LES POMPES

I DEFINITION ET DOMAINES D'APPLICATIONS

Les pompes sont des appareils qui génèrent une différence de pression entre les tubulures d'entrée et de sortie.
Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide, de l'énergie potentielle (par accroissement de la pression en aval) soit de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide.

Ainsi, on peut vouloir augmenter le débit (accroissement d'énergie cinétique) ou/et augmenter la pression (accroissement d'énergie potentielle) pour des fluides gazeux, liquides, visqueux, très visqueux….C'est pourquoi la diversité des pompes est très grande.
On distingue deux grandes catégories de pompes :

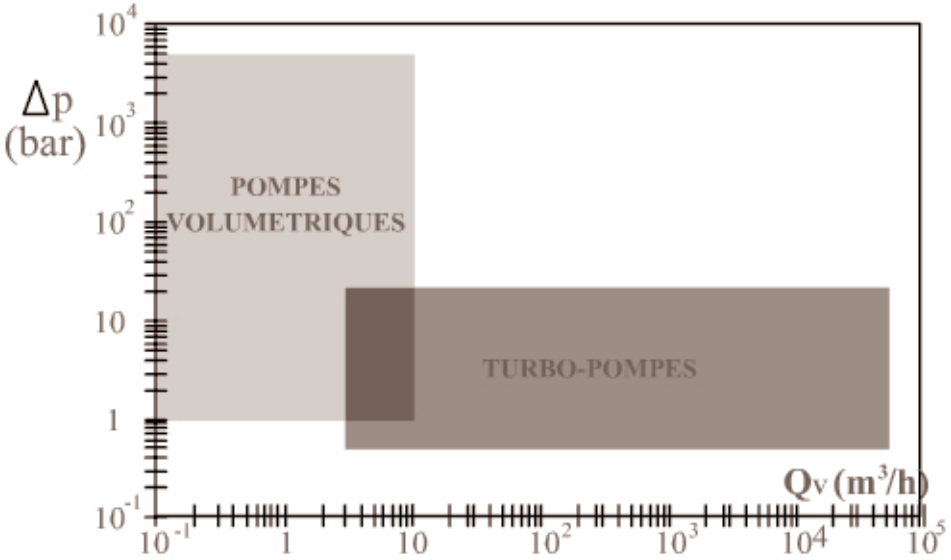
- **LES POMPES VOLUMETRIQUES :**

ce sont les pompes à piston, à diaphragme, à noyau plongeur…et les pompes rotatives telles les pompes à vis, à engrenages, à palettes, péristaltiques….Lorsque le fluide véhiculé est un gaz, ces pompes sont appelées « COMPRESSEURS»

- **LES TURBO-POMPES :**

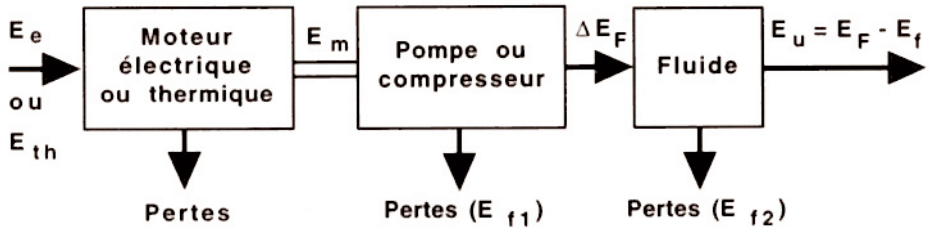
elles sont toutes rotatives. Ce sont les pompes centrifuge, à hélice, hélico-centrifuge.

Les domaines d'utilisation de ces deux grandes catégories sont regroupés dans le tableau ci-dessous :



REMARQUE :
On désigne par ***compresseurs*** les machines dont la pression de sortie (pression en aval) est supérieure à la pression atmosphérique, et par ***pompes à vide*** les machines dont la pression de sortie est égale à la pression atmosphérique. Mais la pression en aval, est dans tous les cas supérieure à la pression en amont.

La chaîne énergétique d'une pompe est représentée par le diagramme :



Globalement, 60 à 90 % de l'énergie fournie par le moteur est transformée en énergie mécanique. Cette énergie mécanique ne sera ensuite communiquée au fluide que dans une proportion de 50 à 80 %.
Les pompes décrites dans la suite sont surtout adaptées aux liquides. En effet, pour les gaz, les phénomènes thermodynamiques (compressions avec élévation de température,…) sont prépondérants.

