
11. Courbes Caractéristiques

Introduction

Pour toute application, le choix d'une pompe dépend de la combinaison du débit requis et de la hauteur de refoulement. Par conséquent, le choix ou l'installation d'une pompe dans un système de tuyauterie dépend des pertes de charge et de la hauteur d'élévation qui doivent être fournies par la pompe.

D'un point de vue hydraulique, les trois principaux paramètres qui caractérisent une pompe se rapportent à :

- La hauteur manométrique en fonction du débit : $H = f(Q)$;
- La puissance en fonction du débit : $P = f(Q)$;
- Le rendement en fonction du débit : $\eta = f(Q)$.

11.1 Caractéristique $H = f(Q)$

Une installation de pompage nécessite la connaissance des paramètres de la hauteur nominale et du débit nominal afin de déterminer le choix de la pompe à installer.

La hauteur d'élévation réelle est plus faible que la hauteur théorique qui est donnée par la relation :

$$H = H_{th} - pdc$$

La hauteur réelle fournie par une pompe est une fonction de deuxième degré par rapport au débit qui s'écrit :

$$H = A + BQ + CQ^2 \quad (*)$$

Une représentation graphique de la caractéristique $H = f(Q)$ d'une pompe centrifuge qui représente que la hauteur manométrique développée par la pompe diminue en fonction du débit pompé.

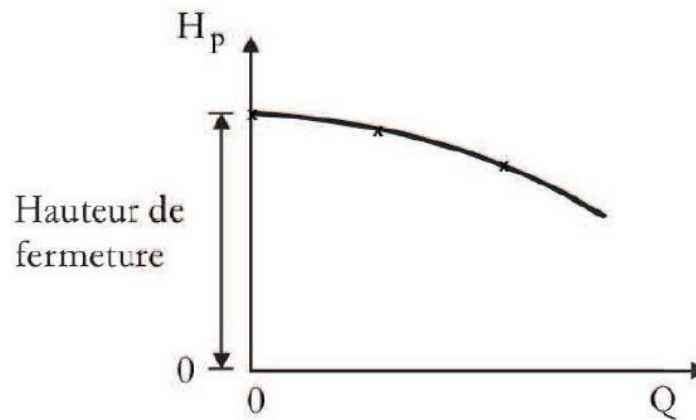


Figure 6. : Courbe Q-H d'une pompe centrifuge.

En pratique, l'installation de manomètres à l'entrée et à la sortie de la pompe et la prise de lectures manométriques permet le traçage de cette courbe point par point. La hauteur H_p est déduite à partir de ces lectures manométriques en utilisant la relation :

$$H_p = \frac{p_s - p_e}{\rho \cdot g}$$

Où p_s et p_e sont respectivement les pressions à la sortie et à l'entrée de la pompe.

11.2 Caractéristique $P = f(Q)$

Dans les pompes centrifuges, les courbes caractéristiques $P = f(Q)$ qui représentent la puissance recueillie sur l'arbre de la pompe sont ascendantes et atteignent parfois un

maximum comme le représente la figure 7.

