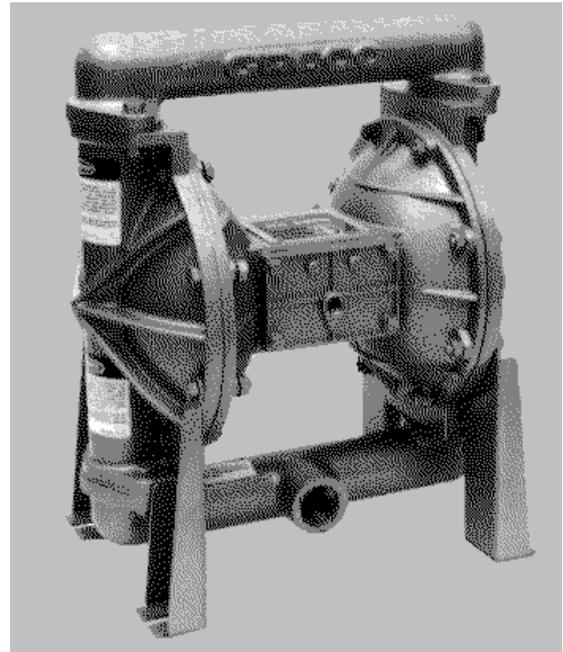


Figure 101: Pompe alternative à air comprimé

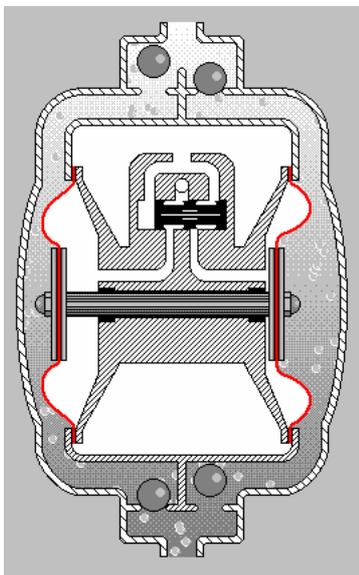


Figure 102: Membranes

La **tige de commande** relie les deux plateaux porteurs de la membrane.

Elle permet de faire travailler une membrane en aspiration quand l'autre travaille en refoulement. Ce type de fonctionnement est appelé « double effet ».

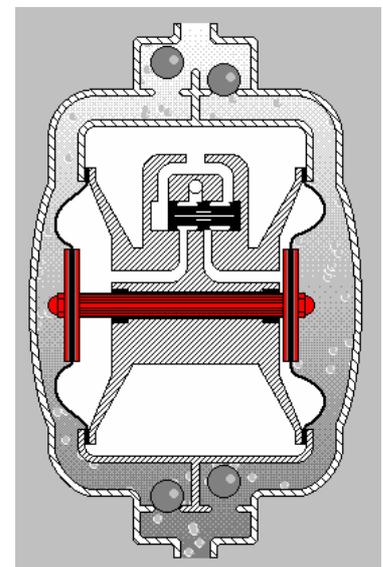
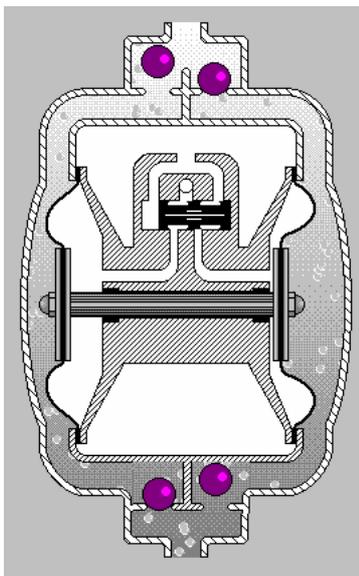


Figure 103: Tige de commande



Les **clapets** sont des billes, ou des volets ramenés par leur propre poids. Il est donc impératif de respecter la position de fonctionnement de la pompe, afin que les clapets puissent se refermer par gravité.

Figure 104: Clapets

Le **distributeur** répartit alternativement l'air comprimé à l'arrière d'une membrane, alors que l'autre est mise à l'air libre.

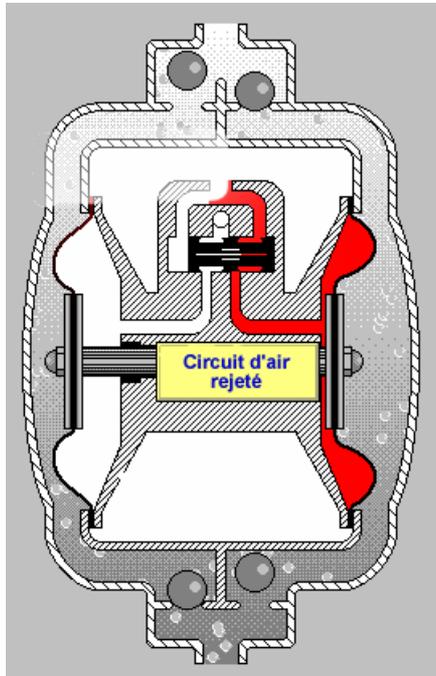
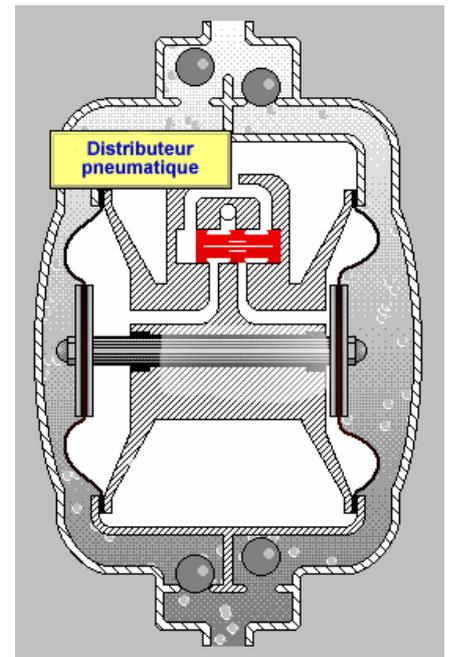


Figure 105: Distributeur



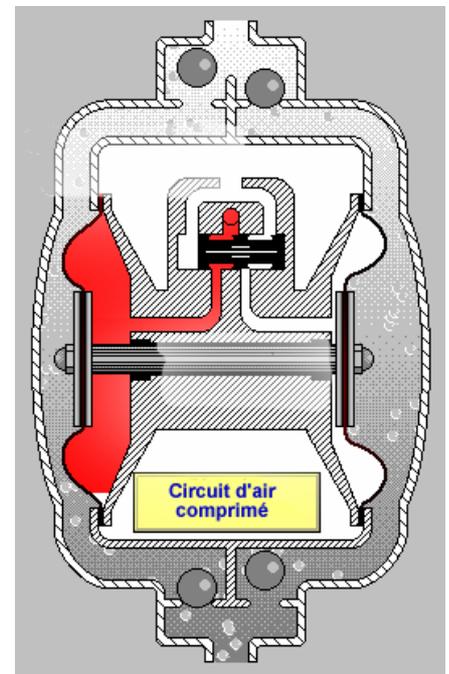
La sortie de l'air rejeté dans l'atmosphère se fait à travers un **silencieux**, de sorte que le bruit reste inférieur à 76 dBA.

Figure 106: Circuit d'air rejeté

L'**air comprimé** est amené à l'arrière d'une membrane qui est alors poussé et refoulera ainsi le liquide.

Si la pression dans le liquide refoulé atteint la pression de l'air comprimé, la pompe s'arrête automatiquement. La pompe ne redémarrera que si la pression du liquide est plus basse que celle de l'air comprimé.

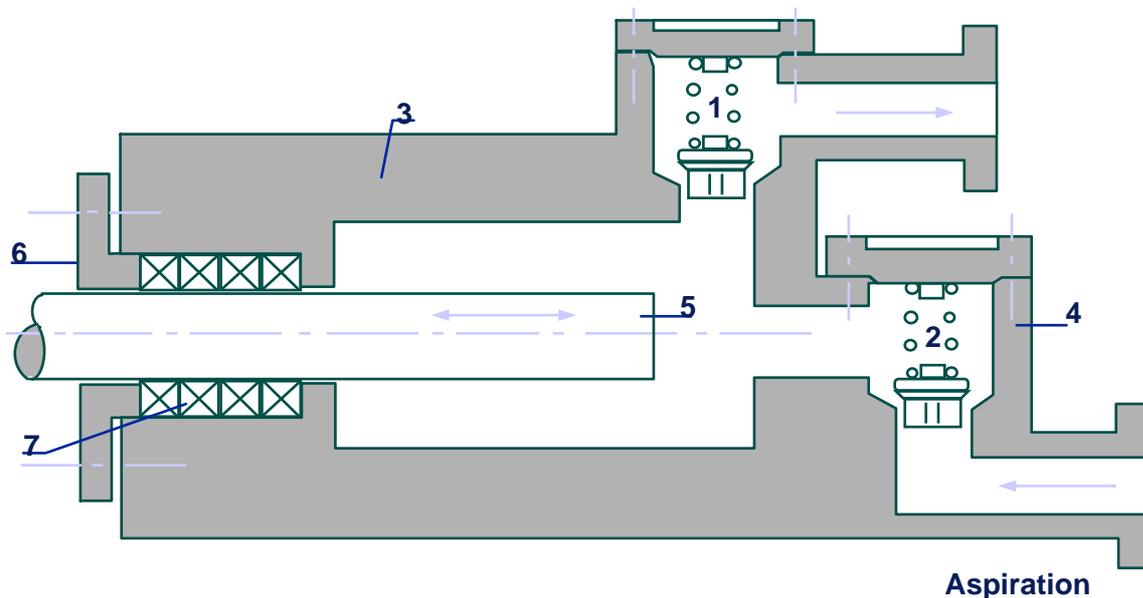
Figure 107: Circuit d'air comprimé



Domaine d'utilisation :

- ⊕ Débit : jusqu'à 60 m³/h
- ⊕ Pression : jusqu'à 10 bars
- ⊕ Viscosité : jusqu'à 20000 centipoises
- ⊕ Température : jusqu'à 100°C
- ⊕ Liquides : particules jusqu'à 6 mm (acides, bases, solvants, huiles, eau)
- ⊕ Antidéflagrante : commande par de l'air comprimé
- ⊕ Auto-amorçante : à sec jusqu'à 4 m ; 7 m pour de l'eau froide
- ⊕ Peut être immergée et peut fonctionner à sec
- ⊕ Sécurité : la pression de liquide ne peut dépasser la pression d'air comprimé

4.2.2.5. Pompe à piston plongeur simple effet



1. Clapet refoulement
2. Clapet aspiration
3. Corps de pompe
4. Boîte à clapets
5. Piston plongeur
6. Fouloir de presse-étoupe
7. Tresses

Figure 108: Pompe à piston plongeur simple effet.

Principe de fonctionnement

Identique à celui de la pompe alternative simple effet

Avantages

- ⊕ Pas de piston avec segmentation
- ⊕ Permet d'obtenir des pressions très élevées de plusieurs centaines de bars.

4.2.2.6. Pompe à membrane

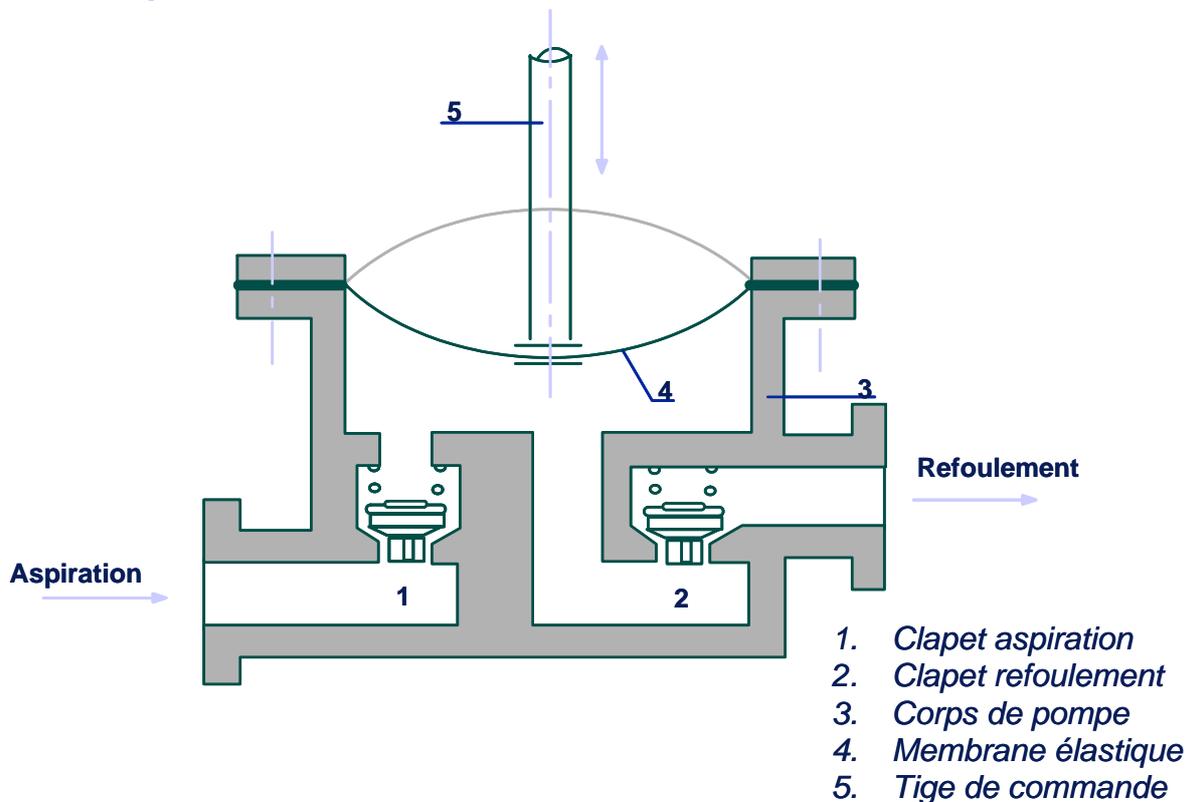


Figure 109: Pompe à membrane

Principe de fonctionnement

Il est identique à celui d'une pompe alternative à simple effet.

Le piston est remplacé dans ce type de pompe par une membrane déformable qui, sous l'action alternative d'une tige de commande engendre une variation de volume.

1. Tige se déplaçant vers le haut

- ▶ fermeture du clapet refoulement,
- ▶ ouverture du clapet aspiration,
- ▶ le corps de pompe se remplit de liquide.

2. Tige se déplaçant vers le bas

- ▶ fermeture du clapet aspiration,
- ▶ ouverture du clapet refoulement,
- ▶ le liquide est chassé vers l'extérieur du corps de pompe.

Débit théorique

Égal au volume engendré par la déformation de la membrane.

4.2.3. Détails des pompes volumétriques rotatives

4.2.3.1. Pompe à palettes

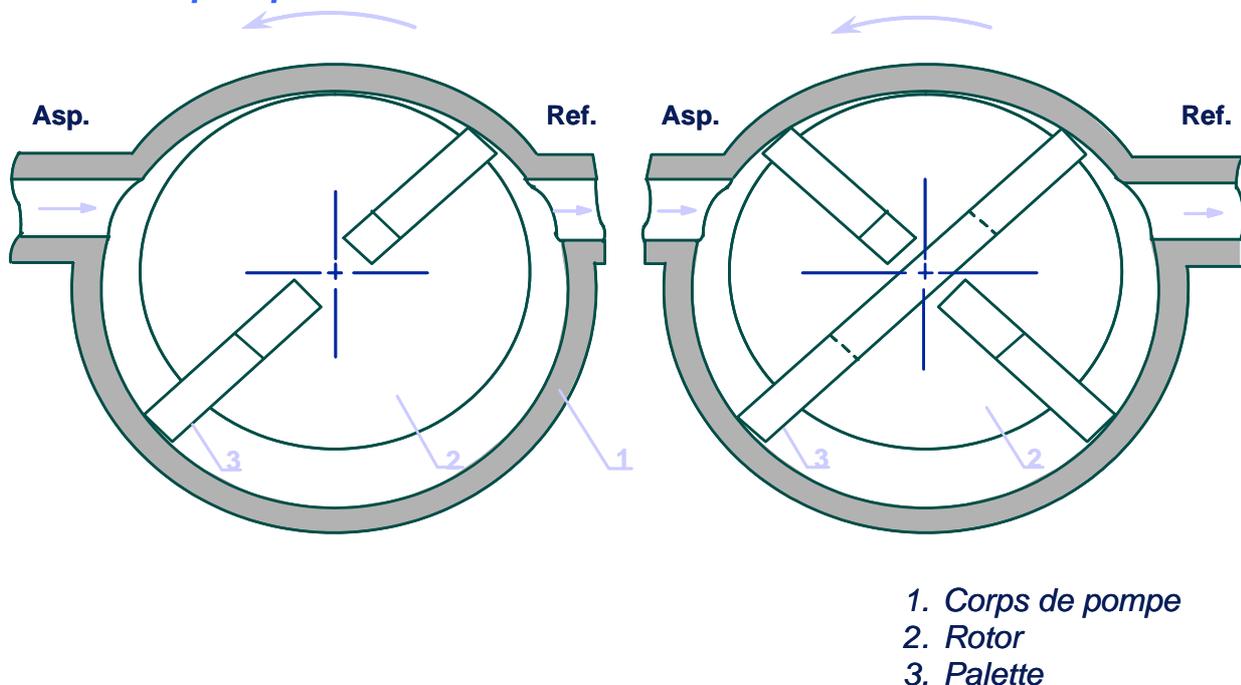


Figure 110: Pompe à palettes

Principe de fonctionnement

Dans un corps de pompe circulaire ayant deux ouvertures (aspiration et refoulement) tourne un rotor dont le diamètre est tangentiel au corps de pompe et situé au milieu des deux lumières.

Ce rotor porte des palettes encastrées dans des rainures (nombre variable suivant type de pompe) sur lesquelles elles se déplacent pour piéger le produit à pomper.

Sous l'action combinée de :

- ▶ la force centrifuge,
- ▶ de ressorts éventuels,
- ▶ de l'excentration rotor corps de pompe.

Les palettes frottent sur le corps de pompe provoquant des variations de volume qui engendrent l'aspiration et le refoulement.

Ce type d'appareil est utilisé soit pour des transferts de liquide, soit pour obtenir des vides poussés.

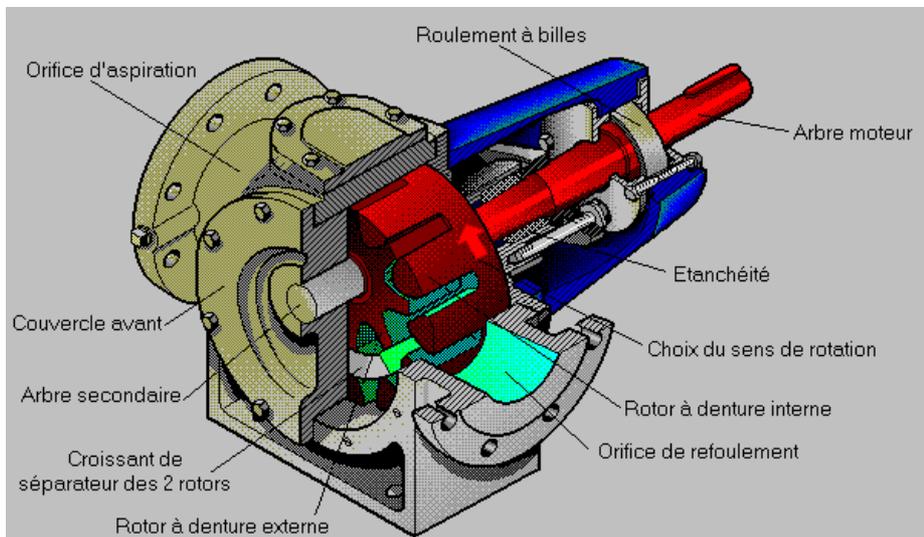
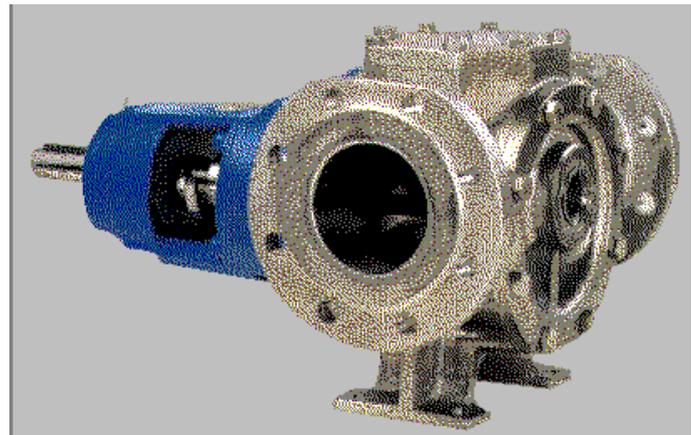
Entre pompe à palettes, compresseur à palettes ou moteur à palettes, la conception est sensiblement la même.

4.2.3.2. Pompe à engrenages.

Principe de fonctionnement

Dans un corps de pompe de profil approprié et portant des orifices d'aspiration (Asp.) et de refoulement (Ref.) tournent deux engrenages dont les dents entraînent le liquide entre creux de dents et corps de pompe.

Figure 111: Vue extérieure d'une pompe à engrenage



Avantages

- ⊕ Auto-lubrifiante
- ⊕ Auto-amorçante (sous condition de réserve d'un film lubrifiant)
- ⊕ Débits et pressions régulés en fonction des vitesses.

Figure 112: Vue écorchée d'une pompe à engrenage

Inconvénients

- ⊕ Emploi limité pour les liquides secs et abrasifs (usure rapide donc perte des performances).

Utilisation

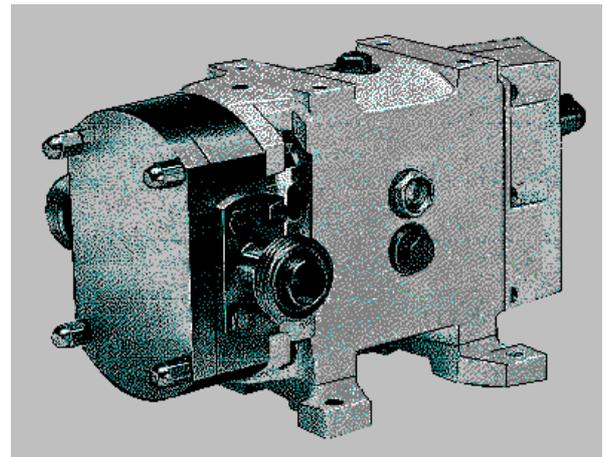
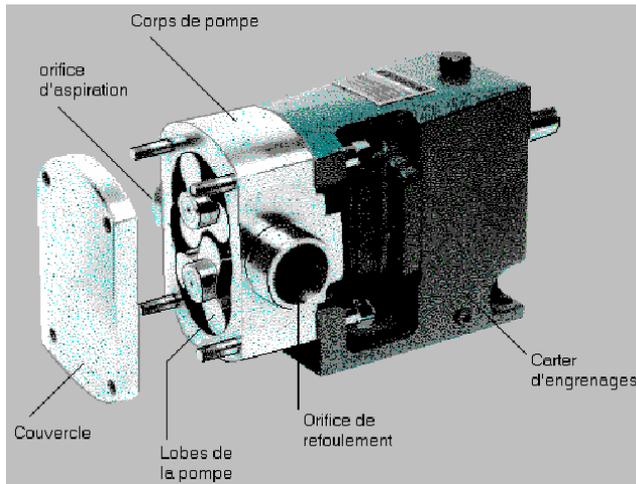
Accélérateur de circulation, graissage des machines, pompes tachymétriques, etc.

- ⊕ Débit : jusqu'à 170 m³/h
- ⊕ Pression : jusqu'à 16 bars
- ⊕ Viscosité : jusqu'à 80000 centipoises
- ⊕ Température : jusqu'à 260°C
- ⊕ Vitesse de rotation : jusqu'à 1800 tours/min
- ⊕ Liquides : non lubrifiant ou corrosifs, ou chargé de particules abrasives
- ⊕ Le sens de fonctionnement est réversible
- ⊕ Auto-amorçante
- ⊕ Peut être immergée.
- ⊕ Sécurité : un clapet de décharge doit être installé sur le refoulement. Elle doit fonctionner avec le refoulement ouvert

4.2.3.3. Pompe à lobes

- ✦ Débit : jusqu'à 200 m³/h
- ✦ Pression : jusqu'à 12 bars
- ✦ Température : jusqu'à 150°C

Figure 113: Vue extérieure pompe à lobes



- ✦ Liquides : fragiles, extrêmement visqueux, chargés mais non abrasifs
- ✦ Le sens de fonctionnement est réversible

Figure 114: Pompe à lobes ouverte

- ✦ Auto-amorçante : jusqu'à 8 m (pour de l'eau)
- ✦ Sécurité : un clapet de décharge doit être installé sur le refoulement
- ✦ Peut fonctionner à sec

Figure 115: Internes d'une pompe à lobes

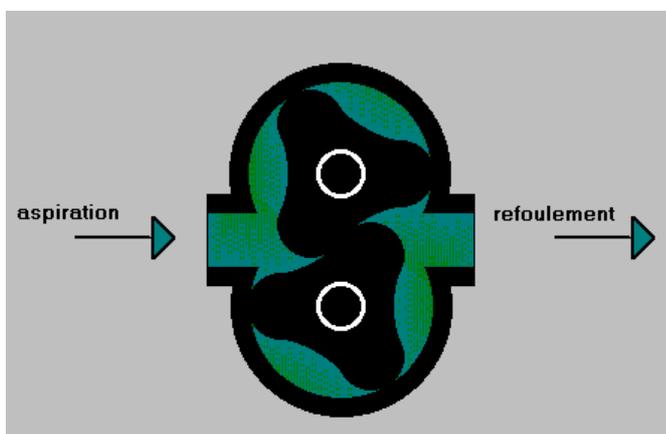
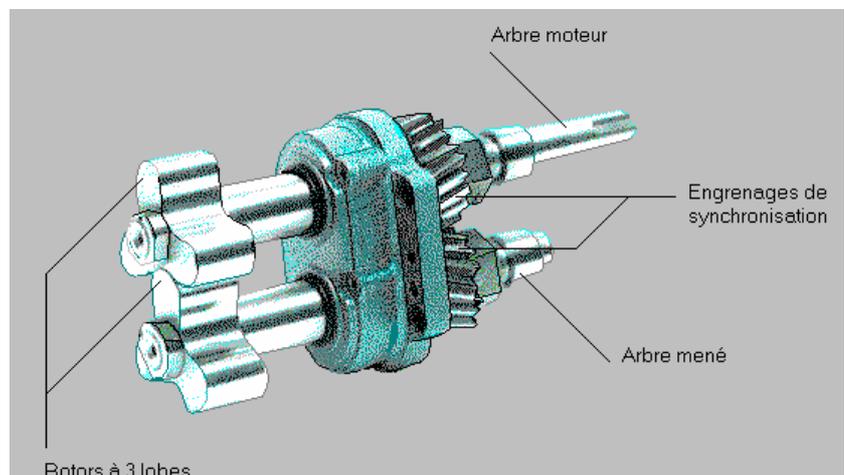
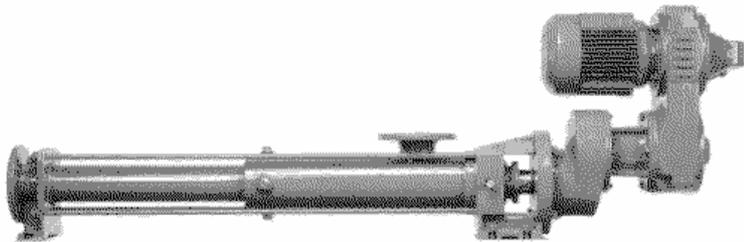


Figure 116: Fonctionnement pompe à lobes

4.2.3.4. Pompe à rotor hélicoïdal excentré (Pompe MOINEAU)



- ⊕ Débit : jusqu'à 240 m³/h
- ⊕ Pression : jusqu'à 200 bars
- ⊕ Température : de -40°C à 130°C
- ⊕ Liquides très fortement chargés ou hétérogènes
- ⊕ Réversible

Figure 117: Vue extérieure pompe Moineau

- ⊕ Fonctionnement très silencieux
- ⊕ Auto-amorçante : jusqu'à 9 m (pour de l'eau)
- ⊕ Sécurité : un clapet de décharge doit être installé sur le refoulement

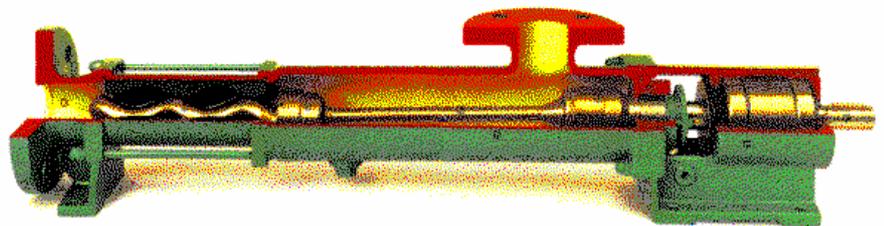
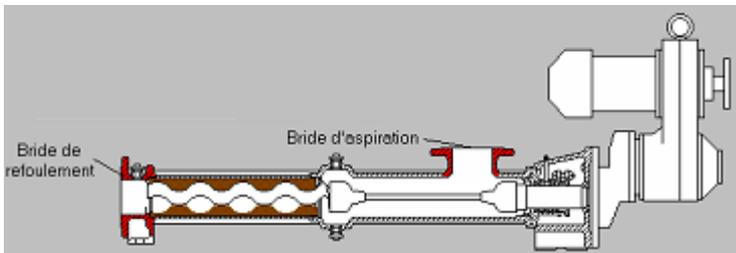


Figure 118: Vue écorchée pompe Moineau

- ⊕ Ne supporte pas le fonctionnement à sec et les particules abrasives
- ⊕ Produits très visqueux, très fragiles.



