

COURS

SYSTÈMES DE POMPAGE

par Jacques Chaurette ing.

**Fluide Design Inc.
ã Droits d'auteur 2005**

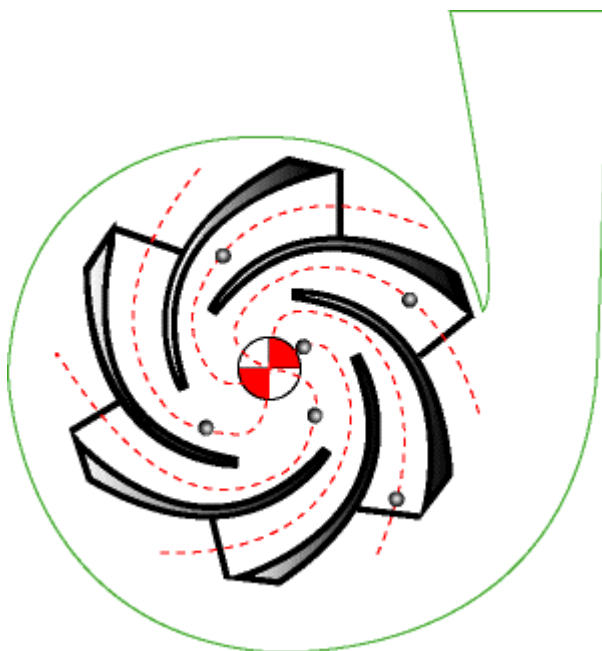


Table des matières

1. Différents types de systèmes de pompage
2. La pression, le frottement et le débit
3. Qu'est-ce que le frottement dans un système de pompage
4. Le débit dépend de l'élévation
5. Le débit dépend du frottement
6. Comment la pression est-elle produite par une pompe centrifuge
7. Que peut affecter la pression à la sortie de la pompe?
8. Est-ce qu'une pression plus élevée est désirable?
9. . Qu'est-ce que la hauteur de charge totale?
10. Quel est la relation entre la hauteur de charge et la hauteur de charge totale
11. Qu'est ce que la perte de charge due au frottement?
12. La courbe de performance (caractéristique) de la pompe
13. Comment sélectionner une pompe centrifuge - Exemples de calculs de hauteur de charge totale
14. À partir de la hauteur de charge totale, calculez la pression au refoulement

Appendice A

Débit et perte de charge pour des tuyaux de différentes grandeurs et différentes vitesses d'écoulement

Appendice B

Un exemple comment faire des calculs de perte de charge due au frottement dans la tuyauterie avec formules

Appendice C

Un exemple comment faire des calculs de perte de charge due au frottement dans les raccords avec formules

Appendice D

Des formules et un exemple de calcul de la vitesse du liquide dans la tuyauterie

Appendice E

La relation entre la pression et la hauteur de charge

Avant-propos

Ce cours est conçu pour les personnes ayant un intérêt pour les systèmes de pompage à pompe centrifuge. L'opération des systèmes de pompage et la sélection des différents éléments sont expliqués sans mathématique de façon claire et pratique. Pour ceux qui veulent faire des calculs, certains exemples ont été inclus en appendice. Les gens qui ont des systèmes de pompage d'eau résidentiel trouveront des informations leur permettant de bien comprendre leur système. On trouvera aussi des information utiles pour les systèmes simples de pompage industriel.

1. Différent types de systèmes de pompage

Il y a plusieurs types de système de pompage. La Figure 1 montre un système de pompage typique industriel. Il y a beaucoup de variations sur ce thème dont différents équipements qui pourraient être inclus mais ne sont pas montrés. La pompe est seulement une composante du système quoique vital. Son rôle est de fournir une énergie de pression suffisante pour véhiculer le liquide à travers le système au débit requis.

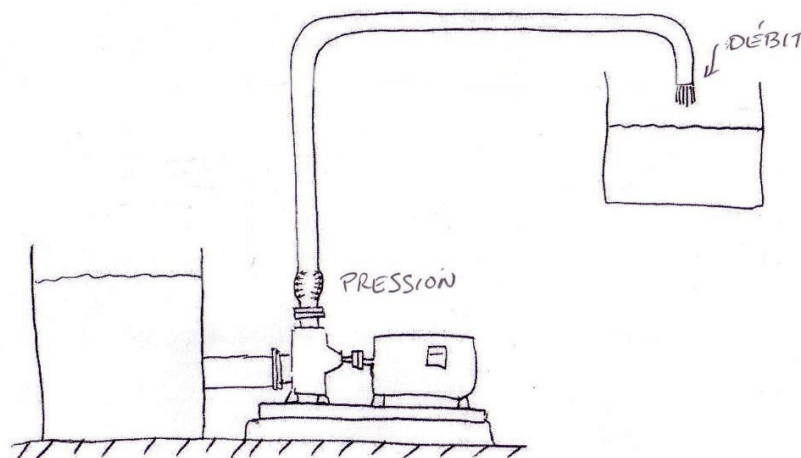


Figure 1 Système de pompage industriel typique.

Le système dans la figure 2 est un système typique d'eau résidentiel qui prend son eau d'un puit peu profond. Typiquement la profondeur d'eau maximum de ces systèmes est 25 pieds. Ce système utilise une pompe centrifuge à aspiration en bout. La pompe centrifuge à jet est conçu pour ce genre d'application (voir <http://www.watertanks.com/category/43/>) .

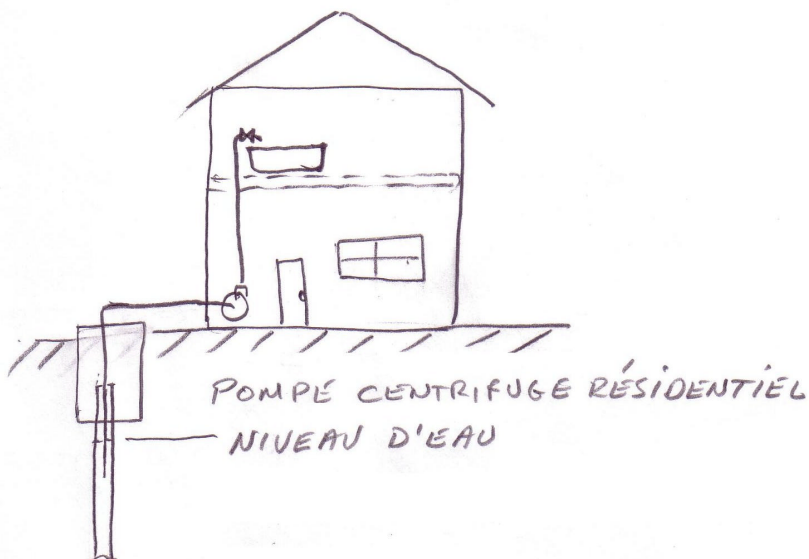


Figure 2 Système de pompage typique résidentiel.

Le système dans la figure 3 est un système d'eau résidentiel qui prend son eau d'un puit profond (200 à 300 pieds) et utilise une pompe centrifuge submersible multi-stages souvent appeler pompe à turbines (voir http://www.webtrol.com/domestic_pumps/8in_turbine.htm).

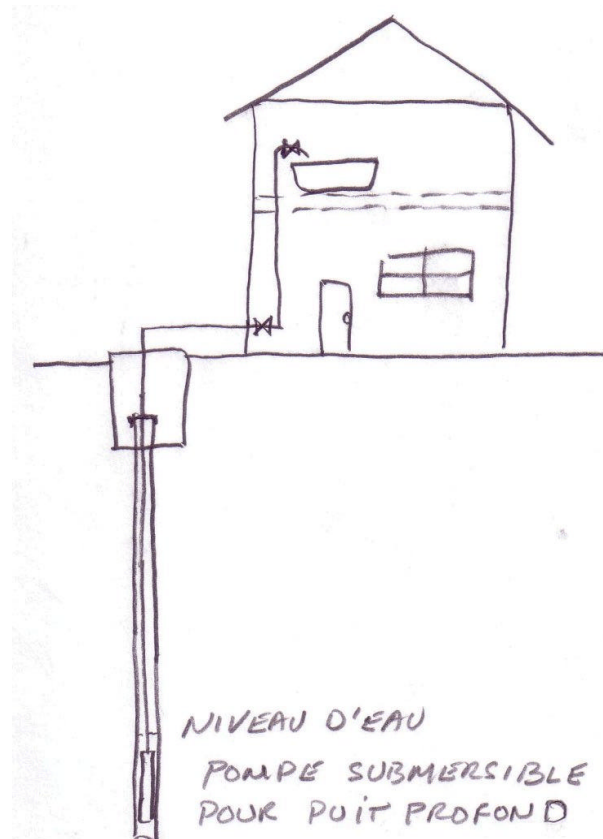


Figure 3 Système de pompage résidentiel à niveau profond.

