

1. POMPES

Une pompe sert à véhiculer le liquide en lui fournissant de l'énergie pour le mettre en mouvement.

Deux types principaux pour l'eau : pompes centrifuges (turbo-pompes) et hélicoïdales (volumétriques - les plus courantes).

L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide. De manière générale, si on veut augmenter la pression d'un fluide on utilisera plutôt les pompes volumétriques, tandis que si on veut augmenter le débit on utilisera plutôt les pompes centrifuges.

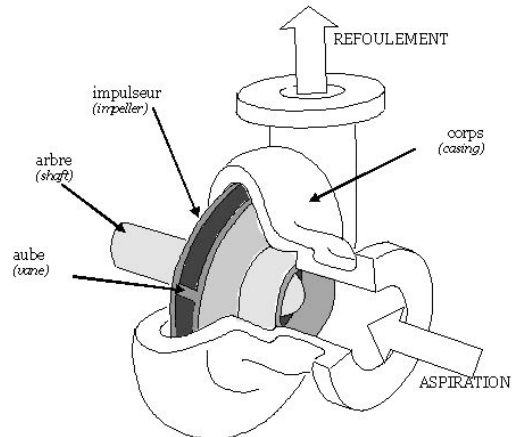
11. POMPE CENTRIFUGE

Les turbo-pompes sont toutes rotatives ; elles regroupent les pompes centrifuges, à hélice, hélico-centrifuges.

La pompe centrifuge est une machine tournante qui grâce à un rotor à aubes convenablement orientées augmente l'énergie cinétique et projette à l'aide de la force centrifuge le liquide à la périphérie sur la volute.

A la sortie et à l'aide d'un divergent, une grande partie de l'énergie cinétique se transforme en pression motrice.

Elle n'est pas auto-amorçante.

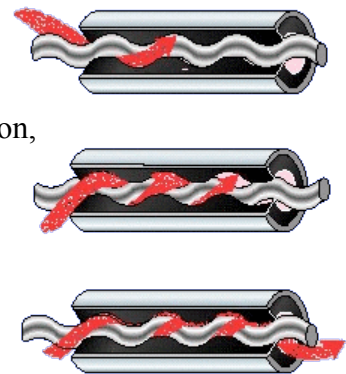


12. POMPE VOLUMETRIQUE

Les pompes volumétriques comprenant les pompes alternatives (à piston, à diaphragme, ...) et les pompes rotatives (à vis, à engrenage, à palettes, hélicoïdales, péristaltiques ...).

Le déplacement du fluide est dû aux transports d'un volume V_0 à chaque rotation.

Les pompes volumétriques ou à capacité variable sont des pompes dans lesquels l'écoulement du fluide résulte de la variation d'une capacité occupée par le fluide.



On distingue deux grandes types de pompes volumétriques :

- Les pompes alternatives

Les pompes à piston constituent l'un des plus anciens types de pompes et demeurent parmi les plus répandues. Comme son nom l'indique la pompe à piston utilise les variations de volumes occasionnées par le déplacement d'un piston dans un cylindre.

Ces machines ont donc un fonctionnement alternatifs et nécessite un jeu de soupapes ou de clapets pour obtenir tantôt l'aspiration dans le cylindre tantôt son refoulement.

