

UNE INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE POMPAGE

1

1.0 LA PRESSION HYDROSTATIQUE ET LA HAUTEUR DE LA COLONNE DE FLUIDE

La pression se manifeste comment à l'intérieur d'un fluide ? Il est facile de mettre un solide sous pression, on a qu'à pousser sur des surfaces opposées pour produire une contrainte à l'intérieur du solide. Dans le cas d'un fluide, il faut en premier que celui-ci soit à l'intérieur d'un récipient. Ce récipient peut être gros comme un océan ou petit comme un tuyau. Il peut être ouvert ou fermé. On peut créer une pression même quand le récipient est ouvert. Par exemple, dans le cas d'une seringue, on s'aperçoit rapidement que le piston demande une force considérable pour éjecter le liquide de l'aiguille.

La pression hydrostatique est la pression associée à un volume de liquide stationnaire. Le niveau de pression varie en proportion directe avec la hauteur par rapport à la surface libre. Les plongeurs sous-marins sont bien habitués à ce phénomène car ils doivent équilibrer la pression sur chaque côté des tympans régulièrement lors d'une descente.

Le poids du fluide est la cause de la pression hydrostatique. Dans la Figure 1-1, on isole une mince tranche de fluide contenu dans un tuyau situé à une distance z de la surface libre. On peut alors visualiser les forces qui maintiennent l'équilibre de cet élément. Pour un élément très mince, la pression p sur le dessus et le dessous de l'élément sera la même. Ces deux pressions, produisent des forces F qui sont opposées. Il y a aussi une pression latérale contre les murs du tuyau. Cette pression produit des forces qui sont équilibrées par une tension dans le mur du tuyau mais n'ont pas de conséquence sur la variation de la pression avec la hauteur. La force F à un niveau donné dépend seulement de la surface et du poids du fluide correspondant à la hauteur z .

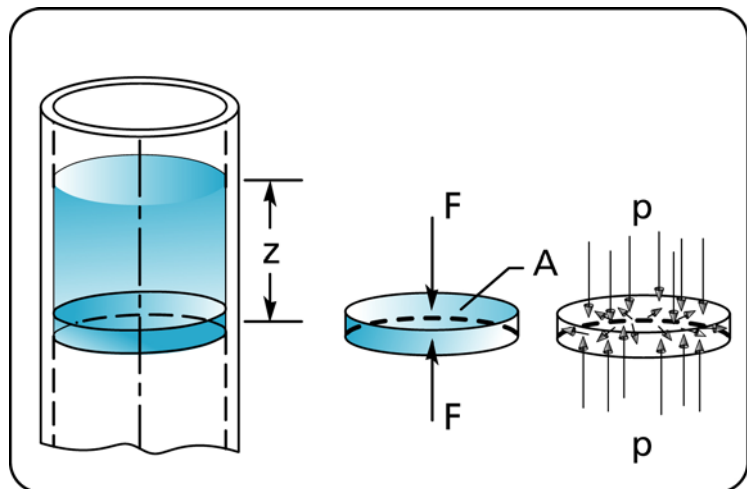


Figure 1-1 La pression vs. la hauteur de charge hydrostatique.

Le poids de la colonne de fluide de hauteur z est:

$$F = \rho g V = \gamma V = \gamma z A \quad \text{since } V = z A$$

La pression p est égale au poids F divisé par la section transversal A située à la hauteur z :

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\gamma z A}{A} = \gamma z \quad [1-1]$$

ou F : le poids du fluide

V : le volume

g : l'accélération due à la to gravité (32.7 pi/s^2)

ρ : la densité du fluide en livre masse par unité de volume

γ : la densité du fluide en livre force par unité de volume

Il est intéressant de noter que la forme du récipient du fluide n'a aucun effet sur la pression dans le fluide à un niveau donné. Un exemple de tous les jours nous le confirme. On sent la même pression sur les tympans des oreilles quand on se situe à 10 pieds sous l'eau d'une piscine ou d'un lac.

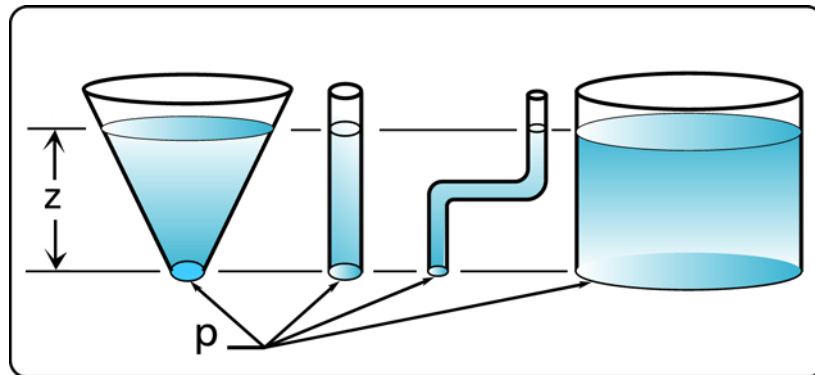


Figure1-2 La forme des récipients vs. la hauteur de charge de pression.

1.1 LES TROIS FORMES D'ÉNERGIE

Il y a trois formes d'énergie qui sont toujours présentes et inter reliées dans un système de pompage. Ce sont l'énergies potentielle, cinétique et de pression. Cette section donne brièvement les définitions de chaque pour aider le lecteur à se familiariser avec ces concepts.

Si on divise l'énergie par le poids de l'élément de fluide concerné on obtient l'énergie spécifique ou la hauteur de charge.

ÉNERGIE SPÉCIFIQUE POTENTIELLE

$$\text{Énergie potentielle } e = z$$

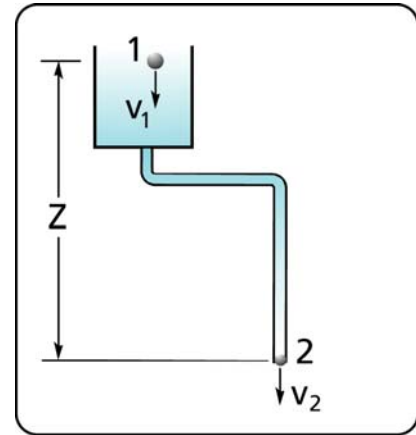


Figure 1-3 L'énergie spécifique potentielle et la différence d'élévation des particules de fluide.

ÉNERGIE SPÉCIFIQUE CINÉTIQUE

$$\text{Énergie spécifique cinétique} = \frac{v^2}{2g}$$

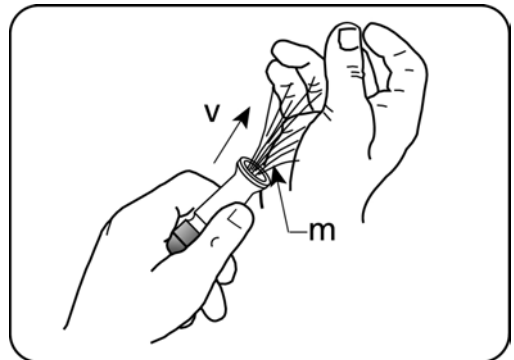


Figure 1-4 L'énergie spécifique cinétique et la vitesse des particules de fluide.

ÉNERGIE SPÉCIFIQUE DE PRESSION

$$\text{Énergie spécifique de pression} = \frac{p}{\gamma}$$

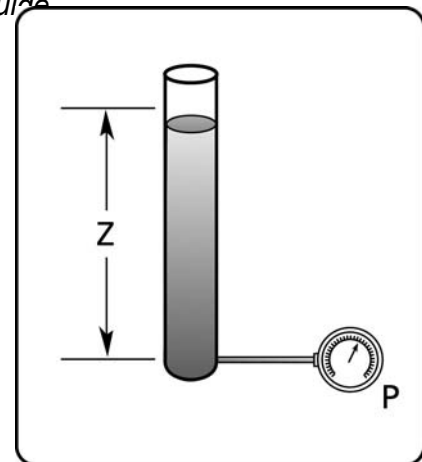


Figure 1-5 L'énergie spécifique de pression et la pression dans l'environnement des particules de fluide.