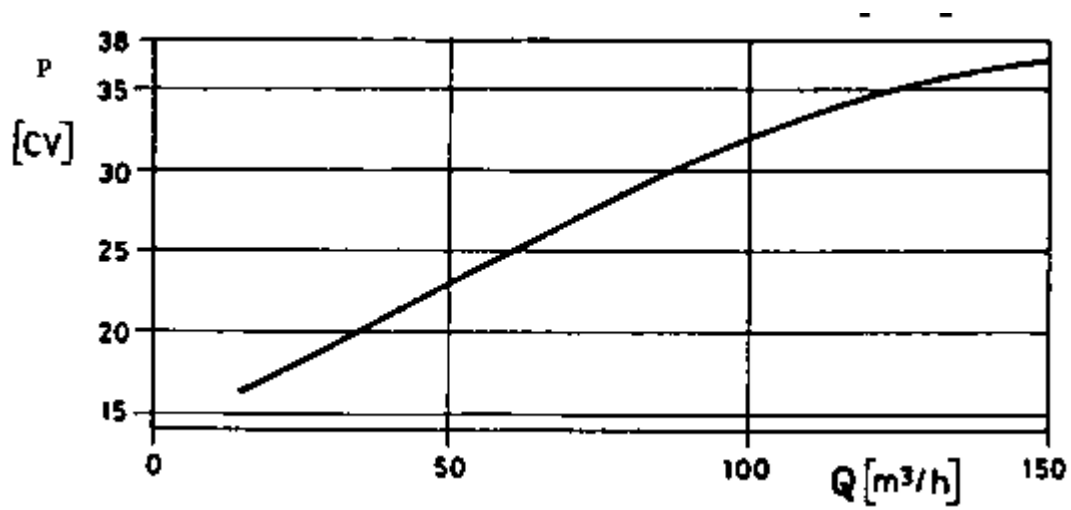


Figure 7 : Courbe Q-P d'une pompe centrifuge.

11.3 Caractéristique $\eta = f(Q)$

Le rendement d'une pompe est donné comme étant le rapport entre la puissance hydraulique fournie et la puissance absorbée par la pompe.

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{P_{\text{absorbée}}}$$

La courbe de rendement se présente sous la forme représentée sur la figure 8.

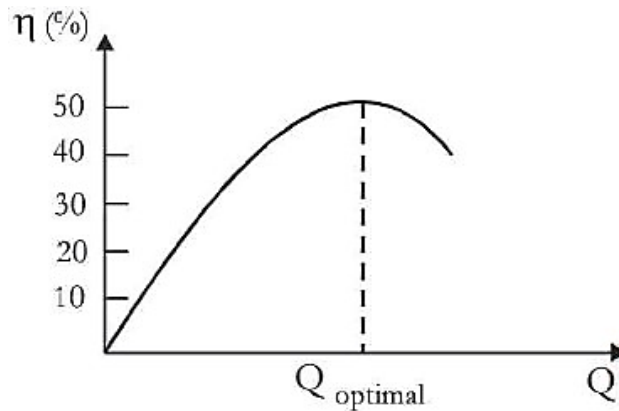


Figure 8 : Courbe Q - η d'une pompe centrifuge.

Quand le débit est nul, le rendement est nul car la pompe ne fournit aucune puissance (la puissance hydraulique est nulle). Le rendement augmente avec le débit et atteint une valeur maximale qui donne le débit optimal Q_{optimal} , et diminue ensuite pour les valeurs de débit supérieures au débit optimal.

Le rendement d'une pompe varie sensiblement en fonction du débit. Pour cela, il faut s'assurer que le débit d'opération soit le plus proche possible du débit optimal afin de minimiser la consommation énergétique de la pompe.

11.4 Caractéristique du circuit hydraulique

La hauteur manométrique d'un circuit donné représente la somme des pertes de charge linéaires et singulières associées à la hauteur géométrique de l'installation (aspiration et refoulement).

$$H_{mt} = H_g + H_{asp} + H_{ref}$$

Les pertes de charge totales dans les canalisations peuvent être exprimées par :

$$\Delta H_{asp+ref} = \left(\lambda_a \cdot \frac{L_a}{D_a} + \xi_a \right) \cdot \frac{v_a^2}{2g} + \left(\lambda_r \cdot \frac{L_r}{D_r} + \xi_r \right) \cdot \frac{v_r^2}{2g}$$

Or, d'après l'équation de continuité, nous avons :

$$Q = v_a \cdot S_a = v_r \cdot S_r$$

et

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Donc

$$\Delta H = \frac{8}{\pi^2 \cdot g} \cdot \left[\left(\lambda_a \cdot \frac{L_a}{D_a} + \xi_a \right) \cdot \frac{l}{D_a^4} \right] + \left[\left(\lambda_r \cdot \frac{L_r}{D_r} + \xi_a \right) \cdot \frac{l}{D_r^4} \right] \cdot Q^2$$

En posant

$$A = \frac{8}{\pi^2 \cdot g} \cdot \left[\left(\lambda_a \cdot \frac{L_a}{D_a} + \xi_a \right) \cdot \frac{l}{D_a^4} \right] + \left[\left(\lambda_r \cdot \frac{L_r}{D_r} + \xi_a \right) \cdot \frac{l}{D_r^4} \right]$$

On peut écrire l'équation sous la forme :

$$H_{mt} = H_g + A \cdot Q^2$$

Où A présente une constante caractéristique du circuit hydraulique.