2. La pression, le frottement et le débit

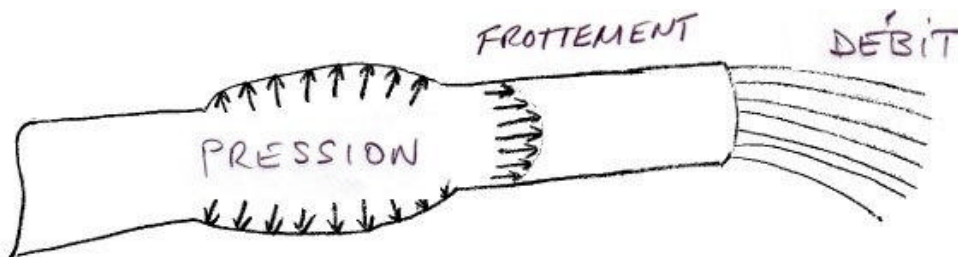


Figure 4 Trois facteurs important pour les systèmes de pompage.

La pression, le frottement et le débit sont trois facteurs important d'un système de pompage. La pression fournit la force nécessaire pour faire circuler le fluide à travers le système. Le frottement est une force qui oppose le mouvement et tant à réduire la vitesse d'écoulement. On utilise souvent le terme perte de charge ceci s réfère à la perte

de pression qu'il y a dans un système due au frottement. Cette perte s'exprime en psi ou kPa et parfois en pieds ou mètres, on verra plus tard pourquoi.

Le débit est la quantité de volume qui est déplacé par unité de temps. L'unité pour le débit an Amérique du Nord est le gallon US par minute (USgpm ou gpm). Dans le système métrique, l'unité pour le débit est le litre par seconde (L/s) ou le mètre cube par minute (m^3/h).

La pression est exprimée en livres par pouce carrés ou psi (pounds per square inch) ou dans le système métrique en kPa (kiloPascal) en honneur du célèbre mathématicien Blaise Pascal du 16^e siècle. Les manomètres à pression dans le système impérial sont calibrés en psig (psi gauge) ce qui veut dire que le niveau de pression est mesuré par rapport à la pression atmosphérique locale, donc quand on mesure 5 psig, la pression est 5 psi au dessus de la pression atmosphérique.

L'unité pour le frottement est....cette unité est un peu surprenante et on en parlera un peu plus loin.

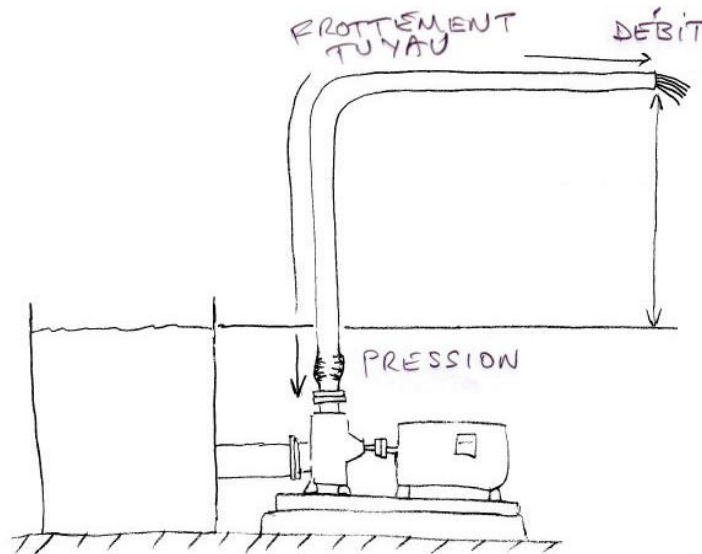


Figure 5 Un système de pompage typique.

La pompe fournit l'énergie de pression nécessaire pour faire circuler le fluide à travers le système et contrecarré l'effet du frottement et la différence d'élévation quand il y en a.

Dans un volume de gaz, si on applique une force pour comprimer le gaz, le volume diminuera et la pression augmentera. Dans le cas d'un liquide, les molécules sont déjà très rapprochés et on ne peut réduire le volume en appliquant une force mais la pression augmentera. C'est pourquoi on dit que les liquides sont incompressibles.

Un extincteur à feu nous donne un bon exemple d'un liquide qui a été comprimé. L'énergie utilisée pour comprimer le liquide est stocké et rendu disponible sous forme de pression.

Est-il possible de pressuriser un liquide dans un réservoir ou un tuyau qui est ouvert?
 Oui. Un bon exemple est une seringue, quand on pousse sur le piston de la seringue la pression augmente. Pourquoi? Le liquide doit sortir par une petite ouverture, ceci requiert une grande force pour vaincre le frottement et donc une pression élevée.

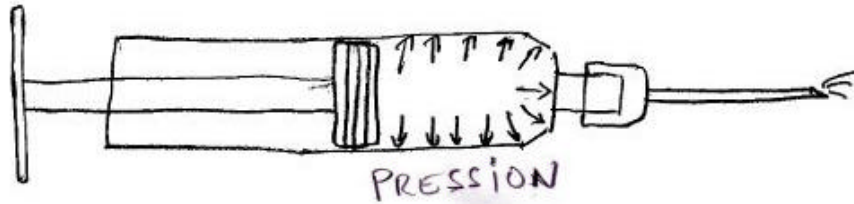


Figure 6 La pression produite par le piston d'une seringue.

Donc même si la tuyauterie dans un système est ouverte au bout du tuyau par exemple, il pourra y avoir de la pression à la sortie de la pompe par ce qu'il y a suffisamment de frottement et de différence de hauteur pour offrir une résistance à la pompe et permettre à la pression de s'établir.

3. Qu'est ce que le frottement dans un système de pompage

Le frottement est toujours présent, même dans les liquides. C'est une force qui résiste au mouvement des objets.

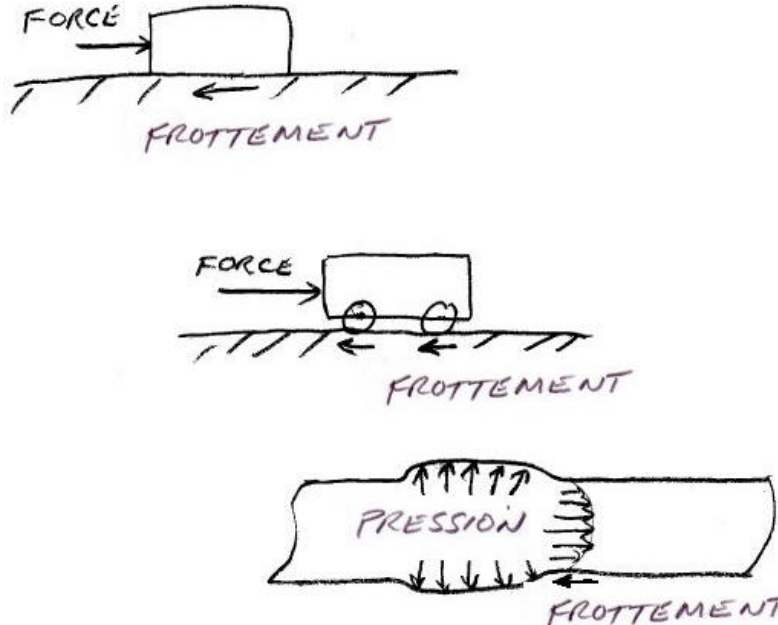


Figure 7 Le frottement, la force qui résiste au mouvement.

