

5.0 LES MESURES PRATIQUES

Ce chapitre propose plusieurs méthodes pour prendre des mesures de pression et calculer la hauteur de charge.

5.1 LA HAUTEUR DE CHARGE TOTALE

La meilleure place pour localiser les manomètres de pression pour mesurer la pression de décharge et de l'aspiration est aussi proche des brides de raccordement de la pompe que possible. La hauteur de charge totale est proportionnelle à la différence des pressions mesurées à la bride de décharge et d'aspiration.

Typiquement, ces mesures seront prises avec des manomètres à pression standards (type bourdon) calibrées en livres par pouces carrés ou en psi.

Le manomètre de pression GS doit être assez proche de la bride d'aspiration (point S, voir la figure 5-1) pour éviter qu'il y est des pertes de charge ou changement de vitesse qui affecteraient la mesure. Le manomètre de pression GD devrait aussi être proche de la bride de décharge (point D, voir la figure 5-1) de la pompe.

Par définition (voir référence 1), la hauteur de charge totale de la pompe est la hauteur de charge à la sortie (décharge) moins la hauteur de charge à l'entrée (l'aspiration):

$$\Delta H_P = \bar{E}_D - \bar{E}_S \quad [5-1]$$

La hauteur de charge à la décharge \bar{E}_D est:

$$\bar{E}_D = H_D + \frac{v_D^2}{2g} + z_D - z_s \quad [5-2]$$

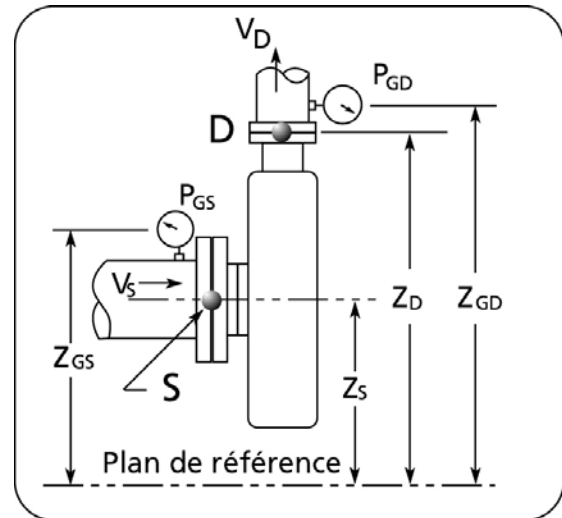


Figure 5-1 Position des manomètres de pression à la décharge et l'aspiration de la pompe.

Et la hauteur de charge à l'aspiration \bar{E}_s est (voir le chapitre 3):

$$\bar{E}_s = H_s + \frac{v_s^2}{2g} \quad [5-3]$$

On substitut l'équation [5-2 et [5-3] dans [5-1] et on obtient:

$$\Delta H_P = \frac{1}{2g} (v_D^2 - v_s^2) + z_D - z_s + H_D - H_s \quad [5-4]$$

Puisque le manomètre de pression GS est plus haute que le centre de la conduite d'aspiration de la pompe, on doit compenser la mesure de pression pour cette différence de hauteur en additionnant celle-ci à la mesure de la hauteur de charge de pression. De façon semblable, on corrige la mesure du manomètre GD.

La relation entre la hauteur de charge de pression et la mesure de pression est:

$$H_{GD}(pi\ fluide) = 2.31 \frac{p_{GD}(psig)}{GS} \text{ et } H_{GS}(pi\ fluide) = 2.31 \frac{p_{GS}(psig)}{GS} \quad [5-5]$$

Après avoir corriger pour la hauteur, la hauteur de charge de pression H_D au point D est:

$$H_D(pi\ fluide) = 2.31 \frac{p_{GD}(psig)}{GS} + (z_{GD} - z_D) \quad [5-6]$$

La hauteur de charge de pression H_s au points S est:

$$H_s(pi\ fluide) = 2.31 \frac{p_{GS}(psig)}{GS} + (z_{GS} - z_s) \quad [5-7]$$

En substituant les équations [5-7] et [5-6] dans [5-4] on obtient l'équation [5-8] qui est l'équation pour la hauteur de charge totale telle que mesurée par deux manomètres de pression:

$$\Delta H_P(pi\ fluide) = \frac{1}{2g} (v_D^2 - v_s^2) + z_D - z_s - (z_{GS} - z_s) + z_{GD} - z_D + 2.31 \frac{p_{GD}(psig) - p_{GS}(psig)}{GS}$$