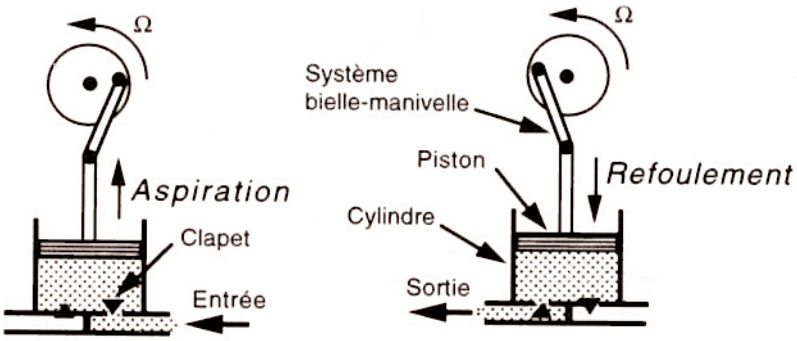
II LES POMPES VOLUMETRIQUES

1) Principe et caractéristiques générales

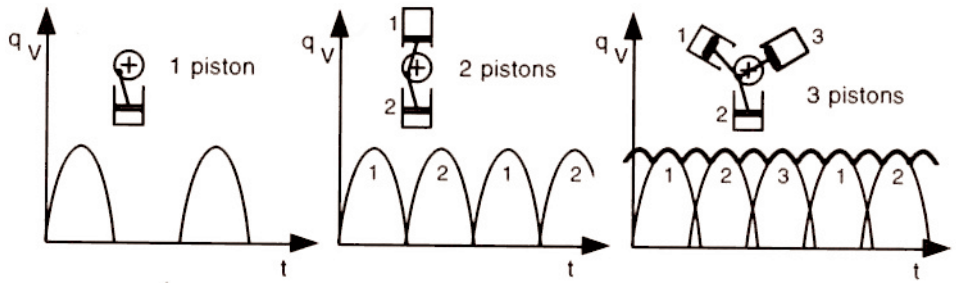
Un volume V_0 de fluide emprisonné dans un espace donné (le récipient de départ) est contraint à se déplacer de l'entrée vers la sortie de la pompe par un système mécanique. Ce volume prélevé dans la conduite d'aspiration engendre une dépression qui fait avancer le fluide vers la pompe par aspiration. Cet effet confère aux pompes volumétriques d'être auto-amorçante.
Dans le cas des liquides, la pression d'aspiration ne doit pas s'abaisser en-dessous de la pression de vapeur saturante sous peine de voir le liquide entrer en ébullition. Ce phénomène peut d'ailleurs intervenir sur n'importe quelle machine (cf ci-après).
On obtient un débit théorique moyen proportionnel à la vitesse de rotation.
Par contre, si le volume aspiré ne peut s'évacuer dans la canalisation de sortie (vanne fermée, ou canalisation obstruée) l'augmentation de pression aboutirait soit à l'éclatement de la conduite, soit au blocage du moteur d'entraînement de la pompe. C'est pourquoi une soupape de sûreté doit être impérativement montée à la sortie de la pompe.

2) Pompe à piston

Ces machines ont un fonctionnement alternatif et nécessitent un jeu de soupapes ou de clapets pour obtenir tantôt l'aspiration du fluide, tantôt le refoulement.
Le principal défaut de cette machine est de donner un débit pulsé et par suite des à-coups de pression, qu'on peut atténuer grâce à un pot anti-bélier sur la conduite de refoulement.



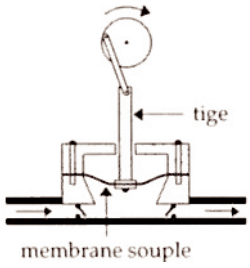
On peut aussi concevoir une machine mieux équilibrée par association de plusieurs pistons travaillant avec un déphasage judicieux…



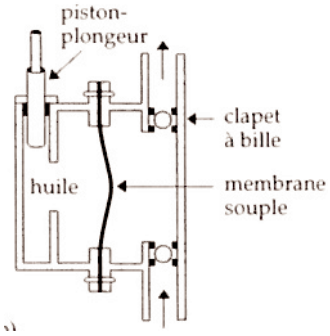
Les pompes à piston sont robustes et ont de bons rendements au-dessus d'une certaine taille. Elles peuvent être utilisées comme pompes doseuses, on les trouve d'ailleurs assez souvent avec des pistons à course réglables.
L'étanchéité de ce type de pompes ne leur permet pas de travailler avec des fluides possédant des particules solides.