Si vous déplacez un objet sur une surface, il y aura du frottement entre l'objet et la surface. Si vous attachez des roues sur l'objet, il y aura moins de frottement. Dans le cas des liquides en mouvement tel que l'eau, il y a encore moins de frottement. Si le tuyau

est court le frottement sera faible mais si le tuyau est long le frottement s'accumule et devient une perte d'énergie, appeler aussi perte de charge, significative.

Dans les liquides, il y a du frottement entre les couches de liquides qui se déplacent à différentes vitesses. Les particules de fluides se déplacent à une vitesse plus élevées au centre du tuyau comparativement à la paroi (voir la Figure 8). Aussi le frottement sera plus élevé pour la même vitesse de déplacement pour un liquide plus visqueux.

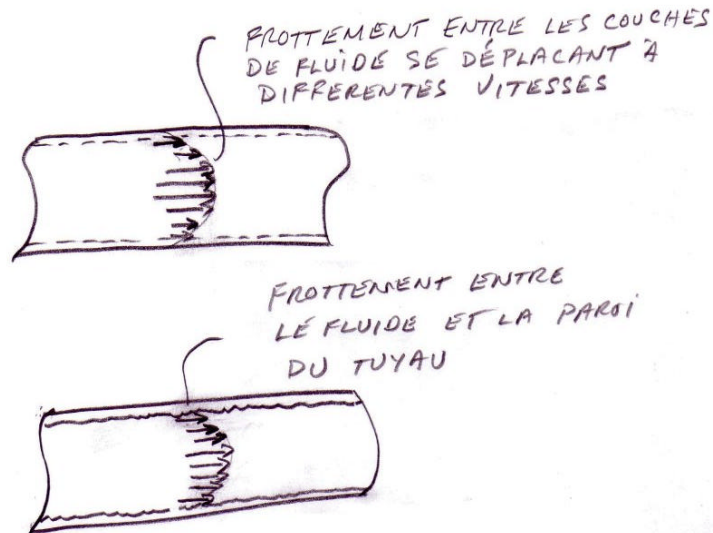


Figure 8 Le frottement produit par le liquide en mouvement entre les couches de liquide et le mur du tuyau.

Une autre cause de frottement est l'interaction entre le liquide et la paroi, plus la paroi est rugueuse plus le frottement sera élevé.

Le frottement dépend de:

- la vitesse moyenne de l'écoulement dans le tuyau
- la viscosité
- la rugosité de la paroi

Une augmentation de n'importe quel de ces trois facteurs augmentera le frottement.

La quantité d'énergie requise pour contrebalancer la perte d'énergie due au frottement sera fournie par la pompe. Dans les systèmes industriels, le frottement typiquement représente une partie modeste, peut-être 25% de l'énergie totale requise pour le système. Si le frottement représente une plus grande proportion du total on devrait examiner le système en détail, il est possible que les tuyaux sont trop petits pour le débit requis. Soyez prudent avec l'utilisation de cette proportion, tous les systèmes de pompage sont différents et il peut y avoir des systèmes où le frottement représente 100% du total requis.

Dans les systèmes résidentiels, le frottement représente une plus grande proportion de l'énergie totale, peut être jusqu'à 50% du totale, les petits tuyaux offrent plus de

résistance pour la même vitesse de déplacement qu'un plus gros tuyau (voir la charte de perte de charge plus loin).

Un autre facteur qui influence le frottement dans un système est la quantité et le type de raccords utilisés (coudes, tés, y, etc) pour acheminer le liquide à sa destination. Chaque type de raccord a un effet particulier sur l'écoulement. Par exemple dans le cas d'un coude, les lignes d'écoulement où sont situés les particules qui sont à la même vitesse sont affectés par le changement de direction. Les lignes qui sont proche de la section de paroi avec une forte courbure décollent de la paroi et forment des petits tourbillons qui consomment de l'énergie. Cette perte d'énergie est faible mais peut s'accumuler avec plusieurs coudes et autres raccords. En général, il est rare que la perte d'énergie due aux raccords dépasse 30% du totale de la perte d'énergie associée au tuyau droit.

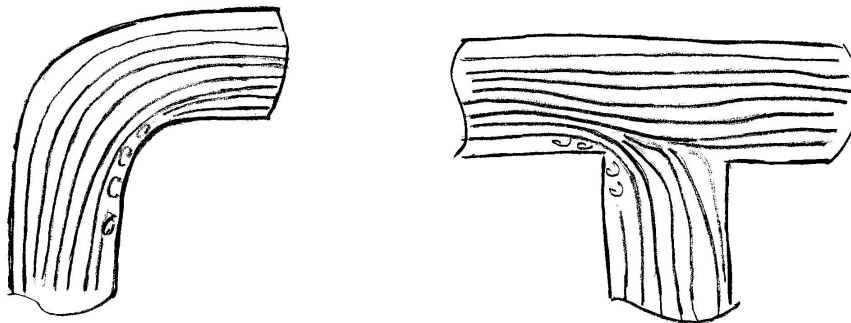


Figure 9 Les lignes d'écoulement pour des raccords typiques.

4. Le débit dépend de l'élévation

Pour des systèmes identiques, le débit variera avec la différence d'élévation entre la sortie du tuyau et la surface de liquide dans le réservoir d'aspiration. Si le bout du tuyau est élevé, le débit diminuera (voir Figure 10). Par analogie un cycliste qui négocie une pente moyenne aura une vitesse moyenne correspondant à la quantité d'énergie qu'il fournit pour vaincre la résistance des roues sur le pavé et le changement d'élévation.

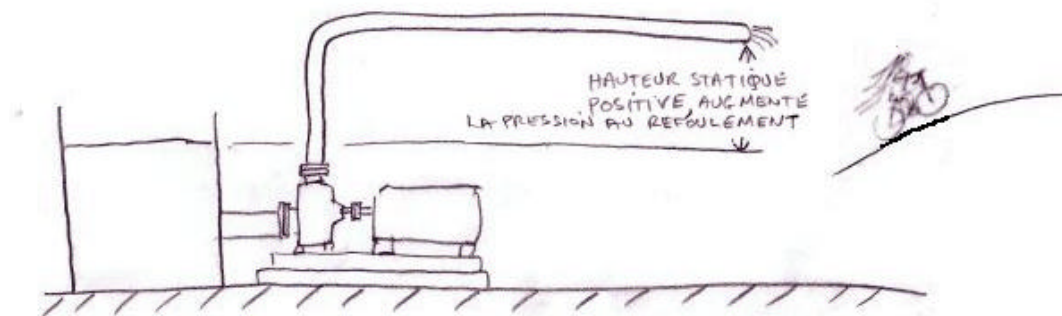


Figure 10 L'effet de l'élévation du bout du tuyau de refoulement sur le débit.

Si la surface de liquide du réservoir est à la même hauteur que le bout du tuyau de refoulement alors la hauteur statique sera nulle et le débit sera limité par le frottement dans le système. C'est l'équivalent d'un cycliste sur un pavé plan ou sa vitesse dépend du frottement entre les roues et la route et de la résistance à l'avancement dans l'air (voir la Figure 11).

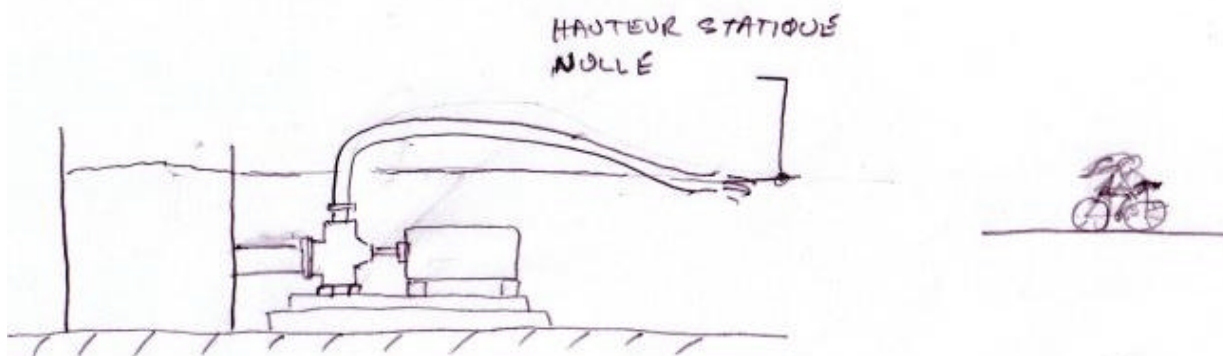


Figure 11 Le débit est limité par le frottement quand la hauteur statique est nulle.

