

CH II

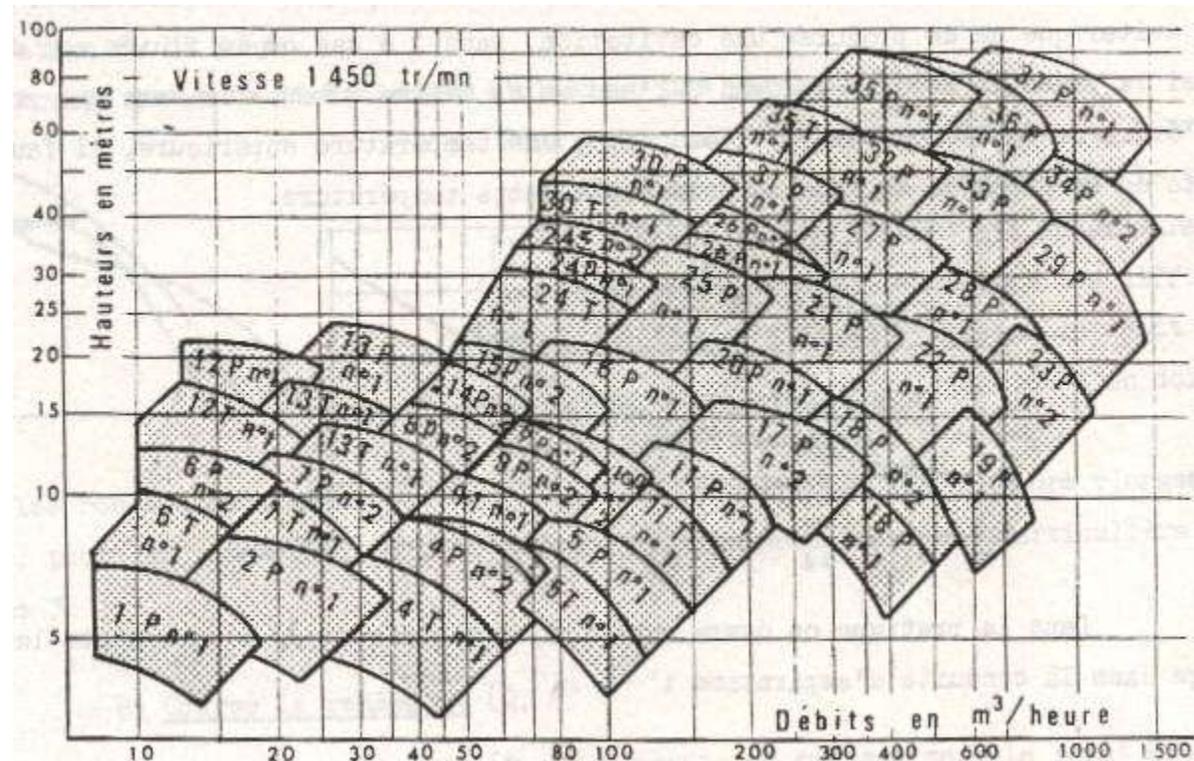
Choix des pompes, Point de fonctionnement

H. Bouchelkia

4 CHOIX D'UNE POMPE CENTRIFUGE

1. Conditions techniques

La nature du fluide à transporter, la place disponible et la hauteur et le débit de refoulement vont permettre tout d'abord de définir le genre de pompe nécessaire et ses matériaux de fabrication. Ce premier choix fait, les constructeurs proposent dans chaque genre de pompe un graphique log Q, log H sur lequel sont portés les domaines d'utilisation de chaque type de pompe. La comparaison du débit, de la hauteur de refoulement nécessaire et du graphique permet de déterminer le type de pompe.



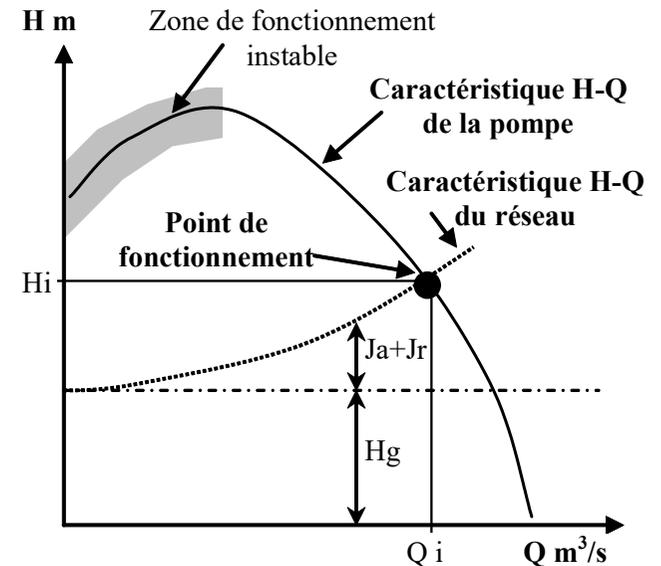
Point de fonctionnement

On connaît d'une part, les caractéristiques exactes de l'installation, c'est à dire la hauteur géométrique totale de refoulement H_g et les pertes de charge J_a et J_r dans l'aspiration et le refoulement. La charge totale H_t nécessaire pour transiter un débit Q est :

$$H_t = H_g + J_a + J_r$$

D'autre part, on connaît la caractéristique $Q - H$ de la pompe choisie. Le point de fonctionnement se trouve alors à l'intersection I de la caractéristique du réseau et de la caractéristique de la pompe.

Dans le cas où la pompe a une caractéristique présentant un maximum, le point de fonctionnement doit se situer dans la partie descendante de la courbe et loin du maximum. En effet, dans la partie ascendante le point de fonctionnement correspondrait à un équilibre instable



Courbe de réseau

Courbe représentative des pertes de charge en fonction du débit

En appliquant la relation de Bernoulli généralisée, on peut exprimer la hauteur manométrique H_{pompe} de la pompe sous la forme :

$$H_1 + h_{pompe} = H_2 + \sum \Delta H_i$$

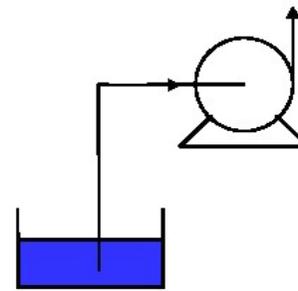
$$\left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1\right) + h_p = \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2\right) + \sum_i \Delta H_i$$

En négligeant les termes de vitesse et en supposant $p_1 = p_2$

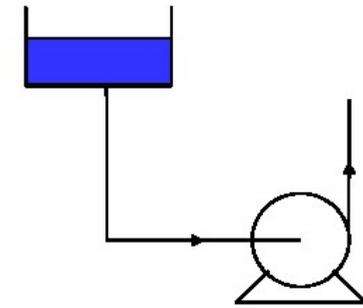
$$h_p = (z_2 - z_1) + \sum_i \Delta H_i$$

Les pertes de charge $\Delta H_a + \Delta H_r$ dans la conduite d'aspiration (1) et dans la conduite de refoulement (2) sont données par la somme des pertes de charge singulières et des pertes de charge linéaires :

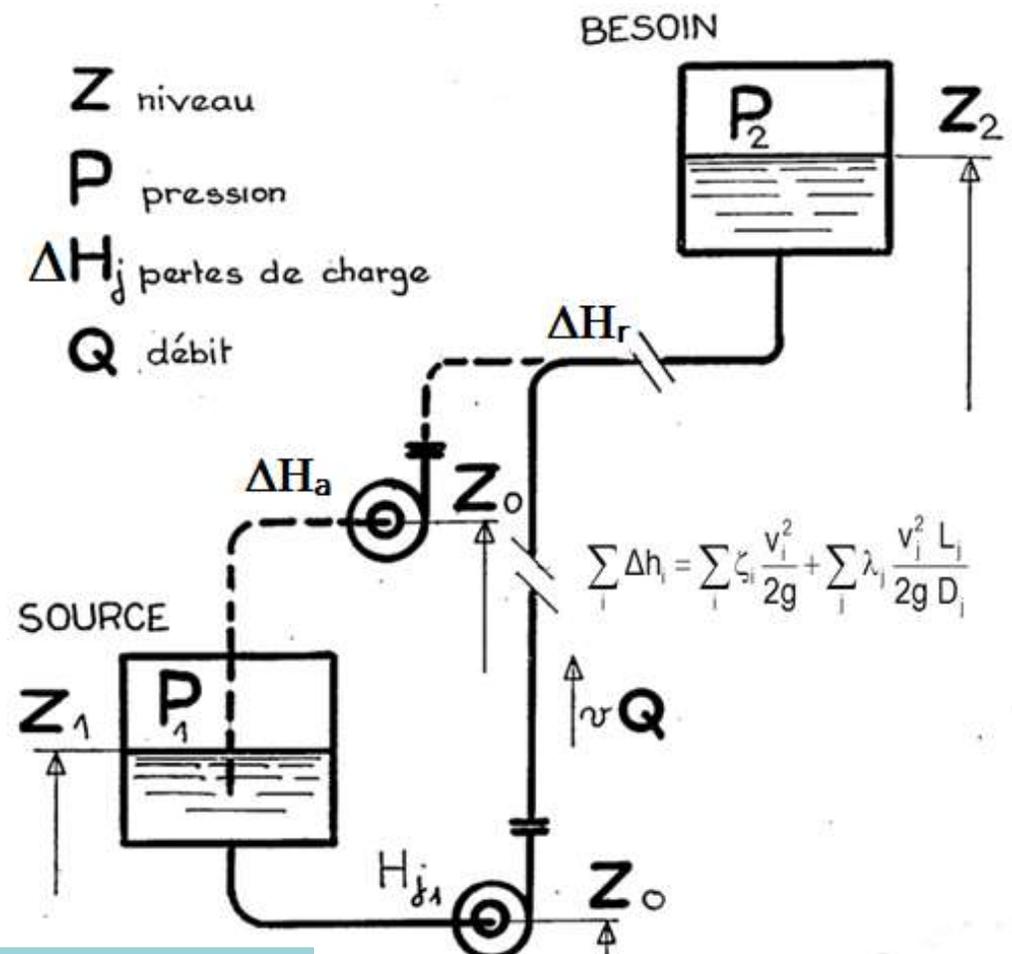
$$\sum_i \Delta H_i = \sum \Delta H_{\text{Singulieres}} + \sum \Delta H_{\text{Linéaire}} = \sum_i \zeta_i \frac{v_i^2}{2g} + \sum_j \lambda_j \frac{v_j^2 L_j}{2g D_j}$$