1.2 LA RELATION ENTRE L'ÉLÉVATION, LA PRESSION ET LA VITESSE DANS UN FLUIDE

Il y a une relation entre les énergies spécifiques associées à l'élévation, la pression et la vitesse des particules de fluide. L'énergie spécifique qui correspond à ces trois quantités est l'énergie spécifique potentielle z , l'énergie spécifique de pression p/γ et l'énergie spécifique cinétique $v^2/2g$. La somme de ces trois énergies spécifiques doit être constante, puisque l'énergie ne peut être perdue. Dit autrement, l'énergie spécifique au point 1 doit être égale à l'énergie spécifique au point 2 dans la figure 1-6.

La somme de ces trois formes d'énergie spécifique doit être constante :

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \bar{E} = \text{CONSTANTE}$$

On peut aussi mettre en relation deux points du système tel que les points 1 et 2 de la figure 1-6. Étant donné que l'énergie spécifique est constante on a donc :

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

La relation entre la pression, l'élévation et la vitesse

Une variation d'un de ces termes implique une variation dans un ou deux des autres termes. L'énergie spécifique totale au point 1 dans un système de fluide doit être égale à l'énergie spécifique au point 2 (voir la figure 1-6). Par exemple, si on augmente la vitesse au point 1, en réduisant la section, alors la pression p_1 devra diminuer.

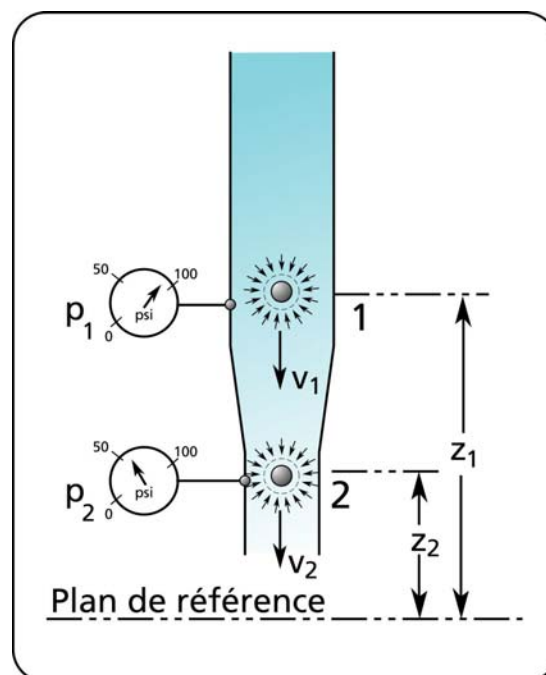


Figure 1-6 La relation entre la pression, l'élévation et la vitesse.

La relation entre la pression et l'élévation

Il y a plusieurs endroits dans un système où la vitesse est constante et dans ce cas la pression et l'élévation seulement sont inter reliées. En particulier, si la vitesse est nulle comme dans un système statique, alors on obtient la relation entre la hauteur de charge d'élévation et la hauteur de charge de pression mentionnée précédemment.

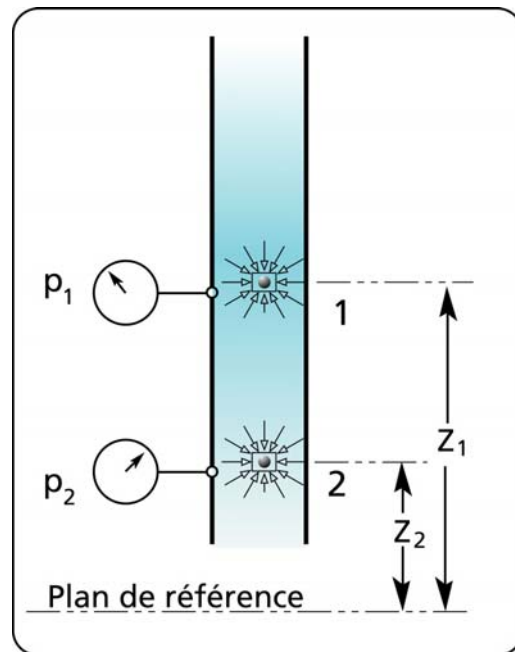


Figure 1-7 La relation entre la pression et l'élévation.

L'équation suivante donne la relation entre la pression et l'élévation quand la vitesse est constante.

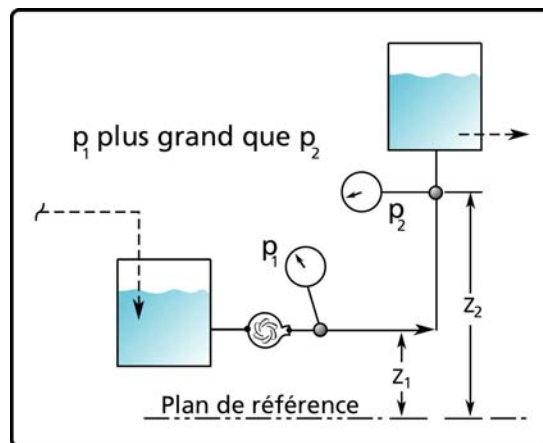


Figure 1-8 Le variation de pression due à l'élévation dans un système réel.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$$

Figure 1-8 montre un système réel où on a installé un manomètre de pression près de la pompe et une autre près du réservoir de décharge. La pression p_1 sera plus grande que p_2 due à la différence d'élévation.

La relation entre la pression et la vitesse

Si l'élévation est constante alors il y a une relation directe entre la pression et la vitesse. C'est cette relation qui nous permet de calculer le débit dans un tube de venturi connaissant les pressions p_1 et p_2 . Dans la Figure 1-9, la pression p_2 sera plus basse que p_1 due à l'augmentation de la vitesse au point 2.

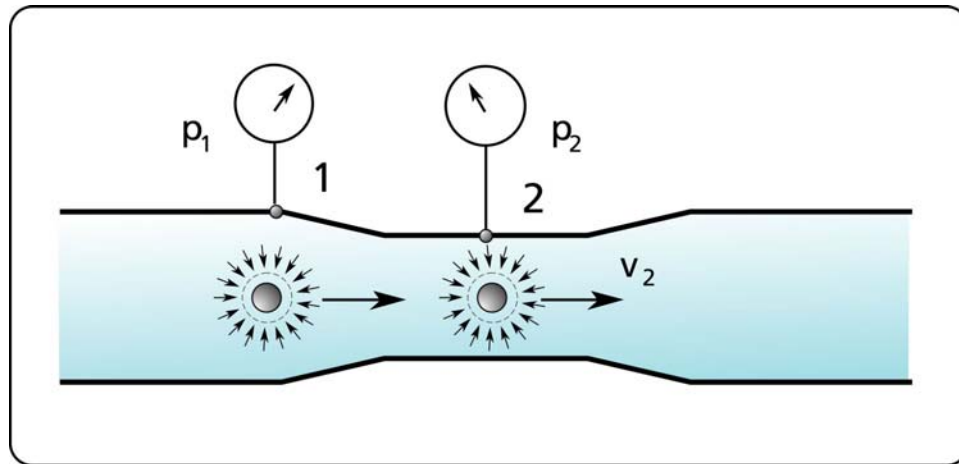


Figure 1-9 La relation entre la pression et la vitesse.

Un tube de venturi est utilisé pour mesurer le débit. Le débit q est proportionnel à la différence des pressions aux points 1 et 2 (voir la Figure 1-9).