Graphiquement, la courbe caractéristique du réseau hydraulique est de forme parabolique comme le représente la figure 9.

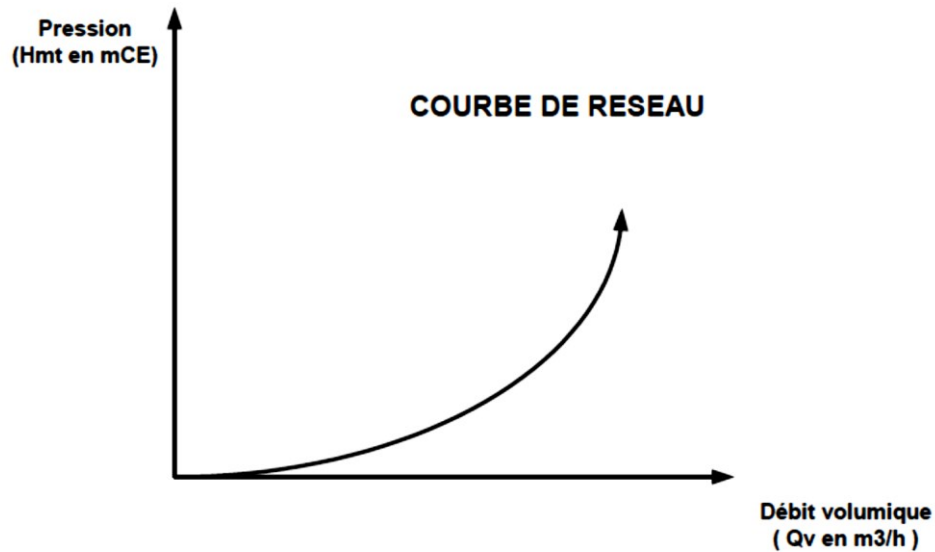


Figure 9 : Courbe Q-H d'un réseau hydraulique.

11.5 Point de fonctionnement d'une pompe installée dans un réseau

Le point de fonctionnement d'une pompe est obtenu en superposant la courbe caractéristique de la pompe sur celle du circuit. Le point d'intersection des deux courbes détermine un point de fonctionnement qui correspond à un débit identique de la pompe et du circuit ainsi qu'à une résistance de circuit égale à la hauteur fournie par la pompe (figure 10).

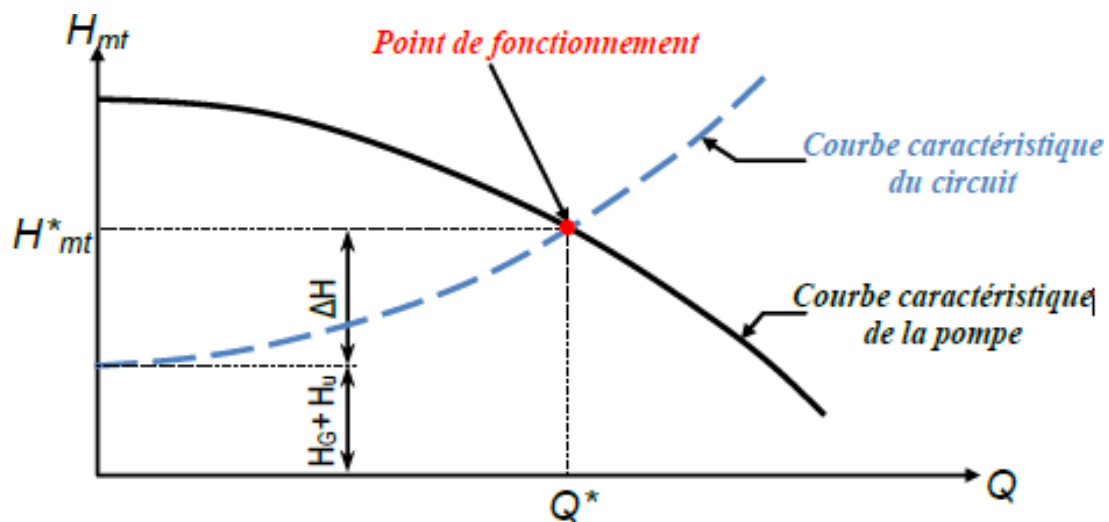


Figure 10 : Point de fonctionnement d'une pompe hydraulique.