Pompe en aspiration

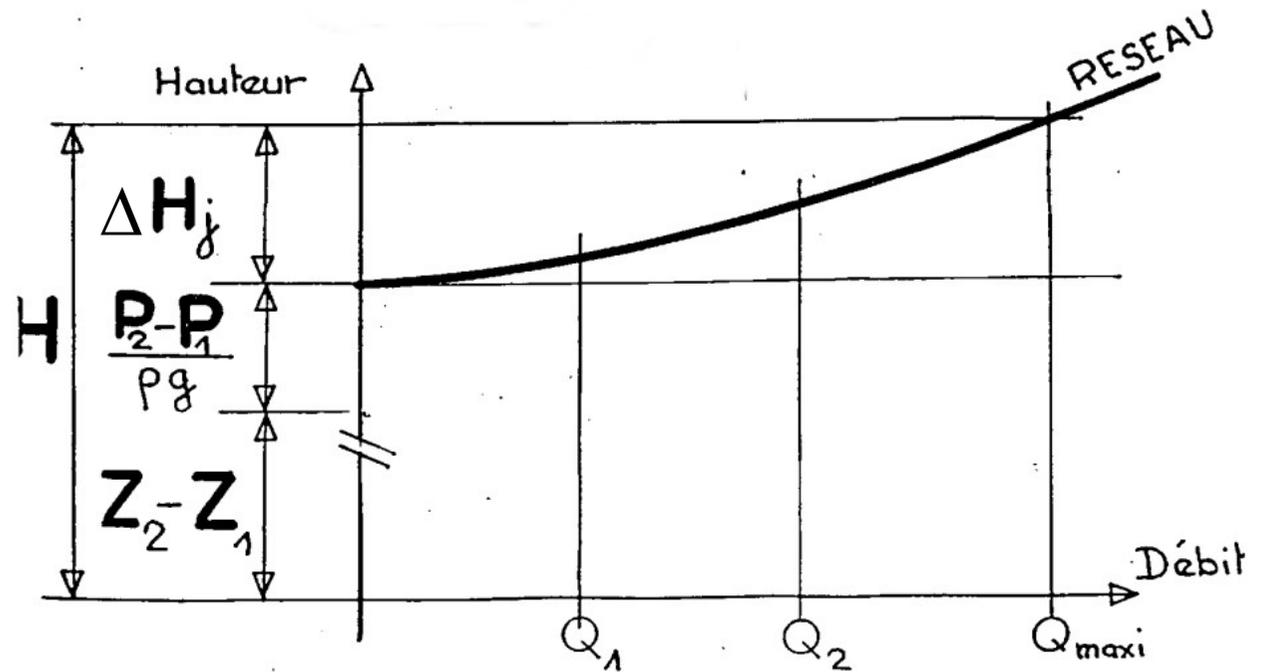


Pompe en charge



Si l'écoulement est turbulent rugueux, λ est une constante et donc les pertes de charge sont proportionnelles à q^2 . Dans le cas d'un écoulement turbulent lisse ($\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25}$ relation de Blasius), les pertes de charge sont proportionnelles à $q^{1,75}$.

La courbe réseau est donc d'allure parabolique et ressemble à la courbe ci-dessous :



$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

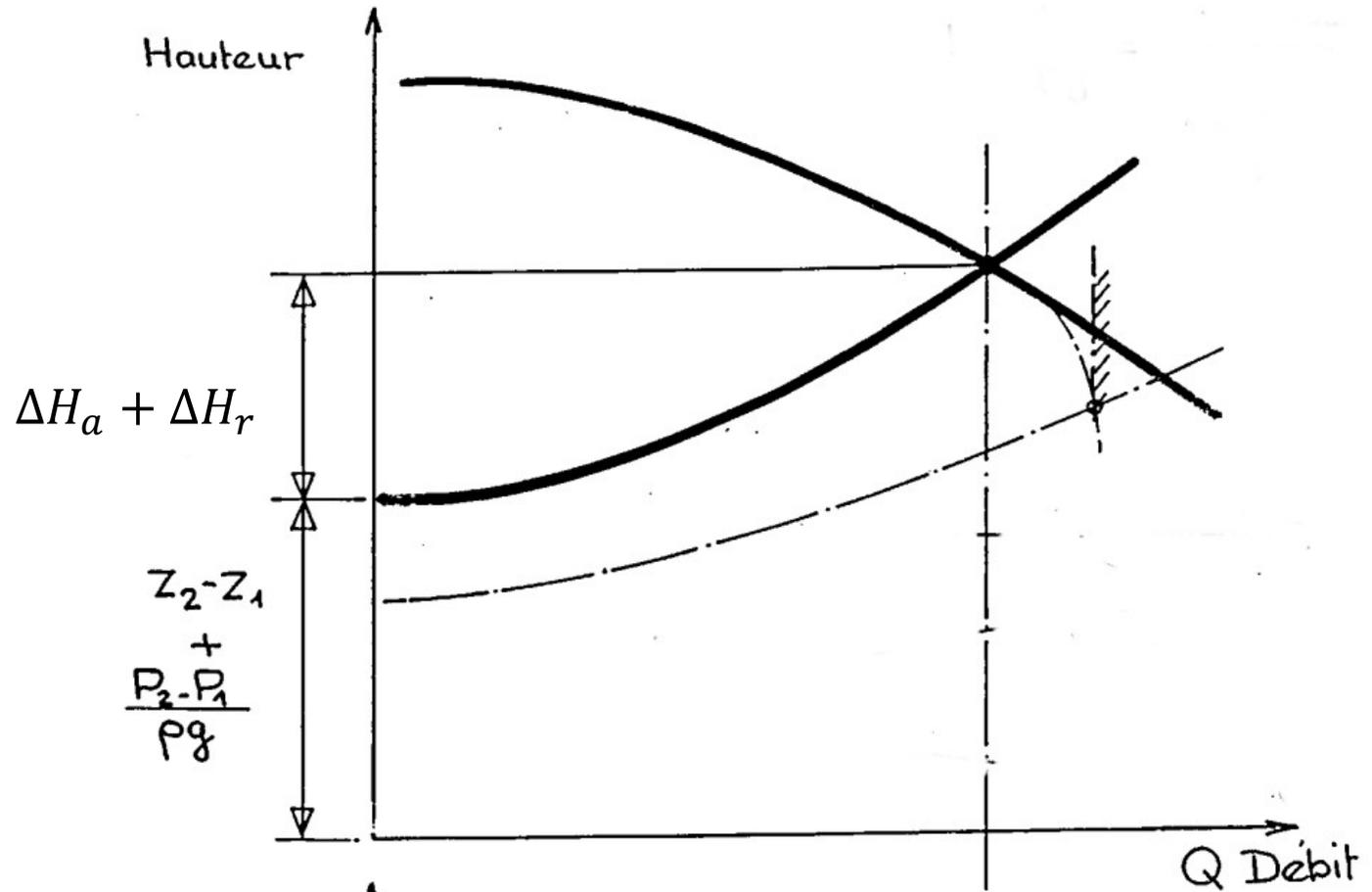
Colebrook-white

La courbe caractéristique d'un réseau a pour équations: $H = H_{géo} + R \cdot Q^2$