L'équation suivante donne la relation entre la pression et la vitesse quand l'élévation est constante.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

L'équation suivante donne le débit en fonction de la pression (p_1) juste avant le venturi et la pression (p_2) à la section réduite.

$$q = K \sqrt{\frac{p_2 - p_1}{\gamma}}$$

Les trois formes d'énergie (élévation, pression et vitesse) sont toujours présentes dans un système de fluide. On peut les visualiser en utilisant un simple récipient (voir la figure 1-10).

1. **L'Énergie potentielle.** Les particules de fluide qui sont à l'élévation z par rapport au bas du récipient possèdent de l'énergie potentielle. Nous savons que ce type d'énergie est présent puisque initialement l'énergie doit être dépensée pour faire monter les particules à ce niveau.
2. **L'Énergie de pression.** Le poids de la colonne de fluide produit une pression p au fond du récipient. L'énergie de pression peut être transformée en énergie cinétique si nous ouvrons la vanne au bas du réservoir.
3. **L'Énergie cinétique.** Si le fluide s'écoule par l'ouverture au bas du réservoir, il sera éjecté avec une vitesse v . L'énergie de pression a été convertie en énergie cinétique.

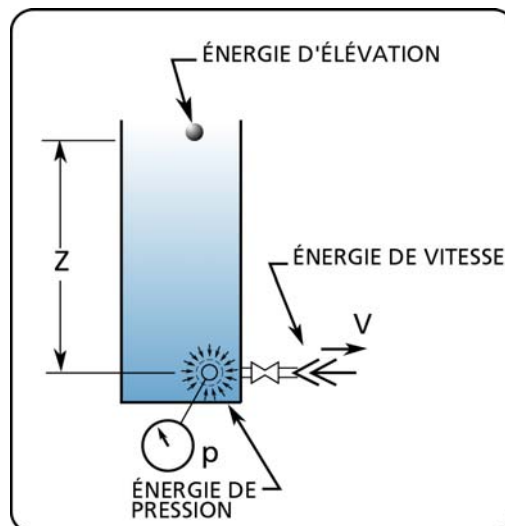


Figure 1-10 Les trois formes d'énergie dans un système de fluide.

1.3 LA DIFFÉRENCE ENTRE PRESSION ET HAUTEUR DE CHARGE

Dans un fluide en mouvement, la vitesse des particules doit être considérée. Le principe de conservation d'énergie dit que le niveau d'énergie d'une particule de fluide en mouvement à travers un système doit être constant. Ceci s'exprime avec l'équation suivante:

$$mgz + mg \frac{p}{\gamma} + \frac{1}{2} m v^2 = E = \text{CONSTANTE} \quad [1-2]$$

où (E) est le niveau total d'énergie de particules ayant une masse (m) et une vitesse (v). L'énergie totale est constituée de l'énergie potentielle (mgz), l'énergie de pression ($mg \frac{p}{\gamma}$) et l'énergie cinétique ($\frac{1}{2} m v^2$). En divisant tous les termes par (mg), on obtient

l'équation [1-3] qui est mieux connu sous le nom de l'équation de Bernoulli. L'énergie totale E devient l'énergie spécifique ou l'énergie par unité de poids \bar{E} . Tous les termes sur le côté gauche de l'équation de Bernoulli sont des hauteurs de charge, la hauteur de charge d'élévation (z), la hauteur de charge de pression (p/γ) et la hauteur de charge cinétique ($v^2/2g$).

L'équation de Bernoulli:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \bar{E} = \text{CONSTANTE} \quad [1-3]$$

Plus tard, on rajoutera à l'équation de Bernoulli, la hauteur de charge totale de la pompe et les pertes de charge dues au frottement. On doit faire une distinction claire entre pression et hauteur de charge. La hauteur de charge est un terme générique qui décrit un niveau d'énergie spécifique (i.e. énergie potentielle, cinétique ou de pression). Quand on aura besoin de calculer la pression à un endroit donné du système, on calculera d'abord la hauteur de charge de pression et ensuite on convertira celle-ci en pression à l'aide de l'équation [1-1].

On peut facilement mesurer la pression à n'importe quel endroit du système. L'analyse de ces valeurs donnent des informations précieuses sur le comportement du système. Par contre, ces mesures ne peuvent être utiliser directement dans les calculs de hauteur de charge, par exemple la hauteur de charge totale de la pompe. On doit en premier convertir la mesure de pression en hauteur de charge de pression (voir l'équation [1-5]) avant de pouvoir l'utiliser pour ces calculs.

1.4 SYSTÈMES DE POMPAGE

La pompe est le cœur du système de pompage. Il est peu pratique si non impossible de déplacer des fluides d'un endroit à un autre sans l'énergie fournit par une pompe. La figure 1-11 montre un système typique. Tout le fluide dans le réservoir d'aspiration sera éventuellement déplacer vers le réservoir de décharge. Il peut aussi être transformer de diverses façons (par exemple, chauffer, filtrer, etc.) à l'aide de différents équipements tous représentés par le symbole EQ. Il peut aussi y avoir des éléments de contrôle tel que des vannes de contrôle, débit-mètre, etc. Tous éléments introduits dans la conduite auront pour effet de faire chuter la pression et donc de demander plus d'énergie de la pompe.

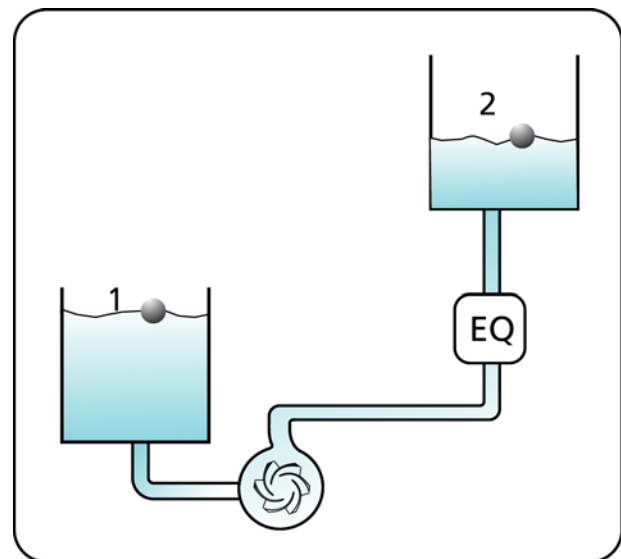


Figure 1-11 Un système de pompage typique.

Comment un système est-il conçu?

- A. Le débit est déterminé par rapport aux exigences du procédé et de la production de l'usine.
- B. La position et la grosseur des réservoirs d'aspiration et de décharge sont établies.
- C. La position, la grosseur et la capacité des équipements à être installés sur les conduites sont établies.
- D. La position de la pompe est fixée.
- E. La grosseur des conduites est déterminée ainsi que la grosseur des équipements auxiliaires tel que les vannes manuelles.
- F. La hauteur de charge totale de la pompe est calculée et la grosseur, le modèle et la puissance requise sont établis.

Où commence et finit un système?

La limite du système, appelé aussi volume de contrôle, détermine l'étendue du système. Le système doit être continu, c'est à dire qu'il doit y avoir continuité de fluide à partir de l'entrée jusqu'à la sortie. Si tel n'est pas le cas il faut diviser le système en deux. Il ne peut y avoir d'espaces vides entre des parties de fluide. Dans la figure 1-11, l'entrée du système est au point 1 et la sortie au point 2. Le point 1 est situé sur la surface libre du liquide dans le réservoir d'aspiration. Normalement il y a un tuyau qui permet de maintenir le niveau dans le réservoir d'aspiration. Ce tuyau ne fait pas partie du système. La sortie du système, le point 2, est située sur la surface libre du réservoir de décharge. Il y aura habituellement un tuyau qui permet d'évacuer le réservoir de décharge. Ce tuyau ne fait pas partie du système. La raison de ceci sera expliquer à la section 2.7.