Bride de refoulement : elle porte souvent un manomètre et un système de by-pass par clapet de décharge.

Figure 119: Bride de refoulement Pompe Moineau

Bride d'aspiration : pour les produits très visqueux, ou contenant des solides de grosse taille ou en forte quantité, on peut trouver une frémie de gavage à la place de cette bride d'aspiration.

Le rotor est une vis métallique, souvent creuse pour atténuer les vibrations. Les matériaux les plus courants sont l'acier trempé, ou divers types d'acier inoxydables.

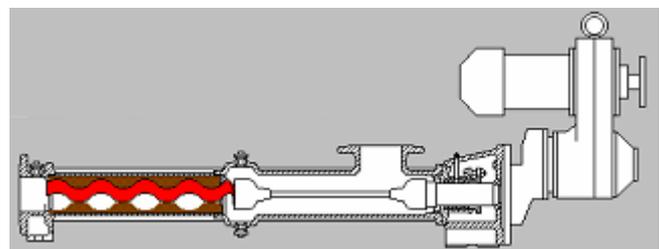
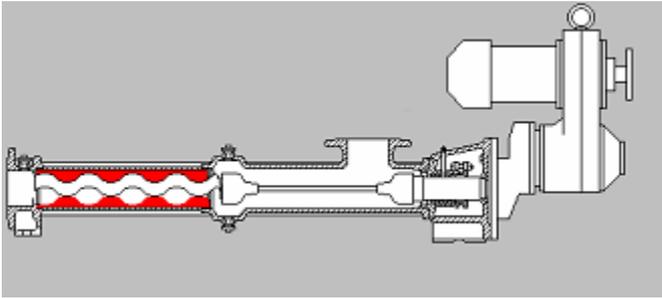


Figure 120: Rotor Pompe Moineau

Des revêtements de chrome augmentent la résistance à l'abrasion. Mécaniquement, le rotor est une vis à un filet, à profil sensiblement sinusoïdal, dont le pas est la moitié du pas du stator.



Le stator est en élastomère moulé collé dans une gaine métallique. Il se démonte très facilement et se remet en place, sans aucun joint aux extrémités.

Figure 121: Stator pompe Moineau

Mécaniquement, il s'agit d'un écrou à deux filets, dont le pas est le double de celui du stator.

La différence de pas entre le filet du rotor et le double filet du stator génère des cavités closes de toute part : les alvéoles. La rotation du rotor déplace ces alvéoles, en les « vissant » depuis le carter d'alimentation jusqu'au refoulement.

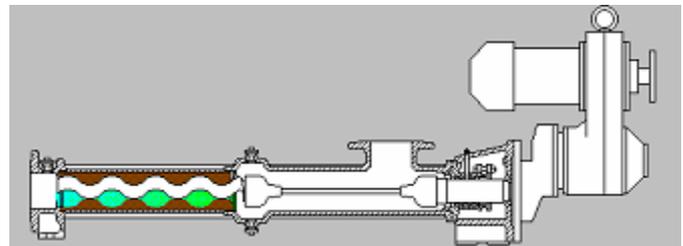
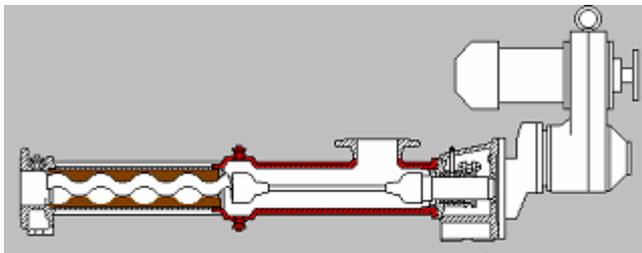


Figure 122: Alvéoles pompe Moineau



Le carter d'alimentation porte généralement une vis de vidange, et une vis pour la purge des gaz.

Figure 123: Carter d'alimentation pompe Moineau

Sa grande longueur est nécessaire pour diminuer l'obliquité de la bielle, due au désaxage rotor-stator.

Il peut être équipé d'une trappe de visite, et d'une double enveloppe pour le réchauffage ou le refroidissement.

L'étanchéité représentée ici est assurée par un presse-étoupe à tresse avec lanterne de rinçage ou de lubrification.

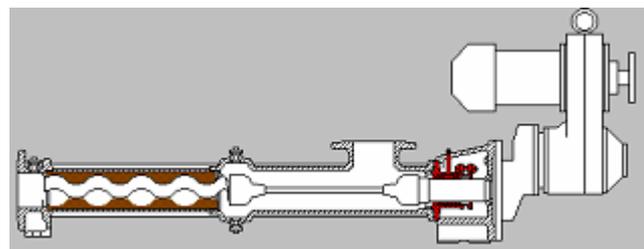
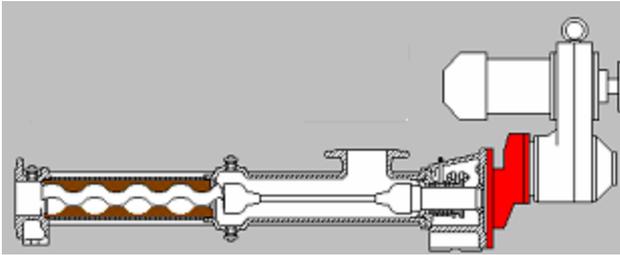


Figure 124: Étanchéités pompe Moineau

Elle peut être assurée par un presse-étoupe simple, ou par des garnitures mécaniques simples ou doubles, voire par un entraînement magnétique.



Les paliers, qui déterminent la « ligne d'arbre », sont très souvent des roulements à rouleaux coniques, montés en opposition de type « O ».

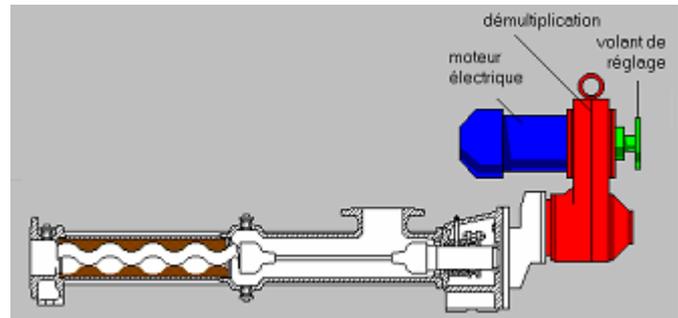
Figure 125: Réducteur à engrenages d'une pompe Moineau

Ils subissent des efforts axiaux dus à la poussée de la pression de refoulement sur l'extrémité du rotor.

Ils subissent d'importants efforts radiaux dus à la réaction de la bielle qui travaille obliquement, et aux efforts dus à l'entraînement du moto-réducteur. Ici, le palier comporte un réducteur à engrenages.

Pour pouvoir moduler le débit, il faut faire varier la vitesse de rotation du rotor.

Figure 126: Système de variation de vitesse d'une pompe Moineau



Cette variation de vitesse peut-être :

- ⊕ Mécanique, par un système de poulies à gorges mobiles (comme représenté ci contre).
- ⊕ Electrique, par variation de fréquence ou par moteur shunt à courant continu.
- ⊕ Hydraulique : par moteur hydraulique

Il peut n'y avoir qu'un réducteur seul, sans possibilité, de variation.

4.2.3.5. Pompe rotative à anneau liquide

Cette pompe ne véhicule pas de liquide, mais un gaz. Elle est généralement utilisée comme pompe à vide, et quelquefois comme compresseur.

Faible échauffement du gaz.

Prévoir un dispositif de refroidissement du liquide de l'anneau.

- ▶ soit un échangeur sur un circuit fermé
- ▶ soit renouvellement du liquide en continu

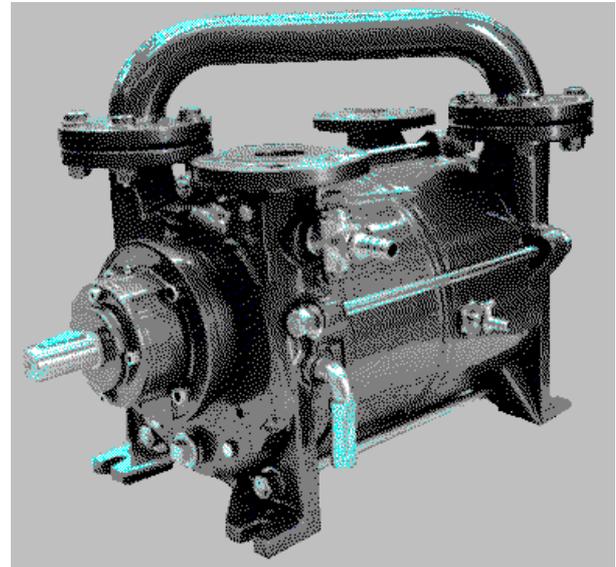
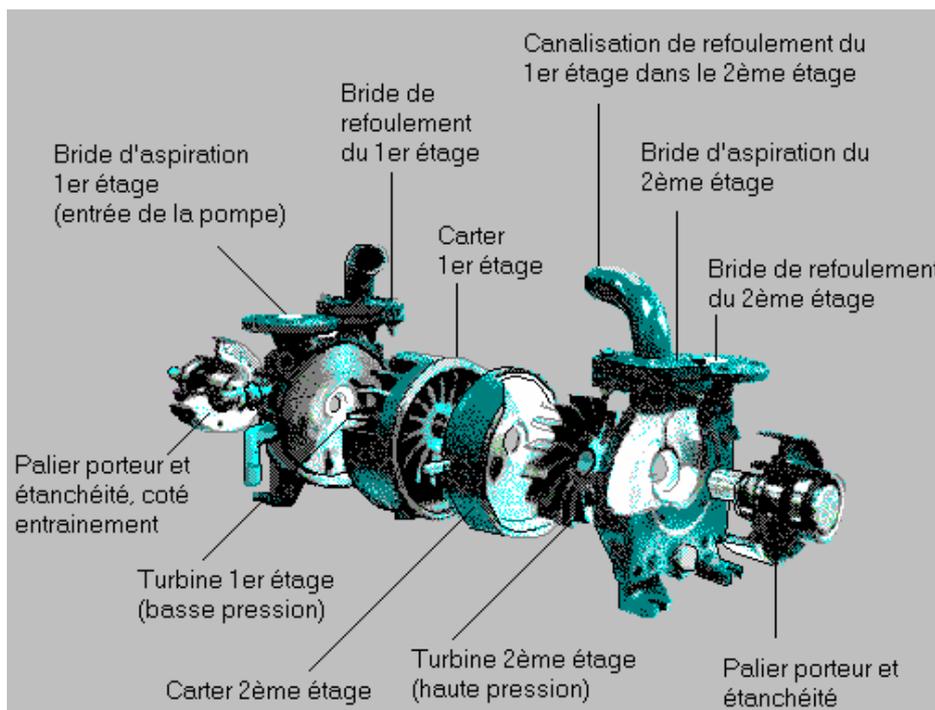


Figure 127: Vue extérieure pompe rotative à anneau liquide



Débit maxi :
30000 m³/h

Vide maxi :
25 torrs, soit environ
30 mbar.

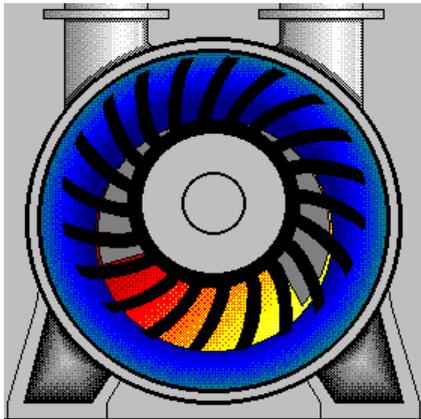
En cas d'utilisation
comme compresseur :
pression maxi 11 bars.

Figure 128: Vue écorchée d'une pompe rotative à anneau liquide

Température du gaz aspiré limitée par l'entrée en ébullition de l'anneau liquide à la pression de travail.

Peut aspirer un gaz chargé de particules, solides ou liquides, qui sera ainsi lavé.

Sécurité : clapet anti-retour, bon niveau de liquide, surveillance des températures.



Une turbine à aubes radiales met en rotation le liquide contenu dans le corps de pompe. Sous l'effet de la force centrifuge, le liquide est plaqué contre la paroi du corps de pompe, et forme « l'anneau liquide ». Le liquide le plus couramment utilisé est l'eau froide. La turbine est excentrée par rapport au corps de pompe. Le volume des alvéoles délimité par les aubes et l'anneau liquide varie continuellement.

Figure 129: Pompe rotative - schéma 1

Dans la partie où les pales sortent du liquide, le volume des alvéoles augmente et on est en aspiration. Inversement, si les pales replongent dans l'anneau liquide, on est en refoulement. La pompe peut donc aspirer et refouler un gaz en continu. La turbine (ou roue, ou rotor) est la seule partie mécanique en mouvement.

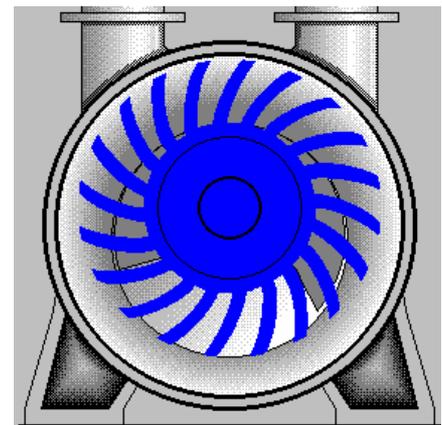
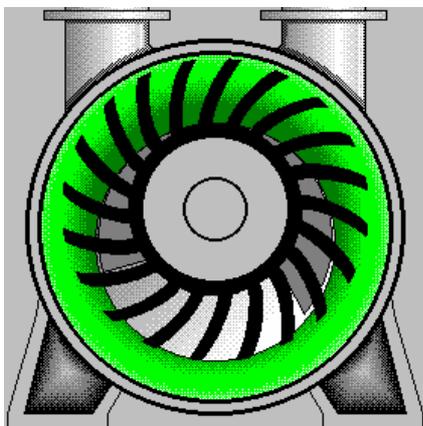


Figure 130 : Pompe rotative - schéma 2



Les aubes (ou ailette, ou pales) sont courbées vers l'avant de façon à retenir l'anneau liquide qui serait sans cela repoussé par la différence de pression qui existe entre deux alvéoles consécutives. La rotation de la turbine plaque le liquide en périphérie, contre le corps de pompe, en formant un anneau d'une épaisseur sensiblement constante. Le liquide est souvent appelé liquide de scellement, ou aussi liquide de barrage.

Figure 131: Pompe rotative - schéma 3

L'excentrage de la turbine par rapport à l'axe de l'anneau liquide crée des alvéoles (ou cavités) dont le volume varie.

Le volume des alvéoles

- ✦ commence par augmenter : on est en phase d'aspiration du gaz (basse pression)
- ✦ reste sensiblement constant : on est en phase de transport du gaz (basse pression)
- ✦ finit par diminuer : on est en phase de refoulement du gaz (haute pression)

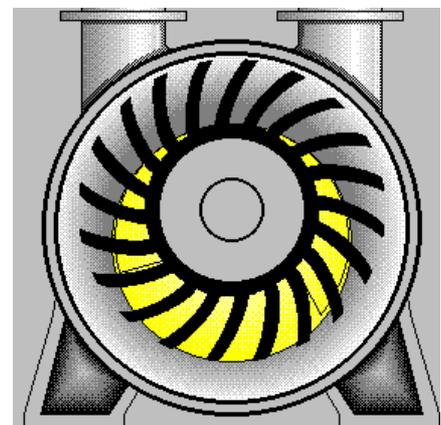
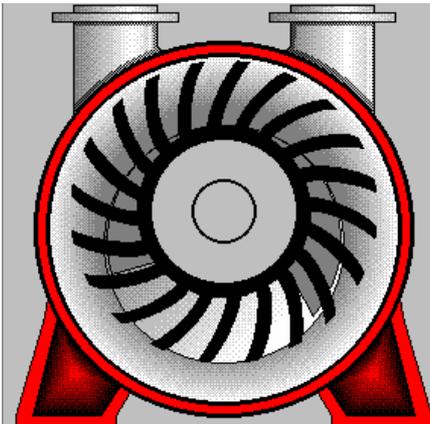


Figure 132: Pompe rotative - schéma 4

Le corps de pompe n'a pas le même axe que la turbine.



Il contient le liquide qui, entraîné par la rotation de la turbine, sera plaqué en périphérie, et formera l'anneau liquide, concentrique au corps de pompe.

Figure 133 : Pompe rotative - schéma 5

L'ouïe de refoulement est un orifice relié à la bride de refoulement. Le gaz refoulé est à la haute pression. L'ouïe de refoulement est souvent constituée par une succession de fentes ou de trous, obturés par des clapets à billes ou à lamelles. Ce dispositif permet à la pompe d'avoir une plage d'utilisation plus étendue, en s'adaptant à des variations de conditions de pression, ou de vide.

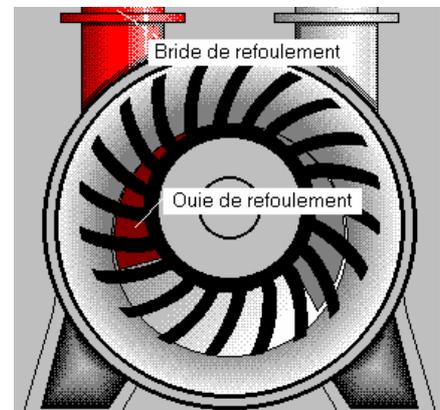
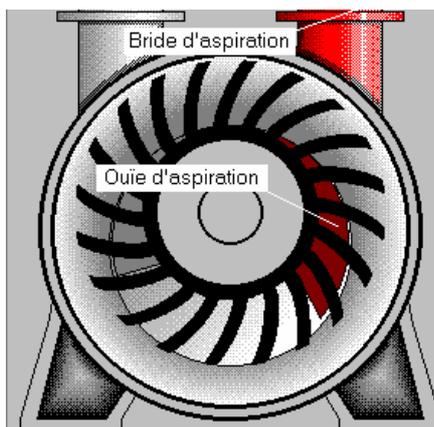


Figure 134: Pompe rotative - schéma 6



L'ouïe d'aspiration est un orifice relié à la bride d'aspiration.

Le gaz aspiré est à la basse pression

Figure 135: Pompe rotative - schéma 7

4.3. RESUME DES TYPES DE POMPES

Pour résumer cette partie, voici un tableau et un graphe qui associent les principaux types de pompes avec leurs domaines d'utilisation :

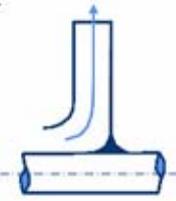
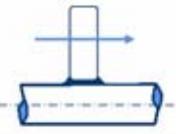
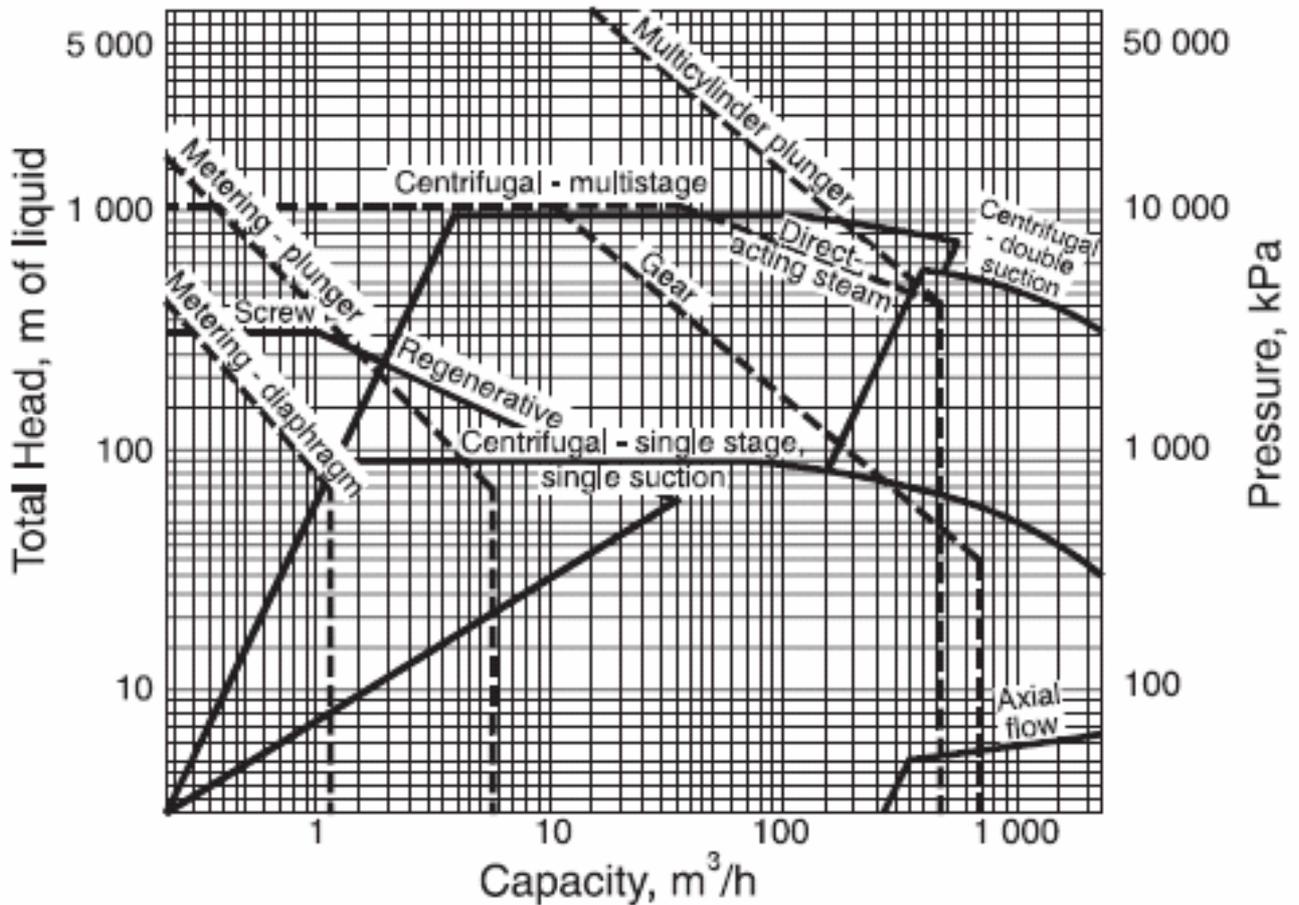
	Pompes Volumétriques		Pompes Centrifuges		
Principe de l'augmentation de pression	Par transfert de volumes de l'aspiration au refoulement		Utilisation de la force centrifuge, avec mise en vitesse, suivi de ralentissement		
Principaux types de pompes	Alternatives	Rotatives	Centrifuges	Hélico centrifuges	Hélices (axiales)
	Pompe à piston à plongeur à membrane	Pompe à palettes à engrenages à vis			
Avantages et inconvénients	Fort ΔP possible	ΔP possible moyen	Grand	ΔP possible	Faible
	Débit pulsé	Débit régulier	Faible	Débit	Grand
	Débit indépendant de la ΔP	Débit peu variable avec la ΔP	Débit régulier Débit très variable au ΔP Non adapté aux très faibles débits Non adapté aux produits visqueux		
	Adaptées aux faibles et très faibles débits				
Possibilité de pompage des produits visqueux	Adapté aux produits visqueux				

Table 3: Tableau récapitulatif des principaux types de pompes



Pump coverage chart based on normal ranges of operation of commercially available types.
Solid lines - use left ordinate, head scale. Broken lines - use right ordinate, pressure scale.