Et après simplification on obtient :

$$\Delta H_P(pi\ fluide) = \frac{1}{2g} (v_D^2 - v_s^2) + z_{GD} - z_{GS} + 2.31 \frac{p_{GD}(psig) - p_{GS}(psig)}{GS} \quad [5-8]$$

z_{GD} et H_{GD} sont respectivement la hauteur et la hauteur de charge de pression du manomètre GD sur le côté décharge de la pompe. Semblablement, z_{GS} et H_{GS} sont respectivement la hauteur et la hauteur de charge de pression du manomètre GS sur le côté aspiration de la pompe.

Les hauteurs z_{GD} et z_{GS} sont prises par rapport à une référence commune (voir la figure 5-1).

Les vitesses sont données par:

$$v(pi/s) = 0.4085 \frac{q(USgal/min)}{(D(po))^2}$$

À noter que la pression à l'entrée de la pompe peut parfois être plus basse que l'atmosphère locale et vous aurez besoin d'un manomètre qui peut mesurer le vide.

Il peut arriver à l'occasion qu'on ait un manomètre de pression disponible à la sortie de la pompe mais non à l'entrée. Dans ce cas, on devra calculer la hauteur de charge de pression à l'entrée de la pompe au lieu de la mesurer directement.

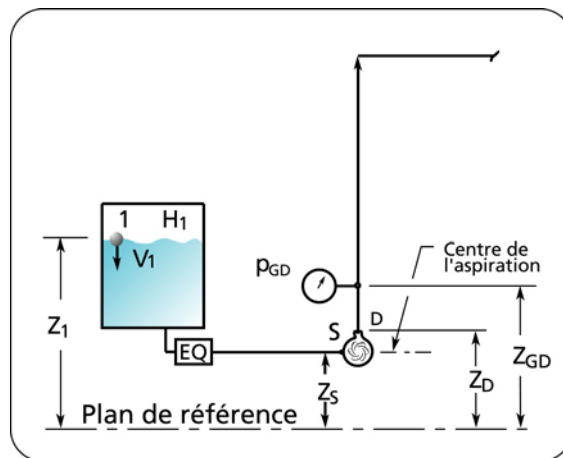


Figure 5-2 Mesurer la hauteur de charge totale avec un manomètre seulement à la sortie de la pompe.

La hauteur de charge au point S (voir le chapitre 3, équation [3-6]) est:

$$\bar{E}_S = H_S + \frac{v_s^2}{2g} \quad [3-4]$$

H_S est (voir l'équation [3-4]):

$$H_S = -(\Delta H_{F1-S} + \Delta H_{EQ1-S}) + \frac{(v_1^2 - v_s^2)}{2g} + (z_1 - z_s + H_1) \quad [3-6]$$

En remplaçant l'équation [3-4] dans l'équation [3-6] on obtient:

$$\bar{E}_S = -(\Delta H_{F1-S} + \Delta H_{EQ1-S}) + \frac{v_1^2}{2g} + (z_1 - z_s + H_1) \quad [5-9]$$

La hauteur de charge totale est donnée par:

$$\Delta H_P = \bar{E}_D - \bar{E}_S \quad [5-10]$$

La hauteur de charge à la décharge \bar{E}_D est:

$$\bar{E}_D = H_D + \frac{v_D^2}{2g} + z_D - z_s \quad [5-11]$$

Donc

$$\Delta H_P = \bar{E}_D - \bar{E}_S = H_D + \frac{v_D^2}{2g} + z_D - z_s + \Delta H_{F1-S} + \Delta H_{EQ1-S} - \frac{v_1^2}{2g} - (z_1 - z_s + H_1) \quad [5-12]$$