1.5 LA FORCE MOTRICE DU SYSTÈME

La pompe fournit l'énergie pour faire circuler le fluide à travers le système à un débit donné. L'énergie du moteur est transmise à un disque avec des pales incurvées (l'impulseur ou la roue), celui-ci transmet l'énergie de rotation au fluide (voir la figure 1-12). Ce mouvement projette le fluide dans un parcours circulaire et par ce fait lui impute une force centrifuge. Le fluide est ralenti lorsqu'il heurte la paroi ou le volute de la pompe et l'énergie cinétique est convertie en énergie de pression. Cette source de pression nous permet de planifier un système qui utilisera cette énergie pour transporter et manipuler le fluide selon les besoins du procédé. La hauteur de charge totale est la différence de la hauteur de charge de pression entre l'entrée et la sortie de la pompe à un débit donné.

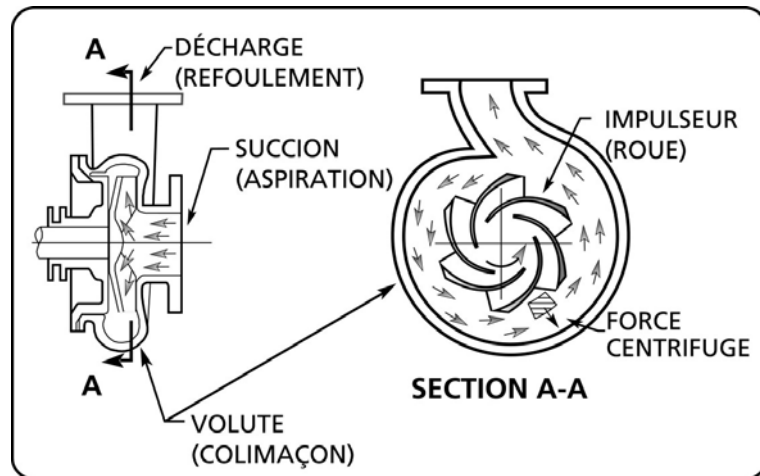


Figure 1-12 Éléments principaux d'une pompe centrifuge.

La hauteur de charge totale de la pompe fournit l'énergie nécessaire pour vaincre le frottement (perte de charge à travers les tuyaux et équipements) dans le système. Cette énergie est aussi requise pour compenser la différence entre les énergies potentielles, cinétiques et de pression entre l'entrée et la sortie du système.

1.6 LES COMPOSANTS DE LA HAUTEUR DE CHARGE TOTALE

Frottement

Comme tout corps en mouvement, les fluides perdent de l'énergie due au frottement. Une pression plus haute (p_{F1}) est requise en amont d'un volume de fluide vs. en aval (p_{F2}) pour le faire circuler vers la décharge. Cette différence de pression est connue sous le nom de perte de pression due au frottement de la tuyauterie et est exprimé par le symbole (Δp) (voir la figure 1-13). Typiquement, on parle plutôt de perte de charge due au frottement de la tuyauterie. Les chartes et tables de valeurs sont données en termes de perte de charge. La viscosité du fluide est un facteur important pour la perte de charge, nous discuterons de son effet plus en détail dans le chapitre 3.

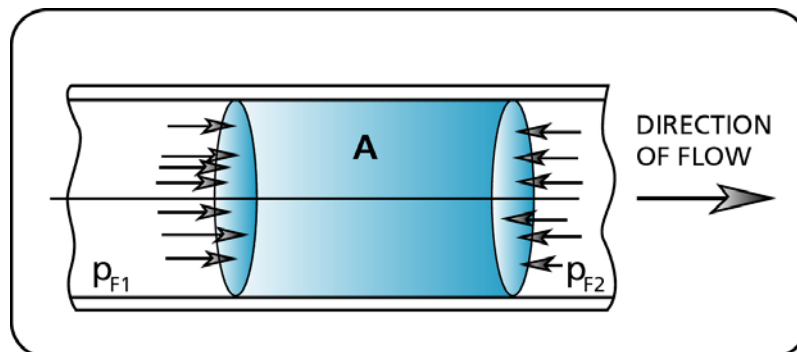


Figure 1-13 La différence de pression due au frottement dans les tuyaux.

Équipement

Tout équipement qu'on introduit dans la ligne produira une perte de charge. Un filtre est un équipement typique qu'on installe souvent dans un système (voir la figure 1-14). D'autres exemples sont des vannes de contrôle, des échangeurs de chaleur, etc. Un équipement qui est introduit dans un système existant réduira le débit à moins que la pompe ne soit modifiée pour fournir plus d'énergie au fluide.

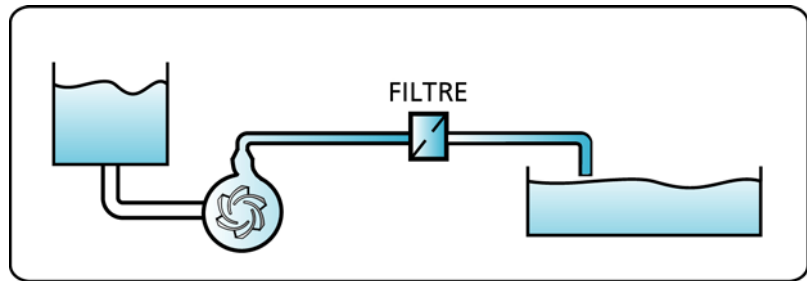


Figure 1-14 L'effet des équipements dans un système.

Vitesse

L'énergie cinétique du fluide augmente lorsqu'il sort du système à une vitesse plus haute qu'il est entré. Cette demande additionnelle d'énergie est relativement petite et est souvent négligée. Par contre, certains systèmes sont spécifiquement conçus pour produire une haute vitesse à la sortie. Ceci est souvent obtenu à l'aide de buses (voir la figure 1-15 C) et un tel système demandera un apport d'énergie substantiel de la pompe. La figure 1-15 illustre trois systèmes qui demandent progressivement de plus en plus d'énergie.

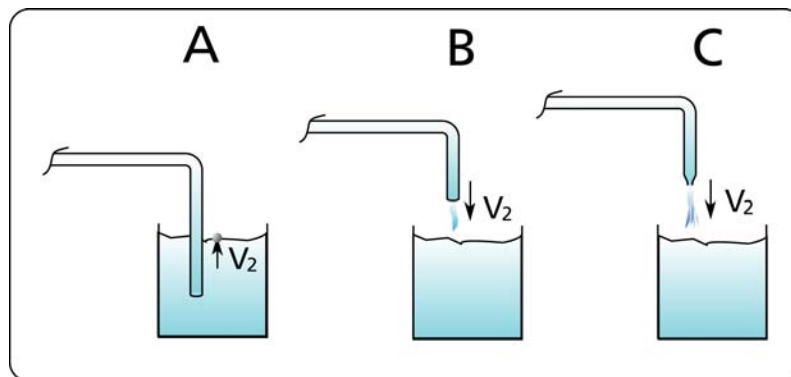


Figure 1-15 Différents systèmes avec des vitesses de sorties différentes.

CAS A. LE BOUT DU TUYAU DE DÉCHARGE EST SUBMERGÉ. La vitesse de sortie v_2 est petite et la hauteur de charge cinétique est négligeable.

CAS B. LE BOUT DU TUYAU DE DÉCHARGE EST À L'AIR LIBRE. La vitesse de sortie v_2 est petite mais la hauteur de charge cinétique est non négligeable.

CAS C. IL YA DES BUSES AU BOUT DU TUYAU DE DÉCHARGE. La vitesse de sortie v_2 est haute, la hauteur de charge cinétique est haute.

Élévation

Transférer un fluide d'une élévation à une autre requiert de l'énergie. Les systèmes industriels typiques ont souvent des changements d'élévations substantiels. Le fluide doit passer d'un niveau au point 1 à un niveau au point 2 (voir la figure 1-16). Cette différence est la hauteur de charge d'élévation ou hauteur de charge statique du système. Souvent cette hauteur de charge est la composante la plus importante de la hauteur de charge totale de la pompe.