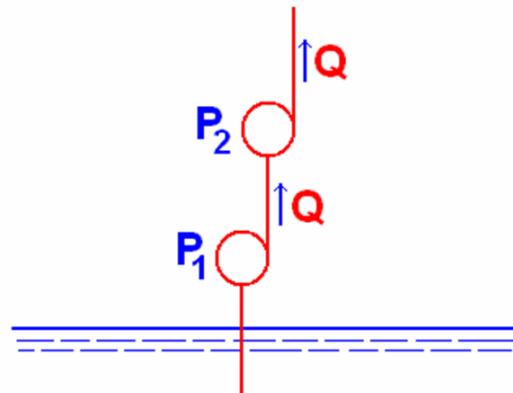
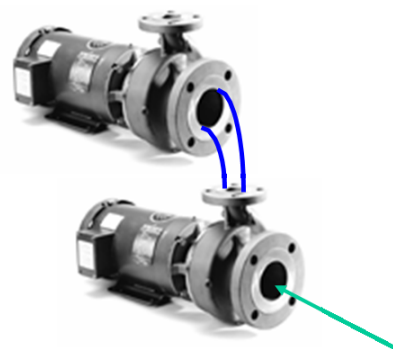
12. Couplage des pompes

Pour étudier le fonctionnement simultané de 2 pompes sur un même circuit, en série ou en parallèle, on les remplace par une pompe dite équivalente dont la caractéristique est issue des caractéristiques des 2 pompes de base.

12.1. Couplage en série

L'énergie fournie par 2 pompes en série est la somme de l'énergie fournie par chacune d'elle. Le débit est le même pour les 2 pompes. Ceci peut être exprimé par :

$$\begin{cases} Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n \\ H = \sum H_i \end{cases}$$



La figure 11 représente un schéma type d'un groupement en série de deux pompes et le traçage de la courbe résultante $H-Q$.

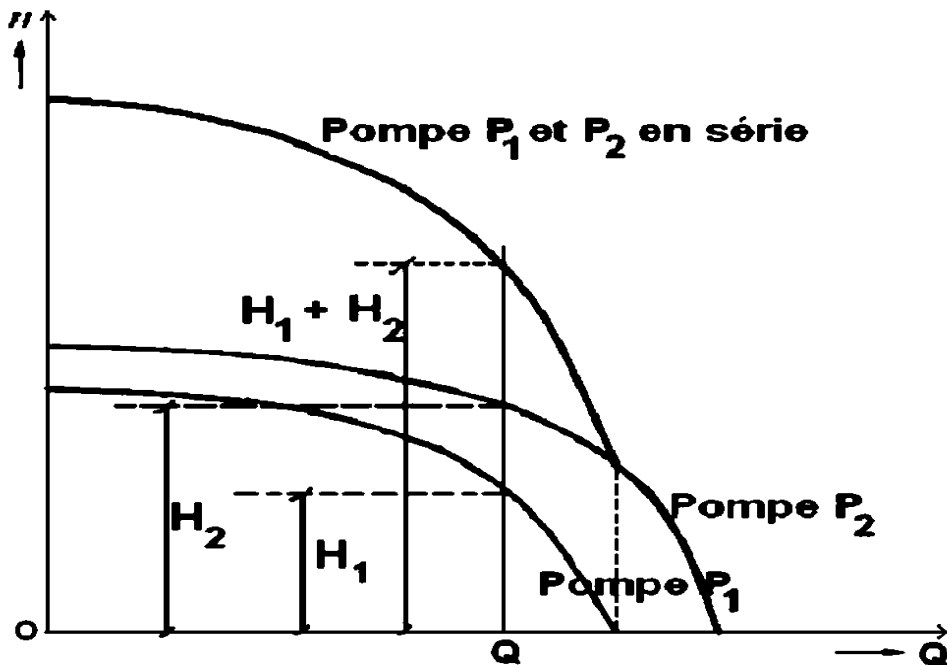
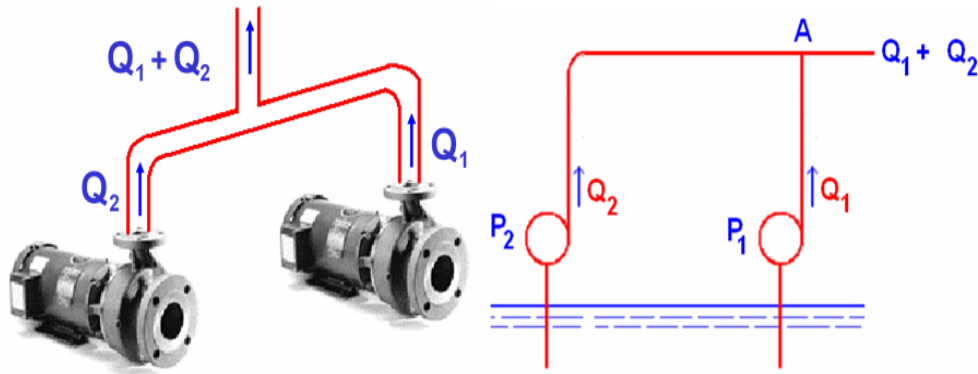