H_D est donné par l'équation [5-6] et inséré dans l'équation [5-14]:

$$\Delta H_P = 2.31 \frac{p_{GD} (psig)}{GS} + z_{GD} - z_D + \frac{v_D^2}{2g} + z_D - z_s + \Delta H_{F1-S} + \Delta H_{EQ1-S} - \frac{v_1^2}{2g} - (z_1 - z_s + H_1)$$

Et après simplification on obtient:

$$\Delta H_P = 2.31 \frac{p_{GD} (psig)}{GS} + z_{GD} - z_1 + \frac{v_D^2}{2g} + \Delta H_{F1-S} + \Delta H_{EQ1-S} - \frac{v_1^2}{2g} - H_1 \quad [5-13]$$

5.2 LA HAUTEUR DE CHARGE NETTE POSITIVE À L'ASPIRATION DISPONIBLE (N.P.S.H.)

Par définition, le N.P.S.H. disponible est l'énergie spécifique ou la hauteur de charge à l'aspiration de la pompe en terme de pieds de fluide absolu moins la hauteur de charge de vapeur de pression du fluide. S'il y a un manomètre de pression sur le côté aspiration de la pompe tel qu'à la figure 5-1, alors la hauteur de charge au point S est (voir l'équation [3-6]):

$$\bar{E}_S = H_s + \frac{v_s^2}{2g} \quad [3-6]$$

La valeur de H_s est donnée par l'équation [5-7] et substituée dans [3-6], on obtient:

$$\bar{E}_S = 2.31 \frac{p_{GS} (psig)}{GS} + z_{GS} - z_s + \frac{v_s^2}{2g} \quad [5-14]$$

Puisque le *N.P.S.H.* est en pieds de fluide absolus, la valeur de la pression atmosphérique locale (H_A) doit être additionner à \bar{E}_S et la hauteur de charge de pression de vapeur (H_{va}) de fluide soustraite pour obtenir le *N.P.S.H.* disponible.

$$NPSH_{disp} (pi \text{ fluide absol}) = \bar{E}_S + H_A - H_{va} \quad [5-15]$$

En substituant l'équation [5-14] dans [5-15] on obtient:

$$N.P.S.H. \text{ disp } (pi \text{ fluide absol}) = 2.31 \frac{p_{gs} (psi)}{GS} - (z_{GS} - z_s) + \frac{v_s^2}{2g} + H_A + H_{va} \quad [5-16]$$

Si la pression atmosphérique et la pression de vapeur sont disponibles en termes de pression alors:

$$NPSH_{disp} (pi \text{ fluide absol}) = 2.31 \frac{p_{gs} (psi)}{GS} + \frac{v_s^2}{2g} + z_{GS} - z_s + 2.31 \frac{(p_A - p_{va})}{GS} \quad [5-17]$$

Quel est la différence entre le *N.P.S.H.* de l'équation [5-16] et le *N.P.S.H.* de l'équation [3-10] développé dans le chapitre 3 et répété ici plus bas:

$$NPSH_{disp} (pi \text{ fluide absol}) = - (\Delta H_{F1-S} + \Delta H_{EQ-S}) + \frac{v_1^2}{2g} + (z_1 - z_s + H_1) + H_A - H_{va} \quad [3-10]$$

La différence principale est dû au fait qu'on mesure la pression à l'aspiration de la pompe au lieu de la calculer. Quand on calcule la pression on doit tenir compte des pertes de charge entre les points 1 et S ainsi que de la différence d'élévation entre ces deux points. Quand on prend la mesure de pression, le résultat de cette mesure inclut les pertes de charge ainsi que le différence d'élévation puisque se sont ces sources d'énergies qui donne l'énergie de pression mesurée. Pourquoi dans l'équation [5-17] la hauteur de charge de vitesse est-elle requise mais pas dans l'équation [3-10]? Par ce que la hauteur de charge de vitesse est une source d'énergie importante qui n'est pas inclut dans la mesure de pression. Dans l'équation [3-10] la hauteur de charge de vitesse a été considérée, mais celle-ci est annulée dans le développement de l'équation et donc n'apparaît pas dans le résultat final.

5.3 LA HAUTEUR DE CHARGE À DÉBIT NUL

Pour mesurer la hauteur de charge de pression à débit nul, au moins un manomètre de pression est requis à la décharge de la pompe. Celle-ci devrait être localisée entre la bride de décharge de la pompe et la vanne de décharge (voir la figure 5-3). Normalement, il devrait y avoir un manomètre de pression sur l'aspiration de la pompe.