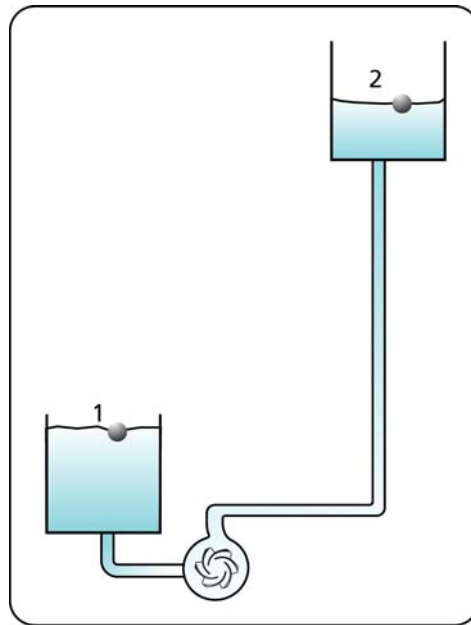


Figure 1-16 La différence d'élévation entre le réservoir d'aspiration et de décharge.

Les réservoirs pressurisés

Le réservoir d'aspiration ou de décharge peut être pressurisé positivement ou négativement (par rapport à l'atmosphère locale). Si le réservoir de décharge est pressurisé positivement alors la pompe devra fournir plus d'énergie. À l'inverse, si la pression est plus basse que la pression atmosphérique, la pompe devra fournir moins d'énergie. Le contraire est vrai pour le réservoir d'aspiration.

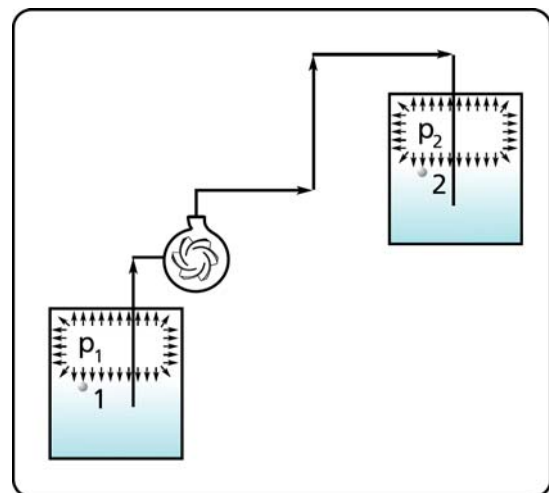


Figure 1-17 Les réservoirs d'aspiration et de décharge pressurisés.

Est-ce qu'on peut dire qu'il y a de la pression à la sortie des tuyaux dans les figures 1-15 B et C? Non, la pression est nulle. Quand je prends un boyau d'arrosage, j'ai l'impression qu'il y a beaucoup de pression à la sortie. Ce qu'on réentend comme une pression est en fait l'énergie cinétique du fluide ou la masse du fluide en mouvement qui impacte ma main. L'énergie cinétique peut être convertie en énergie de pression si je bloque le jet d'eau avec la main. Ceci produira une force sur ma main qui pourrait être substantielle, mais il n'y aura toujours pas de pression à la sortie du boyau.

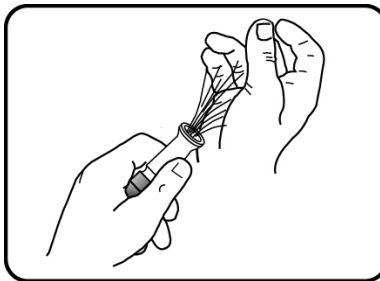


Figure 1-18 À yoiiii.

1.7 LA BASSE PRESSION

La figure 1-19 illustre la facilité avec laquelle on peut créer une pression plus basse que la pression atmosphérique environnante. Le fluide est stationnaire, l'élévation du point 1 est la même que les points 3, 6 et 9. La pression au point 2 est plus élevée que celle du point 1. Du point 2, la pression décroît jusqu'à zéro au point 3. Du point 3 au point 4, la pression décroît pour devenir plus basse que la pression atmosphérique ou négative par rapport à celle-ci au point 4. La pression est égale entre le point 4 et 5. La pression alors croît entre les points 5 et 7 et reste égale entre 7 et 8. Elle décroît entre 8 et 9. Au point 9 la pression redevient nulle.

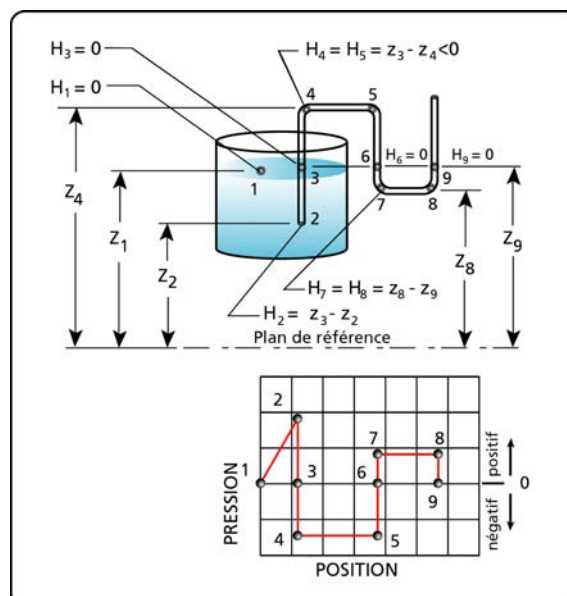


Figure 1-19 La distribution de la pression dans un système statique.

Essayez cette expérience. Prenez un contenant de 1 litre et un tube de plastique flexible de quelques pieds.

1. On applique une aspiration à un bout du tube et le liquide est élevé au point 4.
2. Plier le tube tout en maintenant l'aspiration pour faire avancer le liquide jusqu'au point 5. À ce moment, on obtient un siphon.
3. On plie le tube aux points 7 et 8 et le niveau du liquide s'établit au point 9, qui se situe au même niveau que le point 1.

Le liquide est élevé dans le tube et est à son plus haut aux points 4 et 5. Si le tube subissait une rupture aux alentours des points 4 et 5, qu'est-ce qui arriverait? L'air entrerait dans le tube et le niveau du liquide baisserait jusqu'au niveau le plus bas.

Nous avons réussi facilement à créer une basse pression au point 4 et celle-ci a été maintenue sans intervention.

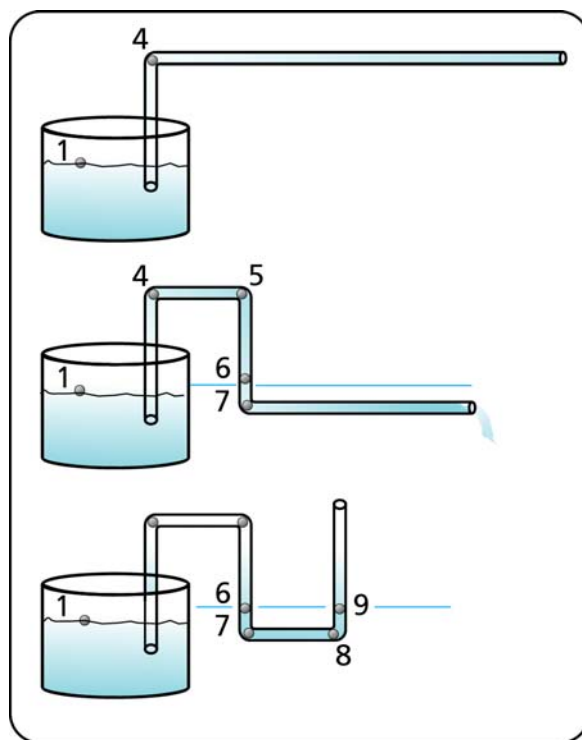


Figure 1-20 Une expérience pour générer de la pression négative (relative).