Dans la Figure 12, le bout du tuyau est élevé jusqu'au point où le débit arrête. La pompe ne peut pas déplacer le liquide passé ce point et la pression à la sortie de la pompe est au maximum. Par analogie, le cycliste qui négocie une pente très inclinée utilise une force maximale sur les pédales mais ne peut s'élever plus haut.

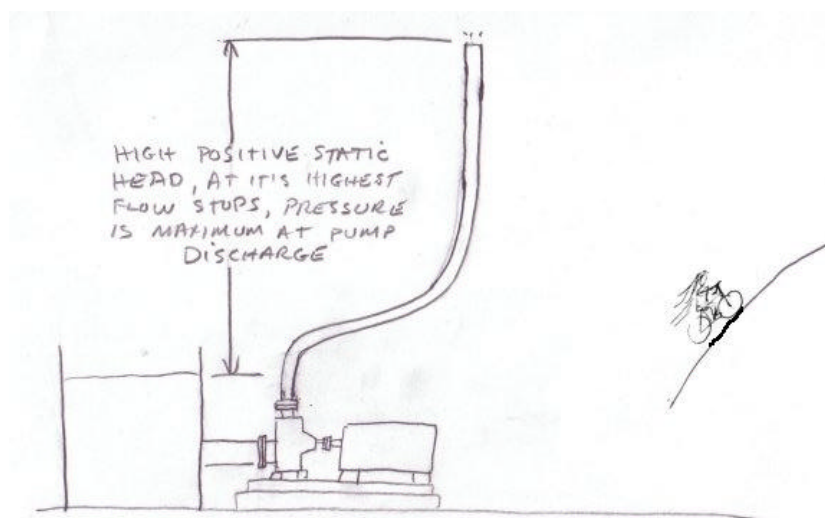


Figure 12 Une grande hauteur statique diminue le débit.

Si le bout du tuyau de refoulement est plus bas que le liquide dans le réservoir d'aspiration, la hauteur statique sera négative et le débit élevé. Si cette hauteur est grande il est possible qu'une pompe n'est pas requise puisque l'énergie qui nous vient de la hauteur de la surface liquide par rapport au bout du tuyau est suffisante pour déplacer le liquide (voir Figure 13). Un cycliste descendant une côte est une bonne analogie qui peut aider à comprendre ce phénomène. Le cycliste descendant une côte a perdu son élévation au profit de la vitesse.

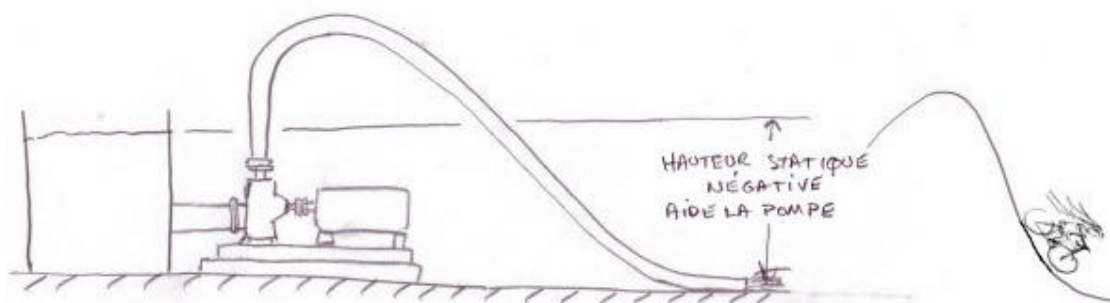


Figure 13 Une hauteur statique négative augmente le débit.

Ceci est une bonne opportunité d'introduire le concept d'hauteur de charge. Les pompes sont spécifiées en terme de débit et d'hauteur de charge. Qu'est-ce que la hauteur de charge? Dans la Figure 12, si on prend la différence d'élévation entre le bout du tuyau et la surface liquide du réservoir d'aspiration, on obtient la hauteur de charge de la pompe à débit nul, la hauteur de charge est donc spécifiée en pieds. La hauteur de charge de la pompe variera avec le débit. Dans ce cas le débit est nulle et il n'y a pas de frottement. La hauteur de charge de la pompe est la hauteur maximale au quel le liquide peut être élever par rapport au niveau du réservoir d'aspiration. À ce moment, la pompe fournira la pression maximale qu'elle peut développer. Si le bout d tuyau est abaissé, tel qu'à la figure 11, le débit augmentera et la hauteur de charge (appelé hauteur de charge totale) diminuera.

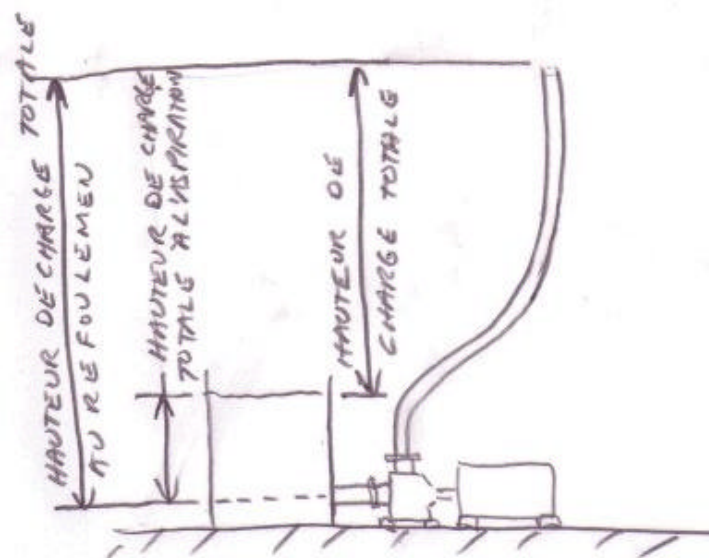


Figure 13a La hauteur de charge total maximale.

Quand on achète une pompe centrifuge, on ne spécifie pas la hauteur de charge totale que la pompe peut fournir à débit nul mais plutôt la hauteur de charge totale requise pour le débit voulu et ceci dépendra du frottement dans le système et de la différence d'élévation à atteindre.

Par exemple, si votre pompe doit alimenter un bain au 2^{ème} étage, la hauteur de charge devra être suffisante pour atteindre ce niveau plus une certaine quantité correspondante aux pertes de charge associées à la longueur du tuyau et aux raccords. Les robinets offriront peu de résistance quand ils seront à ouverture maximale. Si vous devez alimenter une tête de douche alors votre pompe devra avoir une hauteur de charge un peu plus élevée pour compenser la perte de charge plus élevée et l'élévation plus haute de la tête de douche.

À noter: on peut augmenter la hauteur de charge totale d'une pompe en augmentant la vitesse de l'impulseur ou son diamètre. En pratique, un propriétaire résidentiel ne peut faire ces changements et on doit acheter une nouvelle pompe pour obtenir une hauteur de charge totale plus élevée.

5. Le débit dépend du frottement

Pour des systèmes identiques, le débit variera avec le diamètre de la conduite de refoulement (côté décharge de la pompe). Un système avec un tuyau de refoulement dimensionné généreusement aura un débit élevé. Une situation semblable existe quand on met un gros tuyau sur un réservoir qu'on veut vidanger, il se vide rapidement.