Figure 136: Graphe de sélection de pompes

4.4. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES DIFFERENTS TYPES

Dans ce chapitre nous allons traiter des différents avantages et inconvénients qui sont associés aux deux grands types de pompes :

✦ Les pompes volumétriques

- les pompes volumétriques alternatives
 - pompe à piston
 - pompe à membrane
- les pompes volumétriques rotatives
 - pompe à engrenage
 - pompe à vis
 - pompe à palette
 - pompe à rotor hélicoïdal excentrique

✦ Les pompes centrifuges

4.4.1. Les pompes volumétriques alternatives

Qualités des pompes alternatives :

- ✦ Robustesse permettant d'assurer des services continus.
- ✦ Faible vitesse réduisant l'usure et facilitant l'aspiration des produits fluides et visqueux.
- ✦ Souplesse de fonctionnement (débit variable)
- ✦ Facilité d'entretien et de remplacement des pièces d'usure.
- ✦ Bon rendement volumétrique, viscosité peu sensible.
- ✦ Bon rendement mécanique (90%)

Inconvénients des pompes alternatives :

- ✦ Poids – Prix - encombrement élevé
- ✦ Débit saccadé.

	Avantages	Inconvénients	Utilisations
A piston	Débit précis Débit réglable Rendement élevé	Débit par a-coups Prix élevé Sensible aux particules Résistance chimique limitée	Liquides purs, peu corrosifs, non dangereux P → 100 bars V → 20 m ³ /h
A membrane	Débit précis Débit réglable Rendement élevé Moins sensible aux particules Très bonne résistance chimique	Débit par a-coups Prix élevé Température de service limitée	Liquides chargés, corrosifs, dangereux P → 20 bars V → 30 m ³ /h

Table 4: Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des pompes volumétriques alternatives

4.4.1.1. Les pompes à piston

Avantages :

- ✦ Fonctionnement à sec sans dommage.
- ✦ Bon rendement (90 %).
- ✦ Pression au refoulement très importante.

Inconvénients :

- ✦ Débit limité.
- ✦ Viscosités assez faibles.
- ✦ Pompage de particules solides impossible.
- ✦ Bon fonctionnement que si étanchéité parfaite entre le cylindre et le piston.
- ✦ Pulsations importantes au refoulement.

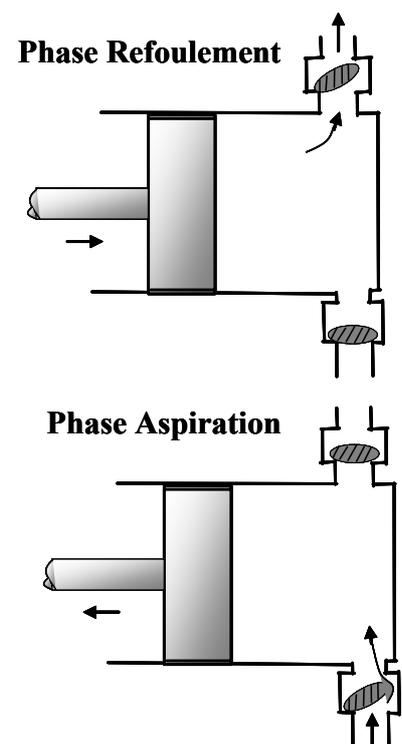


Figure 137: Principe - Pompe à piston

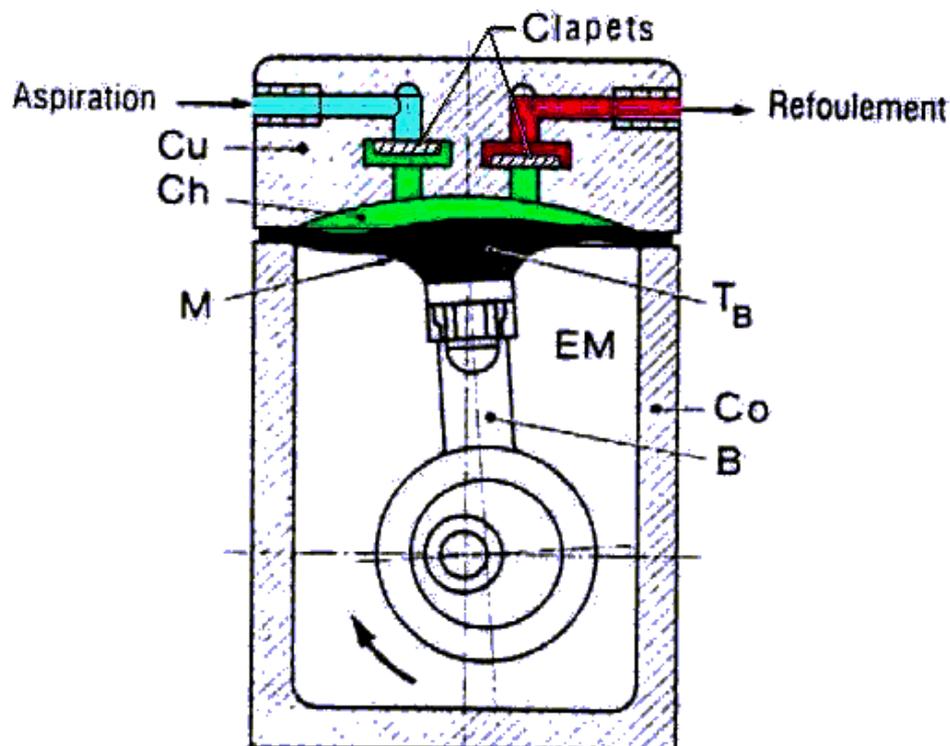
4.4.1.2. Les pompes à membrane

Avantages :

- ✦ Fonctionnement à sec sans dommage
- ✦ Propreté absolue du liquide pompé
- ✦ Bon rendement (90 %)

Inconvénients :

- ✦ Débit limité.
- ✦ Viscosités assez faibles
- ✦ Pompage de particules solides impossible
- ✦ Bon fonctionnement que si l'étanchéité est parfaite entre le cylindre et le piston
- ✦ Pulsations importantes au refoulement. (système amortisseur indispensable)



B	bielle	EM	ensemble mécanique
Ch	chambre de compression	M	membrane moulée
Co	corps de pompe	T _B	tête de bielle
Cu	culasse		

Figure 138: Principe - Pompe à membrane

4.4.2. Les pompes volumétriques rotatives

Qualités des pompes rotatives :

- ✦ Faible coût à l'achat
- ✦ Qualités auto-amorçantes
- ✦ Absence de clapets internes
- ✦ Faible amplitude des pulsations de débit
- ✦ Excellent rendement.

Inconvénients des pompes rotatives :

- ✦ Limitation de pression au refoulement par une soupape de sureté de qualité montée en by-pass.
- ✦ Usure admise pour 6.000 heures de marche

	Avantages	Inconvénients	Utilisations
Engrenages Vis Lobes	Débit régulier Débit réglable Précision du débit Rendement élevé Encombrement réduit	Sensible aux particules Sensible aux liquides corrosifs Mécanique compliquée	Liquides purs et visqueux P → 100 bars V → 200 m ³ /h
Péristaltiques Piston oscillant	Débit précis Débit réglable Résistant aux liquides corrosifs Autoamorçante Peu sensible aux solides et suspensions	Débit par a-coups Température de service limitée Usure du tuyau ou membrane	Liquides corrosifs et chargés P → 4 bars V → 20 m ³ /h
Vis excentriques	Débit réglable Peu sensible aux solides et suspensions Statot facile à déplacer	Encombrement important Température de service limitée Usure du stator Sensible aux liquides corrosifs	Liquides chargés et visqueux P → 10 bars V → 150 m ³ /h

Table 5: Récapitulatif des avantages et inconvénients des pompes volumétriques rotatives

4.4.2.1. Les pompes à engrenages extérieurs

Avantages :

- ⊕ Le débit est régulier.
- ⊕ La pompe est réversible.
- ⊕ La pompe à engrenages à chevrons permet de rendre le mouvement plus uniforme.
- ⊕ Pas de clapets nécessaires

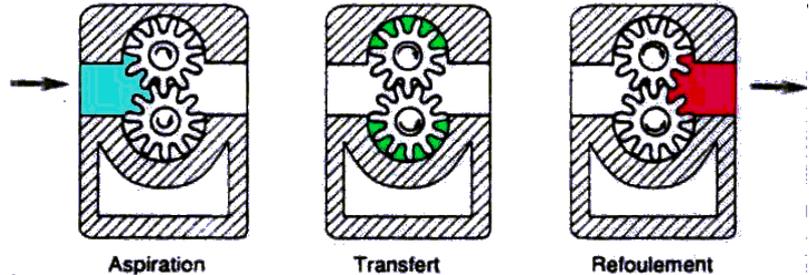


Figure 139: Principe - Pompe à engrenages extérieurs

Inconvénients :

- ⊕ Les pièces d'usure sont nombreuses (coussinets, 2 ou 4 boîtiers d'étanchéité, etc.)
- ⊕ Elles n'admettent pas le passage de particules solides sous peine de destruction totale du mécanisme.
- ⊕ Elles supportent mal les produits abrasifs qui ont pour effet d'accélérer l'usure mécanique des pignons et de diminuer l'étanchéité entre le corps de pompe et les dents.

4.4.2.2. Les pompes à engrenages intérieurs

Avantages :

- ⊕ Le débit est régulier.
- ⊕ La pompe est réversible.
- ⊕ Un seul boîtier d'étanchéité est nécessaire.
- ⊕ bas *NPSH* requis

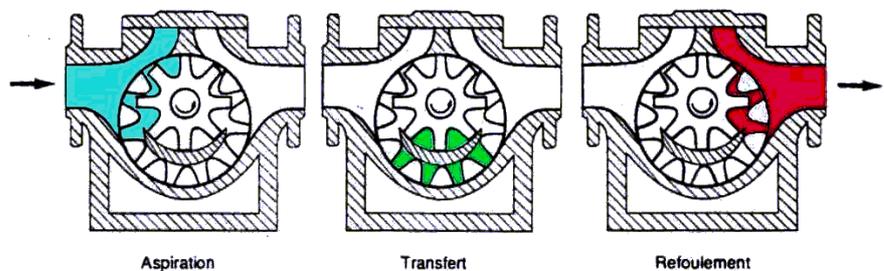


Figure 140: Principe - Pompe à engrenages intérieurs

Inconvénients :

- ✦ Pouvoir d'aspiration faible.
- ✦ Elles n'admettent pas le passage de particules solides sous peine de destruction totale du mécanisme.
- ✦ Le porte-à-faux peut créer une surcharge sur l'arbre.

4.4.2.3. Pompes à vis

Avantages :

- ✦ Le débit est régulier.
- ✦ La pompe est réversible.
- ✦ La pompe est silencieuse

Inconvénients :

- ✦ Elles n'admettent pas le passage de particules solides, sous peine de destruction totale du mécanisme.

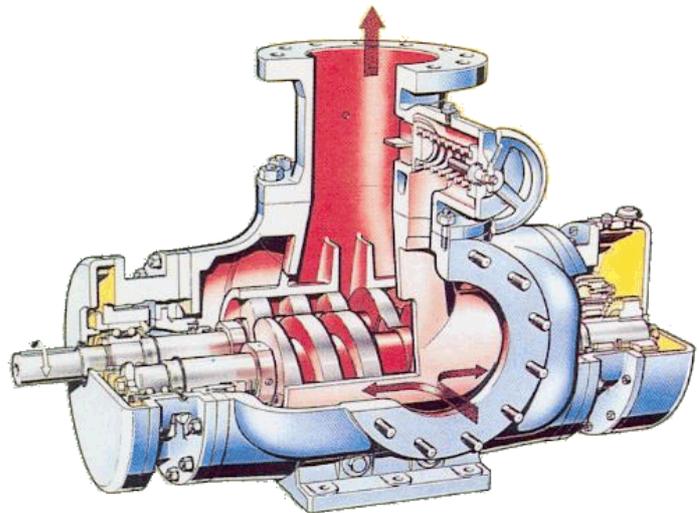


Figure 141: Principe - Pompe à vis

4.4.2.4. Pompes à palettes

Avantages :

- ✦ Il n'y a ni brassage, ni laminage, ni émulsionnage du liquide pompé.
- ✦ Le débit est régulier.
- ✦ La pompe est réversible.

Inconvénients :

- ✦ Les palettes usent le corps par frottements.
- ✦ Le pompage des fluides visqueux est difficile.

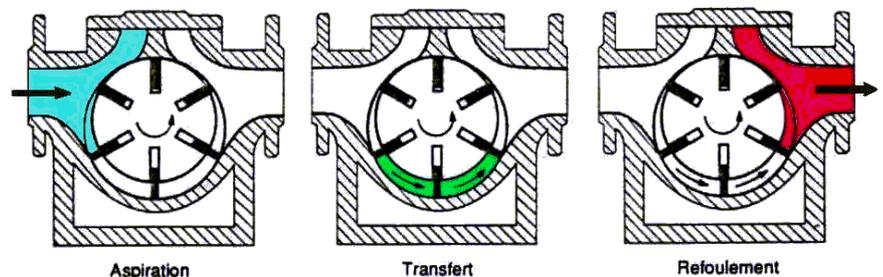


Figure 142: Principe - Pompe à palettes

4.4.2.5. Pompes à rotor hélicoïdal excentré

Avantages :

- ✦ Le débit est régulier.
- ✦ Elles sont silencieuses.
- ✦ Elles sont réversibles.

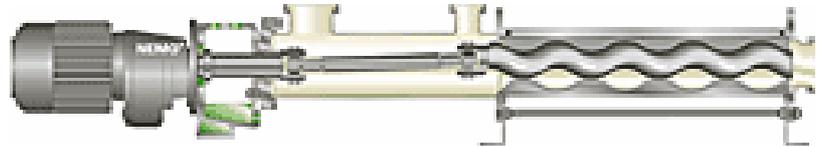


Figure 143: Principe - Pompe à rotor hélicoïdal excentré

Inconvénients :

- ✦ Elles ne doivent pas tourner à vide.
- ✦ Elles ne peuvent pas être utilisées à des températures très élevées (70 à 80 ° au maximum), à cause du stator.
- ✦ Maintenance assez difficile et coûteuse.
- ✦ Encombrement important

4.4.3. Les pompes centrifuges

Avantages :

- ✦ des machines de construction simple, sans clapet ou soupape, d'utilisation facile et peu coûteuses.
- ✦ à caractéristiques égales, elles sont plus compactes que les machines volumétriques
- ✦ leur rendement est souvent meilleur que celui des « volumétriques »
- ✦ elles sont adaptées à une très large gamme de liquides
- ✦ leur débit est régulier et le fonctionnement silencieux
- ✦ en cas de colmatage partiel ou d'obstruction de la conduite de refoulement, la pompe
- ✦ centrifuge ne subit aucun dommage et l'installation ne risque pas d'éclater. La pompe se comporte alors comme un agitateur...

Inconvénients :

- ✦ impossibilité de pomper des liquides trop visqueux
- ✦ production d'une pression différentielle peu élevée (de 0,5 à 10 bar)
- ✦ elles ne sont pas auto-amorçantes
- ✦ à l'arrêt ces pompes ne s'opposent pas à l'écoulement du liquide par gravité (donc, vannes à prévoir....)

	Avantages	Inconvénients	Utilisations
Général	Débit stable Faible prix Faible encombrement Fiable	Pas autoamorçante Débits et pression de transport interdépendants Faible rendement	Débits importants Liquides purs et suspensions
A entrainement magnétique	Pas de système d'étanchéité Pas de pollution du liquide	Sensible aux particules Température limitée Puissance limitée	Liquides purs, toxiques et corrosifs
A rotor noyé		Sensible aux particules	

Table 6: Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des pompes centrifuges

4.5. EXERCICES

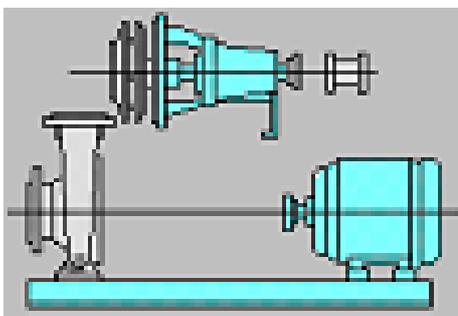
27. Une pompe à double-flux possède une aspiration et deux refoulements.

- Vrai
- Faux

28. Retrouver les définitions qui conviennent aux éléments suivants :

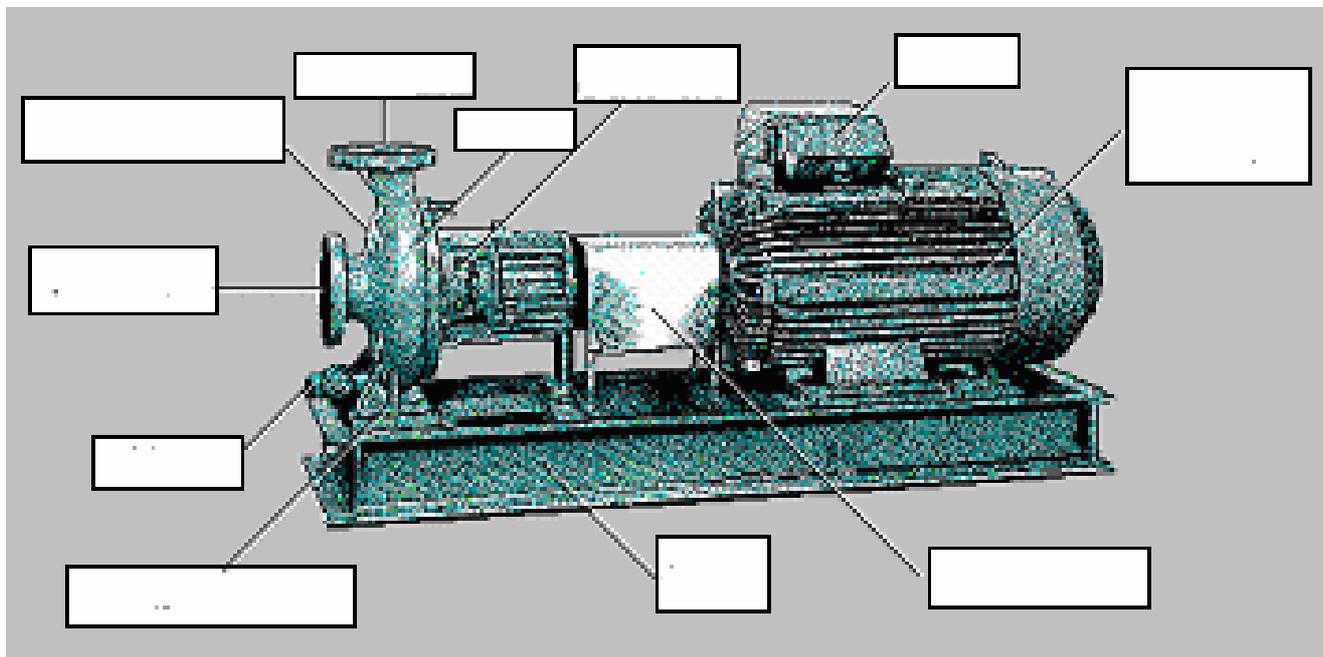
Arbre ●	● Elément qui transforme l'énergie reçue par l'arbre en énergie hydraulique.
Paliers ●	● Partie du corps de pompe qui prolonge l'effet hydraulique de la roue.
Impulseur ●	● Supporte l'impulseur et lui communique l'énergie.
Tresses ou garnitures mécaniques ●	● Guide l'arbre en rotation.
Volute ●	● Etanchéité entre le liquide qui se trouve en pression et l'atmosphère.
Lignes auxiliaires ●	

29. Le système « Back-Pull-Out » permet de déposer l'ensemble mobile en laissant le corps de pompe et le moteur en place



- Oui
- Non

30. Compléter le schéma suivant



31. Qui est qui ?

Impulseur ouvert ●



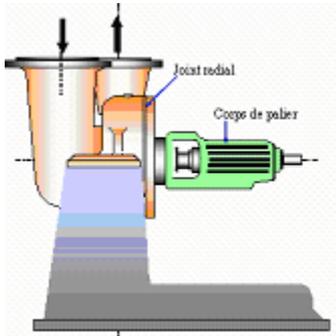
Impulseur fermé ●



Impulseur partiellement ouvert ●



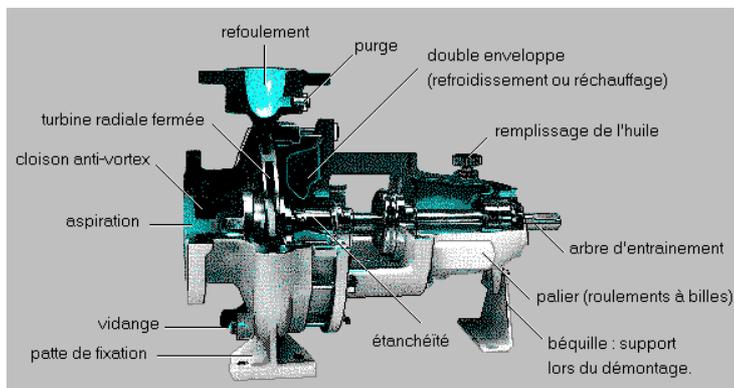
32. A quel type correspond cette pompe ?



A - A

T - T

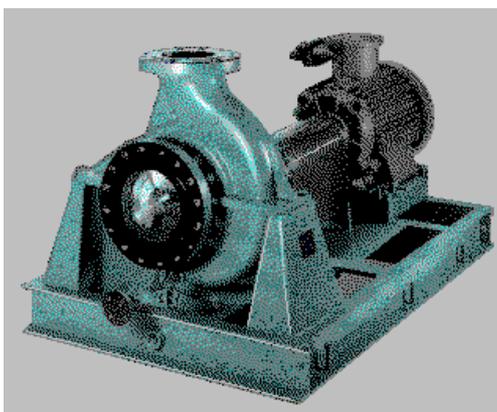
33. A quel type correspond cette pompe ?



A - A

T - T

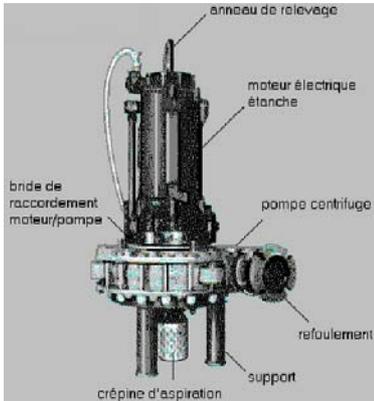
34. Une pompe patte à l'axe est prévue pour des conditions de fonctionnement difficiles en continu



A - A

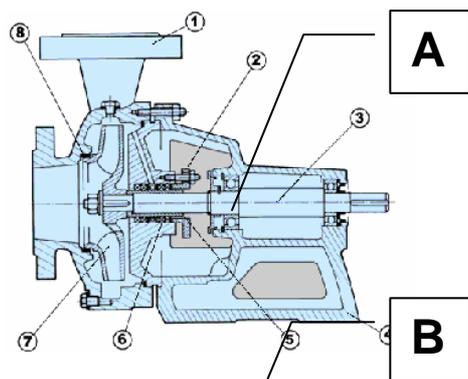
T - T

35. Une pompe immergée n'est pas de conception monobloc

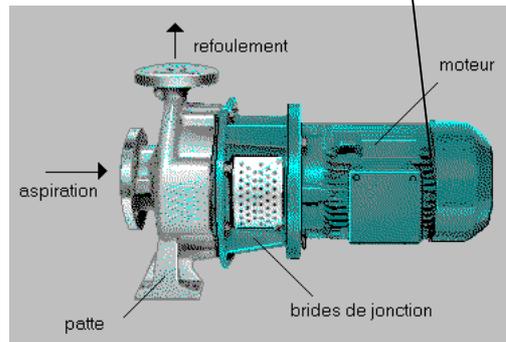
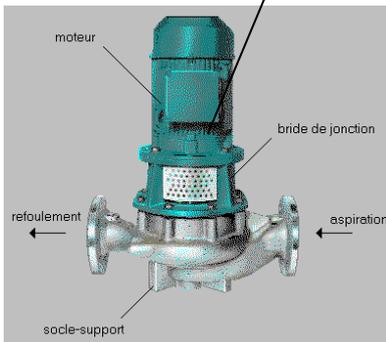


- Vrai
- Faux

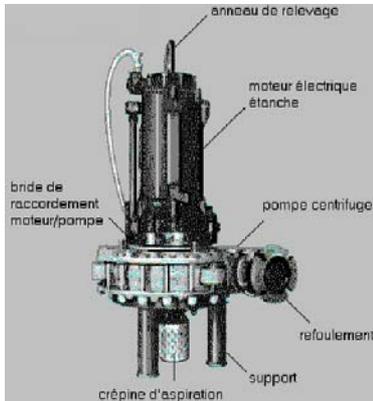
36. A quels types correspondent ces pompes ?



- A ● ● In-line
- B ● ● Monobloc
- C ● ● Palier

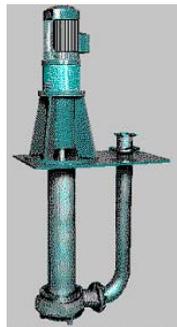


37. Peut-on retirer la pompe immergée sans qu'il soit nécessaire de descendre dans la fosse ?



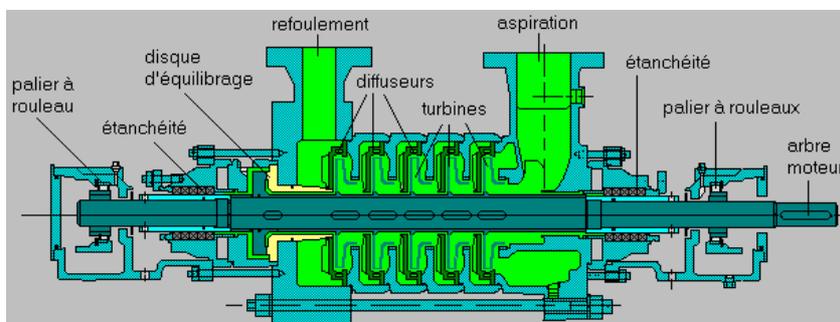
- Oui
- Non

38. Une pompe verticale est utilisée pour vider des fosses ou des réservoirs enterrés, quand une pompe submersible n'est pas acceptable.



- Vrai
- Faux

39. Les pompes multicellulaires sont utilisées pour refouler des liquides à de très faibles pressions



- Vrai
- Faux

40. Les pompes à canal latéral ne se désamorcent pas si elles aspirent un mélange de gaz et de liquide.



- Vrai
- Faux

41. Les pompes à canal latéral doivent démarrer refoulement fermé

- Vrai
- Faux

42. On utilise les pompes à entraînement magnétique pour les produits toxiques et corrosifs

- Vrai
- Faux

43. Les pompes volumétriques sont dites « auto-amorçantes » car, dès leur mise en route, elles provoquent une diminution de pression en amont qui permet l'aspiration du liquide.

- Vrai
- Faux

44. Les pompes centrifuges permettent d'obtenir des hauteurs manométriques totales beaucoup plus élevées que les pompes volumétriques.

- Vrai
- Faux

45. Le rendement des pompes volumétriques est souvent très proche des 90%

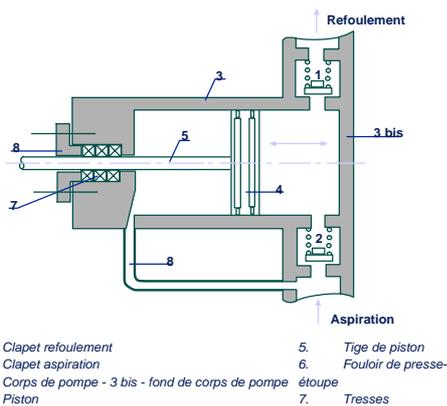
- Vrai
- Faux

46. Le réglage du débit s'effectue en agissant sur la vitesse de rotation du rotor pour les pompes rotatives et sur la fréquence ou la course du piston pour les pompes alternatives.