Figure 11 : Groupement en série de deux pompes.

12.2. Couplage en parallèle

La différence de pression est la même pour les 2 pompes. Le débit total est la somme du débit de chaque pompe. La caractéristique de la pompe équivalente à 2 pompes en parallèle est établie de la façon suivante :

$$\begin{cases} Q = \sum Q_i \\ H = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_n \end{cases}$$



La figure 12 illustre un schéma type d'un groupement en parallèle de deux pompes et le traçage de la courbe résultante $H-Q$.

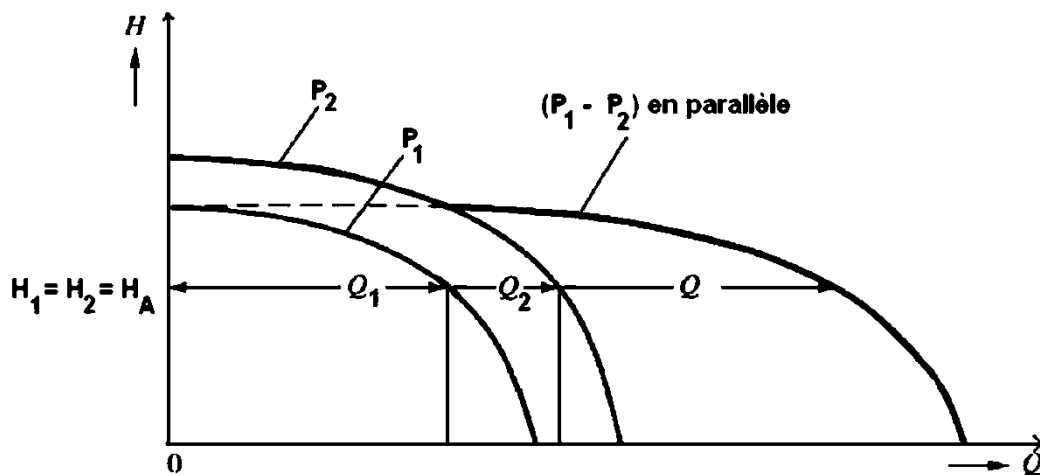


Figure 12 : Groupement en parallèle de deux pompes.

13. Ajustement du point de fonctionnement

Une fois le point de fonctionnement déterminé, on peut se trouver dans l'un des cas suivants :

- Une situation idéale où le débit de fonctionnement se trouve très proche du débit souhaité;
- Le débit de fonctionnement est inférieur au débit souhaité, il faut donc réviser le choix de la pompe et adopter une nouvelle pompe de capacité plus importante;
- Le débit de fonctionnement est supérieur au débit souhaité. Dans ce cas, il faut ajuster le point de fonctionnement et ce, par la modification de la courbe

caractéristique de la pompe par rognage ou par changement de la vitesse de rotation, soit par la modification de la courbe caractéristique de la conduite en augmentant les pertes de charge comme par exemple le vannage.