Si on étire le tube de l'exemple précédent, il sera possible de suspendre une colonne d'eau de 34 pieds en tenant un des bouts du tube bloqué pour créer un vide sur le côté haut du tube. Ceci est dû à la pression atmosphérique qui agit sur le fluide avec une force dirigée vers le haut supportant la colonne d'eau.

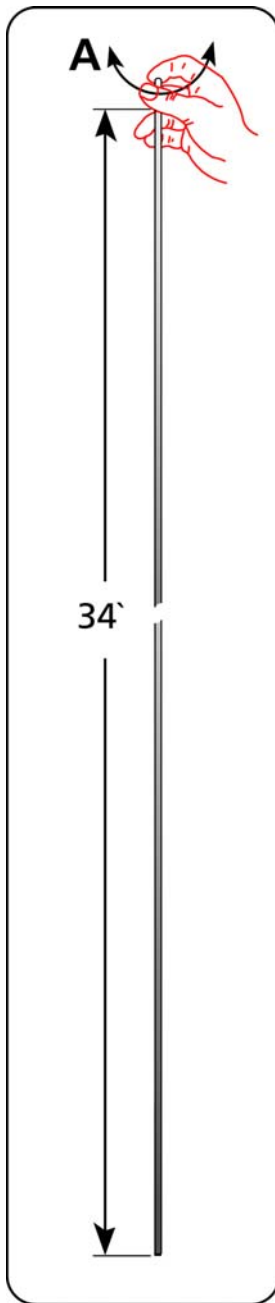


Figure 1-21A Une colonne d'eau de 34 pieds suspendue d'un tube ouvert.

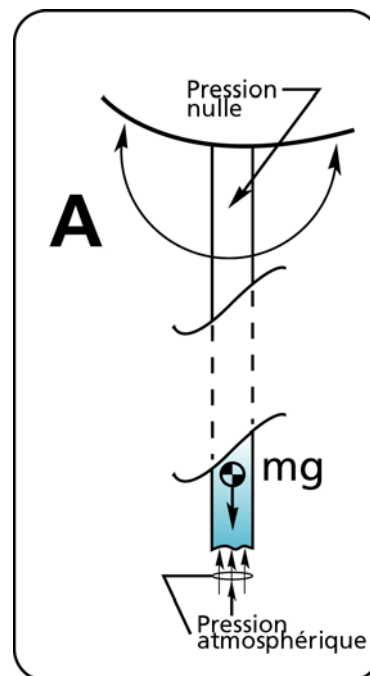


Figure 1-21B La différence de pression entre les deux bouts d'une colonne d'eau suspendue à une hauteur de 34 pieds.

L'unité la plus commune de pression en Amérique du Nord est le psig (ou "pound per square inch gauge" livres par pouces carrés). Zéro psig correspond au niveau de pression dans l'atmosphère locale. Le "g" dans psig veut dire "gauge", voulant dire jauge de mesure. L'équivalent de 0 psig en terme de hauteur de charge de pression est 0 pied de fluide. Ces unités sont relatives à la pression ou la hauteur de charge de pression de l'atmosphère locale. La pression dans certains endroits d'un système peut baisser plus bas que la pression atmosphérique locale et devenir négative (ou sous vide) par rapport à celle-ci. On utilisera souvent le terme basse pression pour caractériser un niveau de pression plus bas que la pression dans l'atmosphère locale. S'il y a un bris ou une fissure à un endroit du système qui est sous vide, l'air ambiant sera aspiré à l'intérieur du système. C'est ce qui arrive quand le tube est percé au point 4 dans la figure 1-20.

L'unité de pression la plus utilisée pour exprimer une pression négative est le *psia* ("pounds per square inch absolute" ou livre par pouce carré absolu). Pour les niveaux de hauteur de charge de pression négatifs on utilise le pied de fluide absolu ou le pouce de mercure (po Hg). Ces unités sont absolues et non pas besoin d'être mises en relation avec une autre pression de référence. Un vide parfait correspond à 0 psia. La figure 1-22 montre graphiquement la relation entre la pression relative et absolue. La pression atmosphérique au niveau de la mer est 14.7 psia. Toutes les usines ne sont pas situées près du niveau de la mer, par exemple Johannesburg est situé à 5,200 pieds au-dessus du niveau de la mer, ce qui correspond à une pression de 12 psia. Cet effet doit être considéré quand on fait le calcul de la hauteur de charge nette positive à l'aspiration (N.P.S.H., voir le chapitre 3).

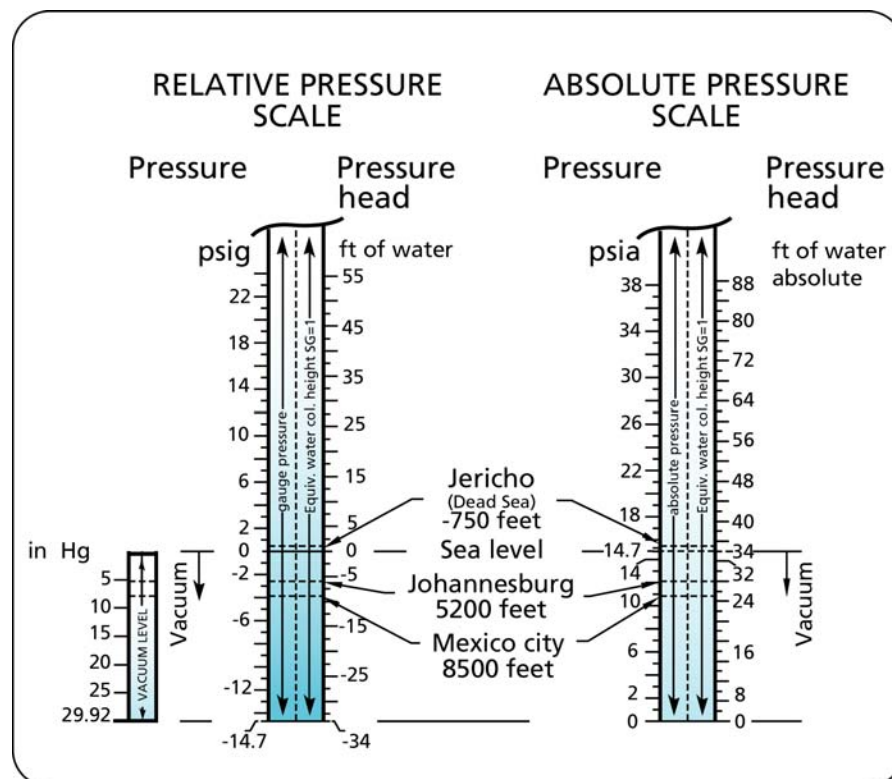


Figure 1-22 Comparaison des échelles de pression absolues et relatives.

La relation entre la pression absolue en psia et relative en psig est:

$$p(\text{psia}) = p(\text{psig}) + p_A(\text{psia}) \quad [1-4]$$

ou p_A est la valeur de la pression barométrique locale en psia (i.e. $p_A = 14.7$ psia au niveau de la mer).

1.8 L'EFFET SIPHON

Un fluide qui se déplace vers le haut sans assistance externe produit un effet surprenant. C'est ce qui se passe dans un siphon. La figure 1-23 compare le mouvement d'un solide sous forme de balle ou sous forme d'une corde. C'est deux objets sont solides mais la corde peu émulée le comportement d'un siphon. La balle demandera une grande quantité d'énergie pour passer le point haut de la pente. La corde, par contre, glissera facilement si son centre de gravité est situé du côté droit du haut point de la pente. Un fluide au repos dans une situation semblable aura le même comportement que la corde.