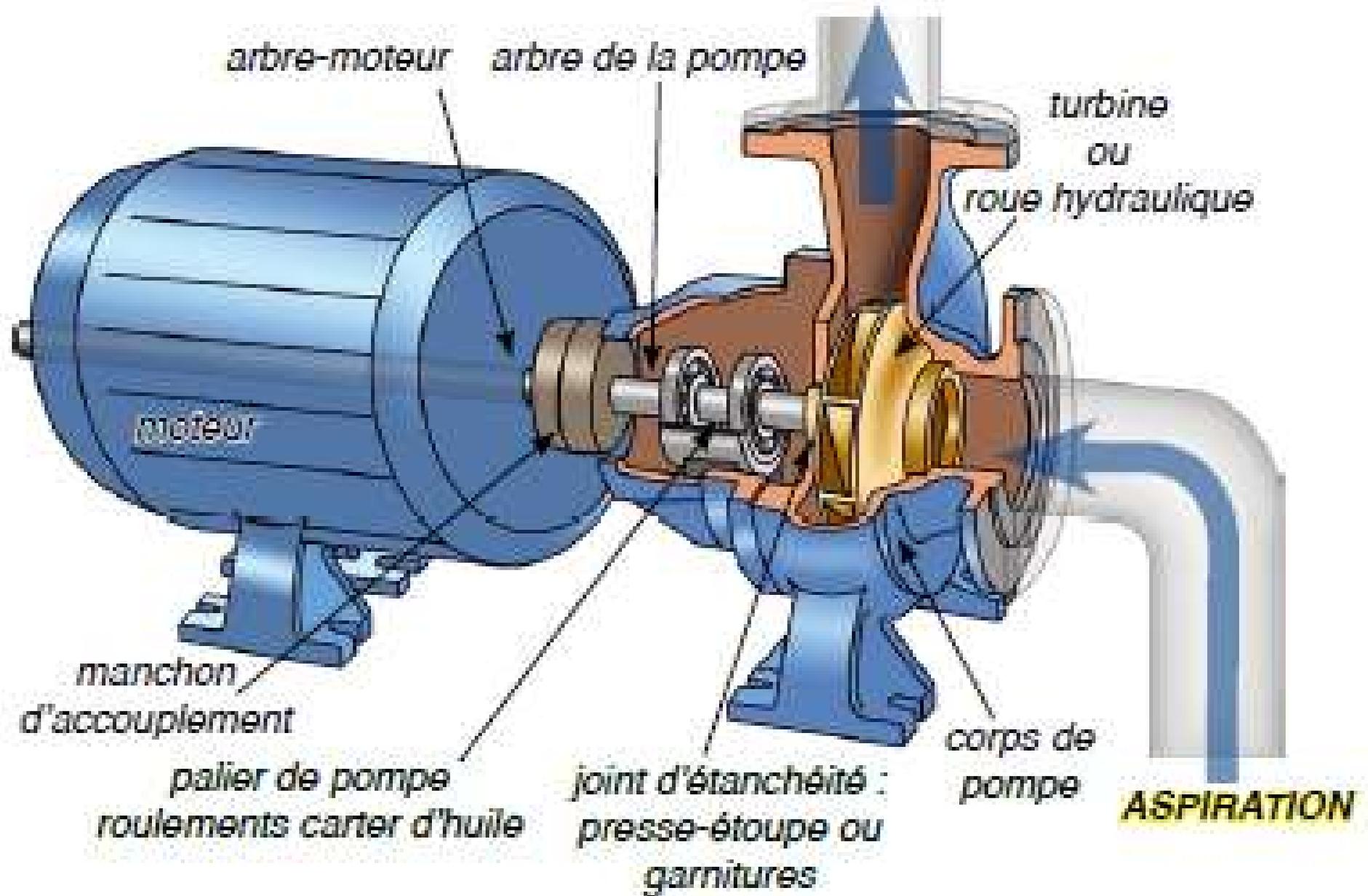
Par contre la

Le point de fonctionnement

Le point de fonctionnement de l'installation se situe à l'intersection de la courbe de réseau et de la caractéristique de la pompe.



REFOULEMENT





capacité d'aspiration d'une pompe

Qu'est qu'une aspiration?

- ✓ énergie potentielle due à la pression atmosphérique
- ✓ Aspiration au-dessus d'un plan d'eau
- ✓ Aspiration en dessous d'un plan d'eau
- ✓ La cavitation, phénomène lié aux caractéristiques du fluide

Description du phénomène

La cavitation est le phénomène de production de vapeur d'eau et de décondensation sous l'effet de variation de la pression autour de la tension de la vapeur d'eau. Elle produit des chocs très violents entraînant des corrosions mécaniques rapides et spectaculaires de la roue et du diffuseur de la pompe. Elle ne désamorce pas directement la pompe.

Température (°C)	Pression de vapeur saturante (mbar)
-60	0,001
-40	0,13
-20	1,03
-10	2,6
0	6,10
5	8,72
10	12,3
15	17,0
20	23,4
25	31,7
30	42,4
40	73,8
50	123
60	199
100	1013

3- *Eléments de base pour le calcul et choix des pompes*

1- *Eléments de base pour le calcul des pompes*

1.1- *Débit*

Une pompe est calculée et choisie pour le transport d'un *débit* Q donné. Le débit Q est déterminé à partir de contrainte de volume à pomper sur une période donnée.

1.2- *hauteur manométrique totale d'élévation*

La pompe est calculée et choisie pour transporter et élever un débit Q donné à une hauteur géométrie donnée. Toutefois au cours du transport dans les canalisations des résistances (pertes de charge) apparaissent.

La hauteur manométrique totale (HmT) d'une pompe est la différence de pression en mètres entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Plusieurs situations se présentent à une installation.

CAS 1 : Les orifices d'aspiration et de refoulement sont à la pression atmosphérique

$$Z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_E + \frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} + J_{AE} \dots \dots (1)$$

- Si le plan de référence passe par A, $Z_A = 0$ et $Z_E = H_a$

- $V_A = 0$ car fluide au repos

Avec $P_A = P_{atm}$ et $V_A \approx 0$

D'où

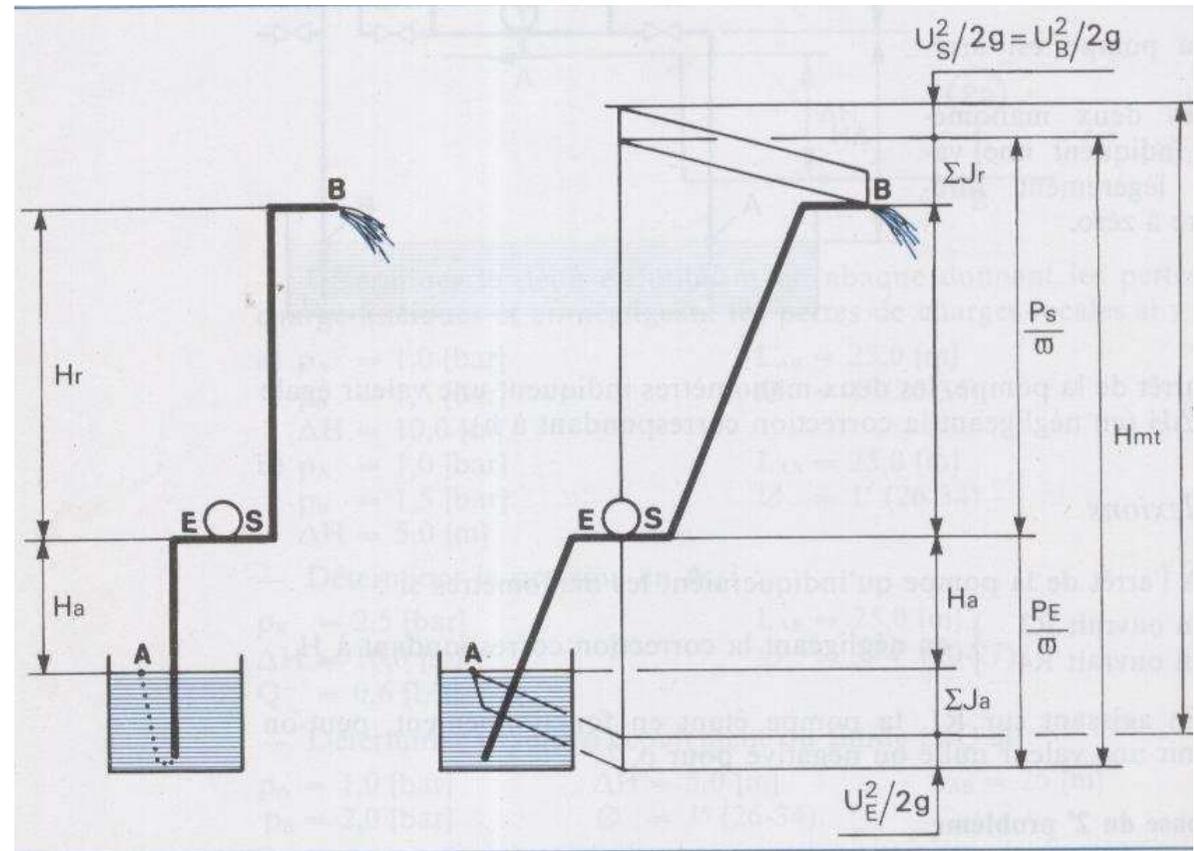
$$\frac{P_A}{\rho g} = H_a + \frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} + J_{AE}$$

$$\Rightarrow \frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} = \frac{P_A}{\rho g} - H_a - J_{AE}$$

D'où

$$\frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} - H_a - J_{AE} \dots (2)$$

(2) est l'énergie que possède le fluide à l'entrée de la pompe.



- **Equation énergétique des points S et B**

$$Z_S + \frac{P_S}{\rho g} + \frac{V_S^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + J_{SB} \dots \dots (3)$$

- Prenant un second plan de référence passe par S, $Z_S = 0$ et $Z_B = H_r$

- $V_A = 0$ car fluide au repos

Avec $P_B = P_{atm}$

D'où

$$\frac{P_S}{\rho g} + \frac{V_S^2}{2g} = H_r + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + J_{SB}$$

D'où

$$\frac{P_S}{\rho g} + \frac{V_S^2}{2g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + H_r + J_{SB} \dots (4)$$

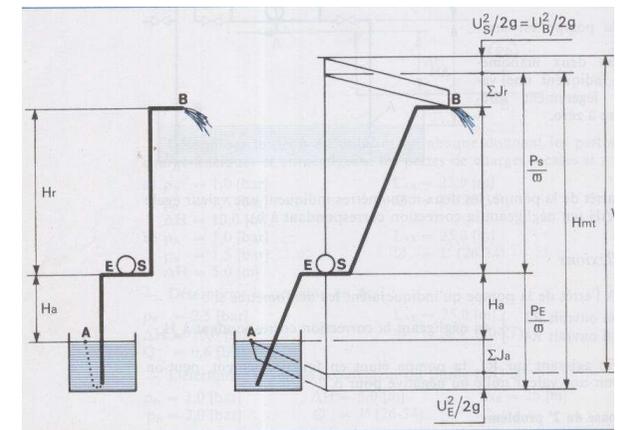
(4) Est l'énergie de que possède le fluide à la sortie de la pompe

- **Energie W_p que doit fournir la pompe au fluide**

$$W_P = (4) - (2) \Leftrightarrow W_P = \left(\frac{P_S}{\rho g} + \frac{V_S^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} \right)$$