13.1 Modification de la vitesse de rotation de la pompe

C'est la méthode la plus adéquate qui affecte le moins le rendement de la pompe. Cette solution peut être faite chez le constructeur pour les moteurs à vitesse fixe.

La figure 13 illustre l'ajustement du point de fonctionnement de la pompe par modification de la vitesse de rotation de son moteur.

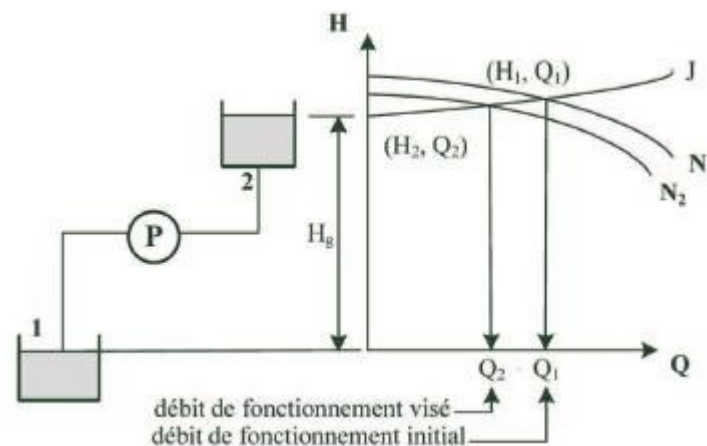


Figure 13 : *Variation de la vitesse de la pompe.*

Pour une vitesse de rotation N_1 , la courbe caractéristique de la pompe croise la courbe caractéristique du réseau pour donner un débit Q_1 . En utilisant les règles de similitude, on peut trouver une nouvelle vitesse de rotation N_2 qui donne un nouveau débit Q_2 qui est le débit recherché.

On constate que la hauteur manométrique et la puissance varient aussi ce qui rend le coût d'une pompe à vitesse variable plus élevé que celui d'une pompe à vitesse fixe.

13.2. Rognage du diamètre de la roue de la pompe

Si le débit de fonctionnement est plus grand que celui recherché, il y a un autre moyen pour réduire le diamètre de la roue de la pompe et diminuer ainsi le débit. Le point de fonctionnement sera modifié comme représenté sur la figure 14.

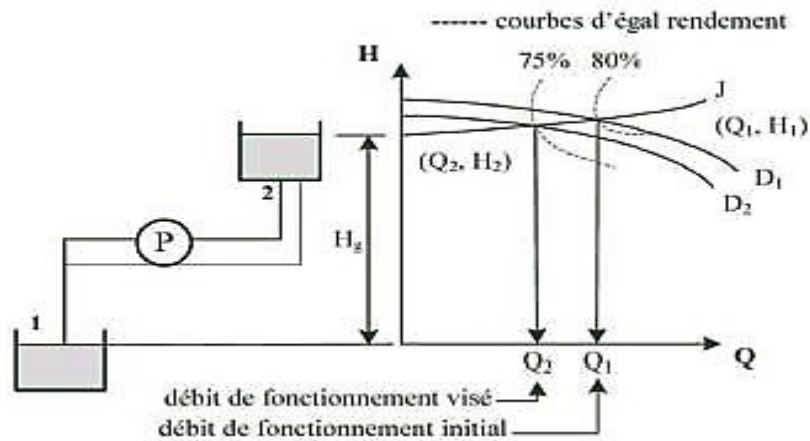


Figure 14 : Rognage de la roue de la pompe.

En réduisant le diamètre D_1 à D_2 , on obtient le nouveau débit de fonctionnement recherché. Le diamètre recherché peut être obtenu par les règles de similitude ainsi que les nouvelles valeurs de la hauteur manométrique et la puissance.