- Vrai
- Faux

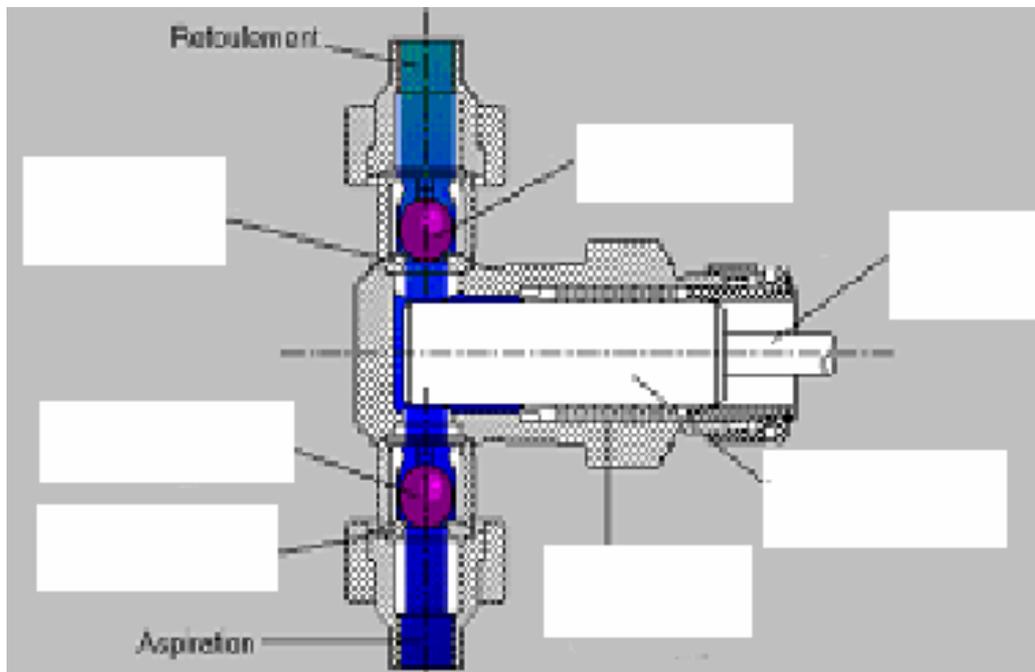
47. Quels sont les deux principes de fonctionnement des de pompes volumétriques.

48. Est-ce une pompe alternative ?

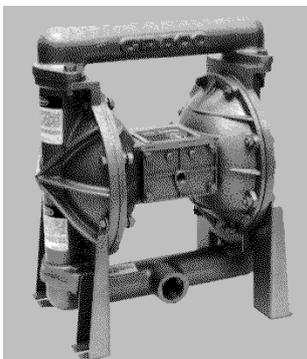


- Simple effet
- Double effet

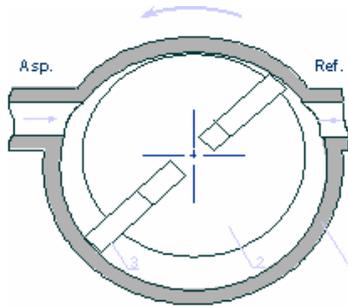
49. Compléter le schéma d'une tête de pompe doseuse:



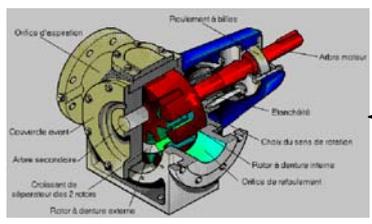
50. Quel est ce type de pompe ?



51. Quels sont ces types de pompes volumétriques rotatives?



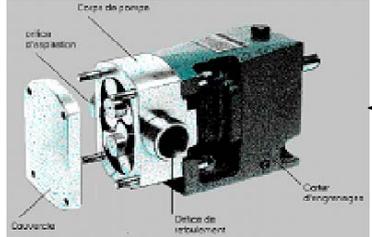
←



←



←

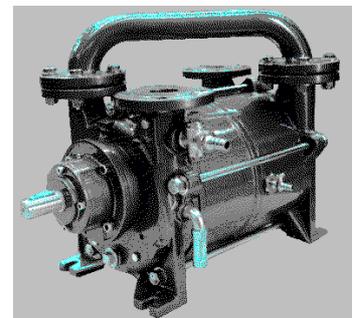


←

52. Les pompes Moineau sont utilisées peu visqueux

- Vrai
- Faux

53. Quel type de pompe est utilisée pour véhiculer du gaz et non du liquide ?



54. Citer 3 avantages des pompes alternatives

55. Citer 2 inconvénients des pompes alternatives

56. Citer 3 avantages des pompes rotatives

57. Citer 1 inconvénient des pompes rotatives

58. Citer 3 avantages des pompes centrifuges

59. Citer 2 inconvénients des pompes centrifuges

5. REPRESENTATION ET DONNEES DES POMPES

Nous décrivons dans ce chapitre comment est représenté une pompe sur les principaux documents mis à la disposition de l'exploitant.

5.1. REPRESENTATION SUR PFD (PROCESS FLOW DIAGRAM)

Plan de circulation des Fluides (PCF/PFD) : ce document édité lors de la phase projet, présente sous format simplifié, les principales lignes et capacités process ainsi que leurs paramètres de fonctionnement principaux.

Les exemples de PFD (Process Flow Diagram) ci-dessous montrent un système de pompage sur une unité de séparation.

Les pompes d'huile GX 301 A/B/C aspirent l'huile séparée au DS 303 et expédient en aval l'huile vers un pipe export en passant par deux dessaleurs DS305 et DS306.

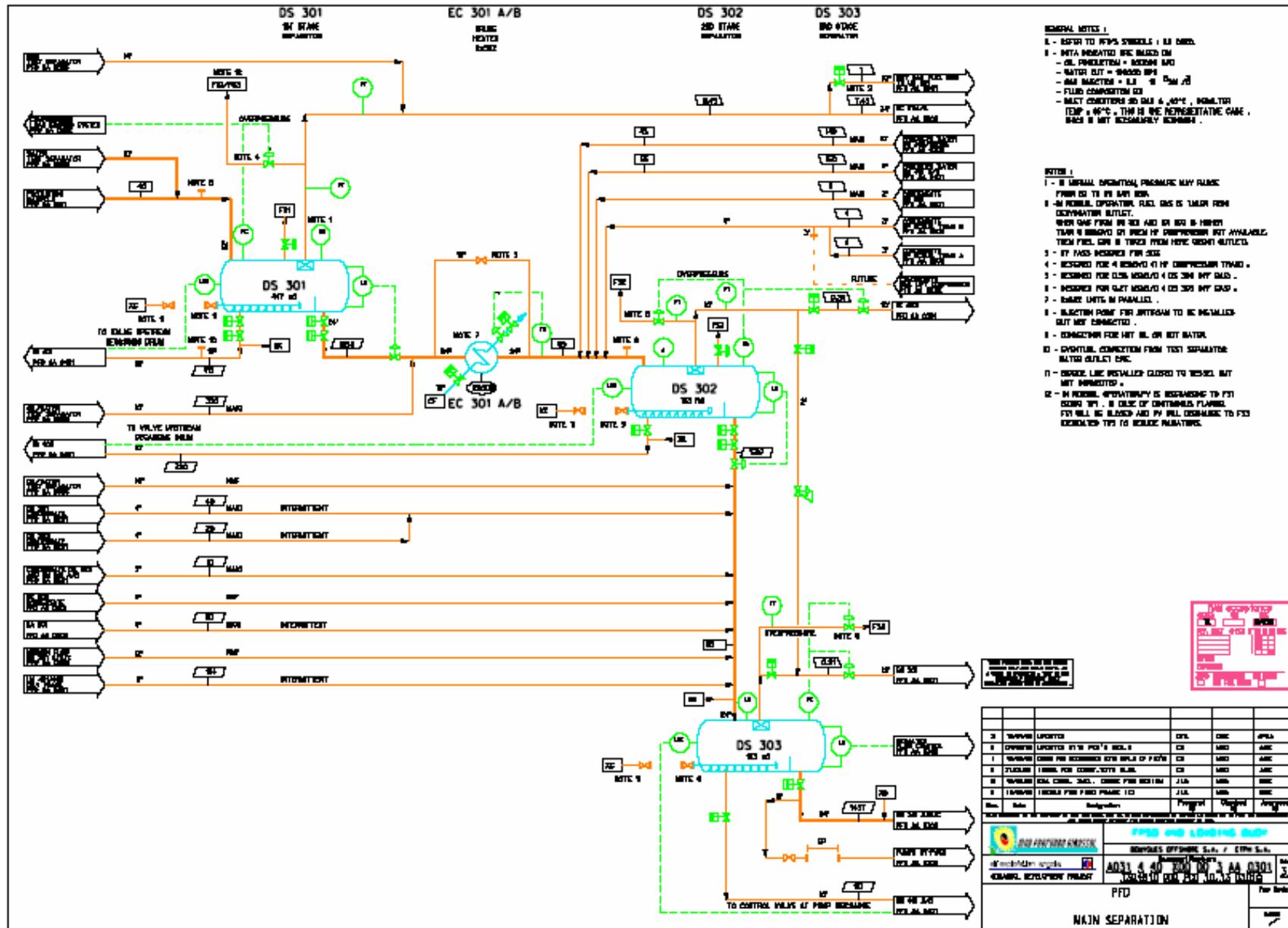


Figure 144: Exemple de PFD – Circuit amont pompe

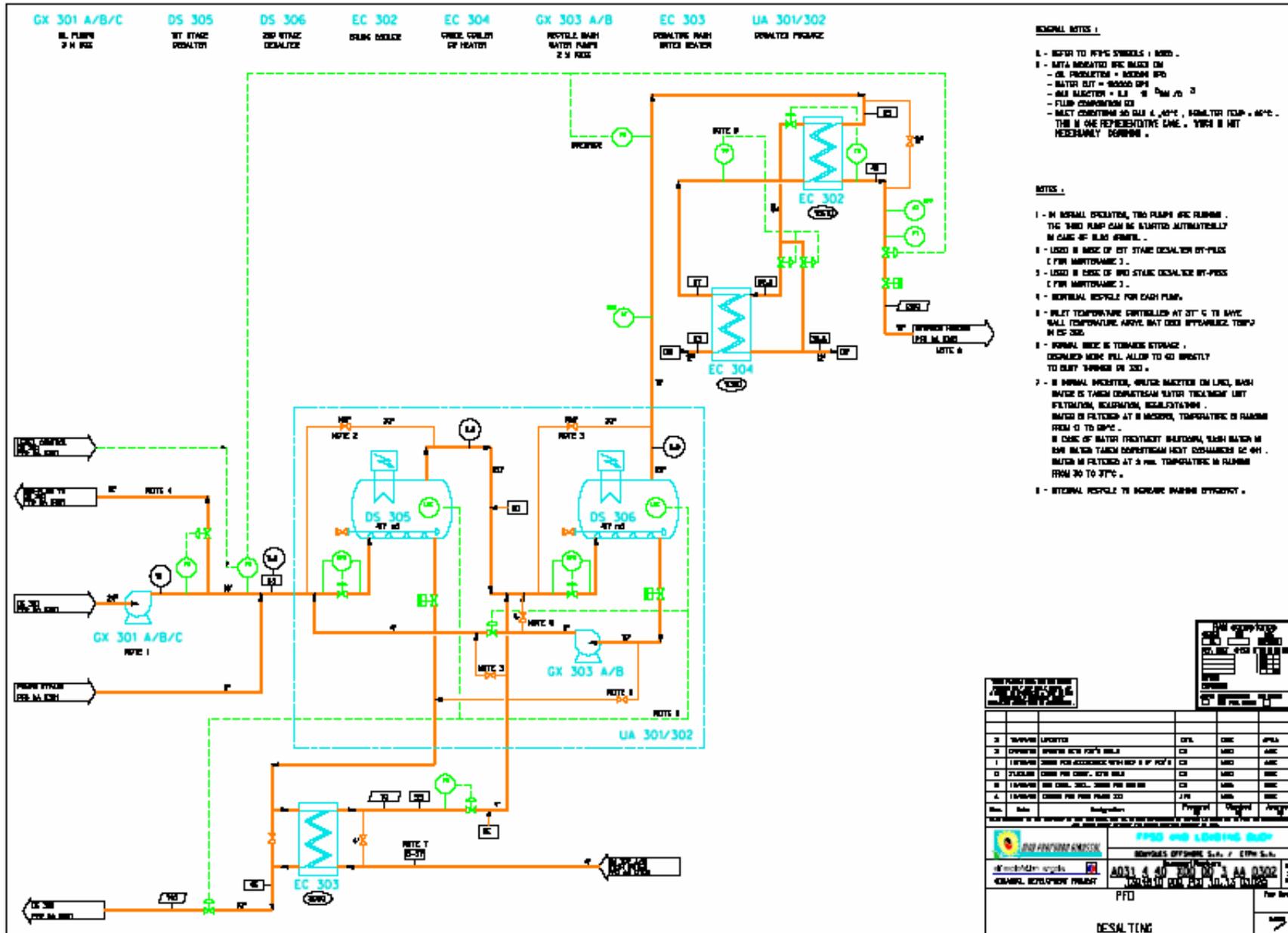


Figure 145: Exemple de PFD - Circuit aval pompe

5.2. REPRESENTATION SUR P&ID (PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAM)

Ce document édité lors de la phase projet, présente sous format beaucoup plus complexe que le PFD, toutes les lignes et capacités process ainsi que tous leurs paramètres de fonctionnement.

L'exemple ci-dessous reprend l'exemple précédent, mais sous un format beaucoup plus détaillé : Le P&ID.

Dans ce système de pompage, il y a trois pompes.

Deux pompes sont en service. L'autre pompe est en secours automatique et peut être démarrée en cas de débit de pointe (arrivée d'un bouchon).

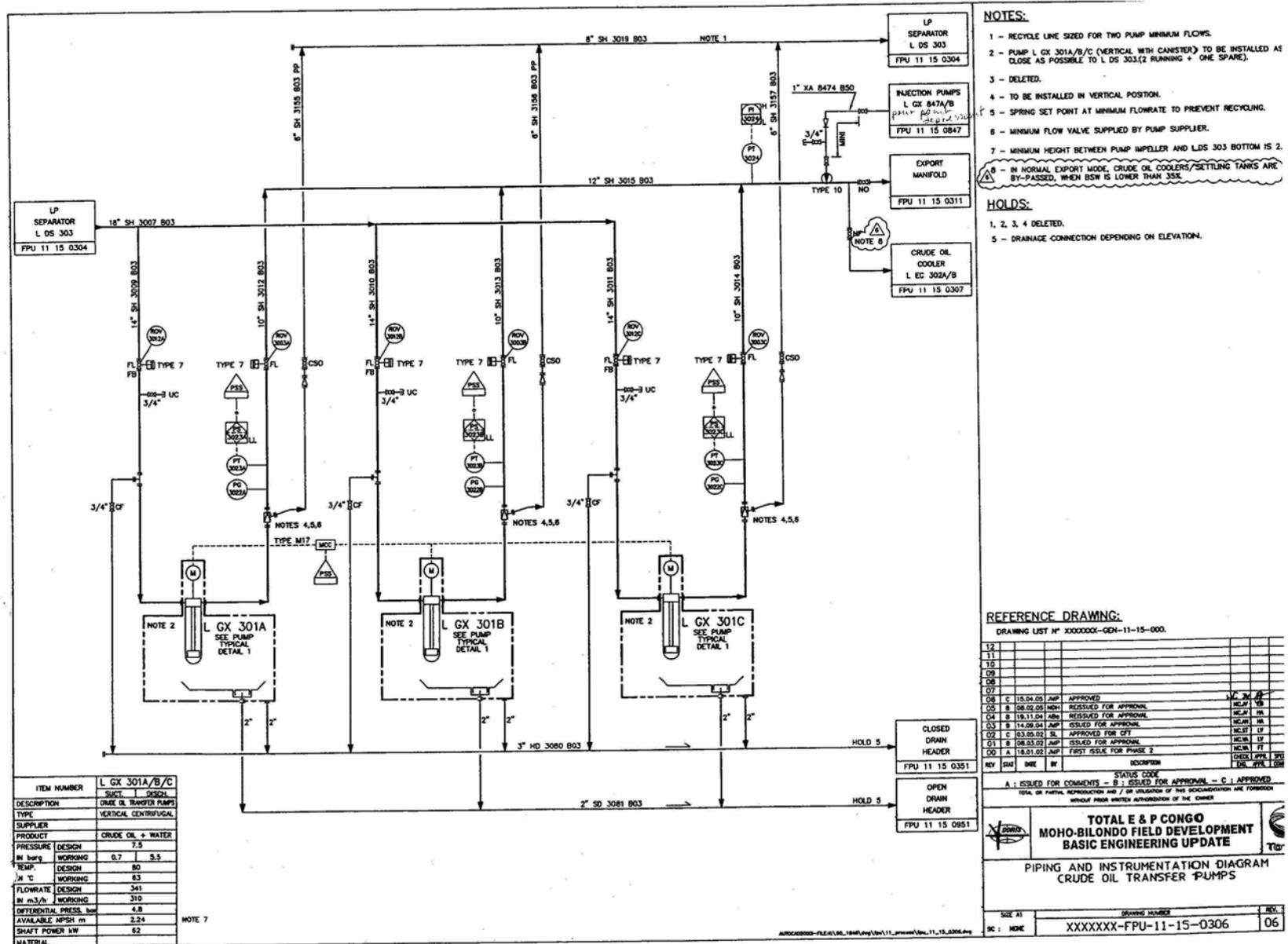


Figure 146: Exemple de PID - Système de pompage d'une séparation

5.3. DATASHEETS D'UNE POMPE

FIG. 42 PROCESS DATA SHEET				
PUMP				
Job		Unit :		
Service : DEMETHANISER REB. PUMP		Item :		Spare : YES
FLUID HANDLED				
1				
2	Fluid circulated			
3	Pumping temperature	°C	Nor. 27	Max. 85
4	Viscosity at P.T.	cp	0.13	
5	Vapor pressure at .T.	bar abs	18.20	
6	Specific gravity 15/4		0.504	
7	Specific gravity at P.T.		0.500	
OPERATING CONDITIONS, EACH PUMP				
8				
9	Capacity	m ³ /h	Nor. 162	Rated . 200
10	Discharge pressure	bar gage	23.05	
11	Suction pressure	bar gage	Nor.	Rated 18.70
12	Differential pressure	bar	4.35	
13	Differential head	m	88.7	
14	NPSH available	m	10.2	
15	Hydraulic horse power	kW	24.2	
PUMP				
16				
17	Proposed type			
18	Efficiency	%	(Estimated)	68
19	Estimated power rated	kW	35.6	
20	Speed	RPM	2980	
21	Corrosion or erosion due to		-	
22	Recommend materials		CS	
DRIVER				
23				
24	Type		ELECTRIC MOTOR	
25	Rating	kW	45	
26	Speed	RPM	2980	
27	VOLTS/Phase/Cycle		380/3/50	
28	Efficiency	%	(Estimated)	88
29	Estimated operating Load	kWh/h	40.5	

Table 7: Feuille de données procédé d'une pompe

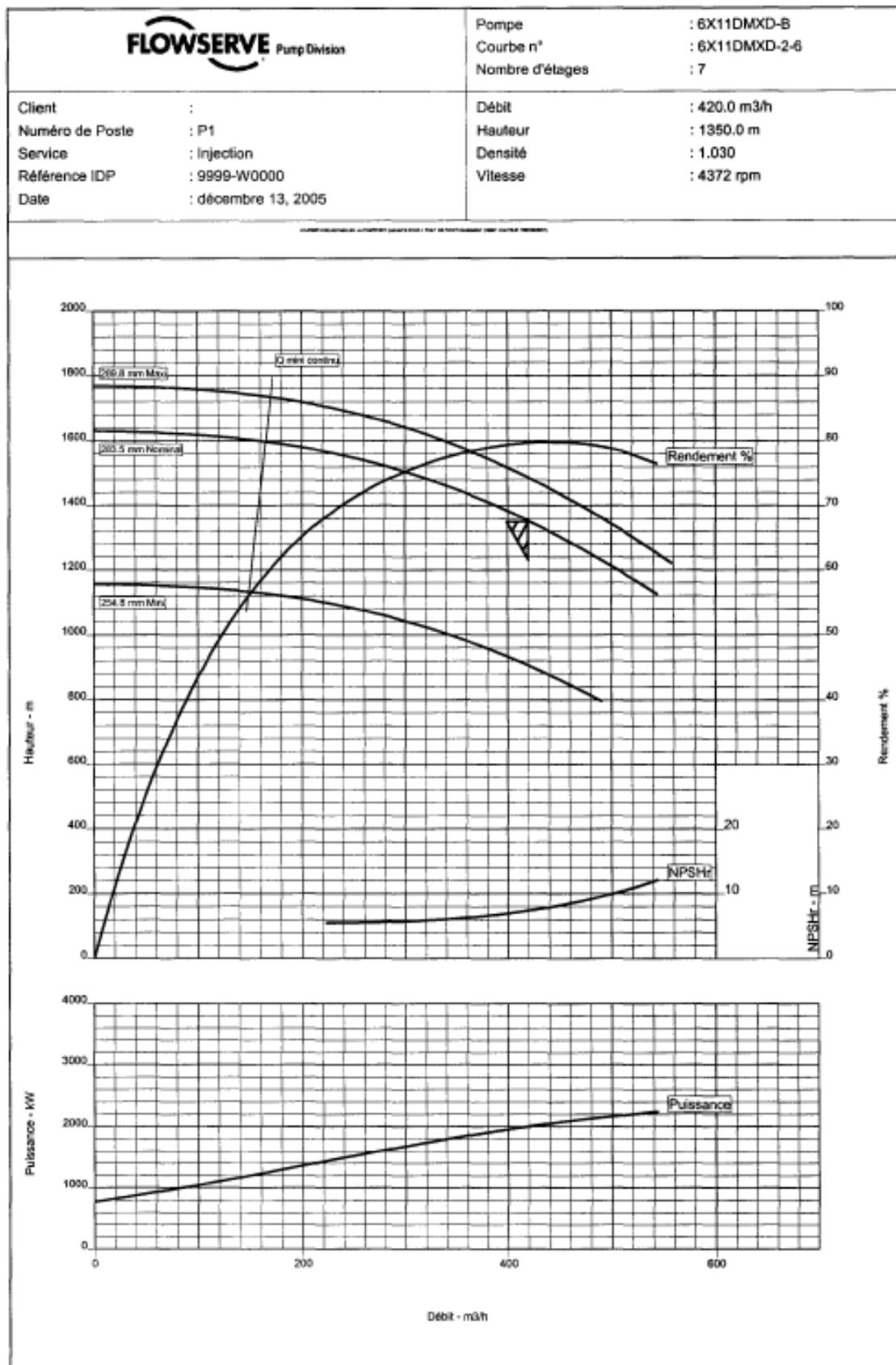


Figure 147: Courbe de fonctionnement d'une pompe

5.4. DIMENSIONNEMENT D'UNE POMPE

5.4.1. Dimensionnement

Pour le dimensionnement des pompes quelques termes sont à connaître.

- ✦ La différence de pression entre les brides de refoulement et d'aspiration d'une pompe centrifuge est appelée hauteur d'élévation de la pompe. Elle s'exprime en mètres de colonnes de liquide.
- ✦ Exprimée en mètres cette hauteur ne dépend pas de la densité du liquide, alors que le ΔP de la pompe exprimé en bars dépend de la densité.
- ✦ Le NPSH (requis) d'une pompe représente la chute de pression entre la bride d'aspiration et l'entrée de l'impulseur. Il s'exprime en mètres, sa valeur est couramment de 3 à 5 mètres.
- ✦ Pour certaines pompes spéciales, le NPSH (requis) peut être inférieur à 1 mètre. Cette valeur est importante lorsqu'il y a risque de vaporisation du liquide (cavitation).
- ✦ La hauteur d'élévation qui s'établit réellement est liée à la résistance du circuit.
- ✦ Cette résistance est constituée de l'addition :
 - ▶ du ΔP entre les capacités d'aspiration et de refoulement,
 - ▶ de la différence d'altitude entre les niveaux de ces capacités,
 - ▶ des pertes de charges dans le circuit (tuyauteries, vannes, etc...).
- ✦ Le point de fonctionnement sur un graphique { hauteur, débit } est à l'intersection de la courbe caractéristique de la pompe et de celle du circuit
- ✦ Le réglage du débit se fait généralement en modifiant la perte de charges au moyen d'une vanne placée au refoulement de la pompe. Il peut se faire aussi par variation de vitesse.

5.4.2. Éléments à prendre en compte

5.4.2.1. Débit minimum

- ✦ Les petits débits (lors d'un refoulement restreint) ont tendance à créer de la recirculation interne, ce qui peut provoquer des dégradations prématurées. C'est pourquoi le constructeur spécifie généralement un débit minimum pour un fonctionnement correct.
- ✦ Les débits nuls (refoulement fermé) : une partie de l'énergie hydraulique fournie par la pompe est convertie en chaleur, le liquide se chauffe et peut éventuellement se vaporiser. Un refoulement fermé peut rapidement (quelques minutes) provoquer des dégâts majeures à la pompe.

Pour éviter ces problèmes de débit on met généralement une ligne de recirculation qui renvoie une partie du liquide à l'aspiration (de la pompe ou du ballon en amont). Ce débit recyclé se fait soit par l'intermédiaire d'une vanne de régulation de débit, soit par une vanne spécifique de contrôle de débit mini : vanne « Schroeder », soit par ligne calibrée.

5.4.2.2. Le contrôle du débit

Lors du choix d'une pompe, le point de fonctionnement théorique (obtenu par les courbes) ne correspond jamais au point de fonctionnement réel (de tout façon, les paramètres évoluent dans le temps).

Il faut donc associer à la pompe un système qui permet d'obtenir le débit désiré à tout moment. Le point de fonctionnement étant l'intersection des courbes H (du réseau) et HMT (de la pompe) il faut jouer soit sur l'une, soit sur l'autre.

- ✦ Modifications de la courbe H (courbe réseau) : en mettant une vanne à la décharge de la pompe : vanne 100% ouverte, pas de changement de la courbe, plus on ferme la vanne, plus les pertes de charge augmentent donc la courbe s'élève et le point d'intersection avec HMT se déplace vers la gauche, donc le débit Q_v diminue.