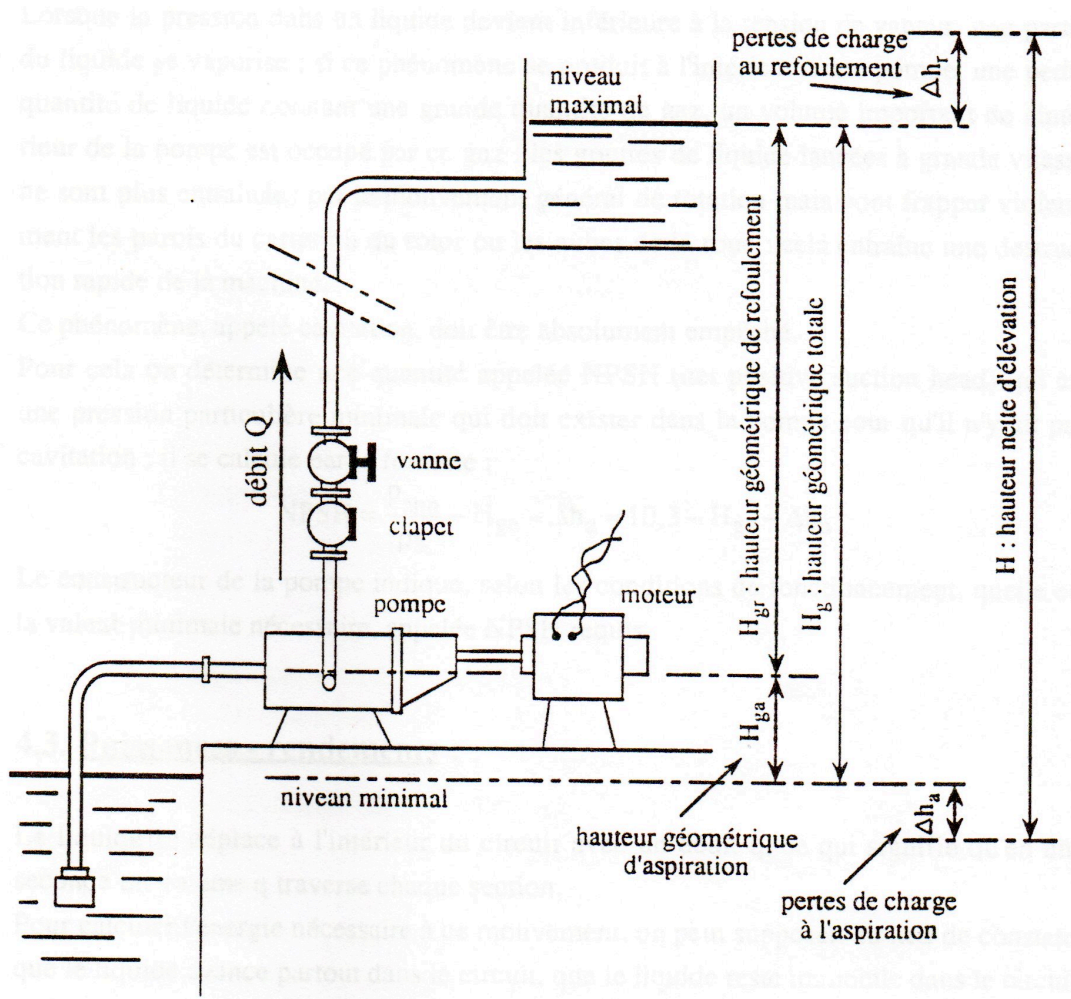
- Les pompes rotatives

Le principe de ces pompes est le suivant :

Deux rotors tournent en roulant l'un sur l'autre sans glisser pour éviter les frottements et déplacent un volume de fluide

2. GRANDEURS CARACTERISTIQUES D'UN CIRCUIT

Toutes ces valeurs qui permettront de trouver la pompe adaptée au circuit doivent être calculées dans les cas de fonctionnement les plus défavorables.



Le transport de liquide se fait depuis un niveau de départ jusqu'à un niveau final (qui peut être le même dans le cas d'un circuit fermé).

- aval de la pompe : circuit d'aspiration : pertes de charge Δh_a
- amont de la pompe : circuit de refoulement : pertes de charge Δh_r

Débit Q_v : le volume refoulé par unité de temps.

Hauteur géométrique totale H_g : distance verticale entre le niveau inférieur de départ et le niveau supérieur d'arrivée. $H_g = H_{ga} + H_{gr}$

Hauteur nette d'élévation H ou **Hauteur Manométrique Totale** HMT : énergie fournie par la pompe à l'unité de poids du fluide qui la traverse. Elle dépend du débit, et est représentée par la courbe caractéristique de la pompe considérée $HMT = f(Q_v)$.