3) Pompe à diaphragme

Dans les pompes à diaphragme, appelées aussi pompes à membrane, le fluide n'entre pas en contact avec les éléments mobiles de la machine. Ces pompes sont donc bien adaptées au pompage des liquides corrosifs ou/et chargés de particules solides.

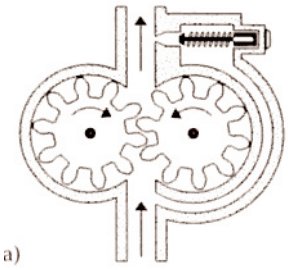


4) Pompe à piston plongeur



Cette machine est un compromis entre la pompe à piston et la pompe à membrane. Le fluide n'est pas isolé du piston, mais les frottements de celui-ci sont faibles car limités au niveau du presse-étoupe qui assure l'étanchéité.
Ces pompes sont adaptées à la production de hautes pressions.

5) Pompe à engrenage

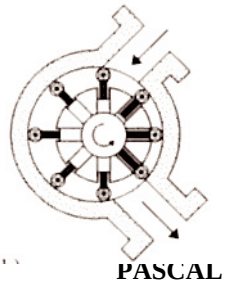


Deux pignons tournent en sens inverse dans un carter. Le fluide situé entre les dents et la paroi du carter est contraint d'avancer au cours de la rotation, tandis qu'au centre, le contact permanent entre les deux pignons empêche le retour du fluide vers l'amont malgré la différence de pression et le déplacement des dents qui se fait en direction de l'entrée.
Ces pompes peuvent fournir un débit de l'ordre de 80 à 100 m^3/h et des pressions maximales de l'ordre de 10 à 15 bar.

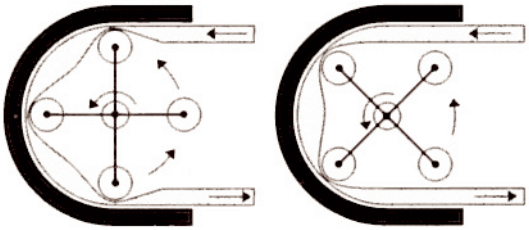
Le point faible de ces pompes est l'usure des dents qui se traduit par des fuites.

6) Pompe à palettes rigides

C'est la classique « pompe à vide ». Un rotor excentré tourne dans un cylindre fixe. Sur ce rotor, des palettes, libres de se mouvoir radialement, et poussées par des ressorts s'appliquent sur la face intérieure du cylindre fixe. Les espaces ainsi délimités varient au cours de la rotation et créé les dépressions nécessaires au fonctionnement d'une pompe volumétrique.
Ces pompes conviennent bien aux gaz.



7) Pompe péristaltiques



Son principe de fonctionnement est plutôt simple : un tuyau souple est écrasé par des galets, le fluide est alors repoussé sans turbulence, ni cisaillement. Il n'y a pas non plus de contact entre le fluide et les pompes mécaniques. Son débit est limité à des valeurs de l'ordre de 60 à 80 m^3/h. Par contre, le rendement est de 100 % et elle est la pompe doseuse par excellence.

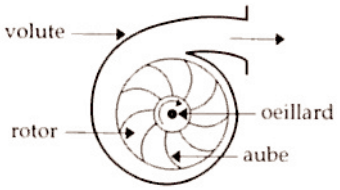
8) Diagnostic des problèmes inhérents aux pompes volumétriques

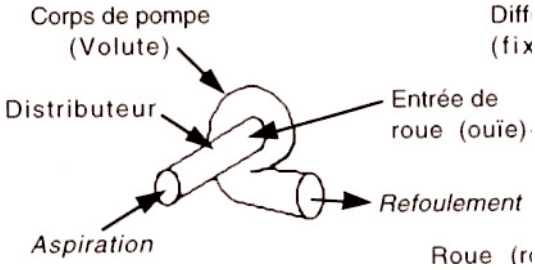
PROBLEMES	CAUSES POSSIBLES	CORRECTIFS
Signes de cavitation ; cognements ; vibrations ;pulsations irrégulières	Le N.P.S.H. est-il respecté ?	Vérifier l'aspiration pour le niveau de liquide ;voir s'il y a une obstruction ou si la vanne est partiellement fermée
	Coup de bélier ?	Vérifier les chambres anti-bélier
Bruits suspects ;vibrations	Pompe bien ancrée au sol ? Socle bien ancré au massif ? Lubrification déficiente Cavitation	Vérifier l'alignement de l'arbre Lubrifier La pression absolue doit être supérieure à $(N.P.S.H.)_R$
Pression de refoulement déficiente ; Faible débit	Vitesse de pompage Poche d'air en amont de la pompe Clapets défectueux Presse-garniture défectueux Garnitures défectueuses Liquide de scellement manquant Fuite dans la conduite Soupape de décharge défectueuse Echauffement du moteur ou de la pompe	Vérifier les courrois s'il y a lieu ; Vérifier les conditions à l'aspiration Effectuer les réparations nécessaires
Echauffement du moteur ou de la pompe	Frottement excessif de la garniture Frottement du piston ;manque de lubrification Défectuosité mécanique :paliers, alignement, arbre faussé	Effectuer les corrections nécessaires