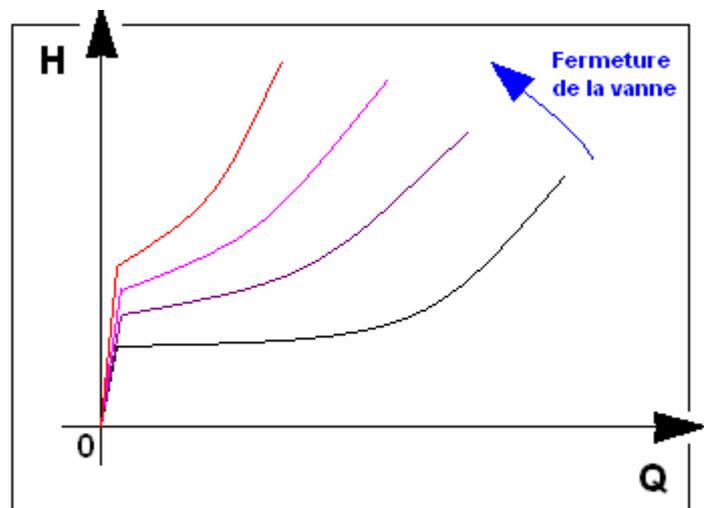


Figure 148: Courbe réseau en fonction de la fermeture de la vanne

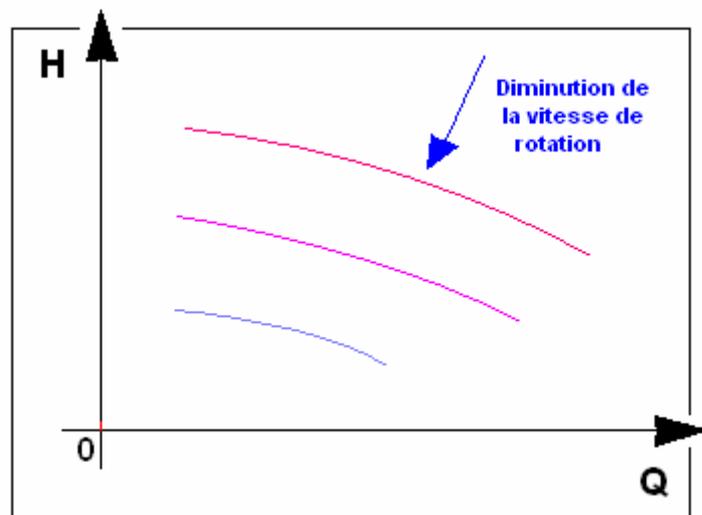
On obtient un résultat identique en mettant une vanne de recycle.

Cette vanne va aussi modifier la courbe de réseau mais c'est surtout la valeur du débit de recycle qui va permettre de réguler le débit effectivement envoyé au point de destination (la recycle retournant au point de départ).

- ✦ Modifications de la courbe HMT (courbe pompe) : on peut, sans toucher au réseau, modifier le point de fonctionnement en variant la vitesse de rotation de la pompe : plus la vitesse diminue, plus la courbe « s'abaisse » ce qui déplace le point de fonctionnement vers la gauche, réduisant ainsi le débit.

Ce principe est complexe et généralement réservé aux pompes de grande capacité.

Figure 149: Courbe pompe en fonction de la diminution de vitesse de rotation de la pompe



5.4.2.3. Importance des conditions de fonctionnement

Lors du choix d'une pompe on ne doit pas seulement tenir compte du point de fonctionnement nominal mais aussi s'assurer que la pompe fonctionne correctement en fonction des possibles variations du process :

- ✦ Le débit peut varier, la pompe doit donc être choisie de façon à ce que ses débits mini / maxi soient compatibles avec ces variations.
- ✦ Les niveaux (aspiration / refoulement) peuvent varier donc les pressions (en particulier NPSH) la pompe doit être adaptée à ces possibles variations.
- ✦ Le produit peut varier (température, viscosité, ...) la viscosité est un élément majeur, il faut vérifier que la pompe (pour laquelle la courbe HMT est généralement établie pour de l'eau) fonctionnera correctement pour un produit nettement plus visqueux.

Pour faire face à ces éventuels problèmes on prend généralement une marge de 10 à 20% sur le débit de fonctionnement nominal lors du choix de la pompe.

5.4.2.4. Prise en compte du rendement de la pompe

Les pompes centrifuges ont une courbe de rendement (en fonction de Q_v) qui passe par un maximum donc un débit pour lequel cette pompe consomme le moins d'énergie. On veillera donc à ce que le point de fonctionnement soit dans la zone où cette pompe présente un rendement maximum.

5.4.2.5. Fonctionnement des pompes en parallèle et série

- ✦ En série : c'est le cas quand le $NPSH_r$ n'est pas atteint. Dans ce cas on met une pompe en amont pour « gaver » la pompe principale et éviter ainsi les problèmes de cavitation. C'est aussi le cas quand les besoins peuvent varier dans le temps

FLUID PUMPED Liquid : Pumping temperature : °C Vapor pressure at T. : Bar a Density at P.T. : Kg/m3 Specific gravity at P.T. :		Viscosity at P.T. : CP _o Specific gravity 15/4 : Normal flow at P.T. : m3/h Safety factor : % Design flow at P.T. : m3/h	
SUCTION PRESSURE (at suction flange) (3) Min. pressure in suction drum : Bar a Min. elevation h : m $0.981 \times 10^{-4} \times \dots \times \dots \text{ Kg/m}^3 = \dots \text{ Bar}$ <div style="text-align: right;">Total (1) : Bar a</div> Δp. suction line : Bar <div style="text-align: right;">Total (2) : Bar</div> Suction pressure (3) = (1) - (2) : Bar a		DISCHARGE PRESSURE (at discharge flange) (13) Max. destination pressure : Bar a Max. elevation H : m $0.981 \times 10^{-4} \times \dots \times \dots \text{ Kg/m}^3 = \dots \text{ Bar}$ <div style="text-align: right;">Total (4) : Bar a</div> Δp discharge line (5) : Bar Δp exchanger (6) : Bar Δp heater (7) : Bar Δp orifice (8) : Bar Total Δp friction loss (9) : Bar <div style="text-align: right;">↓</div> Δp control valve = (9) bar x 0.2 = (10) : Bar Estim. pressure variation = (11) : Bar Total Δp control valve (10) + (11) = (12) : Bar <div style="text-align: right;">↓</div> Discharge pressure (13) = (4) + (9) + (12) : Bar a	
AVAILABLE NPSHA (15) Suction pressure (3) : Bar a Vapor pressure at T. (14) : Bar a Total (15) (3) - (14) : Bar $10.197 \times (15) = 10.197 \dots = \dots \text{ m}$ SP.GR at P.T. :			
DIFFERENTIAL PRESSURE (16) Discharge pressure - suction pressure = (16) = (13) - (3) = Bar DIFFERENTIAL HEAD (17) = $10.197 \times (16) = 10.197 \times \dots \text{ Bar} = \dots \text{ m}$ SP.GR at P.T. :			
HYDRAULIC HORSE-POWER = $\frac{(\text{flow m}^3/\text{h}) \times (16)}{36} = \frac{(\dots \text{ m}^3/\text{h}) \times (\dots \text{ bar})}{36} = \dots \text{ kW}$			
BRAKE HORSE-POWER P Pump efficiency $\eta_g = \dots$ P _{Hydraulic Horse Power} = kWh/h = kW (estimated) η_g PHp = 1.341 x P = 1.341 x kW = HP Pcv = 1.3591 x P = 1.3591 x kW = CV P = $4.35 \times 10^{-4} \times (\dots \text{ GPM}) \times (\dots \text{ PSI}) = \dots \text{ kW}$ English unit :			
DESIGN OPERATING LOAD Motor estimated size : kW Motor estimated efficiency $\eta_m = \dots$ Design Operating Load = $\frac{\text{BHP}}{\eta_m} = \dots \text{ kWh/h}$			

Table 8: Feuille de calcul d'une pompe

5.5. EXERCISES

60. Que signifient les initiales PCF ou PFD en anglais ?

61. Que signifient les initiales PID en anglais ?

6. LES POMPES ET LE PROCESS

6.1. LOCALISATION ET CRITICITE

Comme nous avons pu le voir précédemment, une pompe sert à véhiculer un liquide d'un point à un autre. :

- ✦ Transfert de l'unité de séparation vers l'unité de dessalage
- ✦ Injection de désémulsifiant dans la séparation
- ✦ Evacuation des condensats dans un ballon de torche
- ✦ Injection de méthanol lors du by-pass de la déshydratation du gaz

Si cette fonction s'arrête il est facilement compréhensible que cela va engendrer de sérieux problèmes en ce qui concerne le bon fonctionnement de l'installation.

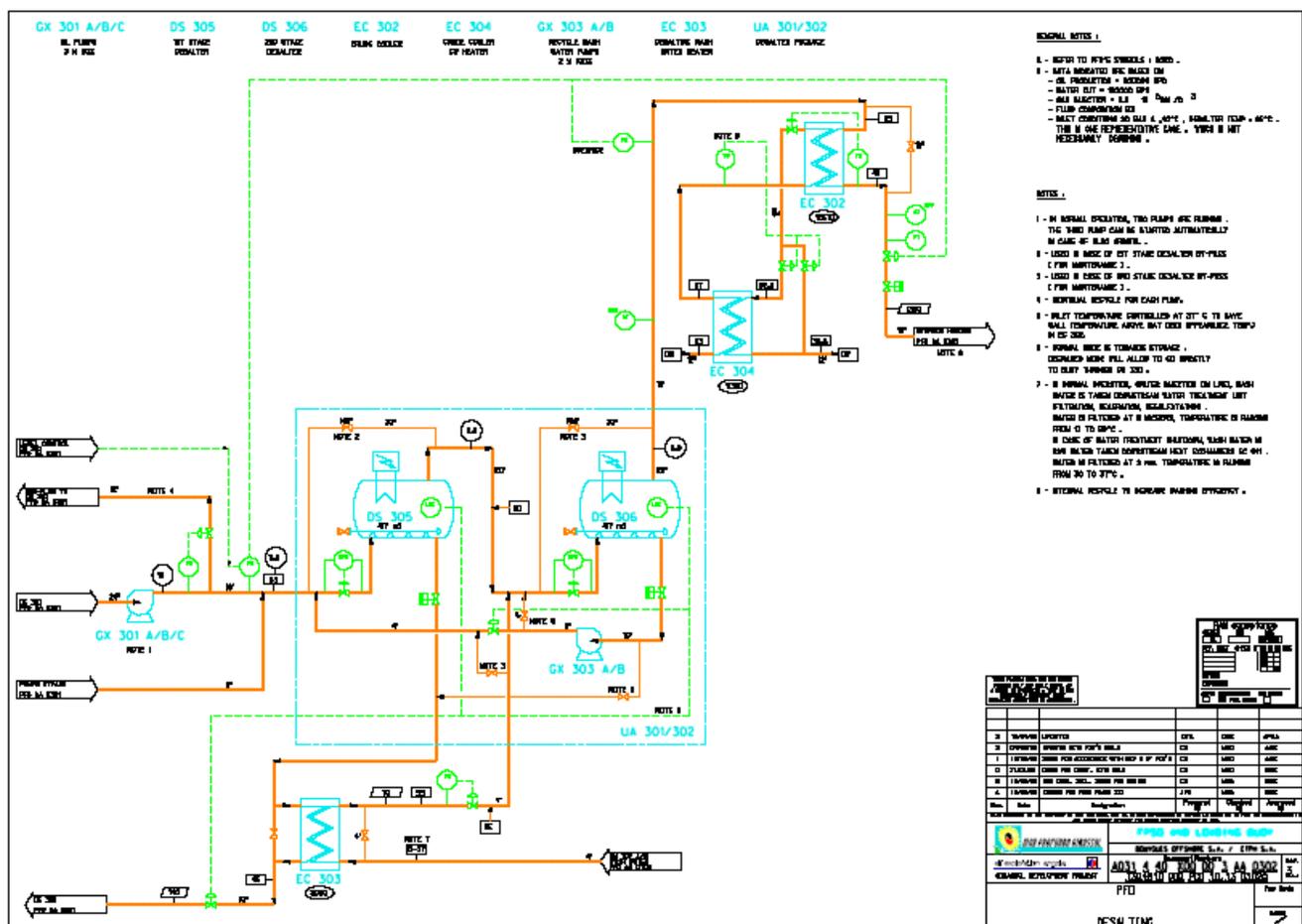


Figure 150: PFD - Pompes GX301 A/B/C sur Girassol

Prenons l'exemple de pompes, situées sur le traitement huile, véhiculant l'huile provenant d'un séparateur vers un dessaleur. La criticité sera élevée car l'arrêt de ces pompes entraînera un arrêt de production.

En effet l'évacuation, des liquides du séparateur situé en amont des pompes sera devenue impossible ceci entraînant irrémédiablement un niveau haut dans ce ballon.

C'est pour cette raison, entre autre, qu'il est pratiquement toujours installé une pompe de secours en cas de problème ou de maintenance sur une pompe.

Ainsi, le débit sur l'exemple de PFD, proposé ci-dessous est de $3 \times 50\%$ ce qui permet de palier à l'éventuel arrêt d'une pompe.

6.2. EXERCICES

62. Sur un traitement huile, quelle est la criticité si les pompes véhiculant de l'huile provenant d'un séparateur vers un dessaleur s'arrêtent ?

- Faible
- Moyenne
- Elevé

7. LES AUXILIAIRES

Sur une pompe, divers éléments sont nécessaires à son bon fonctionnement.

En général, on peut dire que :

- ✦ **Les équipements qui environnent** une pompe centrifuge: lignes, leur supportage, châssis et supports de pompe, doivent être **parfaitement rigides, bien fixés, propres**, afin que **l'alignement** avec la machine d'entraînement ne se dégrade pas, ce qui entraînerait des **vibrations sévères**.
- ✦ **Les circuits auxiliaires** : eau, vapeur, produit doivent être parfaitement **identifiés par l'opérateur et les points de surveillance connus**.
- ✦ **Un palier** doit être **purgé, de l'eau éventuelle, régulièrement**, en particulier lorsqu'il y a de la **vapeur dans l'environnement**.
- ✦ **L'aspect de l'huile** doit être vérifié tous les jours
- ✦ **Le système de graissage** (graisseur à niveau constant, niveau visible, circuit éventuel) doit être **bien connu et surveillé par l'opérateur**. **Les anomalies**, telles que consommation excessive ou nulle, doivent être **détectées rapidement**.
- ✦ **Un manomètre en bon état au refoulement** est absolument indispensable à l'opération d'une pompe centrifuge. Il est recommandé **d'y repérer la plage** des valeurs de **fonctionnement courantes**.

Dans le chapitre qui suit nous allons détailler les accessoires et lignes procédées environnant une pompe centrifuge en unité.

7.1. ACCESSOIRES ET LIGNES PROCÉDÉ

Les lignes d'aspiration et de refoulement sont équipées d'un certain nombre d'accessoires permettant l'exploitation de la pompe.

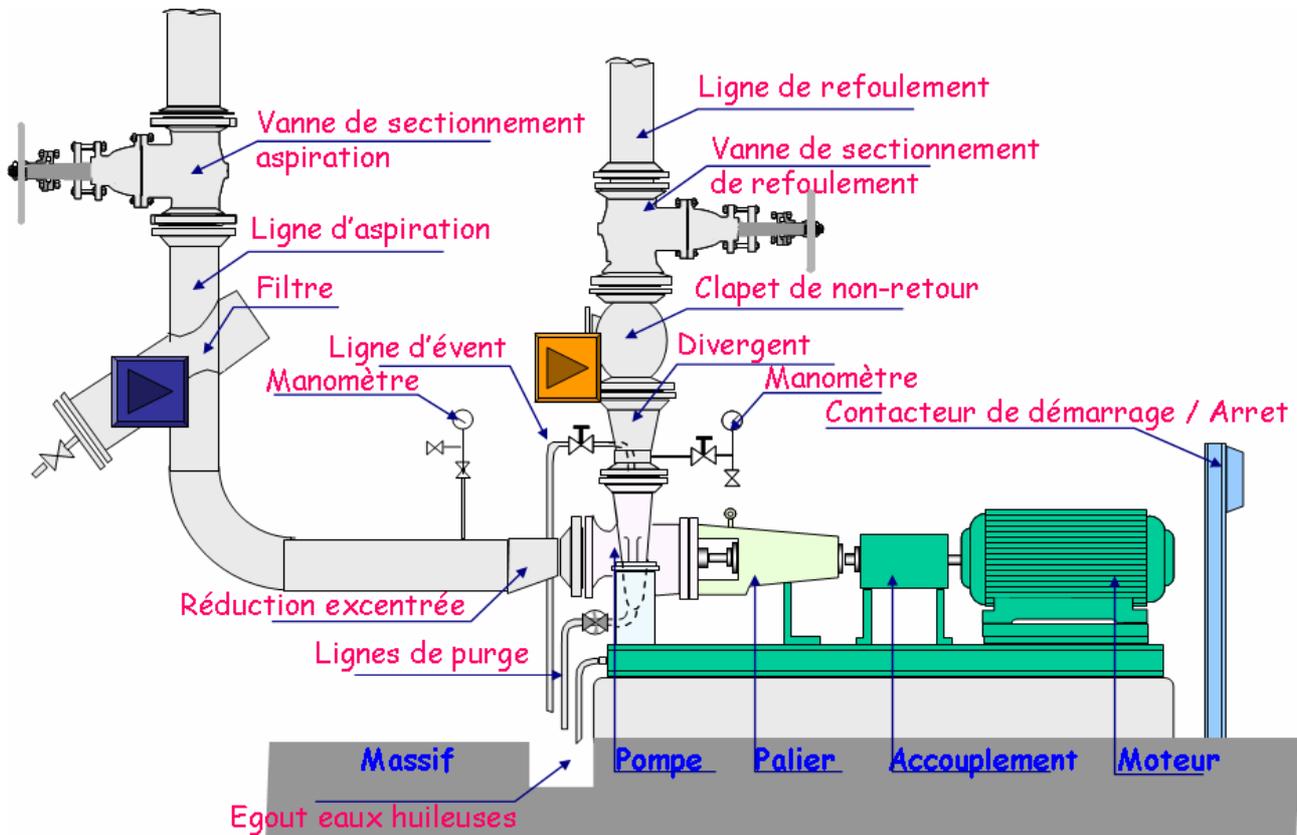


Figure 151: Accessoires et lignes procédé d'une pompe centrifuge en unité

On trouve généralement :

- ✦ **2 vannes de sectionnement** : Aspiration & Refoulement permettant son isolement.
- ✦ **Un coude** (cas d'une pompe à aspiration axiale) monté suffisamment loin de la pompe
 But : Éviter répartition dissymétrique du liquide dans l'impulseur (générant des vibrations.)
- ✦ **Un filtre temporaire ou permanent**, placé à l'aspiration : Protection pompe contre l'arrivée de corps étranger pouvant l'endommager.

On trouve notamment :

Des filtres montés directement dans la tuyauterie entre brides

Filtre chapeau chinois et filtre trapézoïdal.
Ces filtres peuvent être verticaux ou horizontaux.

Figure 152: Filtre chapeau chinois

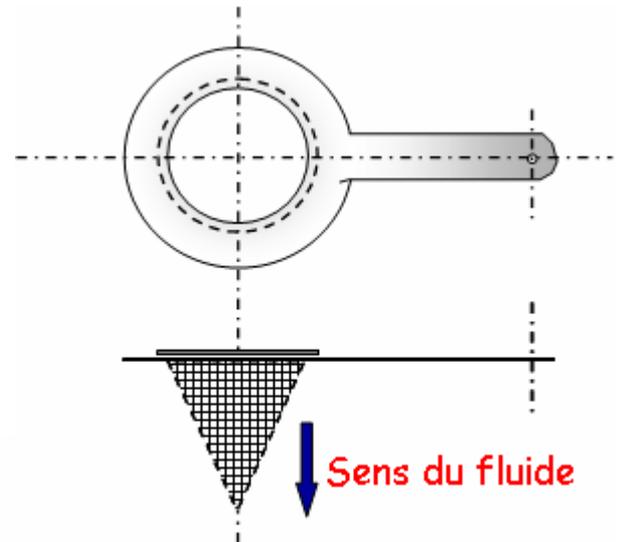
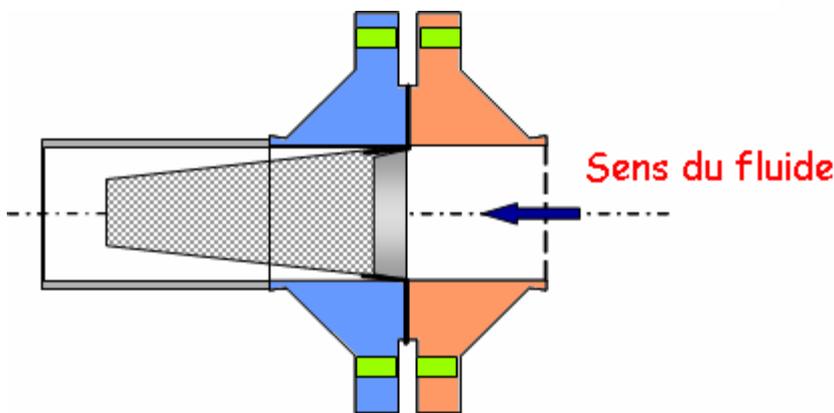


Figure 153: Filtre trapézoïdal

Des filtres montés dans un Té à 90° ou dans une dérivation à 45°.

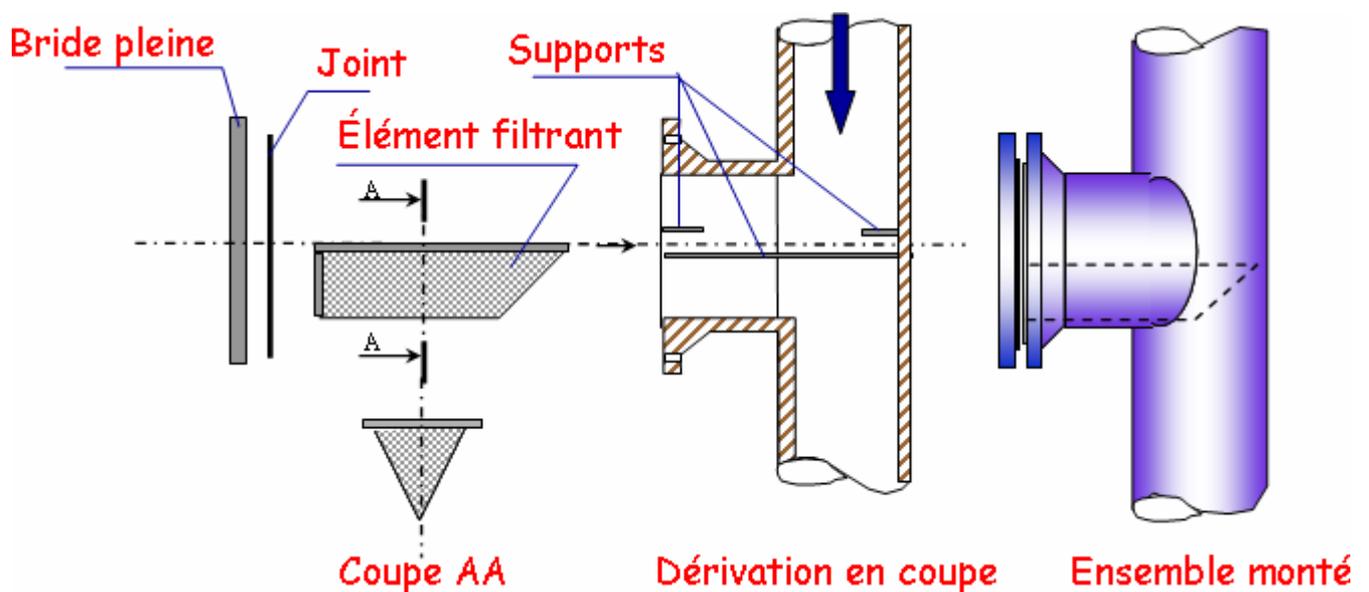
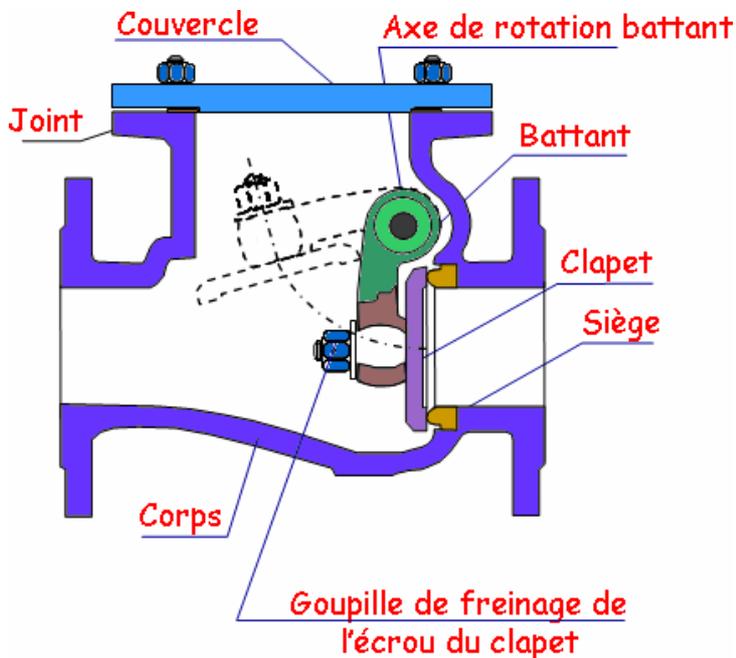


Figure 154: Filtre en Té

✦ **Un clapet de non-retour au refoulement.**



Rôle : éviter un retour de liquide au travers de la pompe (possible lorsque la pompe est à l'arrêt). Ce retour pourrait entraîner la rotation de la machine en sens inverse, causant des dommages mécaniques.

Figure 155: Clapet de non-retour à battant



Figure 156: Clapet à battant

✦ **2 manomètres**, l'un à l'aspiration, l'autre au refoulement, permettant le contrôle des performances de la pompe, et la détection de certains troubles de fonctionnement.

Le manomètre au refoulement est **indispensable**.

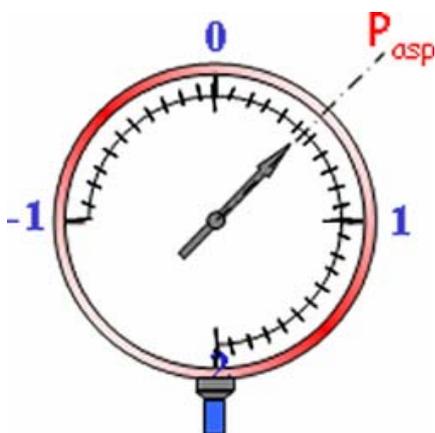


Figure 157: Manomètre aspiration

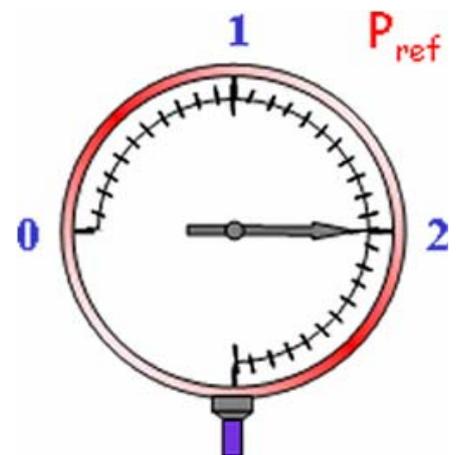


Figure 158: Manomètre refoulement

- ✦ **Les conduites d'aspiration et de refoulement** : généralement d'un diamètre supérieur aux brides correspondantes montées sur la pompe.
- ✦ **Une réduction avant la bride d'aspiration de la pompe.** Celle-ci doit être excentrée, la génératrice rectiligne étant placée en partie supérieure.