Elle est égale à la somme de la hauteur géométrique totale + la somme de toutes les pertes de charges. $HMT = H_g + \Delta h_{tot}$

S'il existe une surpression p dans le réservoir supérieur par rapport au réservoir inférieur,

$HMT = H_g + \Delta h + \frac{p}{\rho g}$: dans les calculs qui suivent il faudra ajouter le facteur de pression.

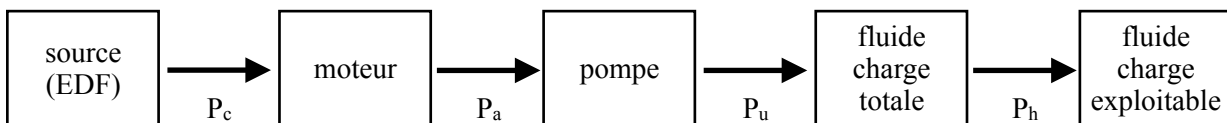
Hauteur nette d'aspiration H_{na} : hauteur géométrique d'aspiration + pertes de charge dans le

circuit d'aspiration Δh_a . $H_{na} = H_{ga} + \Delta h_a = \frac{p_{aa}}{\rho g} + \frac{V_a^2}{2g} - h_v$ avec p_{aa} : pression absolue dans la

conduite d'aspiration, V_a vitesse dans la conduite d'aspiration et h_v tension de vapeur en mètres d'eau (à 20°C, $h_v = 0,125$ m)

Vitesse spécifique de rotation de la pompe (tr/min) : $n_s = n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$. Elle est identique pour toutes les pompes semblables, et elle est indépendante de sa vitesse de rotation n .

Puissances - rendements



Puissance hydraulique = gagnée par le fluide en montant d'une hauteur géométrique total H_g :

$$P_h = \rho g \cdot Q_v \cdot H_g$$

Puissance utile = communiquée au liquide pompé par la pompe : $P_u = \rho g \cdot Q_v \cdot HMT$

Puissance absorbée (par la pompe) = puissance transmise à la pompe par le moteur, avec un rendement η :

$$P_a = \frac{P_u}{\eta} = \frac{\rho g \cdot Q_v \cdot HMT}{\eta}$$

Puissance consommée = puissance absorbée à la source (ex. EDF) par le moteur, avec un rendement

$$\eta_m : P_c = \frac{P_a}{\eta_m} = \frac{\rho g \cdot Q_v \cdot HMT}{\eta \cdot \eta_m} = \frac{\rho g \cdot Q_v \cdot HMT}{\eta_g} \text{ si } \eta_m \text{ est le rendement global de la moto-pompe.}$$

Coûts

Coût énergétique (€) = P_c (kW) \times Δt (durée fonctionnement, h) \times prix du kWh

Durée d'amortissement : 3 à 5 ans.

Coût annuel = Coût énergétique + prix pompe / durée amortissement

3. PHENOMENE DE CAVITATION - NPSH

NPSH = Net Positive Suction Head

La cavitation est la vaporisation du liquide dans la pompe quand celui-ci est soumis à une pression inférieure à la tension de vapeur correspondant à sa température : une petite quantité de liquide donne une grande quantité de gaz → destruction rapide de la machine.

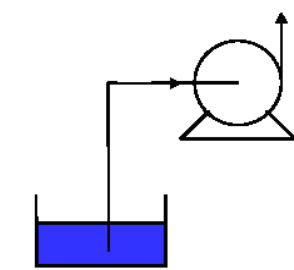
Le constructeur d'une pompe donne son **NPSH requis** : c'est la pression minimale à l'aspiration permettant un bon fonctionnement de la pompe.

On calcule pour le circuit le **NPSH disponible** qui doit être supérieur au NPSH requis (constructeur).