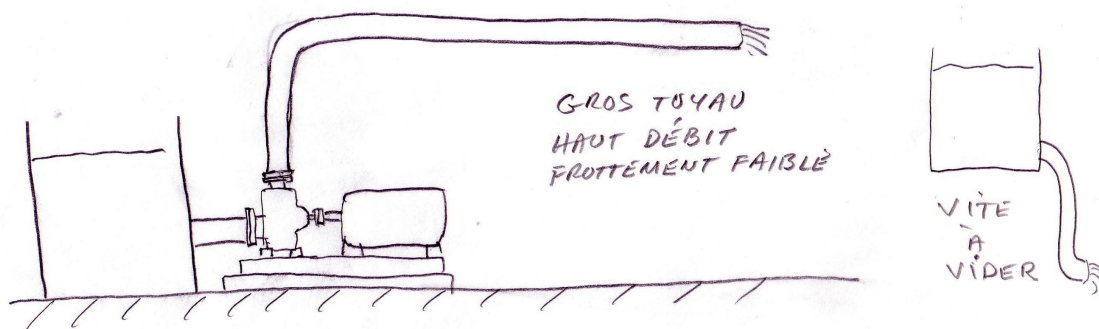


Figure 14 U gros tuyau produit peu de frottement.

Plus le tuyau est petit, plus le débit sera faible. Comment est-ce que la pompe s'ajuste au diamètre du tuyau, après tout la pompe ne sait pas quel tuyau sera installé? La pompe que vous avez installée est conçue pour donner un certain débit dans un système avec des tuyaux de dimension adéquate. Si vous essayez de faire passer le même débit à travers un petit tuyau, la pression au refoulement augmentera et le débit diminuera. La même chose se produit si vous essayez de vidanger un réservoir avec un petit tuyau, le débit sera faible et le temps de vidange long (voir la Figure 15).

Plus loin, vous verrez une charte qui donne la grosseur des tuyaux par rapport à différents débits.

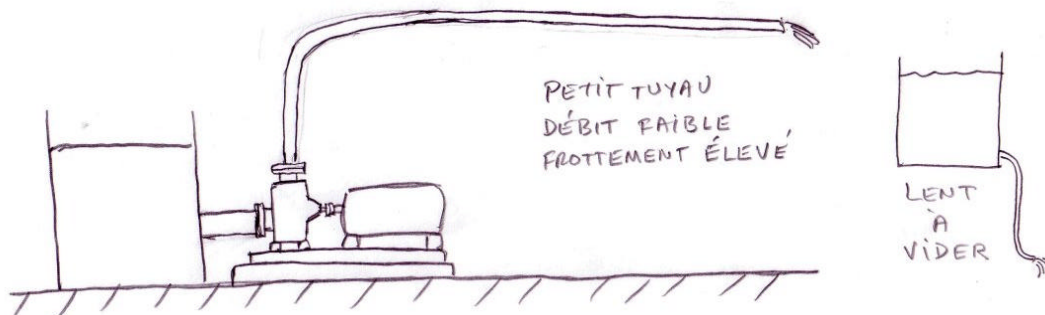


Figure 15 Un petit tuyau produit beaucoup de frottement.

Si le tuyau est court, le frottement sera faible et le débit élevé (voir la Figure 16)

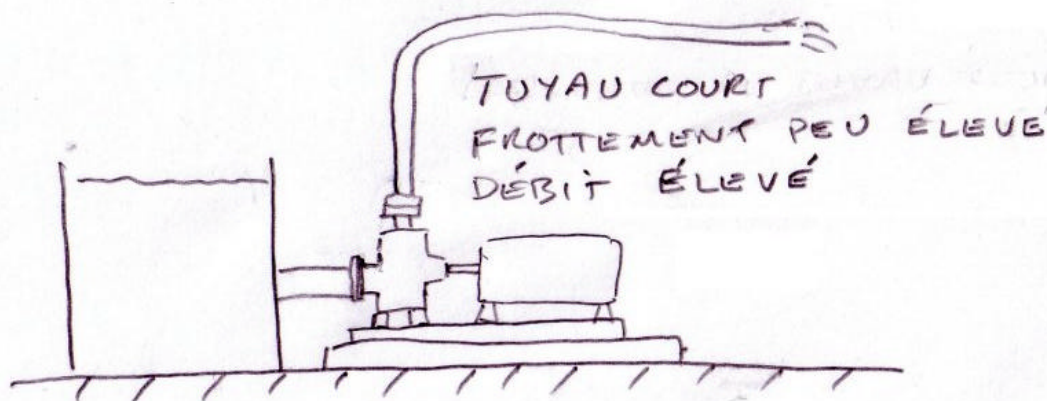


Figure 16 Un tuyau court produit peu de frottement.

Et si le tuyau de refoulement est long, le frottement sera élevé et le débit faible (voir la Figure 17).

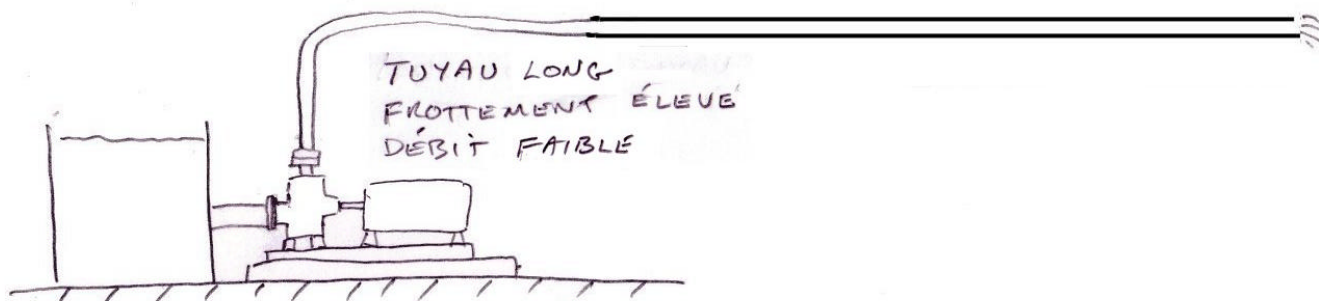


Figure 17 Un tuyau long produit beaucoup de frottement.

Un peu plus loin, la Table 1 présente la grosseur des tuyaux vs. le débit et la perte de charge.

6. Comment la pression est-elle produite par une pompe centrifuge

Les particules de fluide entre dans la pompe à la bride d'aspiration, ils prennent alors un virage à 90 degrés et remplissent le volume entre chaque aube de l'impulseur. La figure 18 montre une image de ce qui arrive aux particules de fluide à partir de ce moment (pour voir l'animation rendez vous au site web www.fluidedesign.com/downloads.htm vers le milieu de la page)

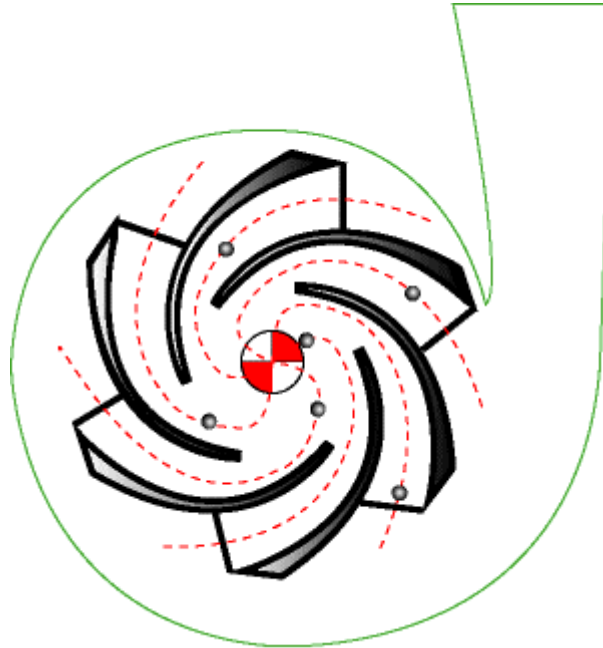


Figure 18 Les lignes d'écoulement des particules de fluide dans une pompe centrifuge.