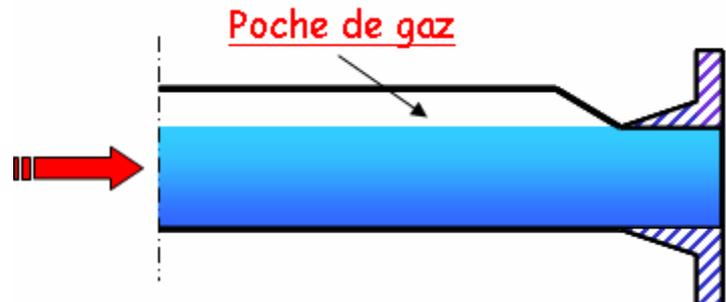


Figure 159: Réduction

Dans le cas contraire, le point haut formé par le plus gros diamètre favorise l'accumulation de gaz, qui en se libérant, peut occasionner des à coups sur toutes les pièces mobiles de la pompe et même désamorcer celle-ci. (Installation déconseillée)

- ✦ **Un divergent** placé après la bride de refoulement. Il est souhaitable qu'il soit le plus long possible pour éviter tourbillons et vibrations, et ainsi canaliser le liquide correctement.

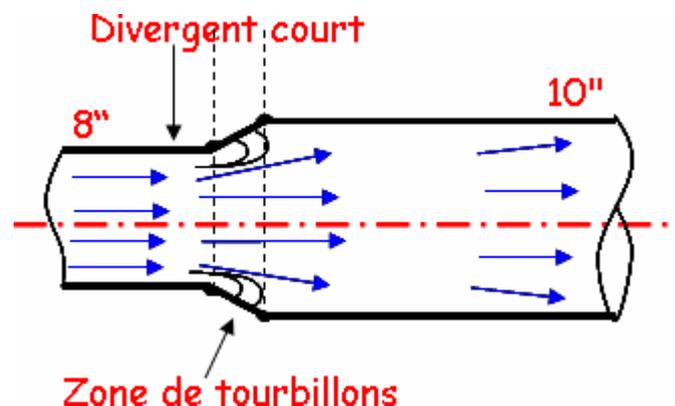


Figure 160: Formation de tourbillons avec un divergent court

7.2. LES CIRCUITS ANNEXES

7.2.1. Le refroidissement

En effet, lorsque le produit pompé est chaud, il peut être nécessaire de procéder :

- ✦ Au refroidissement du corps de garniture pour conserver une bonne tenue mécanique de la garniture. Selon le cas, le fluide réfrigérant peut être de l'eau ou de la vapeur. [1]
- ✦ Au refroidissement du corps de palier, ce qui permet de maintenir la viscosité de l'huile à une valeur correcte (tenue mécanique des paliers). [2]
- ✦ Au refroidissement des chandelles de socles pour en éviter les dilatations (risque de désalignement de la pompe par rapport au moteur). [3]
- ✦ Au refroidissement du liquide d'arrosage. [4]

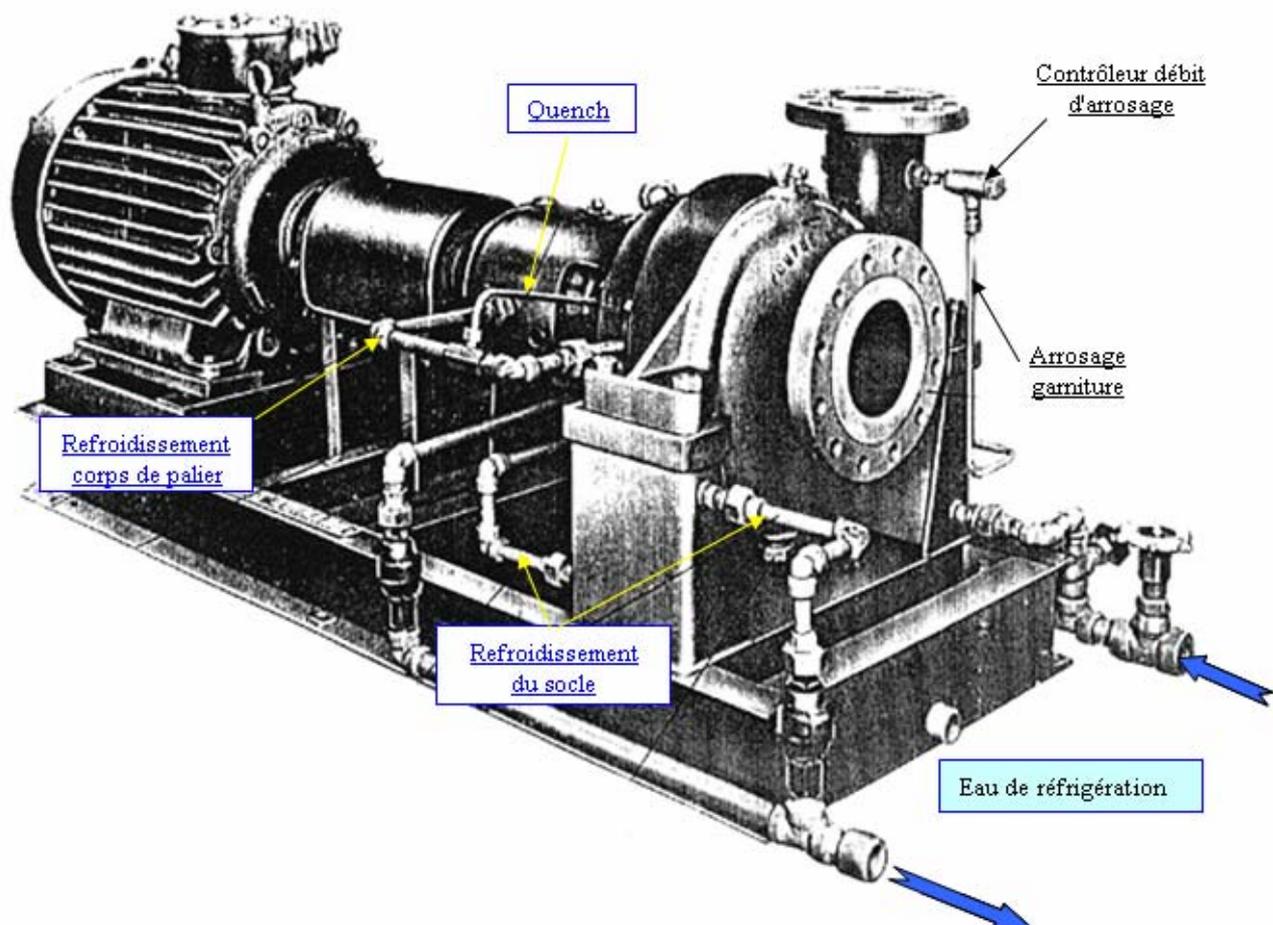


Figure 161: Refroidissement d'une pompe centrifuge

7.2.2. La lubrification

Tout organe mécanique en rotation (roulement à billes, à rouleaux, coussinet lisse...), nécessite pour son bon fonctionnement, une lubrification adaptée.

Dans le cas contraire, il y a échauffement, usure excessive, grippage et même blocage. La lubrification à l'huile est la plus courante sur les pompes "procédé".

La pompe de lubrification peut être **indépendante** ou **attelée** à la machine.

Dans ce cas, un système complémentaire permet d'établir la circulation d'huile avant la mise en route de la machine jusqu'au moment où la pompe attelée prend le relais. [1]

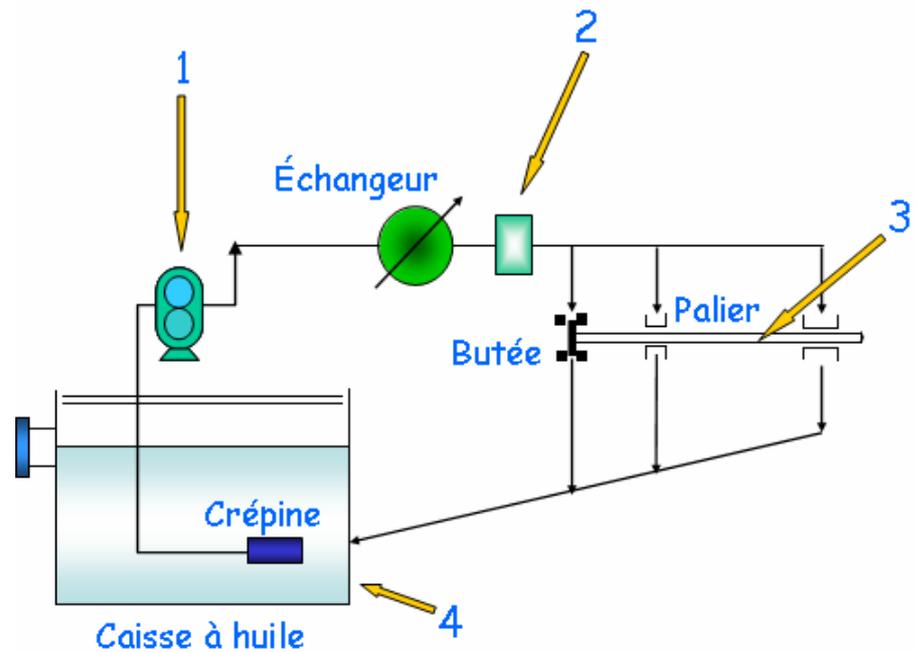


Figure 162: Système de lubrification

L'huile est filtrée, généralement **réfrigérée**, soit dans la caisse à huile, soit par échangeur sur la ligne de refoulement. [2]

La circulation forcée (roulements et paliers lisses). Une **pompe de reprise à engrenages**, puise l'huile dans une réserve d'huile et la distribue aux différents points de graissage (butée, palier...) [3]

Le système de circulation d'huile sous pression peut être **muni de sécurités** (température, pression...) qui empêchent le démarrage ou provoquent l'arrêt de la machine par défaut de lubrification.

La réserve peut être contenue soit dans un des paliers de la machine soit dans une caisse à huile. [4]

Un des intérêts de la circulation forcée est **la bonne évacuation de la chaleur** se trouvant dans les paliers provenant soit des frottements liés au palier (cas des paliers lisses et des butées lisses) soit du transfert de la chaleur du liquide pompé à une température élevée.

7.2.3. Autres circuits annexes

Enfin d'autres circuits auxiliaires peuvent être rencontrés autour d'une pompe. Des circuits de purge pour vider le corps de pompes et les lignes amont/aval. Des lignes de gazole pour rincer la pompe ou encore des lignes de vapeur selon le type de pompe et de produit véhiculé.

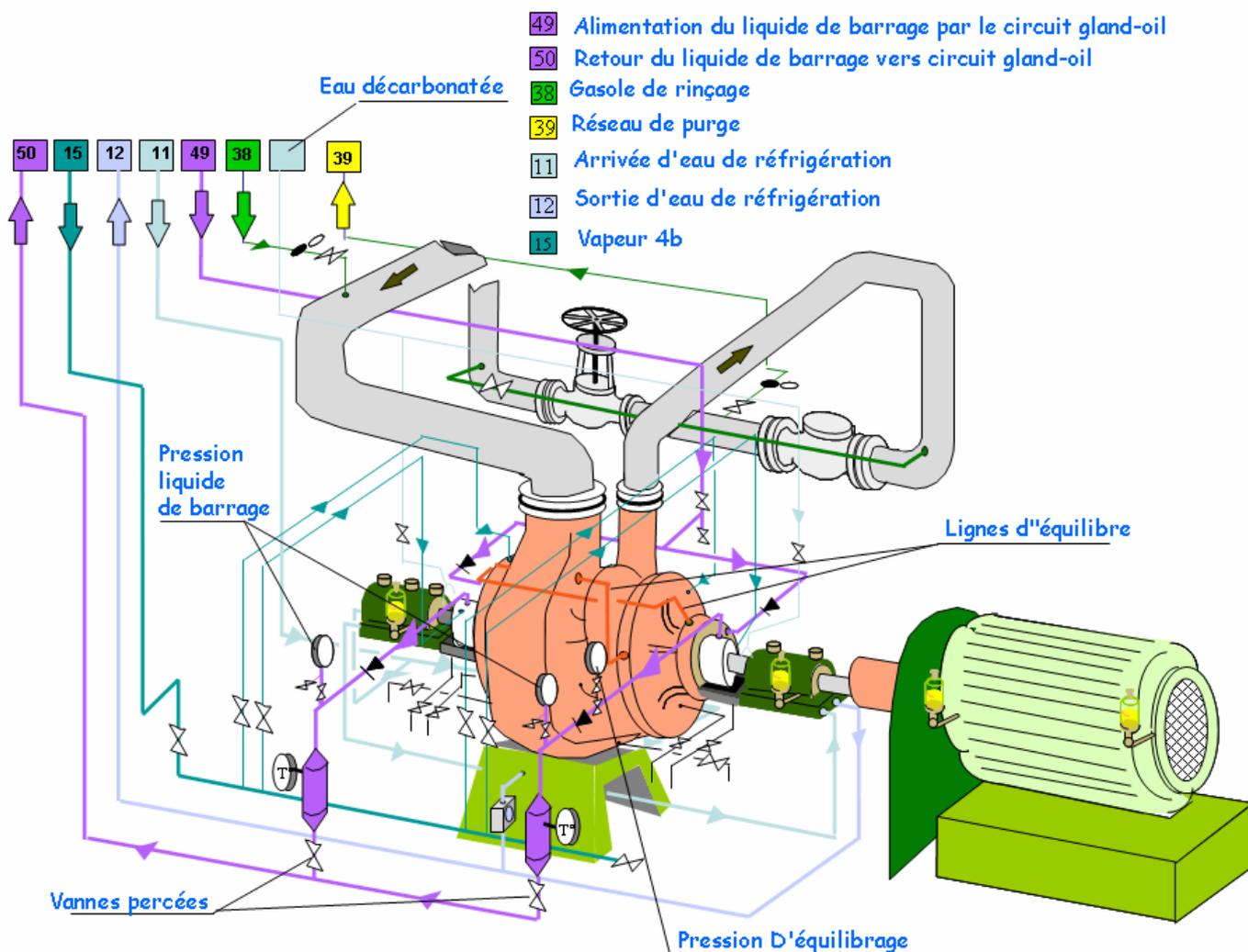


Figure 163: Schéma des circuits annexes équipant une pompe chaude

7.3. EXERCICES

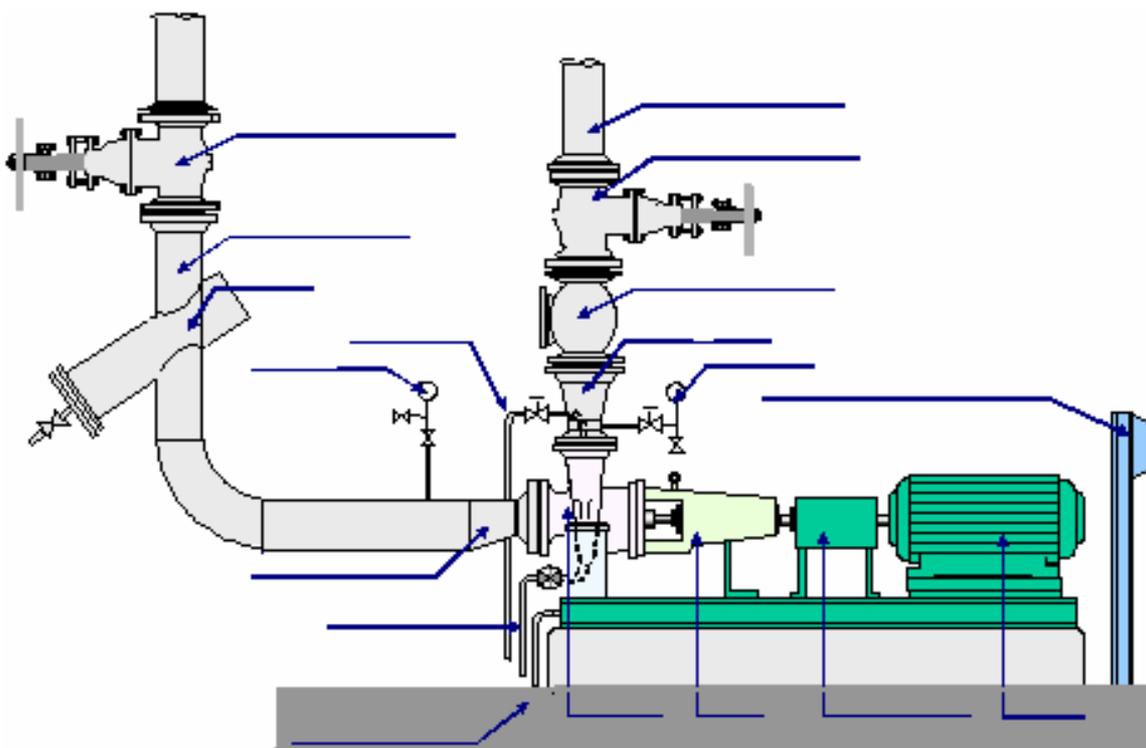
63. Le filtre protège la pompe contre l'arrivée de corps étranger pouvant l'endommager. Il est situé au refoulement de la pompe ?

- Vrai
- Faux

64. Le clapet, placé au refoulement, évite un retour de liquide au travers de la pompe.

- Vrai
- Faux

65. Compléter le schéma suivant



66. Les conduites d'aspiration et de refoulement sont généralement du même diamètre que les brides correspondantes montées sur la pompe.

- Vrai
- Faux

8. PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT

8.1. OPERATIONS NORMALES

L'exploitation d'une pompe consiste à lui faire assurer le plus longtemps possible le débit désiré.

La conduite de la machine peut, elle aussi influencer sa durée de vie. C'est pour cette raison que l'opérateur devra contrôler les éléments suivants lors du fonctionnement de la machine :

✦ Pour les pompes centrifuges

- ▶ La pression de refoulement
- ▶ La pression d'aspiration
- ▶ La différence de pression sur le filtre d'aspiration.
- ▶ La température des paliers
- ▶ Les bruits anormaux (coups de bélier, cavitation : phénomènes expliqués ci-dessous)
- ▶ Les fuites d'étanchéités mécaniques
- ▶ La température de refroidissement moyenne
- ▶ Le système de lubrification d'huile (Pression, Température et Niveau)
- ▶ La consommation de puissance en Ampère (L'intensité)
- ▶ Les vibrations

✦ Pour les pompes volumétriques

- ▶ La pression de refoulement
- ▶ La pression d'aspiration
- ▶ Les fuites sur la pompe.
- ▶ Le système de lubrification d'huile (Pression, Température et Niveau)
- ▶ Le système de refroidissement
- ▶ Check safeguarding system.

De plus, un certain nombre d'aléas hydrauliques peuvent perturber, voire empêcher, le bon fonctionnement de la pompe.

C'est notamment le cas, **au moment de l'amorçage**, lorsqu'il y a des **coups de bélier** ou de la **cavitation**.

Dans les pages qui suivent nous allons détailler ces trois phénomènes

8.1.1. L'amorçage

Pour qu'une pompe fonctionne, il faut qu'elle puisse assurer une pression suffisante, ce qu'elle ne réalise que si elle est remplie de liquide. "Purger" l'air (ou le gaz) de la pompe c'est l'assurance de pouvoir amorcer la pompe.

Pour cela un évent est très souvent placé sur le corps de la pompe ou sur la tubulure de refoulement de la pompe.

Au démarrage d'une pompe non amorcée, la rotation génère une surpression fonction de la densité du fluide (liquide + gaz) dans les canaux de la roue. La présence de gaz dans la roue ne permet pas d'obtenir la pression la plus élevée et de plus, la vitesse du liquide devant l'orifice de l'évent réduit cette pression par effet d'énergie cinétique. Ceci explique les difficultés d'amorcer une pompe en rotation.

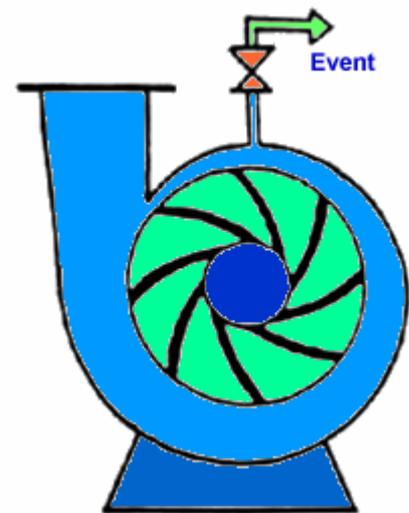


Figure 164: Event

Un désamorçage sur une pompe en fonctionnement nécessite très généralement d'arrêter la pompe pour la réamorcer.

D'autre part lorsqu'on veut amorcer une pompe qui tourne, on prend toujours le risque de gripper les bagues d'étanchéité ou la garniture mécanique puisqu'il y a peu ou pas de liquide dans la pompe dans cette phase opératoire.

Il est donc **toujours préférable d'amorcer une pompe lorsque celle-ci ne tourne pas** en y introduisant du liquide à une pression permettant de bien chasser l'air.

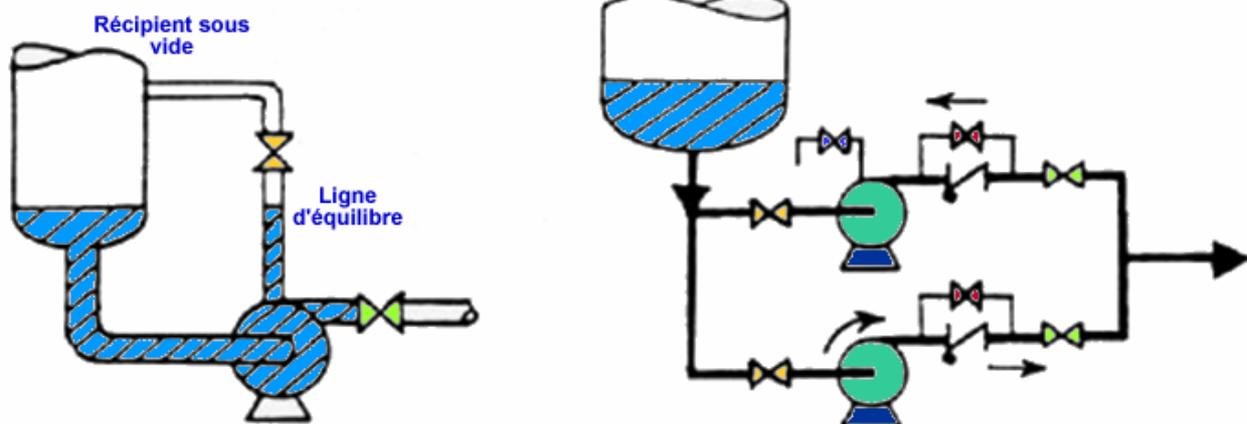


Figure 165: Remplissage d'une pompe où la pression est inférieure à la pression atmosphérique

Dans le cas où la **pression d'aspiration serait inférieure à la pression atmosphérique**, le remplissage de la pompe peut se faire :

- ✦ **Par l'aspiration**, et grâce à une ligne d'équilibre reliée à l'équipement (sous vide).
{A}
- ✦ **Par le refoulement** : remplissage par l'autre pompe de la même fonction procédé.
{B}
- ✦ **Par un liquide extérieur** compatible avec le liquide pompé introduit dans la pompe par une ligne de remplissage appropriée.

Dans le cas d'une **pompe aspirant en puits**, l'amorçage ne peut se faire que lorsque la tuyauterie d'aspiration est remplie de liquide.

Une fuite du clapet de pied rend cette opération délicate voire impossible.

Cette opération est réalisée grâce à un clapet de pied qui retient le liquide précédemment pompé ou introduit dans la tuyauterie ou dans la pompe, par un piquage placé au refoulement.

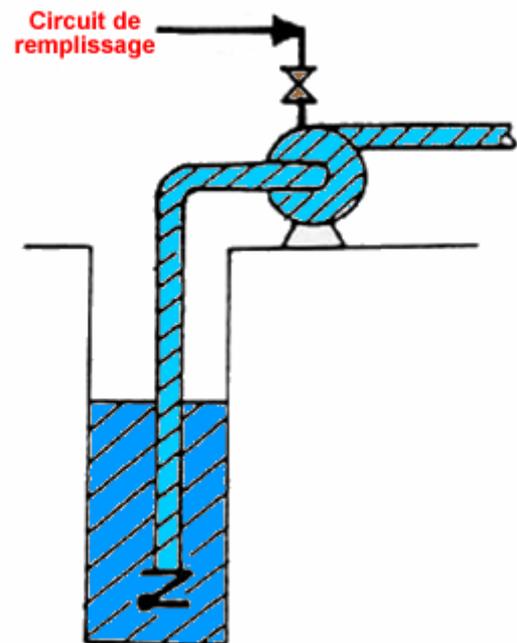


Figure 166: Pompe aspirant en puits

8.1.2. L'auto-amorçage

Il existe des pompes dites auto-amorçantes. Ces matériels peuvent se classer en deux familles :

- ✦ Les machines qui possèdent une réserve suffisante de liquide permettant par un recyclage interne du liquide, d'évacuer petit à petit le gaz contenu dans la pompe et dans la conduite d'aspiration.

On peut remarquer que dans ce cas la tuyauterie de refoulement est, au démarrage, généralement vide

- ✦ Les machines qui possèdent une première roue, qui permet une légère compression du gaz.

Un peu de liquide est généralement nécessaire pour assurer l'étanchéité de la "roue de compression".