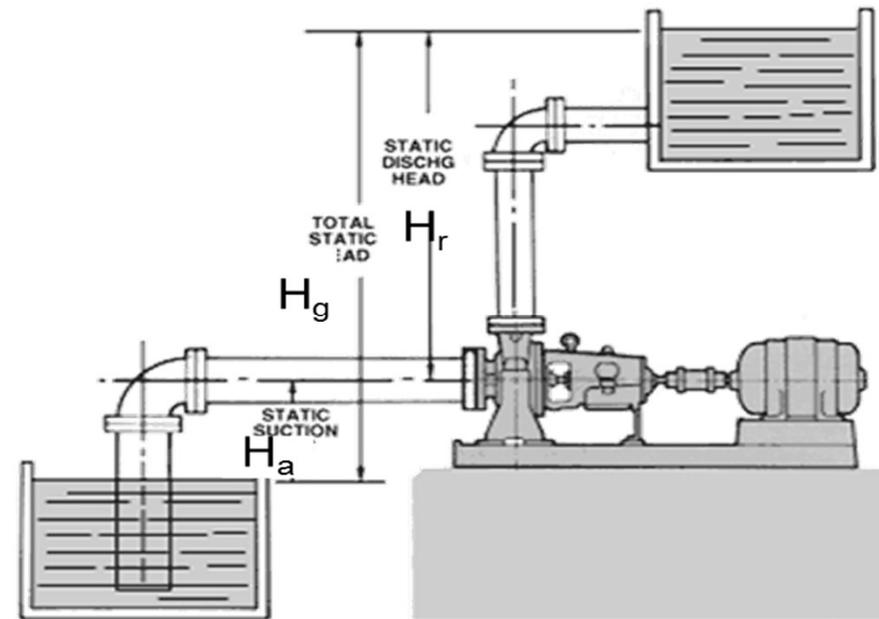
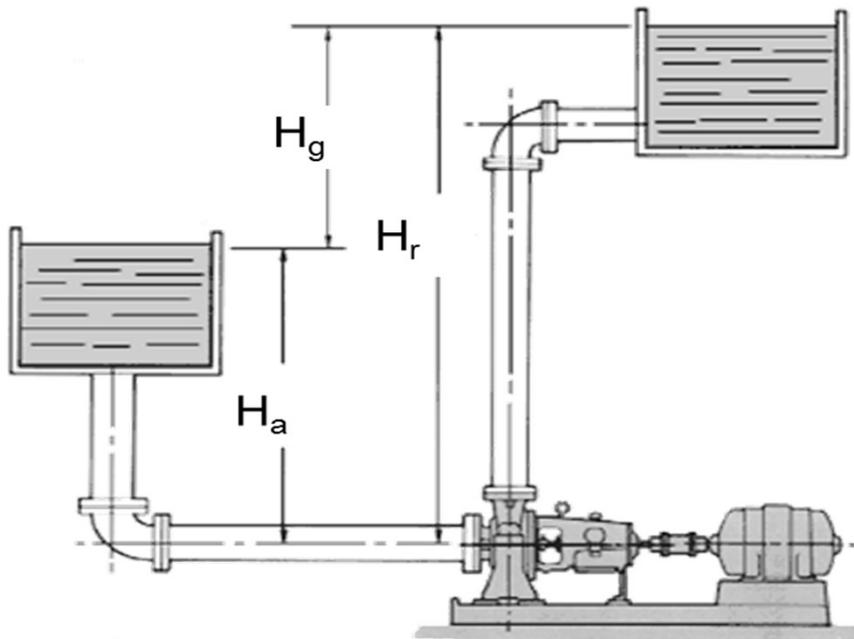
$$W_P = \frac{V_B^2}{2g} + H_a + H_r + J_{AE} + J_{SB}$$

$$W_P = \frac{V_B^2}{2g} + H_{geo} + J_{asp} + J_{ref}$$



CAS 2 : Les orifices d'aspiration et de refoulement sont à la pression Atmosphérique (refoulement sur un réservoir ouvert)

ce traiter de la meme maniere juste on a
 $V_B \approx 0$ (reservoir à grandes dimensions)



$$W_P = H_r - H_a + J_{AE} + J_{SB}$$

$$W_P = H_{geo} + J_{AE} + J_{SB}$$

$$W_P = H_{geo} + J_{asp} + J_{ref}$$

$$W_P = H_r + H_a + J_{SB} + J_{AE}$$

$$W_P = H_{geo} + J_{SB} + J_{AE}$$

$$W_P = H_{geo} + J_{asp} + J_{ref}$$

CAS 3 : Les surfaces libres à l'aspiration et au refoulement sont à des pressions différentes.

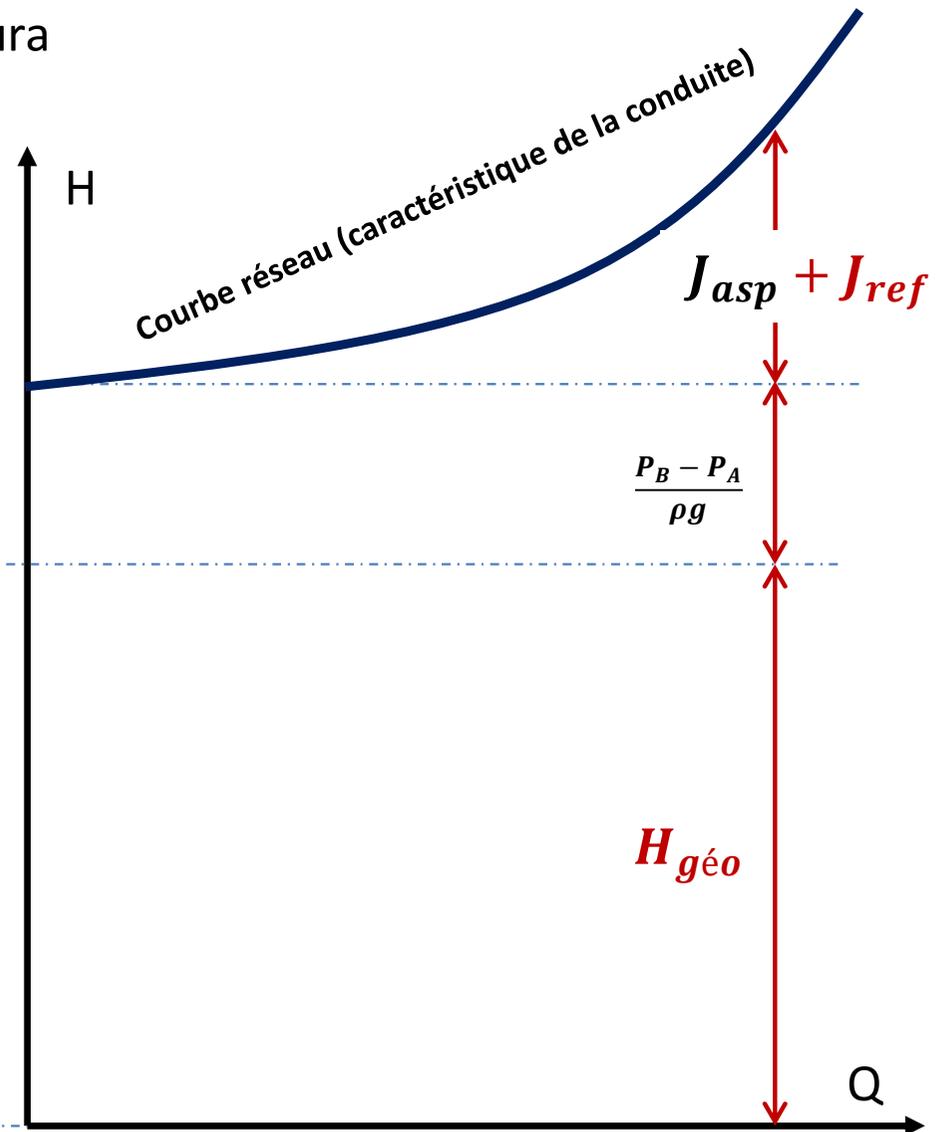
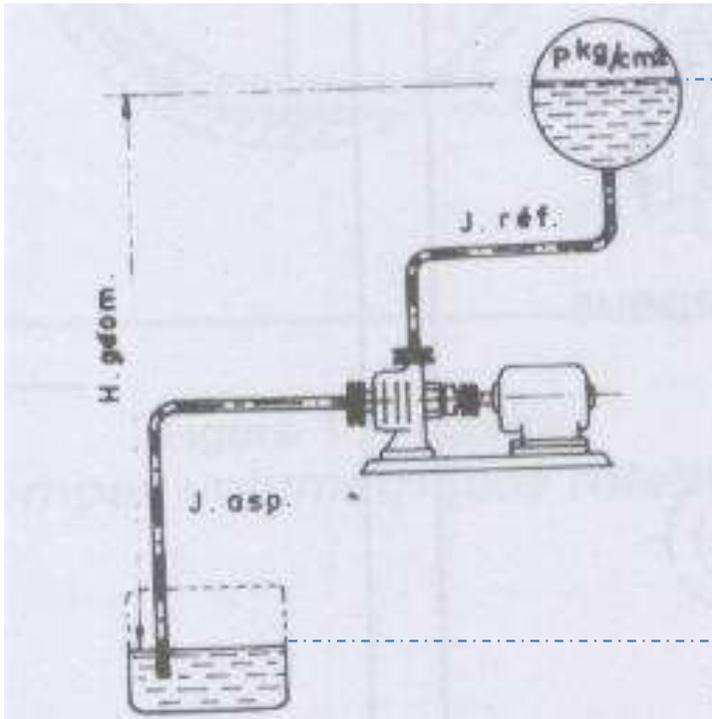
$$W_P = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + H_r + H_a + J_{AE} + J_{SB} + \frac{V_B^2 - V_A^2}{2g}$$

Les termes $\frac{V^2}{2g}$ étant généralement négligé on aura

$$W_P = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + H_r + H_a + J_{AE} + J_{SB}$$

$$W_P = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + H_{géo} + J_{AE} + J_{SB}$$