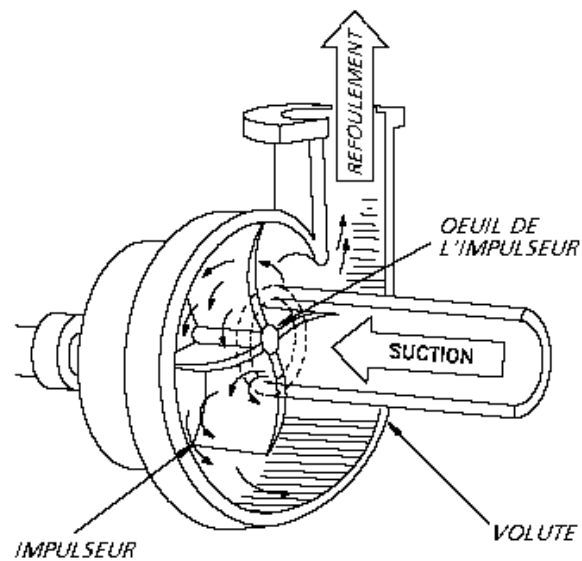


Figure 19 Les différents composants d'une pompe centrifuge.

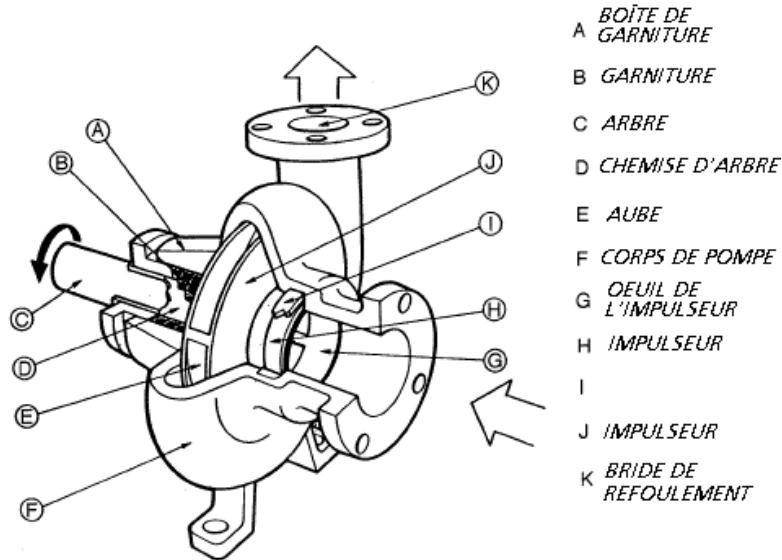


Figure 19a Vue en section des composants d'une pompe centrifuge.

Le rôle de la pompe centrifuge est de générer de la pression en accélérant les particules de fluide à une vitesse élevée ce qui leur donnent une grande énergie de vitesse. Qu'est-ce que l'énergie de vitesse? C'est une façon d'exprimer comment la vitesse d'un objet peut affecter un autre objet, vous par exemple. Avez-vous déjà été bousculer dans un match de football? La vitesse auquel le joueur de l'équipe opposé entre en contact avec vous déterminera la sévérité de l'impact. La masse du joueur a aussi un effet. La combinaison de vitesse et masse représente l'énergie de vitesse (aussi appelé énergie cinétique). Les particules de fluide qui se déplacent à haute vitesse ont beaucoup d'énergie de vitesse, mettez votre main sur le bout ouvert d'un boyau d'arrosage pour le constater.

Les particules de fluide sont éjectées du bout des aubes à haute vitesse, ils sont ralentis progressivement plus ils se rapprochent de la bride de refoulement et perdre leur énergie de vitesse. Cette diminution d'énergie de vitesse fait augmenter l'énergie de pression. Pourquoi? À l'inverse de l'énergie gaspillée par les pertes de charge due au frottement, la perte d'énergie de vitesse est compensée exactement par un gain d'énergie de pression, c'est le principe de la conservation d'énergie en action. Par analogie avec un cycliste qui descend une pente, l'énergie qu'il a accumulé en élévation se change graduellement en énergie de vitesse lorsqu'il descend la pente. Dans le cas de la pompe, l'énergie de vitesse se transforme en énergie de pression

Essayez cette expérience, trouvez un contenant dans lequel vous pouvez percer un petit trou dans le fond, attachez s'y une corde et remplissez le d'eau. Et puis maintenant, vous devinez, mettez le tout en rotation.

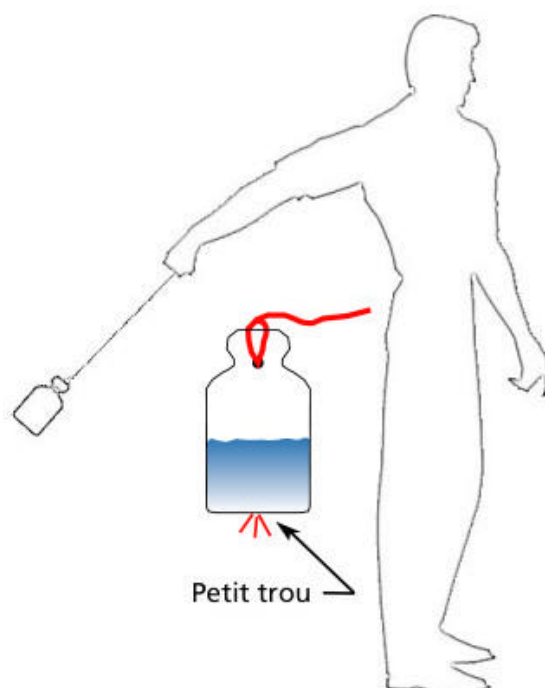


Figure 20 Une expérience avec la force centrifuge.

Plus le mouvement de rotation est rapide, plus l'eau sortira du contenant. Le mouvement de rotation a créé une force centrifuge qui pressurise l'eau dans le fond du contenant d'une façon semblable à la pompe centrifuge. Dans le cas d'une pompe centrifuge, le mouvement de rotation des aubes de l'impulseur projète les particules de fluide contre le volute qui est le corps fixe de la pompe. Les particules de fluide sont alors décélérés à la vitesse correspondant à celles des particules à l'intérieur du tuyau de refoulement. Si le tuyau de refoulement a un diamètre constant la vitesse de particules sera la même partout dans le système.

Comment est-ce que le débit change quand l'élévation du bout du tuyau est modifié ou que les pertes de charge sont augmentées? Ces changements font en sorte que la pression à la sortie de la pompe augmente quand le débit diminue, c'est un peu l'inverse de ce qu'on s'attend intuitivement. Et bien c'est tout à fait normal et on verra pourquoi dans un moment. Comment est-ce que la pompe s'ajuste à ce changement de pression? En d'autres mots, la pression change due à des facteurs externes, comment est-ce que la pompe anticipe ces changements?

La pression est produite par le mouvement de rotation de l'impulseur. La vitesse de l'impulseur est constante. La pompe produira une pression au refoulement qui correspondra aux conditions particulières (par exemple, viscosité du liquide, grosseur et longueur des tuyaux, différence d'élévation, etc.) du système. S'il y a un changement dans le système qui cause une diminution du débit, par exemple en fermant une vanne sur le côté refoulement de la pompe, alors la pression à la sortie de la pompe augmentera **par ce que la pompe continue à tourner à la même vitesse**. La pompe produit un excès d'énergie de vitesse par ce qu'elle opère à vitesse constante, et cet excès d'énergie est transformé en énergie de pression augmentant la pression.

Toutes les pompes centrifuges ont une courbe de performance, aussi appelé courbe caractéristique qui ressemble à celle montrée à la Figure 21 (en présumant que le niveau dans le réservoir d'aspiration est constant), cette courbe montre comment la pression à la sortie de la pompe varie avec le débit.