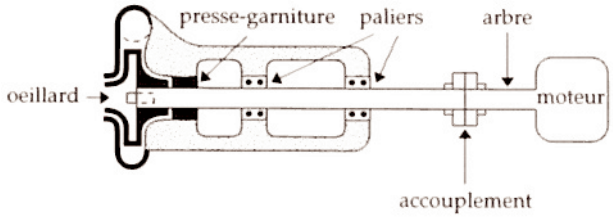
III LES POMPES HYDRODYNAMIQUES, OU TURBO-POMPES

1) Description et fonctionnement

Les pompes hydrodynamiques sont de construction très simple : en version de base, elles sont essentiellement constituées d'une pièce en rotation, le **rotor** appelé aussi roue ou hélice qui tourne dans un carter appelé **corps de pompe**.
Une certaine vitesse est ainsi communiquée au fluide.
La différence entre les pompes centrifuge hélico-centrifuge et à hélice porte essentiellement sur la direction de la vitesse donnée au fluide.







→ **ASPIRATION :** la pompe étant amorcée (c'est à dire pleine de liquide, cf ci-après), la vitesse du fluide qui entre dans la roue augmente, et par conséquent la pression dans l'ouïe diminue, engendrant ainsi une aspiration et le maintien de l'amorçage

→ **ACCELERATION :** la rotation augmente la vitesse du fluide tandis que la force centrifuge qui le comprime sur la périphérie augmente sa pression.
Les aubes sont le plus souvent incurvées et inclinées vers l'arrière par rapport au sens de rotation, mais ce n'est pas une obligation.
Dans un même corps de pompe on peut monter des roues différentes en fonction des caractéristiques du fluide.

→ **REFOULEMENT :** dans l'élargissement en sortie, qui se comporte comme un divergent, le liquide perd de la vitesse au profit de l'accroissement de pression :l'énergie cinétique est convertie en énergie de pression.

IMPORTANT : on ne peut faire varier la vitesse de la pompe que sur un faible intervalle, c'est pourquoi, le débit est réglé par une vanne placée sur la conduite de refoulement, ou un « by-pass » sorte de court-circuit par lequel une partie du fluide sortant de la pompe est renvoyée vers l'entrée.

2) Avantages et inconvénients des turbo-pompes

Pour les avantages, ce sont des machines de construction simple, sans clapet ou soupape, d'utilisation facile et peu coûteuses.

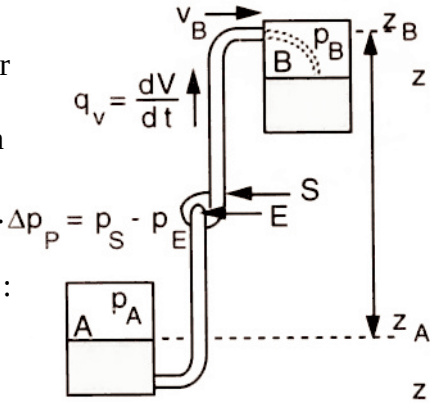
- à caractéristiques égales, elles sont plus compactes que les machines volumétriques
- leur rendement est souvent meilleur que celui des « volumétriques »
- elles sont adaptées à une très large gamme de liquides
- leur débit est régulier et le fonctionnement silencieux

- 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…

Du côté des 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….)

3) Pression différentielle engendrée par la pompe

Sur l'installation ci-contre, la pompe qui tourne à vitesse constante élève le liquide contenu dans le réservoir inférieur et le rejette dans le réservoir supérieur.
ENTRE « A » ET « E » : le fluide s'élève par aspiration, on dit que la pompe travaille à l'aspiration.
ENTRE « S » ET « B » : la pompe travaille au refoulement.