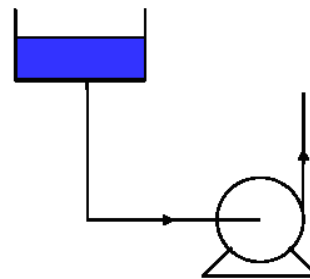
$$\text{NPSH} = \frac{p_{\text{atm}}}{\rho g} - H_{ga} - \Delta h_a \approx 10,33 - H_{ga} - \Delta h_a > \text{NPSH}_{\text{requis}}$$



Pour éviter la cavitation, si possible, préférer les montages de pompes en charge, diminuer les pertes de charge du circuit d'aspiration.



Pompe en aspiration



Pompe en charge

4. COURBES CARACTERISTIQUES

41. DE LA POMPE

Etablies par le constructeur pour une pompe donnée et une vitesse de rotation donnée. Un même diagramme peut fournir plusieurs courbes, pour une famille de pompes semblables fonctionnant à la même vitesse.

Il existe 4 courbes en fonction du débit :

C_1 : hauteur nette d'élevation = $f(Q)$; C_2 : rendement = $f(Q)$; C_3 : puissance absorbée = $f(Q)$;

C_4 : NPSH requis = $f(Q)$

42. DE L'INSTALLATION

Etablies par l'utilisateur, elles représentent le fonctionnement de l'installation en fonction du débit.

421. Courbe C'_1 : débit - HMT

$HMT = H_g + \Delta h + \frac{P_r}{\rho g}$, où p_r est la surpression éventuelle à l'arrivée. Par la suite, nous noterons

simplement H_g pour la grandeur $H_g + \frac{P_r}{\rho g}$.

$$HMT = H_g + \Delta h = H_g + \left(\frac{\lambda L}{D} + \sum k_{\text{sing}} \right) \times \frac{V^2}{2g} = H_g + \left(\frac{\lambda L}{D} + \sum k_{\text{sing}} \right) \times \frac{1}{2gS^2} \times Q^2$$

$$HMT = H_g + \left(\frac{\lambda L}{D} + \sum k_{\text{sing}} \right) \times \frac{1}{2g \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)^2} \times Q^2$$

$$HMT = H_g + \left(\frac{\lambda L}{D} + \sum k_{\text{sing}} \right) \times \frac{8}{\pi^2 g D^4} \times Q^2$$

C'est l'équation d'une parabole : $H = H_g + b \cdot Q^2$

422. COURBE C'_4 : débit - NPSH

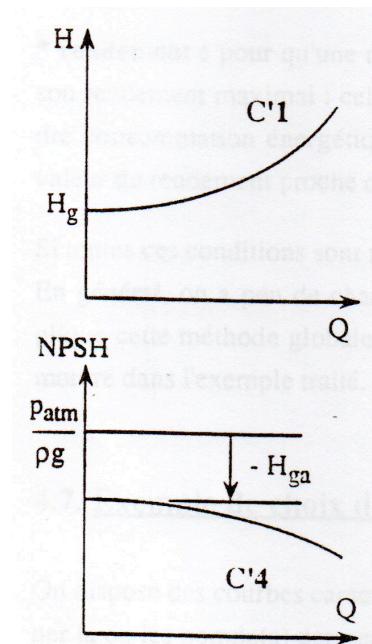
$$NPSH = 10,33 - H_{ga} - \Delta h_a$$

$$NPSH = 10,33 - H_{ga} - \left(\frac{\lambda L_a}{D} + \sum k_{a \text{ sing}} \right) \times \frac{V^2}{2g}$$

$$NPSH = 10,33 - H_{ga} - \left(\frac{\lambda L_a}{D} + \sum k_{a \text{ sing}} \right) \times \frac{1}{2gS^2} \times Q^2$$

$$NPSH = 10,33 - H_{ga} - \left(\frac{\lambda L_a}{D} + \sum k_{a \text{ sing}} \right) \times \frac{8}{\pi^2 g D^4} \times Q^2$$