Calcul de rognage

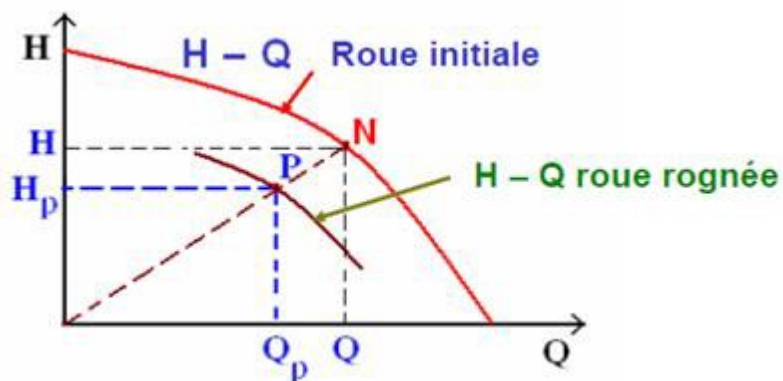


Figure 15: Caractéristique H-Q de la roue rognée.

On connaît la caractéristique de la roue initiale : diamètre D_2

On désire obtenir un point de fonctionnement (point P) : Q_p , H_p , D'_2

Similitude de fonctionnement entre les points N et P

$$\frac{Q_p}{Q} = \frac{H_p}{H} = \left(\frac{D'_2}{D_2}\right)^2 \rightarrow$$

Les points N et P sont situés sur la droite issue de l'origine.

Calcul du diamètre D_2' de la roue rognée

$$\frac{D_2'}{D_2} = \sqrt{\frac{Q_p}{Q}} = \sqrt{\frac{H_p}{H}}$$

- Connaissant D_2' on construit la caractéristique de la roue rognée

Remarques :

- En pratique on peut rogner autour des aubes d'une roue une proportion atteignant au max 12 à 15 %
- Pour un rognage de 5 à 10% le rendement peut diminuer de 1 à 2 %

13.3. Réduction du débit par vannage

Si l'on ferme une vanne, on va créer une perte de charge singulière qui dresse la courbe caractéristique de la conduite qui va conduire à une diminution du débit comme le montre la figure 16.

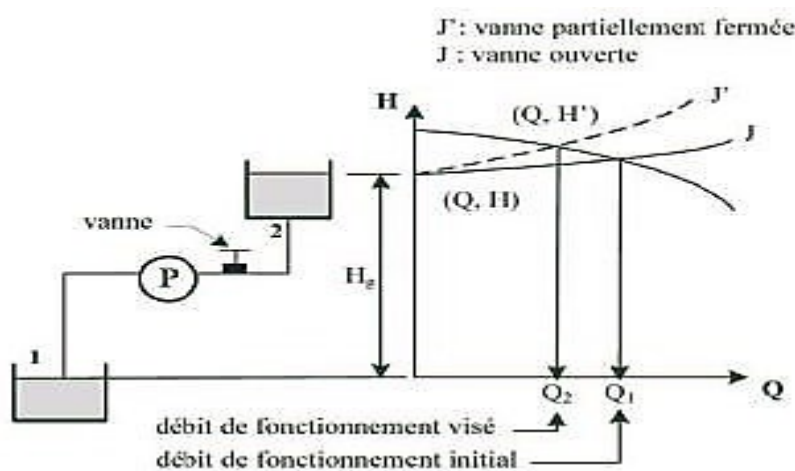


Figure 16 : Effet de vannage sur le point de fonctionnement.

Le coefficient de perte de charge singulière de la vanne augmente rapidement au fur et à mesure de sa fermeture qui va accroître considérablement les pertes de charge et modifier l'allure de la courbe caractéristique de la conduite. Cette option est la plus défavorable du point de vue rendement quand elle est utilisée d'une manière systématique.