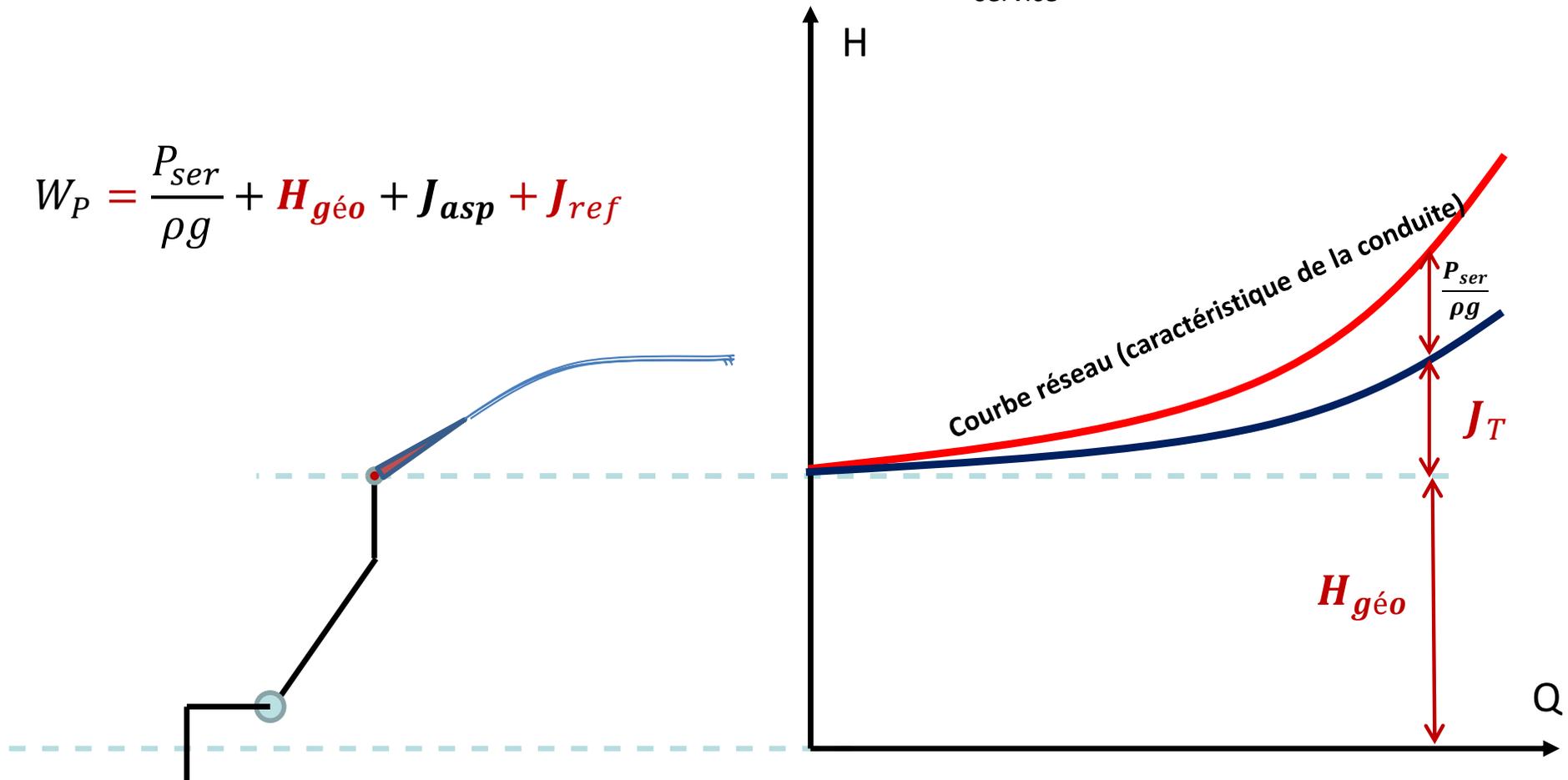
$$W_P = \frac{P_B - P_A}{\rho g} + H_{géo} + J_{asp} + J_{ref}$$



CAS4 : refoulement avec pression de service.

Il est parfois nécessaire de fournir une pression de service au bout de conduites pour assuré le fonctionnement d'un appareil (Asperseur en irrigation , une lance d'incendie), il est alors nécessaire de tenir compte de cette pression supplémentaire pour calculer l'énergie que devra fournir une pompe, cette pression $P_{service}$ et fonction débit

$$W_P = \frac{P_{ser}}{\rho g} + H_{géo} + J_{asp} + J_{ref}$$



Energie W_p que doit fournir la pompe au fluide est la hauteur manométrique totale (HmT) d'une pompe

CONCLUSION

Lors du pompage d'un liquide, la pompe ne doit pas seulement fournir une pression équivalente à celle correspondant à la différence des niveaux entre l'aspiration et le refoulement, (hauteur géométrique d'élévation), mais également la pression nécessaire pour vaincre les pertes de charge dans les conduites d'aspiration et de refoulement.

Si les surfaces libres à l'aspiration et au refoulement sont à la même pression

$$HmT(mce) = H_{géométrique} + J_{aspiration} + J_{refoulement}$$

Si les surfaces libres à l'aspiration et au refoulement sont à des pressions différentes, par exemple P_A et P_B .

$$HmT(mce) = H_{géométrique} + J_{aspiration} + J_{refoulement} + \frac{P_B - P_A}{\rho g}$$

ATTENTION : La hauteur géométrique d'aspiration se compte, non pas depuis le niveau inférieur de la conduite d'aspiration, mais depuis le plan d'eau dans le bassin d'aspiration.

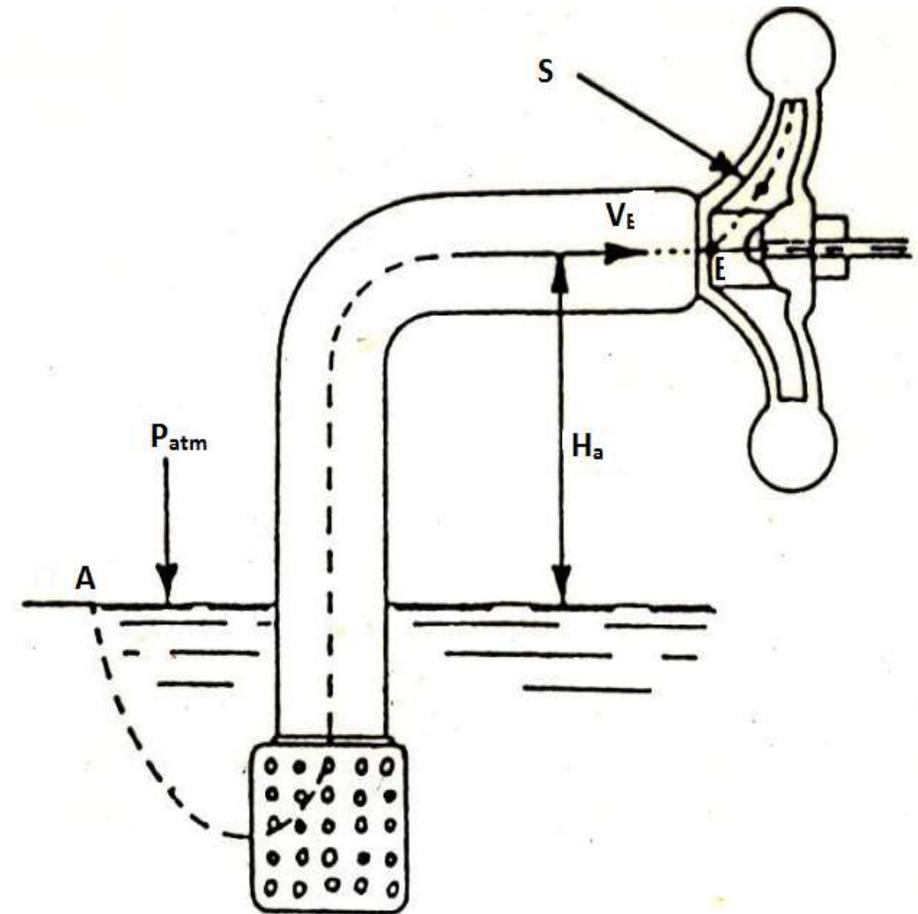
3- Hauteur maximale d'aspiration

Théoriquement il est bien admis qu'en faisant le vide dans un tube il est impossible de faire monter l'eau à une hauteur supérieure à la pression atmosphérique (en mce) pour l'altitude considérée.

Pour l'altitude zéro, cette hauteur est de 10,33m ; pour une altitude Z cette hauteur devient $10,33 - 0,0012 \cdot Z$.

En réalité, cette hauteur est notablement moins élevée car une partie de la pression disponible est nécessaire, d'une part pour vaincre les pertes de charge dans le tube d'aspiration, et d'autre part, pour communiquer au liquide la vitesse désirable.

Par ailleurs, la pression absolue à l'entrée de la pompe ne doit pas descendre au-dessous d'une valeur déterminée, puisque la tension de vapeur correspondant à la température du liquide à pomper ne doit en aucune circonstance être atteinte.



Appliquons Bernoulli entre A et E

$$Z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_E + \frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} + J_{AE}$$

$$\frac{P_A}{\rho g} = 0 \text{ en pression relative}$$

$$\frac{P_A}{\rho g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} = 10,33 \text{ mce en pression absolue}$$

- Si le plan de référence passe par A, $Z_A = 0$ et $Z_E = H_a$
- $V_A = 0$ car fluide au repos

$$\frac{P_E}{\rho g} = \frac{P_A}{\rho g} - H_a - \frac{V_E^2}{2g} - J_{AE}$$

$$\frac{P_E}{\rho g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} - H_a - \frac{V_E^2}{2g} - J_{AE} \text{ (en pression absolue)}$$

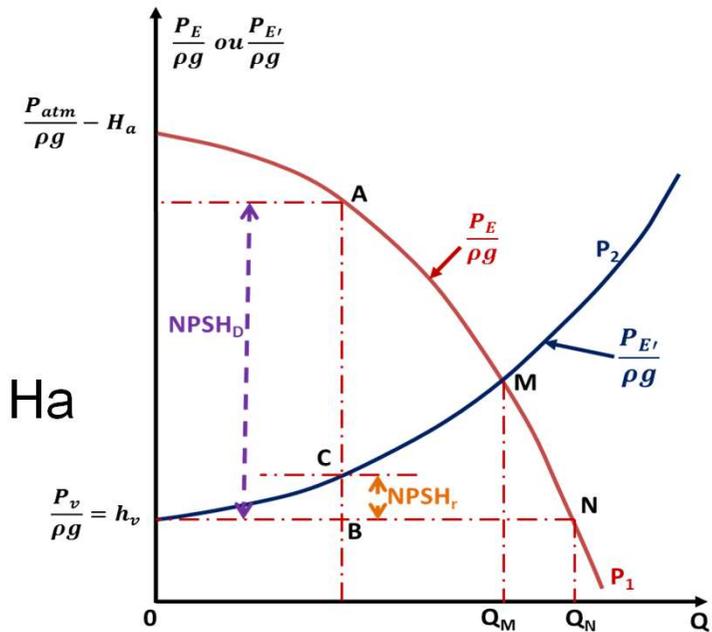
$$\text{Ou } \frac{P_E}{\rho g} = 0 - H_a - \frac{V_E^2}{2g} - J_{AE} \text{ (en pression relative)}$$