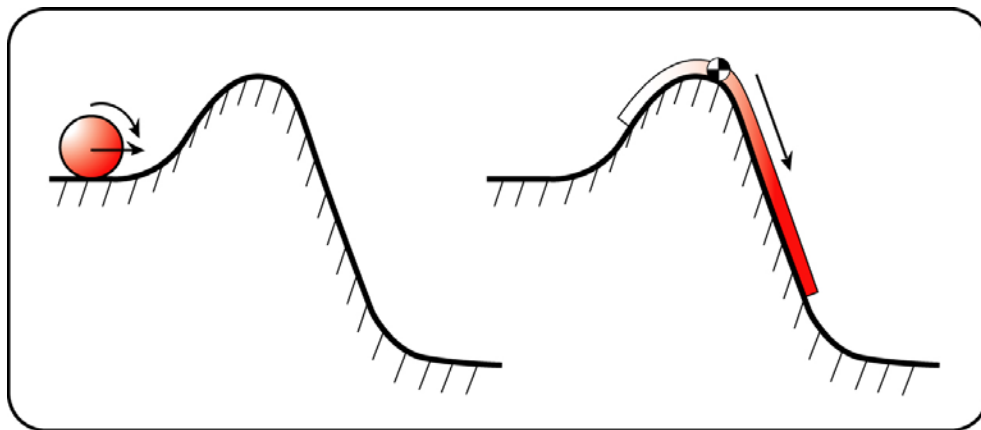


Figure 1-23 Le siphon comparé à une corde.

La figure 1-24 montre une expérience qui demande quelques pieds de tube flexible. Remplissez le tube et bloquez l'extrémité inférieure du tube. Pincez le bout du tube supérieur et tournez le vers le bas tel que montrer dans la position C de la figure 1-24.

Relâchez le bout du tube au point 1. Qu'arrive t'il? Aucun fluide ne s'échappe. Pourquoi? Si le fluide s'échappait, un vide serait créé aux alentours du point 2. S'il y a un vide, il devrait y avoir une basse pression. Une basse pression aide à supporter le volume de fluide situé à gauche du point 2. Donc tout mouvement de fluide vers la gauche crée un vide qui tend à supporter le fluide. Le fluide crée un niveau de vide qui est proportionnel à la hauteur du volume de fluide situé à la gauche du point 2 et ce vide empêche le fluide de sortir du tuyau, donc le fluide ne peut sortir au point 1.

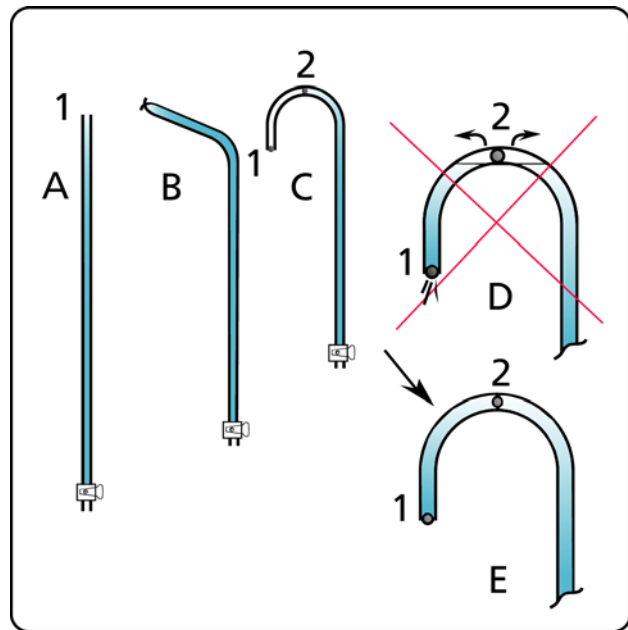


Figure 1-24 De l'eau suspendu d'un tube ouvert.

L'expérience suivante démontre avec quelle facilité on peut créer une pression négative. L'effet est surprenant et démontre un comportement spécial des fluides, c'est à dire leur habilité d'être suspendu sans moyen apparent de support.

Expérience No.1

On a besoin d'un tube flexible, rempli d'eau et bloqué à son extrémité inférieure. Prenez le bout supérieur et tournez le vers le bas tel que montrer à la figure 1-25. Qu'arrive t'il au fluide dans le tube? Est-il en équilibre, est-ce que le tube se videra?

Si le fluide est stable, il doit y avoir un équilibre de forces qui supporte le fluide dans la partie droite du tube.

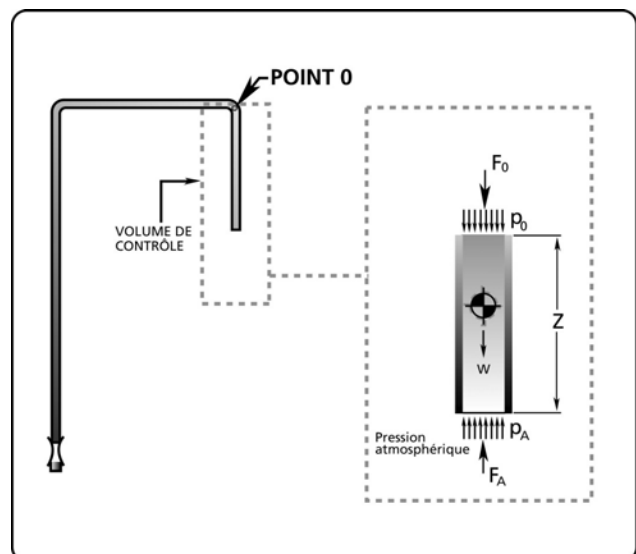


Figure 1-25 L'équilibre des forces entre les points 0 et A.

La pression p_0 dans le fluide produit une force F_0 à la section du point 0. De façon semblable, la pression atmosphérique p_A produit une force F_A au bout du tube. W est le poids du fluide dans la portion entre les points 0 et A.

L'équilibre des forces est exprimé par:

$$F_A = F_0 + W \text{ et } F = p \times A \text{ alors } p_A \times A = p_0 \times A + \gamma z A$$

Alors

$$p_A = p_0 + \gamma z$$

Pour que le fluide soit en équilibre, p_0 doit être plus petit que p_A . Ceci veut dire que p_0 sera négatif par rapport à la pression atmosphérique.

Il y a deux principes qui méritent d'être clairement énoncés pour clarifier le raisonnement qui suit.

- Dans un système statique, les particules de fluide situées au même niveau sont à la même pression.
- Les fluides sont incompressibles.

Nous savons que le fluide sera stable quand il y a un équilibre des forces. Comment cet équilibre est-il réalisé? Voyons si on peut reconstruire cette expérience sans plier le tube.

Expérience No.2

Commençons avec un tube vertical rempli d'eau et bloqué à son extrémité inférieure tel que montrer à la figure 1-26. Si on applique une source de vide au bout supérieur, il n'y aura aucun changement de niveau puisque le fluide est incompressible. En d'autres mots, si on abaisse la pression, le fluide ne prend pas d'expansion et si on l'augmente, il ne se contracte pas.

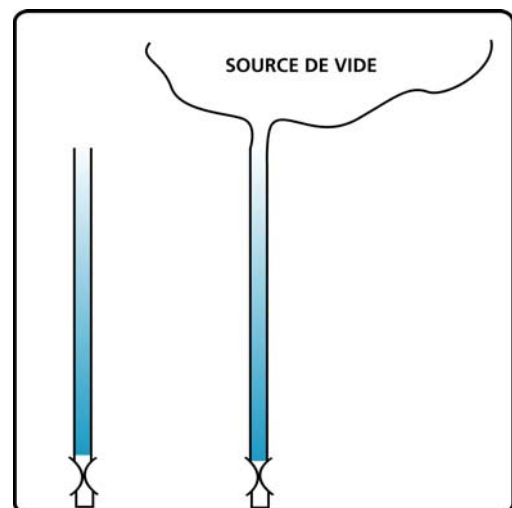


Figure 1-26 Le niveau dans le tube ne change pas quand on applique le vide.