C'est également l'équation d'une parabole : $NPSH = a' - b' \cdot Q^2$



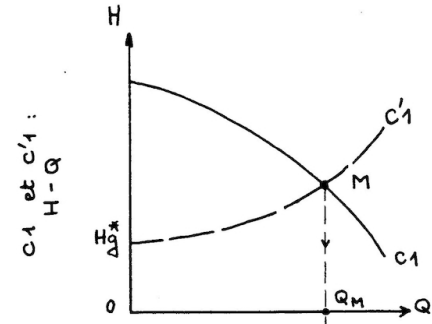
5. FONCTIONNEMENT DE L'ENSEMBLE

Cas le plus simple : on dispose des courbes caractéristiques d'une seule pompe pouvant tourner à une seule vitesse ; convient-elle à l'installation ?

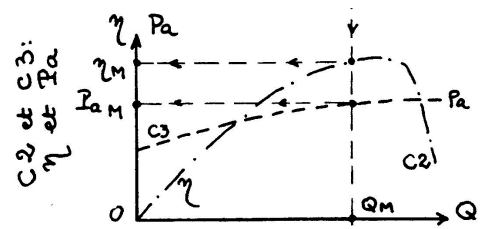
1- On calcule le coefficient K de pertes de charges globales et on trace la courbe

C'_1 : $H = H_g + K \cdot Q^2$ sur le diagramme du constructeur fournissant C_1 .

Le point **M** d'intersection est le **point de fonctionnement** de l'installation correspondant au débit Q_M .



Pour ce débit Q_M , les courbes C_2 et C_3 fournissent le rendement η_M et la puissance absorbée Pa_M .

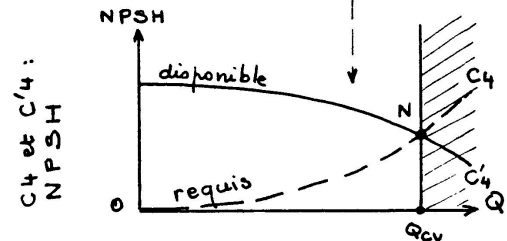


2- On calcule le coefficient K_a de pertes de charges à l'aspiration et on trace la courbe

C'_4 : $NPSH = \left(\frac{P_{atm}}{\rho g} - H_{ga} \right) - K_a \times Q^2$ sur le diagramme du

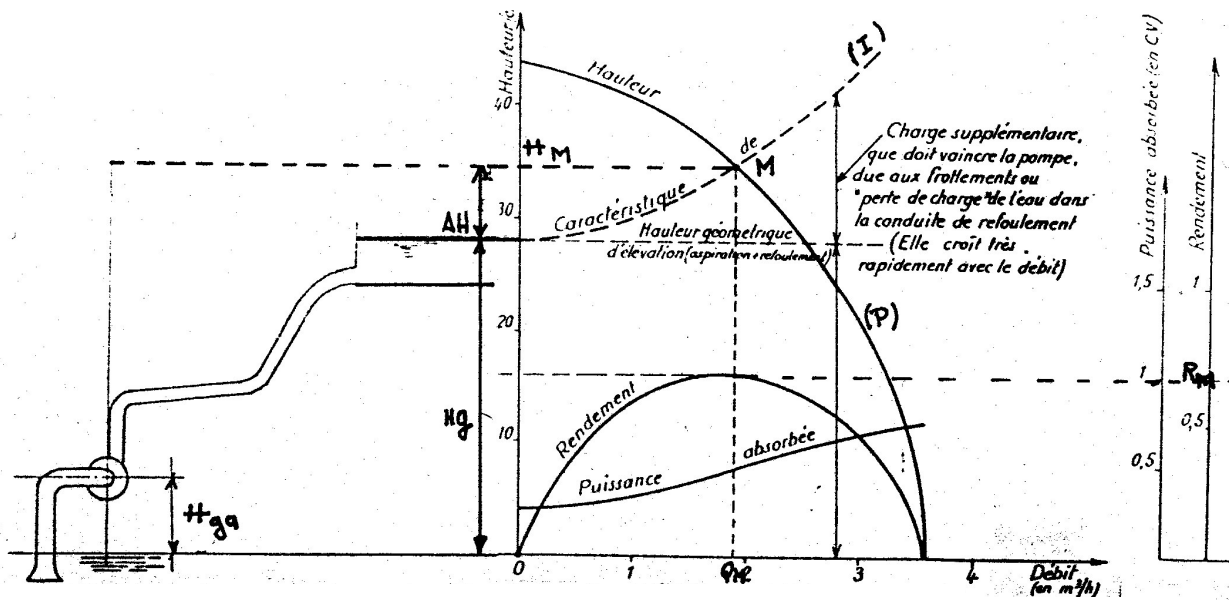
constructeur fournissant C_4 .