V_E^2 varie comme Q^2 et J varie comme Q^2 on peut donc écrire $\frac{V_E^2}{2g} + J_{AE} = KQ^2$

La hauteur représentative de la pression absolue à l'ouïe de la roue s'écrit :

$$\frac{P_E}{\rho g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} - H_a - KQ^2$$

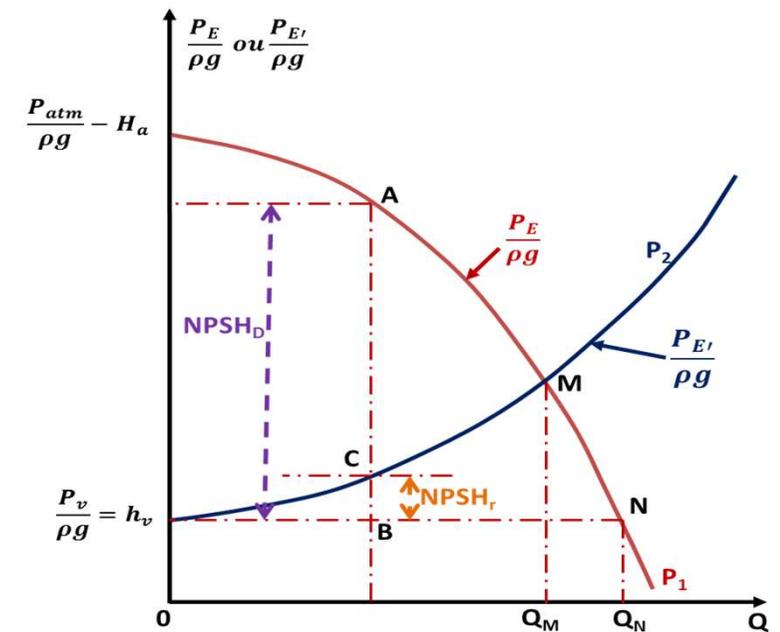
On en conclut que pour une installation donnée (P_{atm} et H_a donnés), la courbe $\frac{P_E}{\rho g} = f(Q)$ est une parabole (P_1)



On peut écrire:
$$\frac{P_{atm}}{\rho g} = \frac{P_E}{\rho g} + H_a + \frac{V_E^2}{2g} + J_{AE}$$

On voit que l'énergie de pression atmosphérique est,

- ✓ dépensée pour vaincre la hauteur géométrique d'aspiration et les pertes de charges ;
- ✓ transformée en énergie de pression P_E à l'entrée de la pompe et en énergie cinétique.



On peut alors dire que la pompe ne fournit pas l'énergie nécessaire à l'aspiration, elle crée un vide qui permet d'utiliser l'énergie dont on dispose, la pression atmosphérique: *L'aspiration d'un fluide est produite en général par une dépression générée par une pompe.*

$$H_a = \frac{P_{atm}}{\rho g} - \frac{P_E}{\rho g} - J_{AE} \text{ (le terme } \frac{V_E^2}{2g} \text{ ici est négligé)} = \text{hauteur théorique maximale d'aspiration}$$

Pour une pompe installée à cette hauteur maximale, la pression à l'entrée de la pompe serait:

$$\frac{P_E}{\rho g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} - H_a + \frac{V_E^2}{2g} - J_{AE}$$

$\frac{P_E}{\rho g}$ ne doit pas descendre sous une certaine valeur au risque de cavitation

□ Le N.P.S.H. (Net Positive Suction Head) ou charge nette absolue à l'aspiration:

L'énergie que possède le liquide au point E est: $\frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} - H_a + \frac{V_A^2}{2g} - J_{AE}$

En négligeant le terme $\frac{V^2}{2g}$ Nous aurons : $\frac{P_E}{\rho g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} - H_a - J_{AE}$

Cette pression absolue P_E à l'entrée de la pompe ne doit pas descendre sous la pression de vapeur saturante P_v du fluide (l'eau) c à d : $\left[\frac{P_E}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} \geq 0 \right]$

➤ Le N.P.S.H. disponible à l'entrée de la pompe est :

$\frac{P_E}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g}$ avec $\frac{P_E}{\rho g}$ pression absolue à l'entrée de roue au point E

La charge disponible, N.P.S.H. disponible à l'entrée d'une pompe :

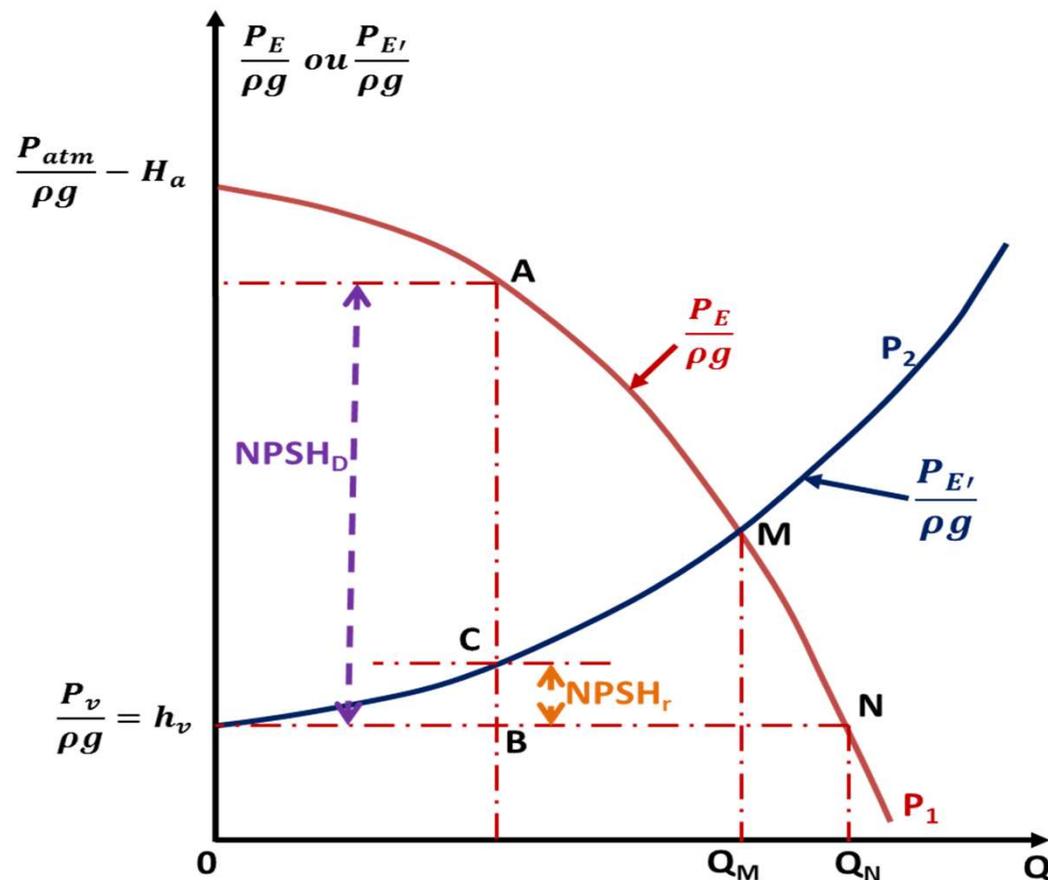
Pour une installation donnée on doit avoir toujours

$$\frac{P_E}{\rho g} = \frac{P_{atm}}{\rho g} - H_a - J_{AE} \geq 0 \text{ (en pression relative)}$$

Le N.P.S.H. disponible est indépendant de la pompe utilisée. Il ne dépend que de l'installation (longueur et diamètre de la canalisation, des pièces de raccord et robinetterie à l'aspiration : pertes de charge, hauteur géométrique d'aspiration, du lieu et du fluide (pression de vapeur saturante).

Le N.P.S.H disponible est généralement calculé par le concepteur de la station de pompage.

Sur le graphique N.P.S.H. disponible est représenté par la distance verticale AB de la parabole P1 à l'horizontale d'ordonnée h_v .