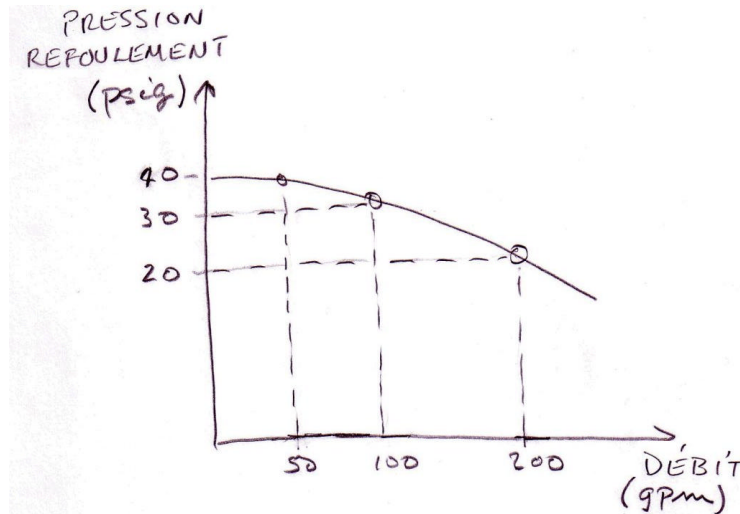


Figure 21 Courbe caractéristique de pompe centrifuge montrant la pression au refoulement vs. le débit.

À 200 gpm, cette pompe produit une pression de 20 psig, elle augmente jusqu'à 40 psig quand le débit est nul.

À noter: ceci s'applique aux pompes centrifuges, beaucoup de propriétaire résidentiel ont des pompes à déplacement positif, souvent des pompes à piston. Ces pompes produisent un débit constant peu importe les changements qu'on peut apporter au système.

7. Que peut affecter la pression à la sortie de la pompe?

L'élévation du bout du tuyau de refoulement n'est pas la seule élévation qui peut affecter la pression et le débit de la pompe. Il faut aussi considérer le côté aspiration de la pompe. La différence d'élévation entre le bout du tuyau de refoulement et l'élévation de la surface du réservoir d'aspiration est connu sous le nom de HAUTEUR STATIQUE. La différence entre les systèmes montrés à la Figure 22 et 23 est que la hauteur statique plus petite dans le cas de la Figure 22. Pour des pompes identiques, la pompe dans la Figure 22 produira un débit plus élevé à cause de l'hauteur statique plus faible. La raison est que la pompe dans la Figure 23 doit fournir plus de pression à sa sortie pour déplacer le liquide à une hauteur plus élevée, plus de pression implique moins de débit.

Le travail de la pompe est de déplacer le liquide de la surface du réservoir d'aspiration jusqu'au bout du tuyau de refoulement. Cette distance vertical est 20 pieds, et c'est ce qu'on appelle la hauteur statique.

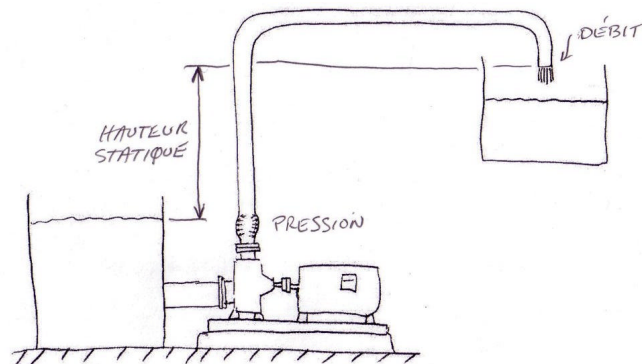


Figure 22 L'effet de la hauteur statique sur le débit.

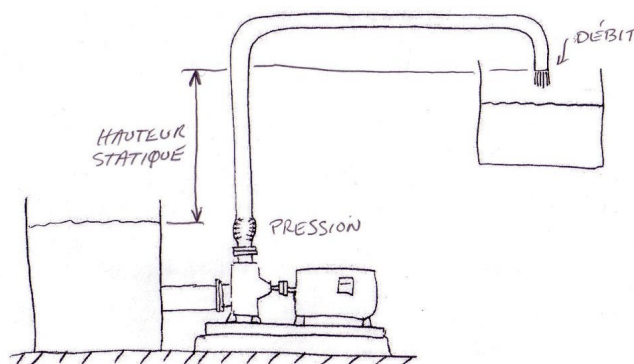


Figure 23 L'effet sur le débit d'une hauteur statique croissante.

À l'occasion, le bout du tuyau de refoulement est submergé tel qu'à la Figure 24, dans ce cas la hauteur statique est la différence d'élévation entre la surface du réservoir de refoulement et la surface du réservoir d'aspiration. Toutes les particules de liquide dans le système sont reliées par la pression, les particules qui sont situées sur la surface du réservoir de pression contribue à la pression qui se forme au refoulement de la pompe. Il faut donc tenir compte de la hauteur de ces particules par rapport à la pompe si on veut déterminer l'énergie qui sera requise de la pompe pour obtenir le débit requis. Évitez l'erreur de prendre le bout du tuyau comme repère pour le calcul de la hauteur statique dans le cas que celui-ci est submergé.

À noter : si le bout du tuyau de refoulement est submergé on devra mettre une vanne de non-retour à la sortie de la pompe pour empêcher l'écoulement à contre-sens quand la pompe est arrêtée.

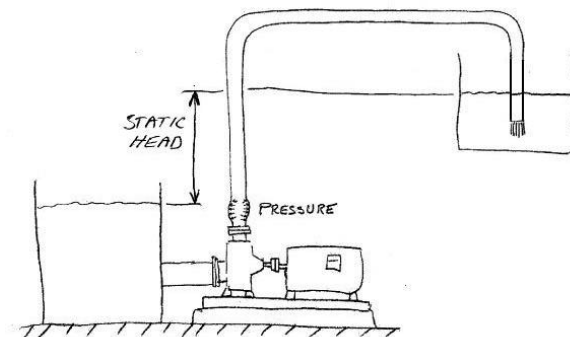


Figure 24 La hauteur du bout du tuyau de refoulement n'est pas nécessairement reliée à la hauteur statique.

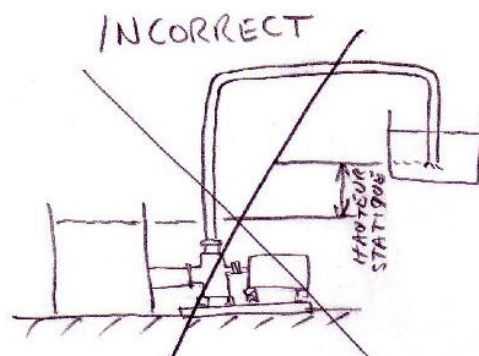


Figure 24a Estimation incorrecte de la hauteur statique.

8. Est-ce que plus de pression est souhaitable? Tout dépend..

Quand le débit dans un système est insuffisant, la première réaction est d'acheter une pompe plus grosse. Dépendant du coût, ceci est une option. Le problème peut être dû à des conduites trop petites ou bouchées. Acheter une pompe plus grosse sans examiner le système peut être une erreur, il est possible que la sélection initiale des tuyaux ou des équipements dans le système était mauvaise.

9. Qu'est que la hauteur de charge totale

La hauteur de charge totale et le débit sont les deux paramètres principaux utilisés pour comparer les pompes centrifuges ou sélectionner une pompe pour une application. La hauteur de charge totale est reliée à la pression de refoulement de la pompe. Pourquoi ne pas simplement utiliser la pression au refoulement de la pompe comme critère de sélection? La pression est un concept familier qu'on utilise dans notre vie quotidienne, par exemple les extincteurs à feu sont pressurisés à 60 psig (414 kPa), on utilise 35 psig (241 kPa) dans les pneus de bicyclette ou d'automobile. Pour de bonnes raisons, les fabricants de pompes n'utilisent pas la pression au refoulement comme critère de sélection. Une des raisons est qu'ils ne savent pas comment la pompe sera utilisée. La pression au refoulement de la pompe dépendra de la pression à l'aspiration de la pompe. Si la source d'eau de la pompe est par-dessus ou au-dessus de l'aspiration de la pompe, la pression au refoulement sera différente pour le même débit. Donc pour éliminer ce problème, il est préférable d'utiliser la différence de pression entre le refoulement et l'aspiration.