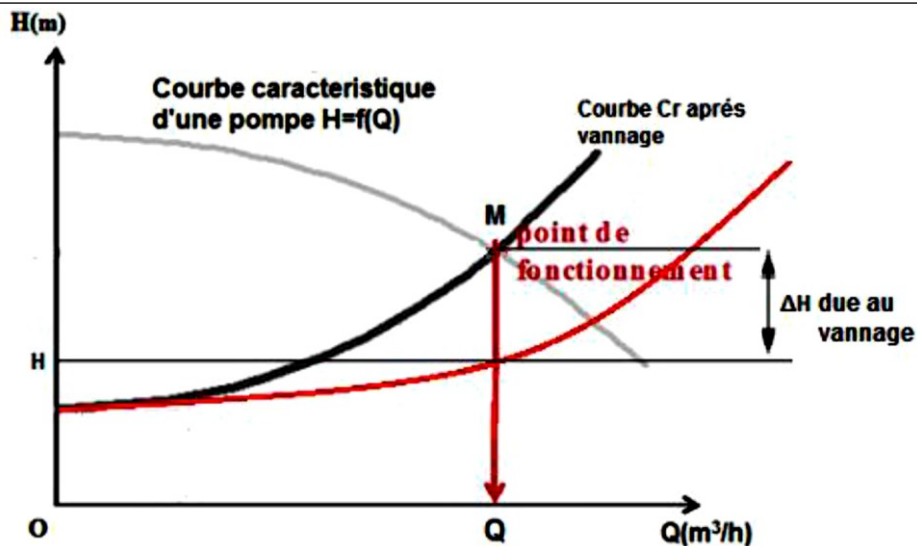


Figure 17 : Variation du point de fonctionnement avec vannage

La méthode de vannage consiste à créer une perte de charge locale de telle sorte à garder le débit Q désirée mais la hauteur augmente.

L'inconvénient de cette méthode est l'augmentation des dépenses d'énergie (frais d'exploitation).

13.4. Méthode de réduction du temps de pompage

On veut débiter Q à la hauteur H par pompage continue avec ($Q = 100\text{l/s}$, $H_{mt} = 100\text{m}$), mais en réalité la pompe débite $Q' = 110\text{l/s}$ à la hauteur $H' = 110\text{m}$.

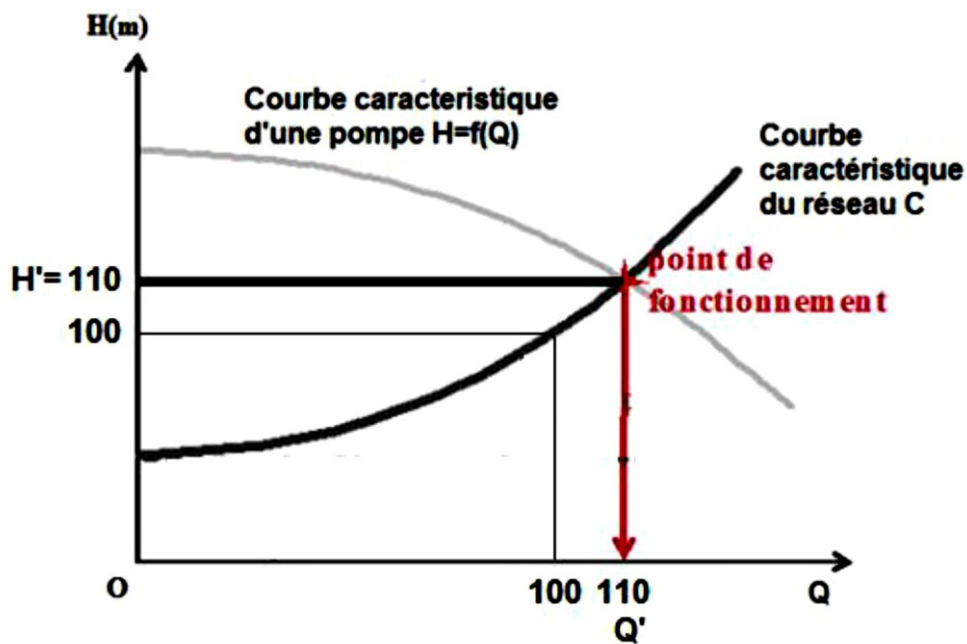


Figure 18 : Variation du point de fonctionnement avec réduction du temps de pompage.

$$(100\text{l/s}, 100\text{m}) \longrightarrow T_p = 24 \text{ heures} \quad \square \quad V = Q T_p$$

$$(110\text{l/s}, 110\text{m}) \longrightarrow T_{p'} = ? \text{ heures} \quad \square \quad V = Q' T_{p'}$$

$$\text{A condition que } V = V' \longrightarrow Q T_p = Q' T_{p'} \quad T_{p'} = \frac{Q}{Q'} T_p < 24 \text{ heures}$$

Cette méthode ne peut pas s'appliquer aux forages qui ne peuvent être surexploités (plus de leur Q).