N.P.S.H. requis

Le point E n'est pas le point où la pression est la plus faible le long du filet liquide considéré qui traverse la roue après E. Le minimum de pression sera normalement

atteint au point S. Soit

- P_S la pression absolue en S,
- H_s la distance verticale de S à la surface libre à l'aspiration,
- V_S la vitesse absolue en S (on a $V_S > V_E$)
- J_{ES} la perte de charge de E à S

L'application du théorème de Bernoulli entre E et S donne l'expression ci-après

$$H_a + \frac{P_E}{\rho g} + \frac{V_E^2}{2g} = H_S + \frac{P_S}{\rho g} + \frac{V_S^2}{2g} + J_{ES} \quad \text{avec } H_a = H_S \text{ et en supposant que la pression en S}$$

atteigne la tension de vapeur c à d $\frac{P_S}{\rho g} = h_v$; La pression en E prend alors la valeur

particulière P'_E et l'équation de Bernoulli s'écrit:

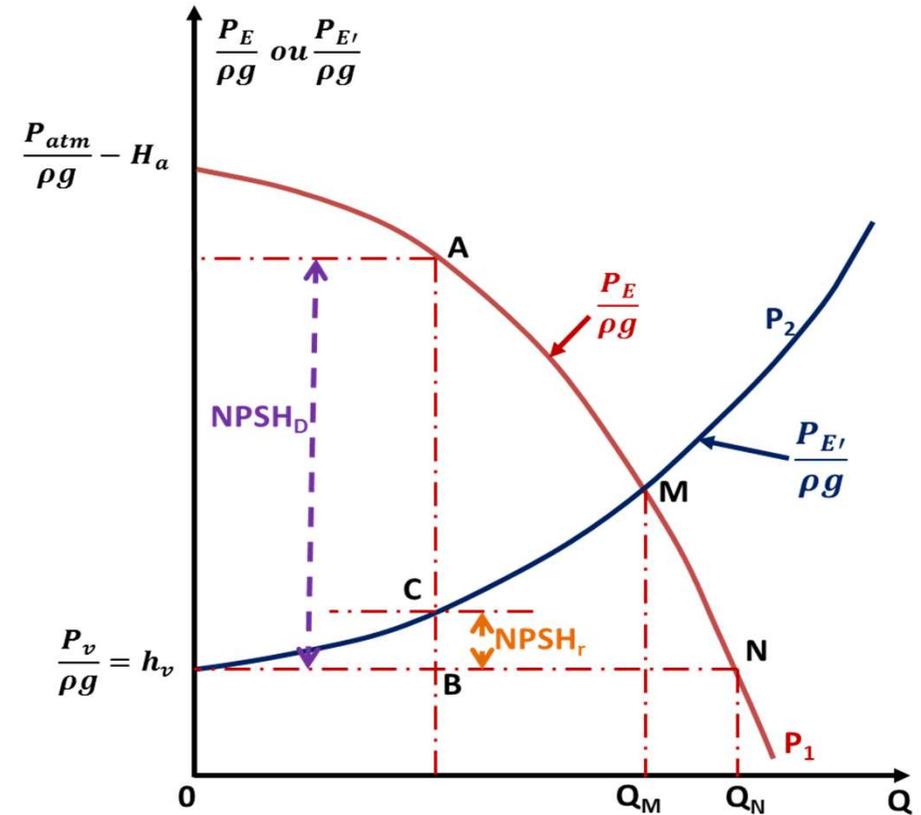
$$\frac{P_{E'}}{\rho g} = h_v + \frac{V_S^2 - V_E^2}{2g} + J_{ES} \quad \text{on peut poser } \frac{V_E^2}{\rho g} = K_1 Q^2 \text{ et } \frac{V_S^2}{\rho g} = K_2 Q^2 \text{ et } J_{ES} = K_3 Q^2$$

$$\text{D'où } \frac{P'_{E'}}{\rho g} = h_v + (K_1 - K_2 + K_3) Q^2 \quad \text{ou } \frac{P'_{E'}}{\rho g} = h_v + K' Q^2$$

La courbe $\frac{P'_{E'}}{\rho g} = f(Q)$ est une parabole P_1 en M

Par définition Le **NPSH requis** est $\frac{P'_E}{\rho g} - h_v = K'Q^2$; il est représenté par la distance verticale BC de la parabole P_2 à l'horizontale d'ordonnée h_v .

Le N.P.S.H. requis ne dépend pas de l'installation de la pompe ; il ne dépend que de ce qui se passe entre les points E et S, c'est-à-dire de la pompe elle-même. C'est une donnée fournie par le constructeur. Le N.P.S.H. requis est pratiquement indépendant du fluide véhiculé.



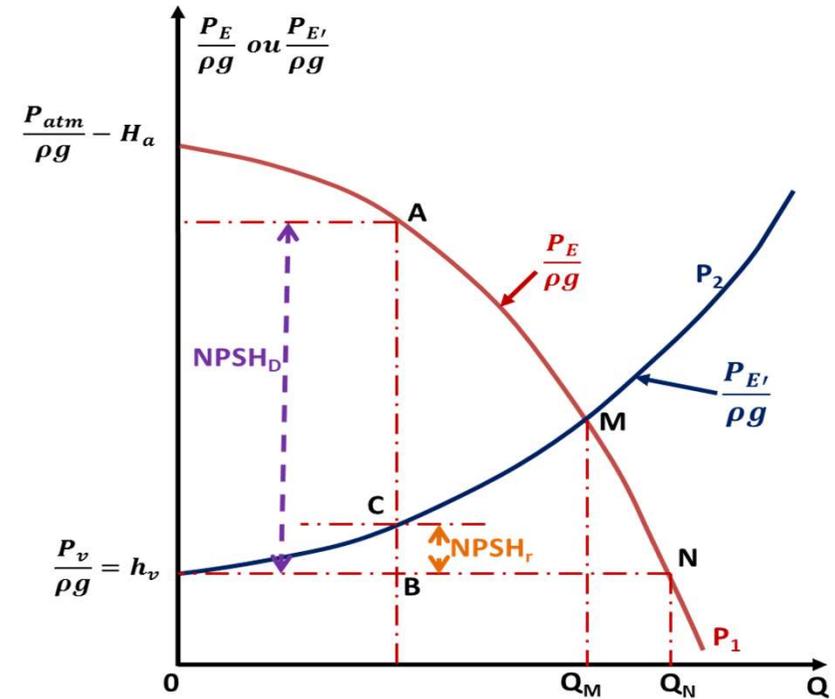
Le N.P.S.H. requis se détermine en laboratoire et est donné par le constructeur.

Le constructeur de pompes donne pour chaque type de pompe et pour une vitesse de rotation déterminée, une courbe donnant la valeur du N.P.S.H. requis en fonction du débit de la pompe.

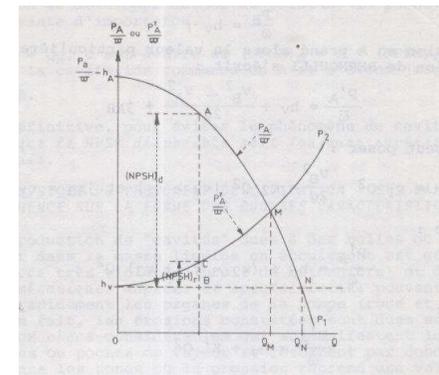
Afin que les conditions d'aspiration définies par le concepteur (N.P.S.H. disponible) soient toujours satisfaites par la pompe, il faut que le N.P.S.H. disponible soit toujours supérieur au N.P.S.H. requis

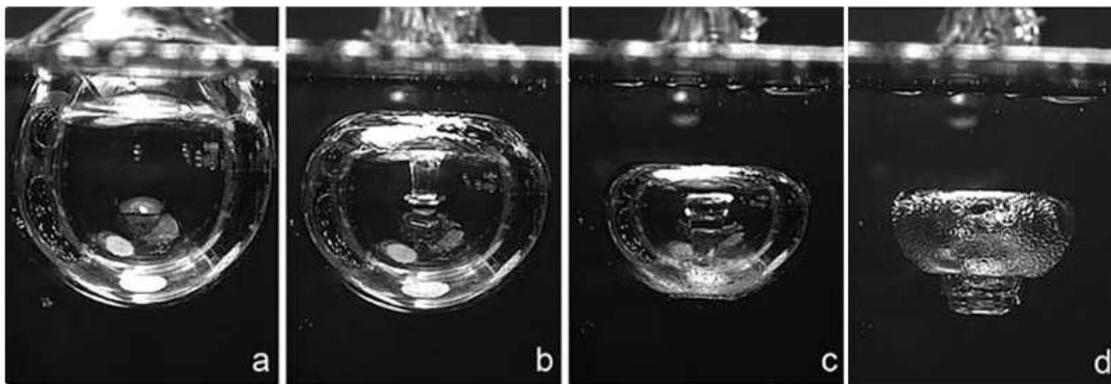
Pour l'utilisateur ou le concepteur, la hauteur maximale pratique d'aspiration est:

$$\underbrace{\left[\frac{P_{atm}}{\rho g} - H_a - J_{AE} - \frac{P_v}{\rho g} \right]}_{\text{NPSH disponible}} - NPSH_{requis}$$



La hauteur de sécurité H_s Pour une pompe installé à la hauteur H_a au dessus du plan d'eau est la hauteur d'aspiration pratique diminuée de H_a





Les critères d'apparition de la cavitation sont principalement le nombre de cavitation et la hauteur d'aspiration nette requise.

Le **nombre de cavitation** sans dimension σ indique l'apparition de cavitation dans le fluide.

$$\sigma = \frac{p - p_v}{\rho \cdot v^2}$$

ρ densité, p pression, p_v pression de vapeur, v vitesse d'écoulement



Comment éviter la cavitation

Pour éviter l'apparition de la cavitation, il faut maintenir le **nombre de cavitation** σ aussi élevé que possible. En plus, un nombre de cavitation bas induit une consommation importante d'énergie et de faibles dimensions de la turbomachine.

Les mesures suivantes réduisent la tendance à la cavitation:

- éviter les pressions basses
- éviter les températures proches du point d'ébullition du fluide
- utiliser des profils d'aube minces
- choisir de petits angles d'ajustage des aubes
- éviter tout changement de direction brusque de l'écoulement
- arrondir le bord d'attaque



Roue de pompe détruite par l'érosion de cavitation



Hélice de bateau détruite par l'érosion



La maîtrise de la cavitation

- ❑ Aucune pompe ne peut aspirer dans un plan d'eau situé en dessous de 8 m;
- ❑ Disposition pour la protection contre la cavitation
- ❑ Notion de Hauteur Nette Positive d'Aspiration
- ❑ NPSH disponible (Net Positive Suction Head)
- ❑ NPSH requis

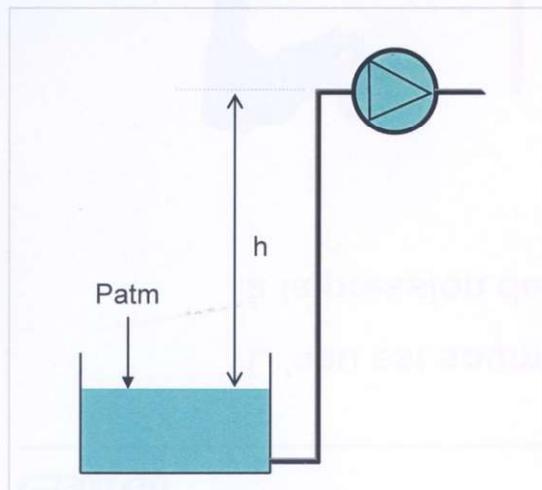
Mise en équation: Application de l'équation de Bernoulli entre le plan d'eau et la pompe

NPSH Net Positive Suction Head / charge nette absolue à l'aspiration

Le NPSH disponible > NPSH requis (+ 0,5 à 1 m)

L'installation

La pompe



$$\text{NPSH}_{\text{dispo}} = \frac{P_{\text{atm}}}{\varpi} - h - J_a - \frac{Tv}{\varpi}$$

ϖ = poids volumique (N/m³)

Il est donc impossible d'aspirer de l'eau à une profondeur théorique supérieure ou égale à 10,33 m. En pratique, avec les pertes de charge dans la canalisation d'aspiration, il est difficile d'aspirer au delà de 9 m.