L'application du théorème de Bernoulli entre A et B donne :

$$p_A + \rho g z_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 + \Delta p_P = p_B + \rho g z_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \Delta p_C$$

La différence de pression engendrée par la pompe s'écrit :

$$\Delta p_P = p_S - p_E = (p_B - p_A) + \rho g (z_B - z_A) + \frac{1}{2}\rho (v_B^2 - v_A^2) + \Delta p_C \quad \textbf{(E)}$$

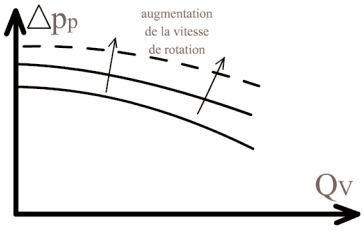
la vitesse en A est généralement négligeable
La hauteur théorique d'élévation ΔH_P est par définition :

$$\Delta H_P = \frac{\Delta p_P}{\rho g}$$

4) Caractéristique pression-débit

Cette caractéristique $\Delta p_P = f(Q_V)$ est encore appelée caractéristique débitante, et représente la variation de la pression différentielle, ou de la hauteur théorique d'élévation, en fonction du débit de la pompe.
Sur les pompes de conception courante la pression différentielle chute lorsque le débit augmente :

Les caractéristiques **pression-débit** sont habituellement fournies par les constructeurs, ainsi que d'autres courbes qui donnent le rendement de la pompe ou le NPSH d'aspiration en fonction du débit.

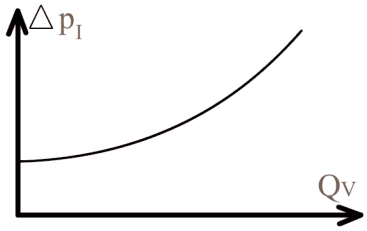


5) Point de fonctionnement

La caractéristique **pression-débit** de la pompe étant connue, pour déterminer le point de fonctionnement de l'ensemble {POMPE + INSTALLATION} il faut connaître les besoins de l'installation. Ces besoins sont représentés par la courbe **charge-débit** de l'installation.
Sur notre exemple, le liquide devant être acheminé depuis « A » vers « B », la conception de l'installation entraîne un besoin en pression de :

$$\Delta p_I = (p_B - p_A) + \rho g(z_B - z_A) + \frac{1}{2}\rho(v_B^2 - v_A^2) + \Delta p_C$$

or, les pressions ainsi que les hauteurs de départ et d'arrivée sont constantes et indépendantes du débit, tandis que les vitesses et la perte de charge en dépendent. De plus, le résultat du chapitre précédent nous a enseigné que les pertes de charge sont proportionnelles à « v² », c'est pourquoi, la caractéristique résistante de l'installation peut se mettre sous la forme :

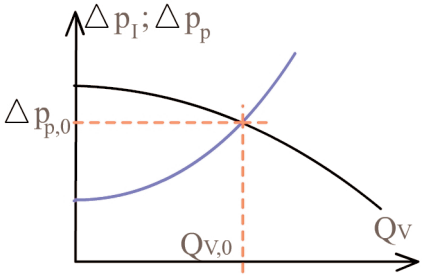


$$\Delta p_I = C^{ste} + k.v^2$$ dont l'allure est parabolique **(E')**

La pompe accouplée à l'installation impose donc un débit $Q_{V,0}$ pour une pression $\Delta p_{I,0}$ (qui représente son **point de fonctionnement**) tels que :

$\Delta p_P = \Delta p_I$ autrement dit, (E) = (E')

Graphiquement, ce point de fonctionnement est obtenu par l'intersection des deux courbes précédentes……..



6) Caractéristiques de vitesse

Le fonctionnement d'une pompe est défini par trois paramètres : la pression différentielle Δp_P (ou la hauteur théorique ΔH_P) le débit Q_V et la vitesse de rotation de la roue Ω (ou N en tr/s).
Il faut garder en mémoire que :

- $Q_V \propto \Omega$
- $\Delta p_P \propto \Omega^2$
- $P \propto \Omega^3$ puissance fournie par la pompe au liquide

7) Conditions d'aspiration – NPSH

Les possibilités pour une pompe de fonctionner à l'aspiration sont d'une grande importance quand la hauteur géométrique d'aspiration est importante, mais aussi quand le liquide est volatile, ou à température élevée, ou stocké sous vide, etc.…
Le critère de faisabilité est le **N.P.S.H.,** sigle de **« Net Positive Suction Head »** qui sert à définir la pression nécessaire à l'entrée de la roue pour obtenir un bon fonctionnement de la pompe, c'est à dire pour maintenir en tout point de la pompe une pression supérieure à la pression de vapeur saturante p_{VS}, de façon à éviter tout risque de cavitation (cf chap 0).
L'expression N.P.S.H. peut être traduite par **« CHARGE POSITIVE NETTE A L'ASPIRATION »**.