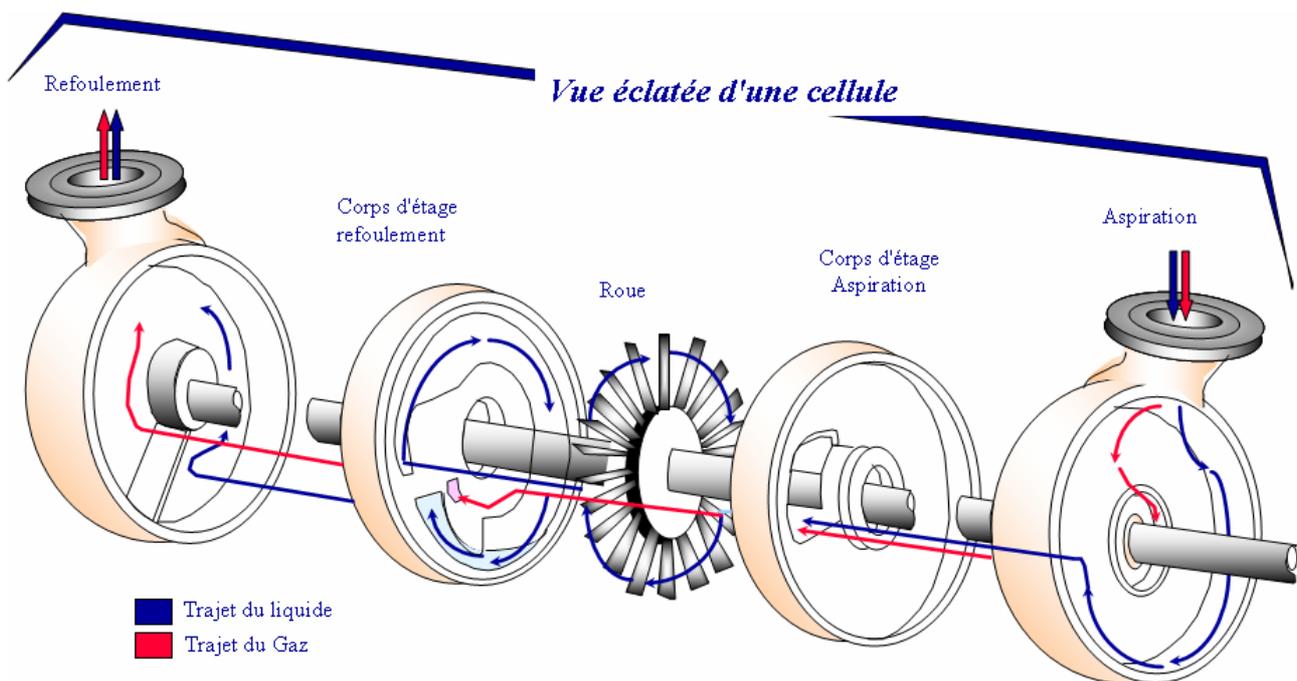


Figure 167: Principe pompe auto-amorçante à canal latéral

8.1.3. Les coups de bélier

8.1.3.1. Description du phénomène :

Un coup de bélier est une brusque variation de pression et a pour cause une brutale variation de débit.

Dans une tuyauterie où circule du liquide, une **fermeture brusque de vanne** ne bloque pas immédiatement toute la masse de liquide se trouvant dans la tuyauterie.

Ce liquide encore en mouvement vient "**s'écraser**" sur la face amont de l'opercule de la vanne en produisant une augmentation de pression et de la même façon, la pression en aval de la vanne chute brutalement.

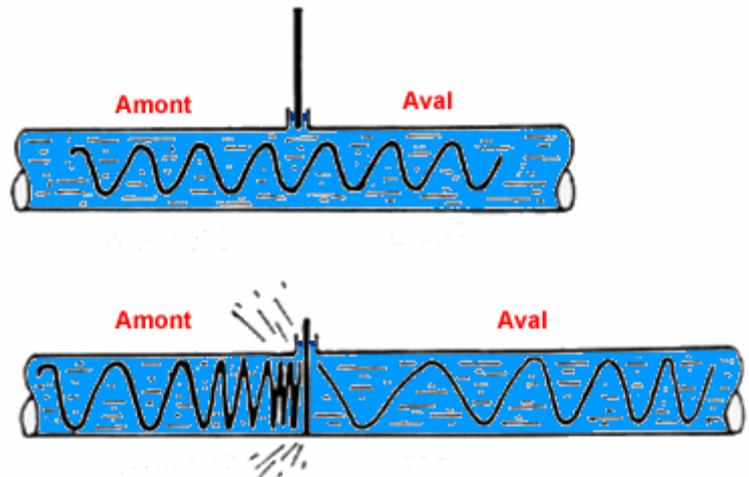
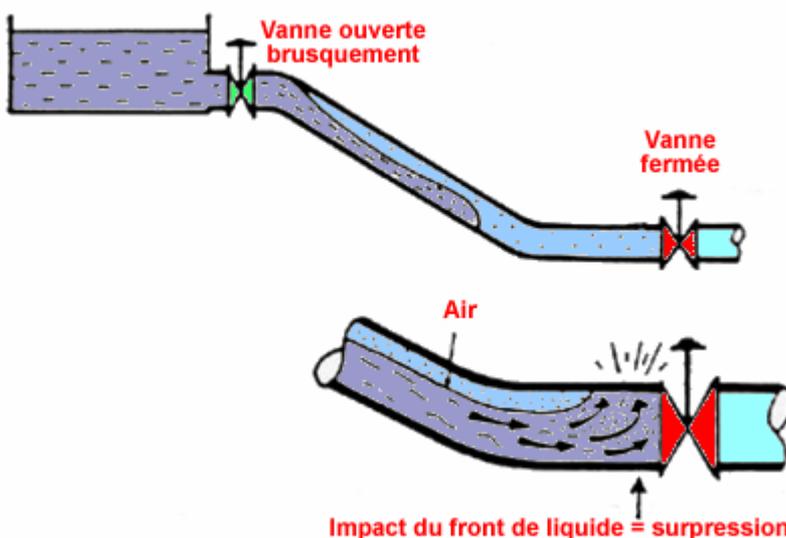


Figure 168: Principe du coup de bélier

Cette **surpression** (ou dépression) localisée sur une petite longueur **va se déplacer** sous forme d'une onde le long de la conduite (à la **vitesse du son dans le liquide - 7 km/s**) jusqu'à ce qu'elle rencontre un obstacle qui la fait repartir dans l'autre sens.



On crée ainsi un mouvement de va et vient de surpression et de dépression qui diminue avec le temps grâce aux frottements qui amortissent le mouvement.

Figure 169: Exemple de coup de bélier

N.B. : Les coups de bélier sont souvent causés par présence d'air ou de gaz dans une ligne liquide.

En prenant exemple sur la mise en service d'un réseau incendie, il est fréquent, lorsque ce dernier a mal été purgé, que l'on ait des coups de bélier lors de sa remise en service.

En effet, l'eau provenant des motopompes du réseau incendie, lorsqu'elle atteint les poches d'air, non purgées, comprime ces dernières et provoque une surpression dans le réseau.

Ce phénomène étant identique au coup de bélier présenté précédemment, mais cette fois-ci non pas provoqué par la fermeture d'une vanne mais par les poches d'air non purgées.

8.1.3.2. Effets de coups de bélier et prévention

Les coups de bélier par la surpression ou la dépression qu'ils occasionnent peuvent être la cause de chocs et de **ruptures d'éléments de tuyauterie ou de pièces mécaniques** : joints, corps de pompe, boulonnerie de brides, clapets...

Pour prévenir ces incidents, deux solutions peuvent se présenter :

- ✦ La "**non création**" du coup de bélier
- ✦ La **surpression de la variation** de pression par un équipement approprié.

Éviter le coup de bélier

L'amplitude de la surpression dépend essentiellement de la **vitesse de variation du débit**.

Il suffit donc de s'attacher à **ne produire que des variations lentes du débit**.

On peut ainsi dire qu'il est préférable de :

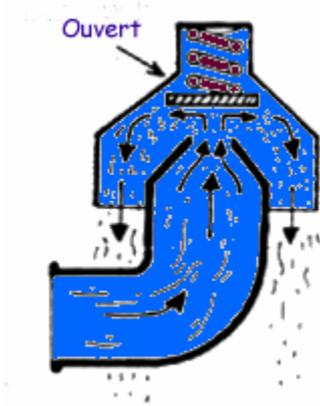
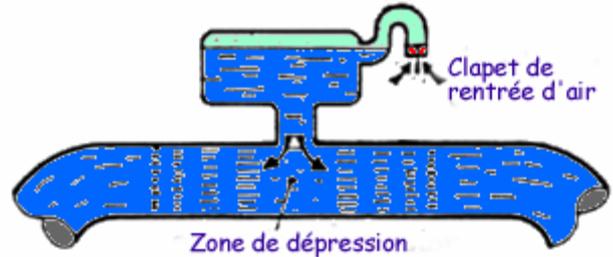
- ✦ **Démarrer une pompe** vanne de refoulement fermé
- ✦ **D'arrêter une pompe** après avoir fermé la vanne de refoulement
- ✦ **D'ouvrir ou fermer** les vannes progressivement (attention aux vannes 1/4 tours)
- ✦ **D'avoir** de la robinetterie sans jeu
- ✦ **De remplir** lentement une canalisation vide

Se prémunir contre les coups de bélier

Il est cependant très difficile d'éviter tous les coups de bélier.

Un arrêt brutal de pompe n'est pas souvent précédé par la fermeture de la vanne de refoulement.

Figure 170 : Equipement de protection contre une dépression



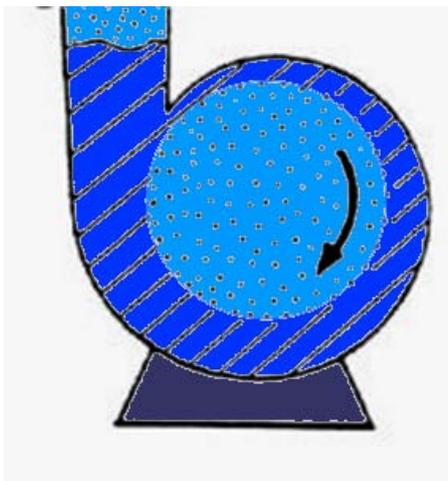
Des équipements de protection peuvent être prévus, soit pour amortir les coups de bélier par exemple avec une capacité anti-pulsatoire type Olaer, soit pour se protéger contre des surpressions occasionnelles importantes par exemple avec une soupape ou un disque d'éclatement.

Figure 171: Equipement de protection contre une surpression

8.1.4. LA CAVITATION

Si la **pression à l'entrée de la roue est inférieure à la tension de vapeur**, il se produit une **vaporisation partielle du liquide** ce qui se traduit par la création de bulles de gaz (cavités).

Ces bulles, entraînées par le liquide, se déplacent dans la roue et sont alors soumises à des pressions de plus en plus élevées.



Les conditions sont alors telles que les bulles se condensent. On dit alors qu'elles implosent.

En se formant ces bulles augmentent le volume de fluide présent dans la zone de basse pression ce qui a pour effet d'augmenter la pression en certains endroits où la bulle de gaz se recondense violemment en implosant.

Les chocs créés par l'éclatement des bulles détruisent les parois des organes en contact avec le fluide. Une pompe qui Cavite s'use rapidement.

Figure 172: Principe de la cavitation



Figure 173: Phénomène de cavitation sur des aubes de pompe centrifuge

Remèdes

La cavitation modifie la courbe caractéristique de la pompe, qui devient très tombante dans la zone de débit, où cette pompe cavite.

Une fermeture suffisante de la vanne de refoulement permet d'arrêter la cavitation sans réduction notable du débit par rapport à la situation de cavitation.

C'est le premier remède à appliquer.

En fait l'installation a été généralement bien conçue et **l'apparition de la cavitation peut provenir de modifications apportées dans l'exploitation ou le matériel.**

C'est aussi le cas lorsque le **niveau dans le ballon d'aspiration est trop bas**.

Enfin les **augmentations de capacité de production** peuvent très bien **être la cause de cavitation** si les études de modification n'ont pas été correctement faites.

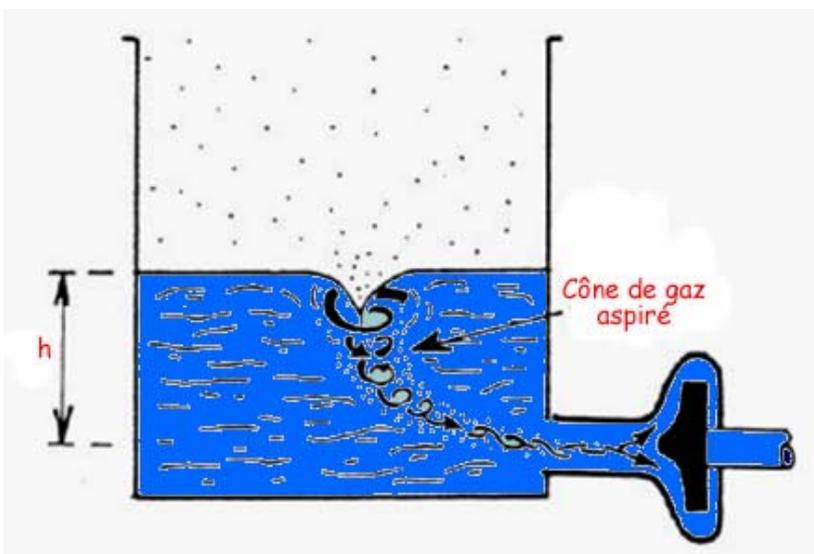
C'est le cas lorsque les **pertes de charge à l'aspiration sont devenues trop importantes** (filtre encrassé, vanne partiellement fermée) ou lorsque la **réparation de la pompe n'est pas correcte** (augmentation des jeux internes par exemple).

8.1.5. VORTEX

Le Vortex est un phénomène d'entraînement mécanique d'une partie de la phase gazeuse due à la rotation du liquide à l'entrée de la pompe.

Ce phénomène se produit notamment quand :

- ⊕ le niveau de liquide **h est faible**, le débit de la pompe est faible par rapport au nominal.
- ⊕ la pompe ou l'entrée de la conduite, ne sont pas équipées d'anti-vortex, système constitué de croisillons ou de métal déployé, la forme de l'entrée de la conduite n'a pas été adaptée.



L'entrée de gaz se fait en général de façon irrégulière.

A chaque passage de gaz, il se produit une baisse de pression, et de puissance.

Le "tube" de gaz peut amener à la surface le bruit qu'il y a dans la pompe.

Figure 174: Effet de Vortex

Enfin, il est possible de détériorer la pompe, si celle-ci n'est pas à son débit prévu.

Pour cela l'opérateur pourra agir sur le réglage de ce débit.

Trois moyens sont possibles:

- ✦ variation de la vitesse de rotation de la pompe par un dispositif électronique
- ✦ vanne de réglage située sur la canalisation de refoulement de la pompe pour éviter le risque de cavitation: suivant son degré d'ouverture, la perte de charge du réseau va augmenter ou diminuer ce qui va entraîner la variation du point de fonctionnement.
- ✦ réglage en "canard" avec renvoi à l'aspiration d'une partie du débit

Le réglage du débit est important pour des besoins dus au procédé mais aussi pour se placer dans des plages de fonctionnement où le rendement est meilleur.

Limites de fonctionnement

- ✦ Débit supérieur au débit prévu : il y a risque de surcharge du moteur d'entraînement et risque de cavitation.
- ✦ Débit : faible : environ 25 % du débit nominal. Il y a risque d'échauffement de la pompe.

8.2. EQUIPEMENTS DE SECURITE

Sur les pompes, et plus particulièrement sur les pompes centrifuges, on a l'habitude de rencontrer les équipements de sécurité suivant :

- ⊕ Un transmetteur basse pression aspiration (protection contre la cavitation),
- ✦ Un transmetteur haute pression refoulement,
- ✦ Si la pompe est entraînée par un moteur électrique, une sécurité de manque de puissance. Cette sécurité peut remplacer les deux transmetteurs précédents,
- ⊕ Une sonde de température sur le corps de pompe éventuellement,
- ✦ Une sonde de température sur les paliers,
- ✦ Une sécurité de fuite aux garnitures,
- ✦ Une surveillance des vibrations pompe et entraîneur, surtout sur équipements de moyenne ou forte puissance.

8.3. CAPACITES MAXI / MINI

Pompe	Débit	Pression	Viscosité	Divers
Pompe à piston	Quelques l/h à 200 m ³ /h	Jusqu'à environ 1500 bars	Environ 1000 cPo	
Pompe à membrane	Quelques l/h à 50 m ³ /h (100 m ³ /h sur certains modèles)	Jusqu'à 1200 bars	Jusqu'à 50000 cPo	<p>Membrane plastique : pression jusqu'à 350 bar</p> <p>Membrane métallique : pression jusqu'à 1200 bars</p>
Pompe à engrenages	0 à 300 m ³ /h	Jusqu'à 20 à 30 bars	De 1 à 20000 cPo	<p>Fonctionnement à sec à éviter</p> <p>Utilisation de paliers lisses</p>
Pompe à vis	< 1000 m ³ /h	<p>< 100 bars</p> <p>Utilisations courantes : 16 à 50 bars</p>	Maxi de 100000 cPo	
Pompe à vis excentrée	Jusqu'à 500 m ³ /h	<p>Pression maxi de 60 bars</p> <p>Utilisations courantes : 4 à 16 bars</p>		<p>Rotor en acier inox ou fonte</p> <p>Stator en polymère</p>
Pompe péristaltique	Quelques litres à 50 m ³ /h maxi	Jusqu'à 15 bars	Jusqu'à 60000 cPo	<p>Particules admises : Moins de 1/3 du diamètre du tuyau</p>

Pompe	Débit	Pression	Viscosité	Divers
Pompes à palettes	< 100 m ³ /h	< 10 bars	10000 cPo	Palettes en bronze ou en plastique Necessite l'utilisation de fluides pompés auto-lubrifiants
Pompe centrifuge	Quelques l/h à plus de 1000 m ³ /h	HMT jusqu'à 200 mCL en monocellulaire	< 400 cPo	
Pompe à canal latéral	Jusqu'à 30 m ³ /h	HMT jusqu'à 350 mCL		Auto-amorçante Aspiration de gaz ou de vapeur possible

Table 9: Plages d'utilisation des différents types de pompes

8.4. EXERCICES

67. Citer 4 éléments à surveiller lors du fonctionnement d'une pompe centrifuge.

68. Citer 3 éléments à surveiller lors du fonctionnement d'une pompe volumétrique.

69. Il est préférable d'amorcer une pompe, en y introduisant du liquide à une pression permettant de bien chasser l'air, lorsque :

- La pompe tourne
- La pompe est à l'arrêt

70. Un coup de bélier est une brusque variation de pression et a pour cause une brutale variation de débit

- Vrai
- Faux

71. Donner 3 actions à effectuer pour éviter le coup de bélier

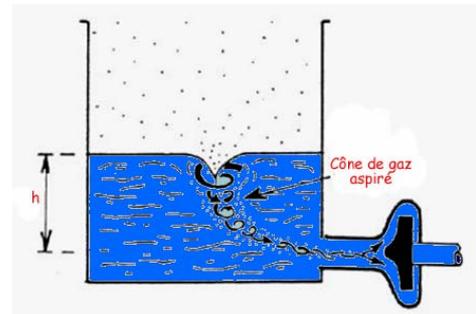
72. Si la pression à l'entrée de la roue est inférieure à la tension de vapeur, il se produit une vaporisation partielle du liquide

- Vrai
- Faux

73. Quel est le premier remède à appliquer pour arrêter la cavitation sans réduction notable du débit par rapport à la situation de cavitation

- Fermeture suffisante de la vanne d'aspiration
- Fermeture suffisante de la vanne de refoulement

74. Comment s'appelle ce type de phénomène ? (Entraînement mécanique d'une partie de la phase gazeuse due à la rotation du liquide à l'entrée de la pompe)



75. Sur une pompe centrifuge, quels équipements de sécurité rencontre-t-on habituellement ?

9. CONDUITE DES POMPES

9.1. MISE EN MARCHE D'UNE POMPE

Dans ce chapitre, nous allons traiter de la mise en service des pompes ainsi que des précautions à prendre avant et après le démarrage.

9.1.1. Pompes centrifuge

9.1.1.1. Premier démarrage

Précautions à prendre avant le premier démarrage d'une pompe centrifuge :

- ✦ **Au niveau des conduites d'aspiration et de refoulement**
 - ▶ S'assurer de la propreté des conduites (flushage).
 - ▶ S'assurer de la mise en place d'un filtre provisoire (chapeau chinois).
 - ▶ Contrôler le bon alignement des brides aspiration et refoulement par rapport aux brides correspondantes de la pompe afin d'éviter de mettre le corps de pompe sous contrainte.
- ✦ **Au niveau de la pompe**
 - ▶ S'assurer de la libre rotation de la pompe.
 - ▶ Vérifier le parfait alignement pompe/moteur.
 - ▶ Contrôler le sens de rotation.
 - ▶ Contrôler le remplissage de la pompe, purger le corps de la pompe ainsi que les conduites d'arrosage des garnitures.
 - ▶ Vérifier le graissage des paliers.

9.1.1.2. Démarrage et mise en service

Important : Une pompe centrifuge ne doit jamais tourner sans liquide sous risque de grippage et de détérioration des organes intérieurs.

L'une des caractéristiques principales des pompes centrifuges est la possibilité de fonctionner à débit nul, du moins pendant le temps de démarrage.

On démarrera la pompe :

- ✦ vanne d'aspiration **ouverte**,
- ✦ vanne de refoulement **fermée**,

Remarque: pour une pompe centrifuge fonctionnant avec un moteur électrique, il est préférable de démarrer la pompe centrifuge avec la vanne de refoulement fermée. En effet pour un débit nul la puissance consommée est alors la plus faible ce qui constitue un avantage pour un moteur électrique car l'intensité électrique le traversant est alors la plus faible.

Les contraintes mécaniques sont également les plus faibles dans ce cas. Bien entendu, dès que la pompe aura atteint sa vitesse normale de fonctionnement, il faudra assez rapidement ouvrir la vanne de refoulement sous peine d'entraîner un échauffement de la pompe. Il ne faut pas faire fonctionner une pompe vanne de refoulement fermée sous peine d'échauffement et de grippage des organes intérieurs.

Dans le cas où le refoulement d'une pompe centrifuge reste fermé trop longtemps, il se produit le phénomène suivant: le liquide chauffe (toute la puissance du moteur se transforme en chaleur) puis bout, l'étanchéité de passage d'arbre casse entraînant une fuite importante de liquide, selon la nature du liquide le risque est différent...feu, corrosion, toxicité, perte coûteuse ou simple nettoyage.

NB : Dans le cas d'une pompe verticale longue, sans clapet de pied, c'est-à-dire que la pompe est vide, même si la vanne de refoulement est fermée, le démarrage de la pompe s'effectue comme si la vanne était ouverte. Il n'est donc pas nécessaire de la démarrer vanne fermée

9.1.1.3. Après démarrage

- ✦ Contrôler les fuites aux garnitures. Un presse-étoupe doit goutter.
- ✦ Contrôler les pressions d'aspiration et de refoulement.
- ✦ En cas de pulsations aux manomètres et de bruit à l'aspiration, étrangler le refoulement jusqu'à stabilisation de la pression.

S'il est nécessaire de maintenir le refoulement étranglé, cela veut dire que le réseau n'est pas adapté, que le débit vanne ouverte en grand est trop élevé et que le NPSH disponible est inférieur au NPSH requis à ce débit.

Il sera donc nécessaire de modifier la caractéristique du réseau en installant au refoulement, soit une vanne de laminage, soit un orifice calibré.

9.1.2. Pompes volumétriques

En ce qui concerne les pompes volumétriques rencontrées généralement sur les installations pétrolières, leurs mises en service ne diffèrent guère, cependant il faudra retenir que ce type de pompe se démarre, **absolument**, vannes d'aspiration et de refoulement **ouvertes**.

9.2. MISE A DISPOSITION D'UNE POMPE

Pour l'isolation d'une pompe il faut réaliser les étapes suivantes :

- ✦ Arrêter la pompe
- ✦ Isoler la puissance électrique (Voir la procédure d'isolation électrique)
- ✦ Fermer la vanne d'aspiration et de refoulement
- ✦ Dépressuriser les lignes d'aspiration et de refoulement
- ⊕ Respecter ensuite les procédures de sécurité recommandées dans le permit de travail.

9.3. MAINTENANCE 1^{er} DEGRE

Le but de cet exposé n'est pas de vous submerger de théories mais d'essayer de vous donner des notions concrètes vous permettant de savoir si une machine fonctionne normalement, de prévoir l'ennui éventuel et si possible de l'éviter sinon d'y remédier.

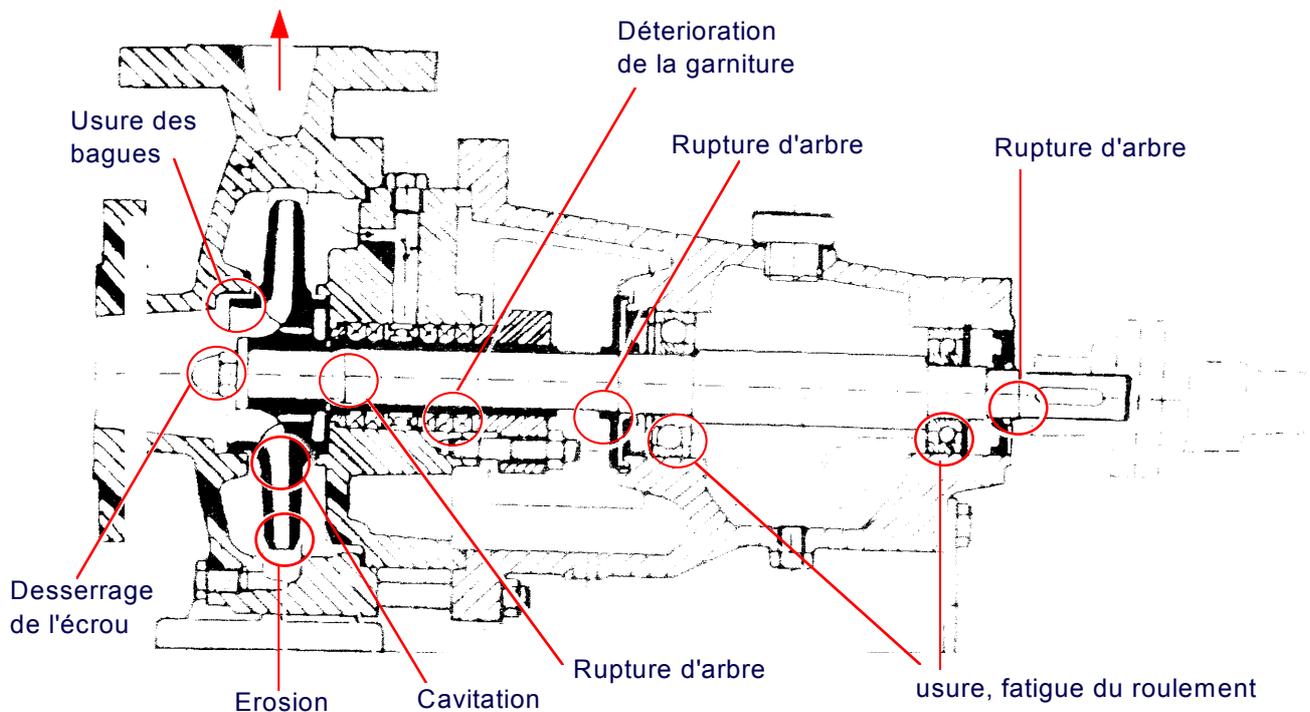


Figure 175: Dégradations typiques sur les pompes centrifuges

9.3.1. Analyse des symptômes

9.3.1.1. Bruits normaux

L'intensité moyenne de bruit aérien d'une pompe est de 70 à 80 dBa.

Les bruits sont différents suivant la taille de la machine, sa vitesse, la densité et la viscosité du liquide véhiculé.