Problèmes de fonctionnement

Problème	Causes éventuelles
Pompe bloquée	<p>Il peut arriver après certaines périodes d'inactivité à cause de l'oxydation interne. Il faut donc procéder au déblocage ; pour les petites électropompes monobloc utiliser un tournevis sur la rainure qui se trouve sur l'extrémité de l'arbre coté ventilation.</p> <p>Pour les électropompes plus grandes, il faut agir sur l'arbre ou sur l'accouplement élastique</p>
Pompe qui ne s'amorce pas	<p>Pompe et tuyau d'aspiration avec de l'air Amorçage incomplet ou pompe totalement pas amorcé. Possible infiltration d'air à travers de robinets, bouchons de vidange ou de remplissage, joints toriques ou presse-étoupe. Clapet de pie pas complètement immergé dans le liquide ou clapet obturé par de boue ou de débris. Hauteur d'aspiration excessive par rapport à la capacité de la pompe. Sens de rotation incorrect. Nombre de tours incorrect</p>
Débit insuffisant	<p>Tuyaux et accessoires avec diamètre trop petit qui causent des pertes de charges excessives. Roue obturée par de corps étrangers dans les canaux internes. Roue corrodée ou cassée, Bagues d'usure de la roue et corps de pompe usés par abrasion. Présence de gaz dans l'eau ou viscosité excessive du liquide (pour liquides différents de l'eau)</p>
Bruit et vibrations dans la pompe	<p>Partie tournante déséquilibrée, coussinets usés. Pompe et tuyaux pas fixés fermement. Débit trop réduit pour le modèle de pompe choisi. Fonctionnement en cavitation</p>
Moteur surchargé	<p>Caractéristiques de la pompe excessives par rapport à celles de l'installation Parties fixes et parties tournantes qui frottent entre eux et tendent à gripper pour manque de lubrification. Vitesse de rotation trop élevée. Voltage d'alimentation incorrect. Alignement du groupe incorrect. Liquide avec densité trop élevée et supérieure à celle de projet.</p>

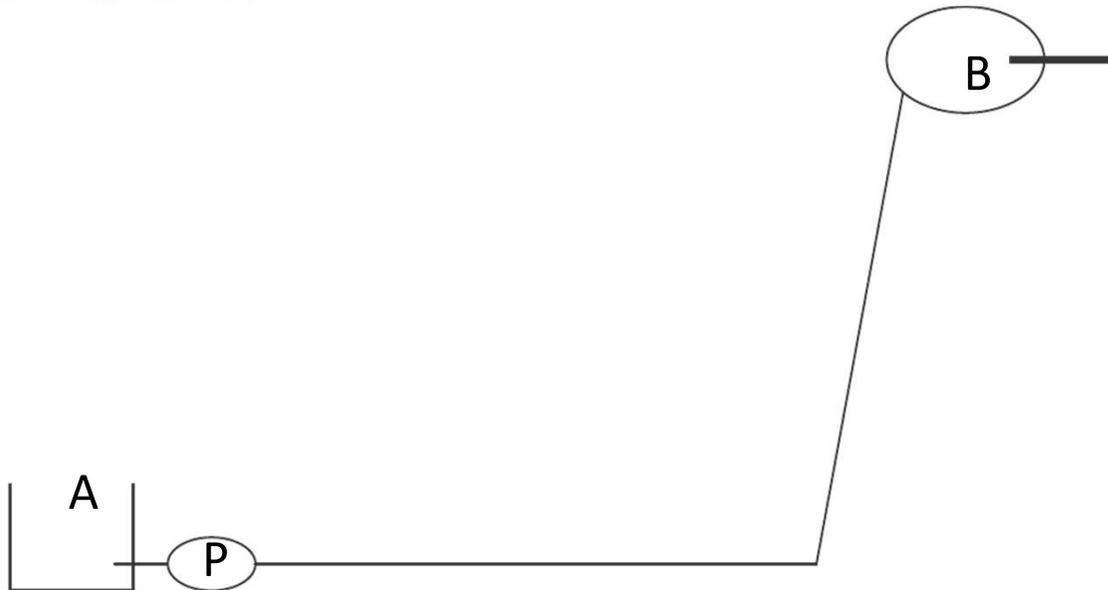
Exercice 1

Une pompe refoule dans deux conduites en parallèle de même longueur et de même diamètre ; Une est en PVC et l'autre est en Fonte usagée. Donner l'allure des courbes caractéristiques des deux conduites (graphique non à l'échelle) : Les deux conduites refoulent à la même cote.

Exercice 2

Donner la HMT nécessaire pour refouler de l'eau d'un plan d'eau à la pression atmosphérique Cote : 25,0m à un point B de cote 50,0m. La pression exigée en B est 22,0mCE. L'ensemble des pertes de charge (linéaires et singulières) est 5,00m.

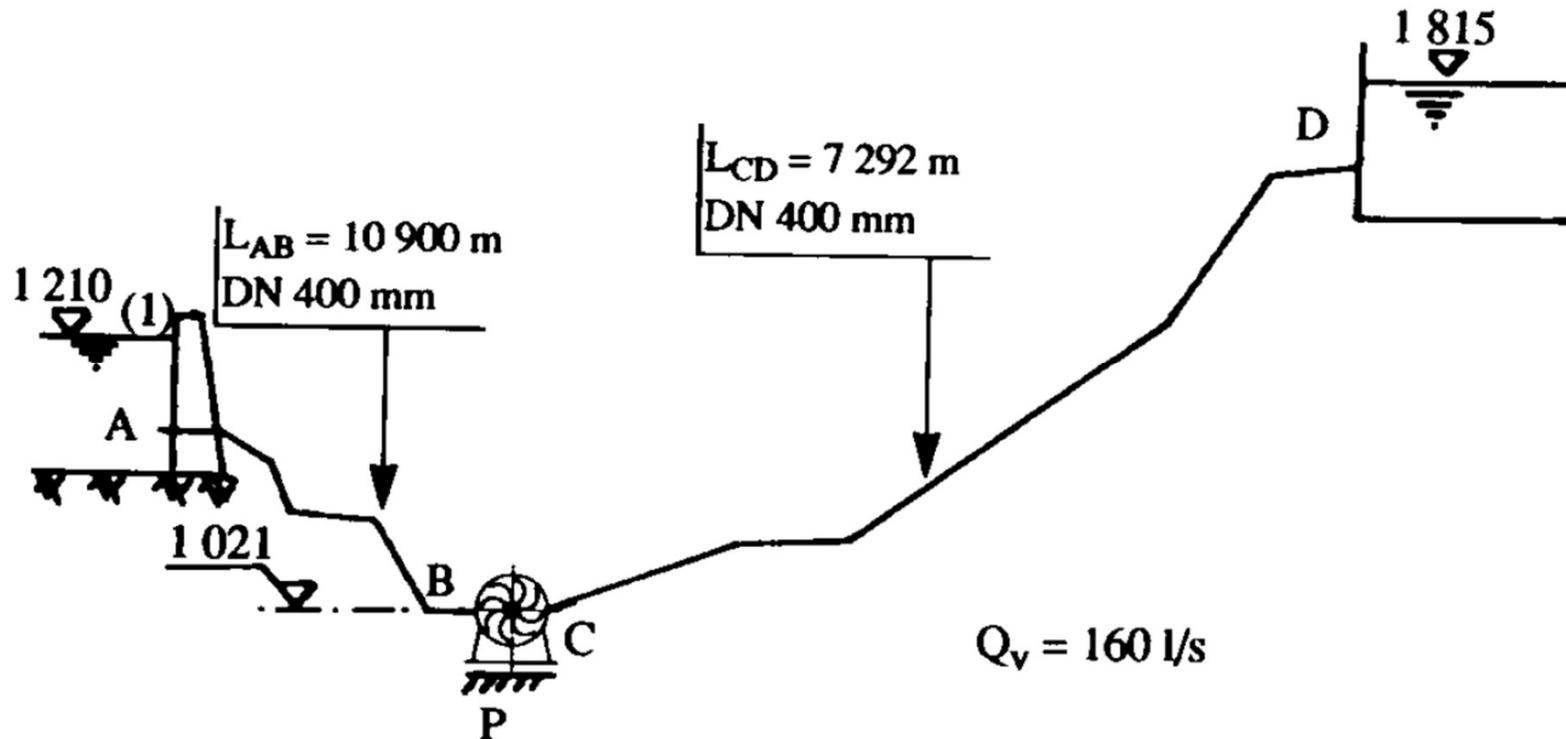
N.B. On travaillera en pression relative



Exercice 3

Soit le système hydraulique en bas. La fonte Pont à Mousson et la fonte Bonna ont une rugosité de $\varepsilon=0,1\text{mm}$

Calculer la puissance que la pompe P doit fournir au fluide. Tracer la ligne piézométrique et la ligne de charge



(1.047MW)