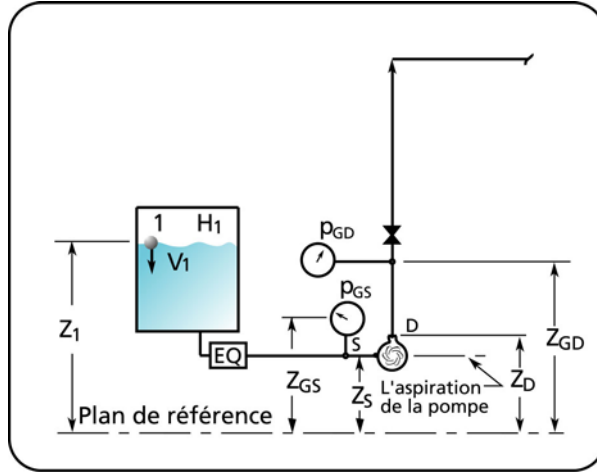


Figure 5-3 Mesurer la hauteur de charge à débit nul.

On mesure la hauteur de charge à débit nul de la même façon qu'on mesure la hauteur de charge totale excepté qu'il n'y a pas de débit à travers la pompe ou dans le système.

Cas 1. Manomètre de pression non disponible sur l'aspiration de la pompe

Nous avons traité ce cas quand nous avons mesuré la hauteur de charge totale avec un manomètre sur le côté décharge de la pompe seulement. La valeur de la hauteur de charge totale est donnée par l'équation [5-13]. Puisque par définition il n'y a pas de débit à travers la pompe et dans le système alors $v_D = v_1 = 0$, et $\Delta H_{F1-S} = \Delta H_{EQ1-S} = 0$ donc l'équation [5-13] devient:

$$\Delta H_P = 2.31 \frac{p_{GD}(\text{psig})}{GS} - (z_{GD} - z_1) - H_1 \quad [5-18]$$

Cas 2. Manomètre de pression disponible sur le côté aspiration de la pompe

Quand on a un manomètre de pression de chaque côté de la pompe, la hauteur de charge totale à débit nul est donné par la même équation que la hauteur de charge totale (voir équation [5-8]):

$$\Delta H_P(\text{pi fluide}) = \frac{1}{2g}(v_D^2 - v_S^2) + z_{GD} - z_{GS} + 2.31 \frac{p_{GD}(\text{psig}) - p_{GS}(\text{psig})}{GS}$$

Mais puisqu'il n'y a pas de mouvement de fluide à travers le système, v_S et $v_D = 0$, donc l'équation [5-8] devient:

$$\Delta H_P(\text{pi fluide}) = z_{GD} - z_{GS} + 2.31 \frac{p_{GD}(\text{psig}) - p_{GS}(\text{psig})}{GS} \quad [5-19]$$

5.4 LA DIFFÉRENCE DE HAUTEUR DE CHARGE DE PRESSION DUE À L'ÉQUIPEMENT

La différence de hauteur de charge de pression entre l'entrée et la sortie de l'équipement est:

$$\Delta H_{EQ} = H_4 - H_3 \quad [5-20]$$

H_3 et H_4 sont respectivement les hauteurs de charge de pression aux points 3 et 4.

Case 1. Les manomètres de pression sont disponibles sur chaque côté de l'équipement

La pression mesurée avec le manomètre connecté au point 3 doit être corrigée pour la différence de hauteur du manomètre au-dessus du point 3.