Ils ont diverses origines :

- ✦ Bruits dus à l'écoulement du fluide dans la tuyauterie
- ✦ Bruits prenant naissance dans la roue de la pompe
 - ▶ chocs hydrauliques à l'entrée de l'aube
 - ▶ passage des aubes devant le bec de volute ou devant
 - ▶ les entrées d'aubes du diffuseur
- ✦ Bruits des roulements
- ✦ Bruits de sifflement provoqués par un étranglement (diaphragmes - vannes - clapets)
- ⊕ Bruits côté moteur
 - ▶ ventilateur
 - ▶ roulements
 - ▶ bruits magnétiques

On note au passage qu'en général, les moteurs sont plus bruyants que les pompes (jusqu'à 110 dBa).

9.3.1.2. Bruits anormaux

On ne peut pas donner de définition précise.

En général, il y a inquiétude au sujet d'un bruit lorsque celui-ci a changé par rapport au fonctionnement habituel :

- ✦ Bruits d'origine mécanique
 - ▶ paliers (roulements ou lisses)
 - ▶ trépidations (bruit de marteau piqueur)

- ▶ bruits d'accouplement (taquets usés, mauvais lignage, denture matée ou usée)
- ✦ Bruits d'origine électrique
 - ▶ bruit de surcharge modulé très difficile à distinguer et à analyser
- ✦ Bruits d'origine hydraulique
 - ▶ bruit au passage de rétrécissements trop forts ou au passage d'obstacles
 - ▶ bruit de filtre bouché (sifflement rappelant celui du serpent).
 - ▶ bruit de cavitation (un bruit identique est causé par le passage de gravier dans la pompe. C'est aussi un peu le bruit de concasseur)

9.3.1.3. La cavitation

On parle de phénomène de cavitation dans une pompe lorsque dans le liquide véhiculé, il y a apparition de cavités de vapeur si petites soient-elles.

Quand y a-t-il formation de cavités de vapeur ?

Lorsque la pression en un point arbitrairement choisi (en général l'œillard de la roue) devient inférieure à la tension de vapeur du liquide.

C'est, pour une température donnée, la pression absolue en dessous de laquelle le liquide vaporise (passage liquide - vapeur).

Pourquoi la pression peut-elle devenir aussi basse ?

- ✦ Augmentation des pertes de charge sur l'aspiration
- ✦ Augmentation de la hauteur d'aspiration
- ✦ Aspiration dans une bêche sous vide
- ✦ Charge insuffisante
- ✦ Augmentation de la température du liquide véhiculé

La cavitation, d'où cela peut-il provenir ?

- ✦ Installation
 - ▶ niveau de la bêche à l'aspiration trop bas
 - ▶ obstruction accidentelle sur le circuit d'aspiration
 - ▶ augmentation imprévue de la température de l'eau

- ▶ ouverture non remarquée d'une vanne sur le refoulement
- ▶ augmentation accidentelle du débit

✦ Pompe

- ▶ usure de la roue
- ▶ destruction des bagues d'étanchéité

Nota : une pompe peut caviter dans les petits débits

Remèdes

Vérifier les points précédemment énumérés et modifier celui ou ceux dont l'évolution a été néfaste.

Une pompe peut fonctionner pendant un temps très court en cavitation.

Il ne faut pas prolonger cet état de chose.

La destruction est en général très rapide (fonction du matériau). Arrêter la machine.

9.3.1.4. Les vibrations

Dans le temps, l'inspecteur "vérifiait" les vibrations d'une machine :

- ✦ Directement à la main,
- ✦ En écoutant la machine (tournevis, crayons, ...),
- ✦ En faisant le test de la pièce de monnaie.

Actuellement, on utilise de véritables instruments de mesure qui permettent :

- ✦ De déterminer l'état d'usure d'une machine,
- ✦ De déterminer quelle partie de la machine est déficiente, et qui sont suffisamment précis pour surveiller l'évolution de chaque machine.

Nature des vibrations

Une vibration est le mouvement oscillatoire d'une pièce, ou d'une partie de matériel autour d'un point de référence.

Une pièce fissurée, ou corrodée par fissuration transmet la vibration anarchiquement ou se rompt sous l'effet de vibration.

Les milieux visqueux, ou liquides, transmettent les vibrations en les amortissant légèrement.

Par contre, dans le cas de vapeur ou de gaz, la transmission de la vibration se fait sous forme sonore, intrasonore ou ultrasonore et il y a un amortissement assez important.

Intérêt de l'entretien par les vibrations

L'analyse des vibrations d'un parc de machines, permet d'éviter des dépenses importantes d'entretien des machines. En effet :

- ✦ Les durées entre visites générales sont allongées de façon sûre,
- ✦ L'évolution de chaque machine est surveillée et les pannes catastrophiques peuvent être évitées,
- ✦ La recherche des parties mécaniques déficientes est améliorée par le "diagnostic" plus fin offert par l'analyse de vibrations.

En résumé, en surveillant les vibrations d'une machine :

- ✦ on arrête la machine ni trop tôt ni trop tard,
- ✦ la durée de chaque intervention peut se trouver réduite.

9.3.1.5. Les coups de bélier

Origine

Toute modification brutale de la vitesse d'écoulement d'un fluide dans une tuyauterie se traduit par la création d'une onde de pression.

Cette onde possède sa propre vitesse de propagation (env. 1000 m/s). Elle effectue un va et vient à l'intérieur de la tuyauterie où elle a pris naissance, entre les deux extrémités de celle-ci.

Plus la variation de vitesse de l'écoulement est importante et plus le temps dans lequel cette variation est effectuée est court, plus l'amplitude de l'onde qui se propage est importante.

Ce phénomène peut se traduire sur toutes conduites, aussi bien à l'aspiration qu'au refoulement d'une pompe, au démarrage qu'à l'arrêt du groupe.

En général, les cas les plus dangereux sont :

- ✦ arrêt brutal par disjonction inopinée d'un ou plusieurs groupes

- ✦ électropompes alimentant une conduite de refoulement débitant sur un réservoir.
- ✦ fermeture instantanée ou trop rapide d'une vanne de sectionnement ou
- ✦ d'un robinet d'obturation placé en bout d'une conduite d'adduction.

Conséquences

Entre autres

- ✦ augmentation brutale de la pression
- ✦ éclatement de tuyauterie
- ✦ éclatement du corps de pompe
- ✦ fuites au joint entre deux éléments

Remèdes

- ✦ en dépannage : fermeture progressive de la vanne de refoulement de la pompe avant l'arrêt
- ✦ en action de fonds : faire faire une étude anti-bélier par des spécialistes

Nota : Ne pas confondre coup de bélier et coup de clapet (fermeture brutale d'un clapet à battant au refoulement)

9.3.1.6. Fuites

Fuites externes

- ✦ Presse-étoupe à tresses - l'eau doit toujours goutter- le presse-étoupe doit être lubrifié d'où fuite normale
- ✦ Garniture mécanique - le film entre les deux surfaces de friction est constamment renouvelé, mais il n'y a pas fuite apparente
- ✦ Joints - mauvais serrage ou joint claqué

Fuites internes

- ✦ Film liquide dans les pompes équilibrées par disque et contre-disque
- ✦ Bagues étanchéité usées = recirculation interne

Nota : fuite d'huile au palier

Outre les causes classiques de fuites d'huile dues à des destructions de joints ou feutres, il peut se produire la chose suivante :

Une pompe fonctionne avec un mauvais lignage. Nous l'avons vu, cela entre autres entraîne une destruction des roulements (ou des paliers).
Ceux-ci chauffent.

L'huile chauffée s'émulsionne, déborde- le palier fuit.

On arrête la pompe. On refait le lignage et on remet le groupe en marche.

Mais la quantité d'huile dans la chaise-palier n'est plus la même, une partie vient d'être perdue.

Cela peut être en grande quantité à un point tel que l'huile restante est insuffisante pour arriver au niveau des paliers ou des roulements.

9.3.1.7. Paramètres modifiés

Enfin, un des points à aborder est le cas où la pompe ne délivre plus ce qu'elle faisait auparavant.

Ceci peut-être lié à :

- ✦ Une mauvaise information donnée par le manomètre
- ✦ Une restriction en amont ou en aval. Exemple : filtre d'aspiration bouché
- ✦ Un changement de composition du fluide (nouvelle viscosité, entraînement de méthanol dans le liquide pompé)

10. TROUBLESHOOTING

10.1. SI, POURQUOI ? ALORS !

Dans ce chapitre nous allons déterminer les actions à entreprendre suite à l'observation d'anomalie sur une pompe.

Cependant, avant d'effectuer toutes actions, il faudra effectuer un diagnostic

Le diagnostic est l'identification de la cause d'une anomalie de fonctionnement. Il permet de connaître la gravité de la panne et donc de prendre une décision quant à l'arrêt de la machine, mais aussi de pouvoir indiquer précisément le travail à demander au service entretien.

Il est primordial (dans la mesure du possible) de comparer les paramètres et données de fonctionnement de la pompe en défaut aux paramètres qu'elle avait juste avant le défaut et de s'assurer que les conditions opératoires (process) n'ont pas évoluées entre temps.

Quelles peuvent être les causes de mauvais fonctionnement ?

10.1.1. Débit nul

- ✦ Pompe non amorcée,
- ✦ Vitesse insuffisante (vérifier le moteur),
- ✦ Hauteur manométrique de l'installation supérieure à celle prévue,
- ✦ NPSH disponible insuffisant,
- ✦ Mauvais sens de rotation,
- ✦ Poches d'air dans la tuyauterie d'aspiration.

10.1.2. Débit insuffisant

- ✦ Entrée d'air à l'aspiration,
- ✦ Vitesse insuffisante,
- ✦ Hauteur manométrique de l'installation supérieure à celle prévue,
- ✦ Impulseur partiellement obstrué,

- ✦ Pression insuffisante à l'aspiration (cavitation),
- ✦ Bagues d'étanchéité usées ou impulseur détérioré,
- ✦ Clapet de pied trop petit ou engorgé,
- ✦ Clapet de pied insuffisamment immergé.

10.1.3. Pression insuffisante

- ✦ Entrée d'air dans la tuyauterie d'aspiration,
- ✦ Dégagement d'air ou de vapeur dans cette tuyauterie,
- ✦ Mêmes défauts mécaniques que ci-dessus : bagues d'étanchéité - Impulseur

10.1.4. Désamorçage en marche

- ✦ Entrée d'air dans la tuyauterie d'aspiration,
- ✦ Hauteur d'aspiration trop grande,
- ✦ Dégagement d'air ou vapeur dans le liquide,
- ✦ Entrée d'air par la boîte à étoupe.
- ✦ Echauffement

10.1.5. Puissance absorbée exagérée

- ✦ Vitesse trop élevée,
- ✦ Hauteur manométrique totale inférieure à celle prévue,
- ✦ Liquide pompé de densité ou de viscosité différentes de celles prévues,
- ✦ Défauts mécaniques.

10.1.6. Vibration de la pompe

- ✦ Mauvais alignement,
- ✦ Fondations insuffisantes,

- ✦ Corps étrangers dans l'impulseur, d'où déséquilibre,
- ✦ Défauts mécaniques - Arbre faussé,
- ✦ Frottement des organes intérieurs,
- ✦ Usure des roulements,
- ✦ Pompe sans eau,
- ✦ Cavitation.

10.1.7. Comment remédier à la cavitation ?

Quand une pompe cavite, c'est en général qu'il y a eu baisse de pression à l'aspiration, il faut donc rétablir une pression correcte.

Pour cela il, faut vérifier les points suivants :

- ✦ L'ouverture totale des vannes entre le ballon d'aspiration et la pompe
- ✦ Le niveau du ballon d'aspiration
- ✦ La perte de charge du filtre
- ✦ Un débit pas trop important
- ✦ La température du produit, sa qualité
- ✦ Un jeu interne aux bagues d'étanchéité trop important dû à l'usure, ou à une réparation incorrecte.

En diminuant le débit de la pompe par fermeture partielle de la vanne de Refoulement, on réduit et même supprime la cavitation, mais ceci n'est qu'un palliatif et il faut toujours rechercher la cause d'une cavitation.

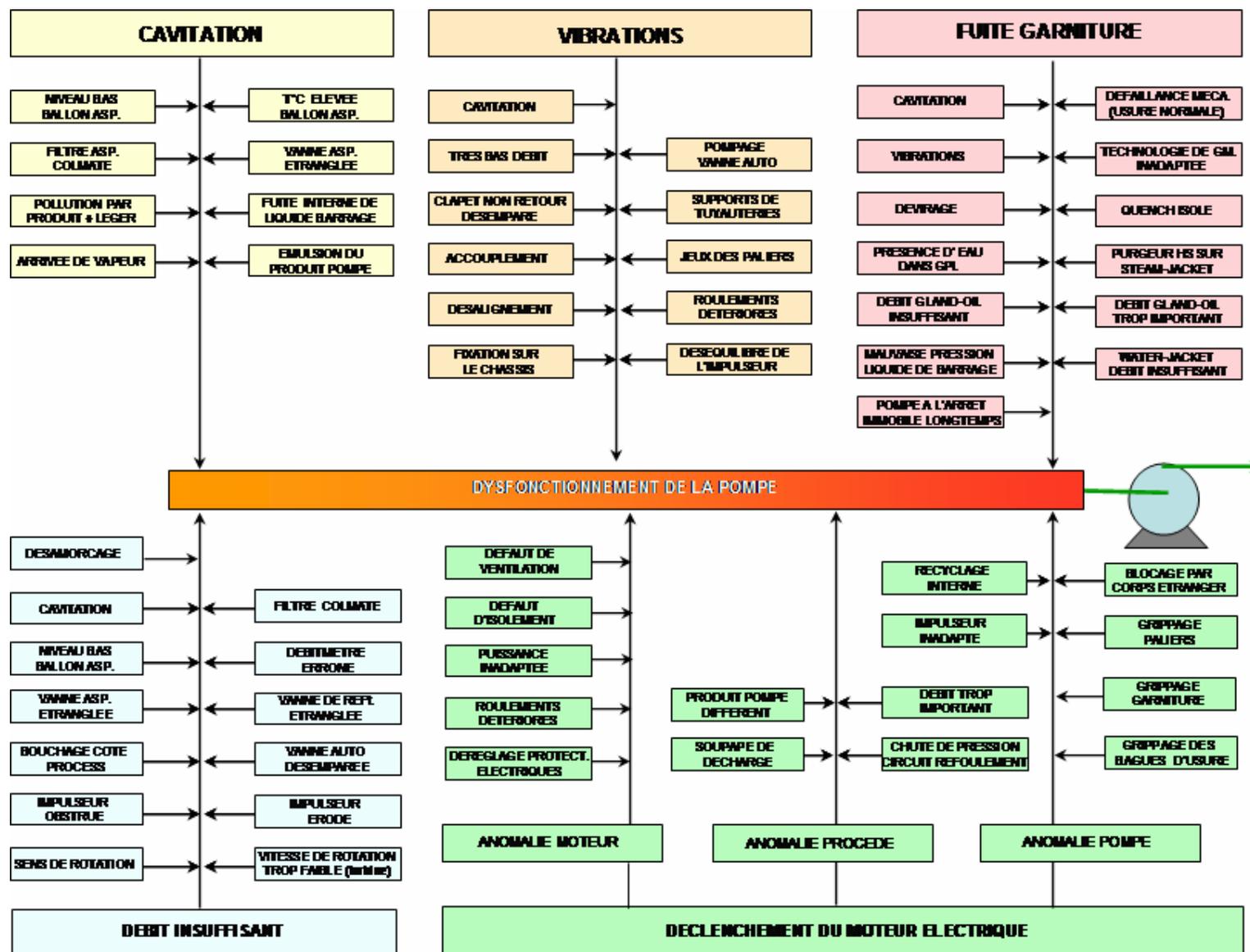


Table 10: Principales causes de dysfonctionnement des pompes en exploitation

10.2. RETOUR D'EXPERIENCE

11. GLOSSAIRE

12. SOMMAIRE DES FIGURES

Figure 1: Schéma de principe de transfert d'un ballon à un autre.....	7
Figure 2: Exemple de pompe centrifuge de type Aspiration Axiale.....	8
Figure 3: Exemple de pompe volumétrique à diaphragme.....	9
Figure 4: Coupe d'une pompe volumétrique à diaphragme.....	9
Figure 5: Différence de pression en hauteur de liquide.....	15
Figure 6: La charge entre deux points reste constante.....	16
Figure 7: Perte de charge en fonction du débit volumique.....	17
Figure 8: Transfert avec une pompe du bac B ₁ vers le bac B ₂	18
Figure 9: Exemple d'un calcul de la différence de charge.....	19
Figure 10: Courbe d'un réseau.....	19
Figure 11: Courbe de pompe.....	20
Figure 12: HMT d'une pompe.....	21
Figure 13: Point de fonctionnement d'une pompe.....	22
Figure 14: Graphe liquide - vapeur.....	23
Figure 15: Exemple d'abaque température - pression.....	24
Figure 16: Bilan de charge.....	25
Figure 17: Variation du NPSH requis avec le débit circulé par la pompe.....	27
Figure 18 : Influence du diamètre de la roue sur le NPSHr.....	27
Figure 19: Calcul du NPSH disponible dans un réseau.....	28
Figure 17: Rendement en fonction du débit.....	29
Figure 18 : Courbe point de fonctionnement d'une pompe.....	30
Figure 18: Fonctionnement en aspiration.....	31
Figure 19: HMT en fonction du débit (pompe A et pompe B).....	32
Figure 20: NPSH requis en fonction du débit pour les deux pompes.....	32
Figure 21: Fonctionnement en charge.....	33
Figure 26: Evolution des pressions et vitesses du fluide dans la roué et le corps de pompe.....	35
Figure 22: Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux.....	36
Figure 23 : Vue en coupe d'une pompe monocellulaire.....	37
Figure 24: Fonction hydraulique (1) – Pompe Monocellulaire.....	37
Figure 25: Fonction hydraulique (2) – Pompe Monocellulaire.....	38
Figure 26: Bagues d'étanchéité ou d'usure.....	38
Figure 27: Rotor.....	39
Figure 28: Roue en porte à faux.....	39
Figure 29: Roue placée entre deux paliers.....	39
Figure 30: Roulement à billes.....	40
Figure 31: Roulement à rouleaux cylindriques.....	40
Figure 32: Paliers lisses.....	40
Figure 33: Roulement à 2 rangées de billes à contact oblique.....	40
Figure 34: Ensemble paliers - Butée.....	41
Figure 35: Bain d'huile (1).....	42
Figure 36: Bain d'huile (2).....	42
Figure 37: Système de roulement lubrifié par bain d'huile inadapté.....	43
Figure 38: Circulation autonome - Déflecteurs.....	43

Figure 39: Palier à coussinet lisse équipé de bagues de lubrification.....	43
Figure 40: Palier à roulement équipé de bagues de lubrification	43
Figure 41: La circulation forcée (roulements et paliers lisses)	44
Figure 42: Voyant à niveau visible	45
Figure 43: Réservoir à niveau constant	45
Figure 44: Couvercle et pot de décantation	45
Figure 45: Flushing - Fonction étanchéité.....	46
Figure 46: Boîte à garniture	47
Figure 47: Garniture mécanique	48
Figure 48: Fonction refroidissement	49
Figure 49: Fonction montage	50
Figure 50: Fonctionnement pompes volumétriques rotatives.....	51
Figure 51: Exemple de fonctionnement d'une pompe alternative à double effet.....	52
Figure 52: Débit des Pompes	52
Figure 53: Exemple de pompe centrifuge	57
Figure 54: Différents types d'impulseurs.....	58
Figure 55: Schéma en coupe d'une pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux.....	58
Figure 56: Vue externe pompe monocellulaire	60
Figure 57: Vue écorchée pompe monocellulaire.....	60
Figure 58: Vue en coupe d'une pompe monocellulaire (1).....	61
Figure 59: Vue en coupe d'une pompe monocellulaire (2).....	61
Figure 60: Pompe procédé TT, roue en porte à faux	62
Figure 61: Pompe procédé, une seule roue en porte à faux.....	62
Figure 62: Pompe procédé TT, roue double entre paliers	63
Figure 63: Vue extérieure d'une pompe pattes à l'axe	63
Figure 64: Dilatation de la pompe	63
Figure 65: Vue écorchée d'une pompe pattes à l'axe	64
Figure 66: Vue écorchée d'une pompe palier chaise	64
Figure 67: Vue extérieure d'une pompe monobloc	65
Figure 68: Vue extérieure d'une pompe "in-line"	65
Figure 69: Coupe d'une pompe "in-line"	65
Figure 70: Vue extérieure d'une pompe verticale.....	66
Figure 71: Vue en coupe d'une pompe verticale.....	66
Figure 72: Vue extérieure d'une pompe immergée	66
Figure 73: Vue écorchée d'une pompe immergée	67
Figure 74: Système de mise en place d'une pompe immergée	67
Figure 75: Pompe Graphite.....	68
Figure 76: Pompe plastique	68
Figure 77: Pompe revêtue	68
Figure 78: Vue écorchée d'une pompe multicellulaire	69
Figure 79: Vue en coupe d'une pompe multicellulaire	69
Figure 80: Vues écorchée et extérieure d'une pompe de puits.....	70
Figure 81: Vue extérieure d'une pompe double flux.....	70
Figure 82: Vues écorchées et extérieure d'une pompe double flux	70
Figure 83: Vue extérieure d'une pompe à canal latéral.....	71
Figure 84: Éléments caractéristiques d'une pompe à canal latéral	71
Figure 85: Vue écorchée d'une pompe multicellulaire à canal latéral	71
Figure 86: Vue en coupe d'une pompe multicellulaire à canal latéral	72

Figure 87: Coupe d'une pompe à entraînement magnétique	72
Figure 88: Pompe alternative à simple effet.....	74
Figure 89: Principe pompe à piston	75
Figure 90: Débit en fonction du temps pour une pompe alternative simple effet	75
Figure 91: Pompe alternative à double effet	76
Figure 92: Principe pompe alternative à double effet.....	76
Figure 93: Vue extérieure d'une pompe doseuse	77
Figure 94: Coupe d'une pompe doseuse	77
Figure 95: Vue détaillée de la tête de pompe	77
Figure 96: Pompe alternative à air comprimé	78
Figure 97: Membranes.....	78
Figure 98: Tige de commande	78
Figure 99: Clapets	78
Figure 100: Distributeur	79
Figure 101: Circuit d'air rejeté.....	79
Figure 102: Circuit d'air comprimé	79
Figure 103: Pompe à piston plongeur simple effet.....	80
Figure 104: Pompe à membrane	81
Figure 105: Pompe à palettes.....	82
Figure 106: Vue extérieure d'une pompe à engrenage.....	83
Figure 107: Vue écorchée d'une pompe à engrenage.....	83
Figure 108: Vue extérieure pompe à lobes	84
Figure 109: Pompe à lobes ouverte.....	84
Figure 110: Internes d'une pompe à lobes.....	84
Figure 111: Fonctionnement pompe à lobes.....	84
Figure 112: Vue extérieure pompe Moineau.....	85
Figure 113: Vue écorchée pompe Moineau	85
Figure 114: Bride de refoulement Pompe Moineau	85
Figure 115: Rotor Pompe Moineau	85
Figure 116: Stator pompe Moineau	86
Figure 117: Alvéoles pompe Moineau	86
Figure 118: Carter d'alimentation pompe Moineau	86
Figure 119: Étanchéités pompe Moineau	86
Figure 120: Réducteur à engrenages d'une pompe Moineau	87
Figure 121: Système de variation de vitesse d'une pompe Moineau	87
Figure 122: Vue extérieure pompe rotative à anneau liquide.....	88
Figure 123: Vue écorchée d'une pompe rotative à anneau liquide	88
Figure 124: Pompe rotative - schéma 1	89
Figure 125 : Pompe rotative - schéma 2	89
Figure 126: Pompe rotative - schéma 3.....	89
Figure 127: Pompe rotative - schéma 4.....	89
Figure 128 : Pompe rotative - schéma 5.....	90
Figure 129: Pompe rotative - schéma 6.....	90
Figure 130: Pompe rotative - schéma 7	90
Figure 131: Graphe de sélection de pompes.....	92
Figure 132: Principe - Pompe à piston.....	94
Figure 133: Principe - Pompe à membrane	95
Figure 134: Principe - Pompe à engrenages extérieurs.....	97

Figure 135: Principe - Pompe à engrenages intérieurs.....	97
Figure 136: Principe - Pompe à vis.....	98
Figure 137: Principe - Pompe à palettes.....	98
Figure 138: Principe - Pompe à rotor hélicoïdal excentré	99
Figure 139: Exemple de PFD – Circuit amont pompe.....	112
Figure 140: Exemple de PFD - Circuit aval pompe.....	113
Figure 141: Exemple de PID - Système de pompage d'une séparation.....	115
Figure 142: Courbe de fonctionnement d'une pompe.....	117
Figure 148: Courbe réseau en fonction de la fermeture de la vanne	119
Figure 149: Courbe pompe en fonction de la diminution de vitesse de rotation de la pompe	120
Figure 143: PFD - Pompes GX301 A/B/C sur Girassol.....	124
Figure 144: Accessoires et lignes procédé d'une pompe centrifuge en unité	127
Figure 145: Filtre chapeau chinois.....	128
Figure 146: Filtre trapézoïdal	128
Figure 147: Filtre en Té.....	128
Figure 148: Clapet de non-retour à battant.....	129
Figure 149: Clapet à battant	129
Figure 150: Manomètre aspiration	129
Figure 151: Manomètre refoulement.....	129
Figure 152: Réduction	130
Figure 153: Formation de tourbillons avec un divergent court	130
Figure 154: Refroidissement d'une pompe centrifuge.....	131
Figure 155: Système de lubrification.....	132
Figure 156: Schéma des circuits annexes équipant une pompe chaude.....	133
Figure 157: Event	136
Figure 158: Remplissage d'une pompe où la pression est inférieure à la pression atmosphérique.....	136
Figure 159: Pompe aspirant en puits	137
Figure 160: Principe pompe auto-amorçante à canal latéral.....	138
Figure 161: Principe du coup de bélier	139
Figure 162: Exemple de coup de bélier	139
Figure 163 : Equipement de protection contre une dépression.....	141
Figure 164: Equipement de protection contre une surpression.....	141
Figure 165: Principe de la cavitation.....	142
Figure 166: Phénomène de cavitation sur des aubes de pompe centrifuge	142
Figure 167: Effet de Vortex.....	143
Figure 168: Dégradations typiques sur les pompes centrifuges	152

13. SOMMAIRE DES TABLES

Table 1: Exemple de comportement d'une pompe par rapport à la densité de l'effluent ...	11
Table 2: Température d'ébullition d'eau en fonction de la pression	23
Table 3: Tableau récapitulatif des principaux types de pompes	91
Table 4: Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des pompes volumétriques alternatives	94
Table 5: Récapitulatif des avantages et inconvénients des pompes volumétriques rotatives	96
Table 6: Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des pompes centrifuges.	100
Table 7: Feuille de données procédé d'une pompe	116
Table 8: Feuille de calcul d'une pompe.....	122
Table 9: Plages d'utilisation des différents types de pompes.....	146
Table 10: Principales causes de dysfonctionnement des pompes en exploitation.....	162

14. CORRIGÉ DES EXERCICES