Le point **N** d'intersection est le **point de cavitation** de l'installation correspondant au débit Q_{cv} au-delà duquel il y a cavitation.



La **pompe est adaptée à l'installation** si les conditions suivantes sont remplies :

- Q_M est proche du débit recherché ; on l'adaptera en jouant sur un réglage de vannes et/ou de la vitesse.
- Q_M est inférieur à Q_{cv} , sinon l'installation sera rapidement détériorée.
- Le rendement η_M est proche du rendement maximal de la pompe, sinon l'installation n'est pas économique et la pompe peut s'user rapidement.



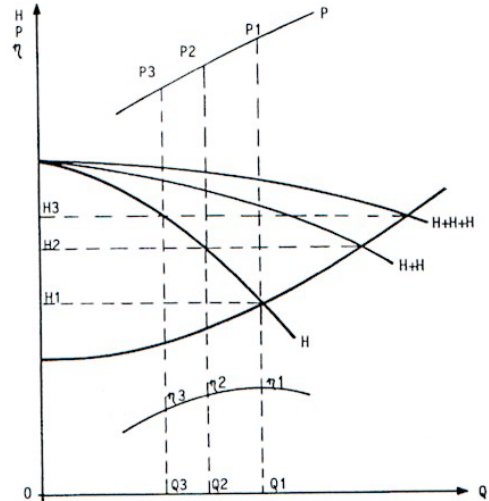
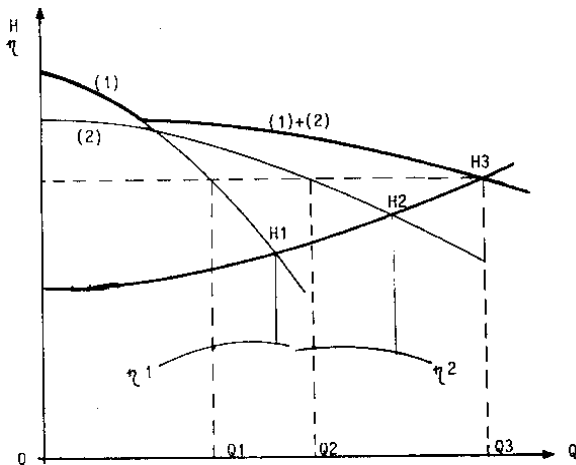
6. ASSOCIATION DE DEUX POMPES

61. POMPES EN PARALLELE

Lorsque l'on met deux pompes en parallèle, les **débites** s'ajoutent. Ainsi, on peut reconstruire la caractéristique de l'ensemble des deux pompes en sommant le débit pour une hauteur manométrique donnée.

Ci-dessous, trois pompes identiques sont mises en parallèles. Les caractéristiques pour une pompe, puis deux et trois pompes en parallèle sont tracées. Il est à noter que le rendement ne change pas.

Lorsque les pompes sont différentes, ci-dessous, il faut veiller à ce que les pompes délivrent des hauteurs manométriques proches.



62. POMPES EN SERIE

Lorsque les pompes sont en série, il faut ajouter la **hauteur manométrique**. On retrouve ce cas dans les pompes multicellulaires.