Attachez un té à la partie supérieure du tube et connectez un côté du té à un petit réservoir tel que montré à la figure 1-27. Rattachez la source de vide à l'autre embranchement du té. Le fluide sera aspiré du petit réservoir vers la source de vide et il y aura équilibre lorsque les forces générées par le niveau de vide correspondra au poids dû à la hauteur de la colonne de fluide. Si on bloque le tube au bout supérieur et on enlève la source de vide (voir la figure 1-28) on obtient le système initial de la figure 1-25 et le fluide reste suspendu.

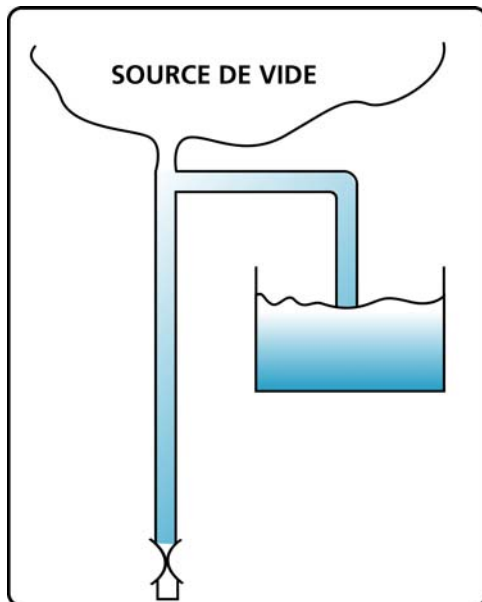


Figure 1-27 Élever un fluide avec une source de vide.

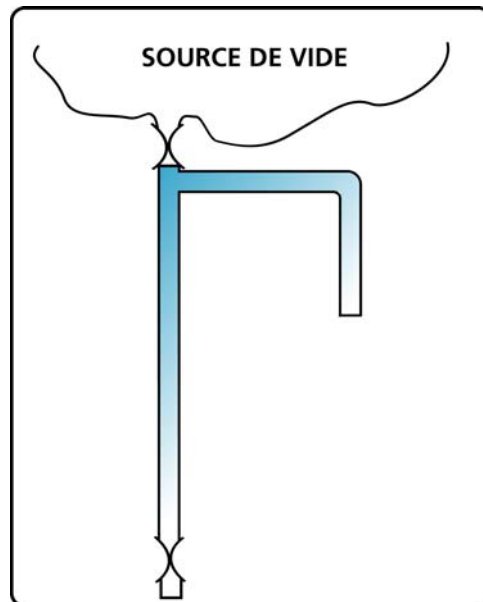


Figure 1-28 On enlève la source de vide et le fluide reste suspendu.

Nous avons récréé le système de la figure 1-25 sans plier le tube. Nous savons que la pression diminue en se rapprochant de la source de vide. Le niveau de pression est juste assez bas pour suspendre la colonne d'eau du côté du petit réservoir. Ceci devient évident quand on applique la source de vide qui permet de lever le fluide. Le virage rapide qu'on fait subir au tube dans la figure 1-24 masque cet effet. L'expérience no. 2 nous démontre le mécanisme de suspension d'un fluide.

Un siphon typique est montré à la figure 1-29. Par-dessus le siphon, on peut voir un graphique de la variation de pression dans le système. Même dans un système simple la pression peut varier dramatiquement. Dans le chapitre suivant, nous développerons les méthodes requises pour calculer la pression à n'importe quel endroit d'un système.

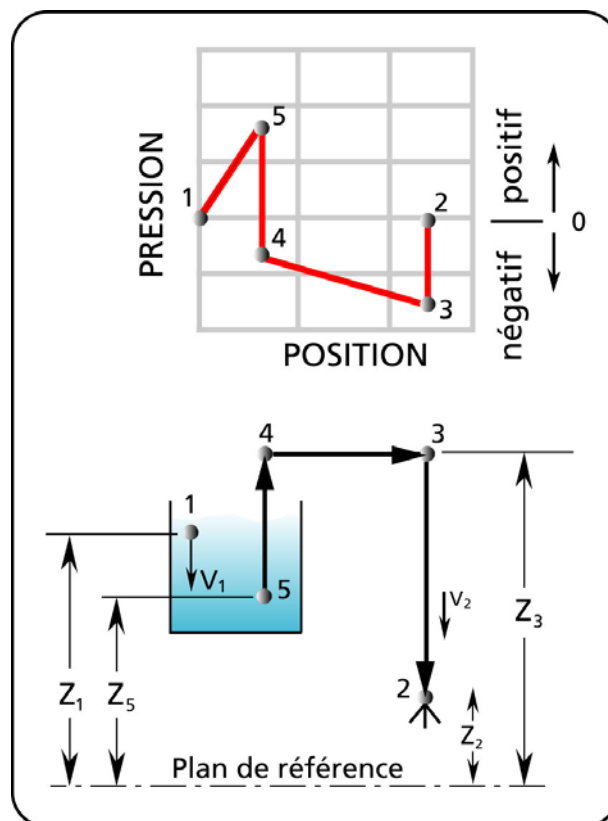


Figure 1-29 La variation de pression à différents endroits dans un siphon.

1.9 GRAVITÉ SPÉCIFIQUE

On a souvent besoin de calculer la hauteur de charge de pression par rapport à la pression. La pression peut être convertie en hauteur de charge de pression ou hauteur de colonne de fluide pour n'importe quel fluide. Par contre, tous les fluides ne pèsent pas le même poids pour le même volume. L'eau par exemple a une densité de 62.34 livres par pieds cubes tandis que la gazoline pèse 46.75 livres par pieds cubes. La gravité spécifique est le rapport entre la densité du fluide et la densité de l'eau à des conditions standards. L'eau possède donc une gravité spécifique de 1 à des conditions de température et pression standards. Pour convertir la pression dans un fluide à une hauteur de charge de pression on doit connaître la gravité spécifique GS du fluide. Par définition, la gravité spécifique GS du fluide est:

$$GS = \frac{\rho_F}{\rho_E}$$

ou ρ_F est la densité du fluide et ρ_E la densité de l'eau à des conditions standards

Puisque

$$p = \gamma_F z = \frac{\rho_F g z}{g_c} \quad \text{et } \rho_F = SG \rho_E \text{ donc } p = SG \frac{\rho_E g z}{g_c}$$

ou γ_F est la densité du fluide en termes de livres force par pieds cubes et ρ_F est la densité en termes de livres masse par pieds cubes. La quantité $\rho_E g / g_c$ ($\rho_E = 62.34 \text{ lbm/pi}^3$ pour l'eau à 60 °F) est:

$$\frac{\rho_E g}{g_c} = \frac{62.34(\text{lbm/pi}^3) \times 32.17(\text{pi/s}^2)}{32.17(\text{lbm-pi/lbf-s}^2)} \times \frac{1(\text{pi})}{144(\text{po}^2)} = \frac{1}{2.31} \left(\frac{\text{lbf}}{\text{po}^2-\text{pi}} \right)$$

Après simplification, la relation entre la hauteur de charge de pression et la pression dans un fluide est:

$$p(\text{psi}) = \frac{1}{2.31} GS z(\text{pi fluide})$$

[1-5]

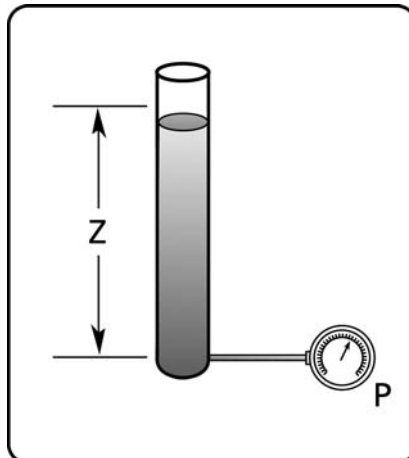


Figure 1-30 La pression vs. la hauteur d'une colonne de fluide.