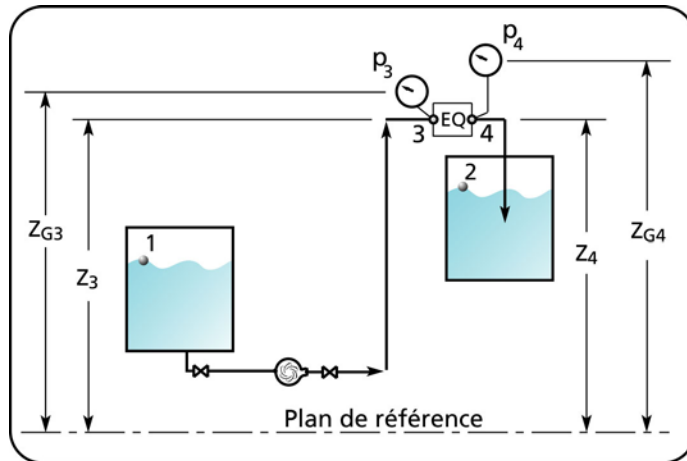
$$H_3 = \frac{2.31 p_3}{GS} + z_{G3} - z_3 \quad [5-21]$$

On doit faire de même pour le manomètre connecté au point 4.

$$H_4 = \frac{2.31 p_4}{GS} + z_{G4} - z_4 \quad [5-22]$$

La différence entre les deux hauteurs de charge est donc:

$$\Delta H_{EQ} = H_4 - H_3 = \frac{2.31 (p_4 - p_3)}{GS} + z_4 - z_3 + z_{G4} - z_{G3} \quad [5-23]$$



5-3 Mesurer la perte de charge à travers l'équipement.

Cas 2. Manomètre de pression sur un côté seulement de l'équipement

S'il y a seulement un manomètre de pression disponible et connecté sur le point 3 alors:

$$H_3 = \frac{2.31 p_3}{GS} + z_{G3} - z_3 \quad [5-24]$$

H_4 est déterminé en utilisant la méthode du chapitre 2.

$$H_4 = \Delta H_{F4-2} + \Delta H_{EQ4-2} + \frac{(v_2^2 - v_4^2)}{2g} + z_2 + H_2 - z_4 \quad [5-25]$$

En substituant l'équation [5-24] et [5-25] dans [5-20], on obtient:

$$\Delta H_{EQ} = H_4 - H_3 = \Delta H_{F4-2} + \Delta H_{EQ4-2} + \frac{(v_2^2 - v_4^2)}{2g} + z_2 - z_4 + H_2 - \frac{2.31 p_3}{GS} + z_{G3} - z_3 \quad [5-26]$$

5.5 LA MESURE DU DÉBIT

La mesure du débit n'est pas toujours facile. Rarement, a t'on un débit mètre précis installée sur la ligne qui nous intéresse. Une approche pour remplacer cet appareil est de mesurer le temps pendant lequel le réservoir de décharge se remplit ou le réservoir d'aspiration se vide. Si on prend cette mesure pour des petits volumes ou des temps courts, on aura peu d'influence sur la hauteur de charge totale et donc une mesure plus précise. Si cette mesure n'est pas pratique, on peut mesurer le courant du moteur de la pompe pour calculer le pouvoir consommé. Nous savons que le pouvoir consommé est proportionnel à la hauteur de charge totale ΔH_P , au débit q et à au rendement η de la pompe. Donc avec le courant, si on a le rendement et la hauteur de charge totale de la pompe, on peut calculer le débit (voir l'équation [5-28]). Ceci est une façon très indirecte de mesurer le débit et ne devrait être utilisé que pour contre vérifier une autre méthode de mesure. Pour utiliser cette méthode on doit connaître les caractéristiques du moteur, c'est à dire le facteur de puissance et le rendement au niveau de charge d'opération.

Soyez prudent, les mesures qui nous permettent de calculer le point d'opération de la pompe, présume que la pompe est en bonne état. Ceci évidemment n'est pas toujours le cas.

5.6 TROUVEZ LE DÉBIT EN CONNAISSANT LA PUISSANCE CONSOMMÉE PAR LA POMPE

La hauteur de charge totale ΔH_P et le débit q dans un système existant sont des quantités mesurables. Une ou l'autre de ces quantités peuvent être à l'occasion difficile à mesurer. Par contre, on peut toujours mesurer le courant (ampère) d'alimentation du moteur.

La puissance consommée par la pompe est:

$$P_{pompe}(hp) = \frac{GS \Delta H_P (pi \text{ fluide}) q(USgal/min)}{3960 \eta_{pompe}}$$

[5-27]

ou P_{pompe} : puissance consommée à l'arbre de la pompe;

GS : gravité spécifique du fluide;

ΔH_P : hauteur de charge totale;

q : débit;

η_{pompe} : rendement de la pompe.