Le constructeur donne la courbe du N.P.S.H. pour la pompe, il s'agit du **« N.P.S.H. requis ».** Elle tient compte en particulier de la chute de pression que subit le liquide lors de son accélération à l'entrée de la roue. Quantitativement, le NPSH requis est le supplément minimal de pression qu'il faut ajouter à la pression de vapeur saturante au niveau de l'entrée de la pompe, pour que la pression à l'intérieur de celle-ci ne puisse être en aucun point inférieure à p_{VS} .

En d'autres termes, la pompe ne fonctionne correctement que SI la pression totale à l'entrée $p_T(E)$ est supérieure à la somme p_{VS} +NPSH requis :

$$NPSHrequis < \underbrace{p_T(E) - pVS}$$

ou encore :

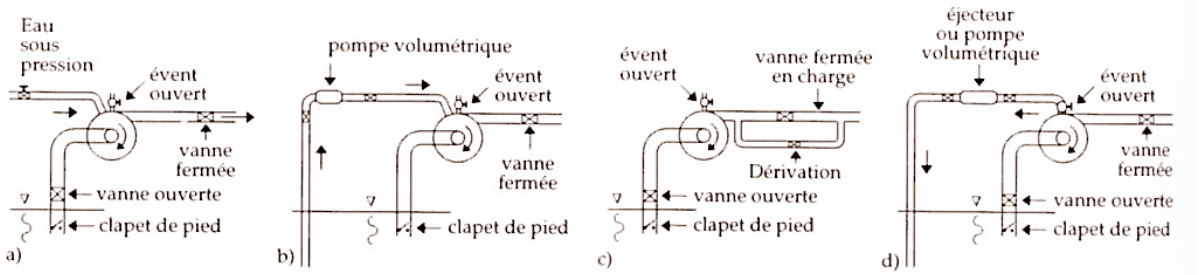
$$\boxed{NPSHrequis < NPSHdisponible}$$

Si la valeur du NPSH requis n'est pas atteinte, des phénomènes d'abord de dégazage, puis de vaporisation partielle du liquide, vont apparaître à l'intérieur de la pompe, avec pour conséquences une chute de pression dans toute l'installation et la dégradation de la roue causée par la présence de bulles.

8) Amorçage d'une turbo-pompe

La pompe centrifuge n'est généralement pas auto-amorçante. Quand le corps de pompe est plein d'air, la pompe centrifuge de conception usuelle ne peut engendrer suffisamment de pression pour fonctionner. Elle tourne « à vide ».

Les pompes immergées ne posent pas de problème d'amorçage, par contre, si le niveau du liquide à pomper est plus bas que le corps de pompe, il y a lieu de prévoir un dispositif d'amorçage.



— S'il y a disponibilité d'eau sous pression, on peut introduire de l'eau dans la pompe par une ouverture appropriée dans le corps de pompe, soit au moyen d'une conduite auxiliaire fixée en permanence, soit à l'aide d'un boyau amovible; il faut, en même temps, ouvrir l'évent jusqu'à ce que l'air soit expulsé (figure 10.26a);

— Quand on ne peut avoir d'eau sous pression, on prévoit l'installation d'une pompe volumétrique accessoire, manuelle ou mécanisée, permettant d'emplir la pompe comme ci-dessus (figure 10.26b);

— Si, la vanne de refoulement étant fermée, la conduite de refoulement est normalement pleine d'eau, on peut remplir le corps de pompe à l'aide d'une dérivation (figure 10.26c);

— Une pompe volumétrique ou un éjecteur, raccordé au corps de pompe, permet d'en évacuer l'air et de l'emplir par aspiration (figure 10.26d).

Enfin, on peut se procurer dans le commerce des dispositifs d'amorçage automatique. Par ailleurs, certains corps de pompe sont conçus de manière à maintenir le rotor immergé même au repos; la pompe est alors auto-amorçante.