Un moteur à induction typique a une partie de sa puissance qui est réactive et ne participe pas au travail accompli. On doit donc appliquer un facteur qui est appelé le facteur de puissance sur la puissance totale pour obtenir la puissance réelle consommée. Le facteur de puissance et le rendement du moteur sont donnés par les fabricants pour différentes charges au moteur, différentes grosseurs et vitesses d'opération (voir Appendice E). La puissance consommée à la pompe à travers l'arbre du moteur est:

$$p_{pompe}(hp) = \frac{1.34}{1000} \sqrt{3} V(volt) A(amp) \eta_{moteur} P.F.$$

[5-28]

ou V : alimentation en voltage du moteur, normalement 575 volts;

A : alimentation en courant;

η_{moteur} : rendement du moteur;

$P.F.$: facteur de puissance

Note : la constante $\sqrt{3}$ est requise pour les moteurs triphasés.

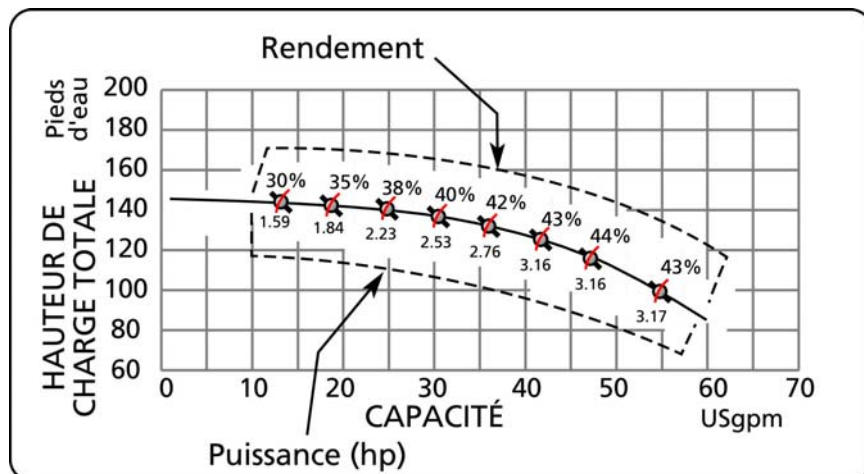


Figure 5-5 Localiser le point d'opération en mesurant le courant.

Donc si on mesure le courant du moteur, on peut calculer la puissance consommée par la pompe. La puissance consommée dépend de la hauteur de charge totale, du débit et de le rendement de la pompe. Ces trois variables sont identifiées sur la courbe caractéristique et définissent le point d'opération. Si on connaît la puissance consommée par la pompe, on peut obtenir de la courbe caractéristique la hauteur de charge, le débit et rendement.

La hauteur de charge totale peut être calculée en mesurant la pression à la sortie et l'entrée de la pompe. On peut se passer de la mesure de pression à l'entrée de la pompe si celle-ci peut-être facilement calculée. Par exemple, si l'aspiration de la pompe est ample et courte et qu'il n'y a pas d'obstruction, on peut alors supposer que la hauteur de charge de pression sera la même que la hauteur statique.

Des tables de valeurs rendement et de facteurs de puissance pour les moteurs à induction sont disponibles des manufacturiers (voir appendice E).

Quelle est la meilleure façon de mesurer le débit?

1. *La situation idéale est d'avoir un débit mètre fiable sur la conduite.*
2. *Si vous avez accès au réservoir d'aspiration ou de décharge et connaissez leurs géométries, vous pouvez mesurer le taux de changement de la hauteur dans ces réservoirs et donc calculer le débit. C'est une bonne méthode pour des petits changements de volume dans les réservoirs.*
3. *J'ai utilisé quelques appareils de mesure de débit ultra-sonique avec peu de succès. Il y en a présentement 2 types: « Transit time » et à effet Doppler. L'appareil Doppler demande qu'il y est des particules dans le fluide et est très variable et peu précis. L'appareil « Transit time » demande un fluide avec peu ou sans particules et est très précis quand il enregistre une lecture.*