Les fabricants de pompes ont poussés cette approche un peu plus loin. Le niveau de pression qu'une pompe peut produire dépend de la densité du liquide. L'eau salée est plus dense que l'eau, donc plus pesante pour le même volume. Pour le même débit, la pression au refoulement de la pompe pour l'eau salée sera plus élevée. Le fabricant ne sait pas quel fluide vous utiliserez dans votre système donc un critère indépendant de la densité du fluide serait un atout. Ce critère existe et c'est la HAUTEUR DE CHARGE TOTALE.

On peut mesurer la hauteur de charge totale en attachant un tube au refoulement de la pompe et en mesurant la hauteur de la colonne de liquide dans le tube par rapport à l'aspiration de la pompe. On fait de même pour déterminer avec la hauteur de charge à l'aspiration. On soustrait ces deux valeurs et on obtient la hauteur de charge totale (voir la figure 25).

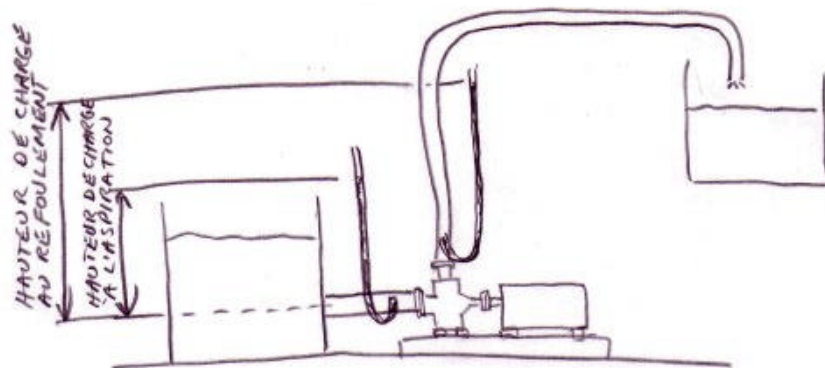


Figure 25 Une méthode pour mesurer la hauteur de charge totale.

Le liquide dans le tube de mesure sur le côté refoulement ou aspiration montera à la même hauteur que l'eau pure peu importe sa densité. La pompe produit de la pression et non de la hauteur de charge. La différence de pression entre le refoulement et l'aspiration est la pression qui sera disponible au système. Si le liquide est dense tel qu'une solution de sel par exemple, la pression au refoulement sera plus élevée que si

le liquide était de l'eau pur. Comparez deux réservoirs avec la même forme cylindrique et la même hauteur du niveau liquide par rapport à la base. Le réservoir avec le liquide plus dense aura une pression plus élevée au fond du réservoir. Par contre la hauteur statique par rapport à la base sera la même. La hauteur de charge totale a le même comportement, même si le liquide est plus dense, la hauteur de charge totale sera la même que si le liquide était de l'eau pur. Ceci est un fait surprenant et je vous invite à voir ce vidéo à cette adresse web pour vous en convaincre (<http://www.fluidedesign.com/video1.htm#vid0.9>).

Pour ces raisons les manufacturiers de pompes on choisit la hauteur de charge totale comme paramètre principale pouvant décrire l'énergie disponible de la pompe.

10. Quel est la relation entre la hauteur de charge et la hauteur de charge totale

La hauteur de charge totale est la différence d'hauteur que le liquide peut être élever au refoulement moins la hauteur à l'aspiration de la pompe tel que montrer à la figure 25. Pourquoi moins la hauteur à l'aspiration? Par ce qu'on veut déterminer l'énergie que contribue la pompe seulement et non l'énergie qui lui est fournit.

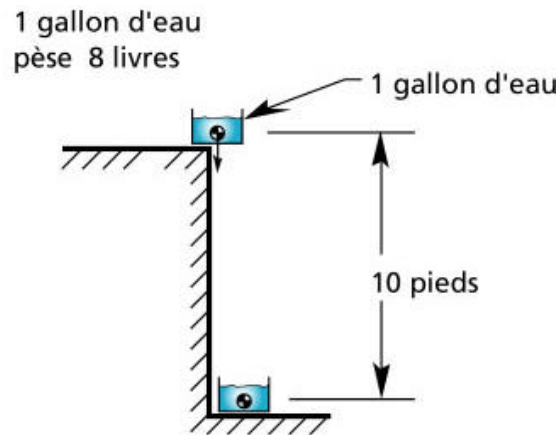
Quel est l'unité de la hauteur de charge totale? L'énergie peut s'exprimer en livre-pied, et ce qui représente une force appliquée sur une distance vertical pour lever un poids. Pour lever un poids de 100 livres (445 N) une distance verticale de 6 pieds (1.83 m), on doit faire un travail ou dépensé de l'énergie qui correspond à $6 \times 100 = 600$ liv-pi (814 N-m). Ou en terme d'hauteur de charge, l'énergie divisé par le poids $6 \times 100 / 100 = 6$ pieds (1.83 m), donc la quantité d'énergie par unité de poids déplacé peut s'exprimer par 6 pieds. Ceci n'est pas très utile pour un haltérophile mais très utile quand il s'agit du déplacement des liquides.



Figure 26 De l'énergie est requis pour lever un poids.

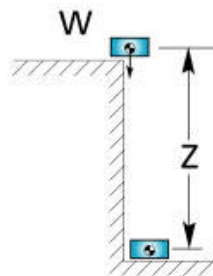
Vous serez peut-être intéressée de savoir qu'une calorie est équivalent à 324 liv-pieds d'énergie. Ce qui veut dire que notre haltérophile dépensera $600/324 = 1.8$ calorie chaque fois qu'il déplace ce poids une hauteur de 6 pieds.

La figure 27 montre combien d'énergie est requis pour déplacer un gallon d'eau verticalement.



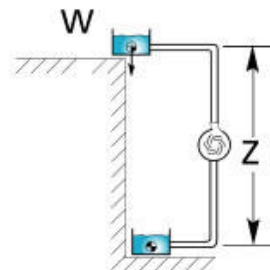
Énergie = 8 x 10 = 80 pieds - livres
 Figure 27 L'énergie requis pour lever 1 gallon d'eau verticalement 10 pieds.

La figure 28 montre la hauteur de charge correspondante pour ce même travail.



Énergie = $W(\text{liv}) \times z(\text{pi})$

Énergie = $10(\text{pi}) \times 8(\text{liv}) = 80 \text{ pi-liv}$



$$\text{Hauteur de charge} = \frac{\text{Énergie}}{W} = \frac{z(\text{pi}) \times W(\text{liv})}{W(\text{liv})} = z(\text{pi})$$

$$\text{Hauteur de charge} = \frac{\text{Énergie}}{W} = \frac{10(\text{pi}) \times 8(\text{liv})}{8(\text{liv})} = 10(\text{pi})$$

Figure 28 Hauteur de charge vs. énergie.

Si on utilise l'énergie on doit connaître le poids du liquide déplacé, si on utilise la hauteur de charge le poids n'est pas nécessaire et seulement la hauteur de déplacement doit être connu. Ceci est très utile pour le déplacement de liquide puisque le pompage est un processus continu, normalement quand on part une pompe elle est en marche pour une grande période de temps et on ne se soucie pas du nombre livres de liquide déplacés, ce qui est important c'est le débit.

L'autre aspect très utile de la hauteur de charge est que la hauteur statique qui représente la différence d'élévation qu'on doit atteindre s'exprime en pieds de la même façon que la hauteur de charge. Le frottement s'exprime aussi en pieds et ces unités sont tous compatibles. Prenons un exemple, vous devez déplacer de l'eau à partir du rez-de-chaussé au deuxième étage situé à 15 pieds d' hauteur. Quel est l' hauteur statique? Rappelez-vous qu'on doit considérer la hauteur de la surface de liquide du réservoir d'aspiration. Si ce niveau est 10 pieds plus bas que l'aspiration de la pompe, la hauteur statique sera $10 + 15 = 25$ pieds. C'est une des composantes de la hauteur de charge totale, l'autre est la perte de charge due au frottement.

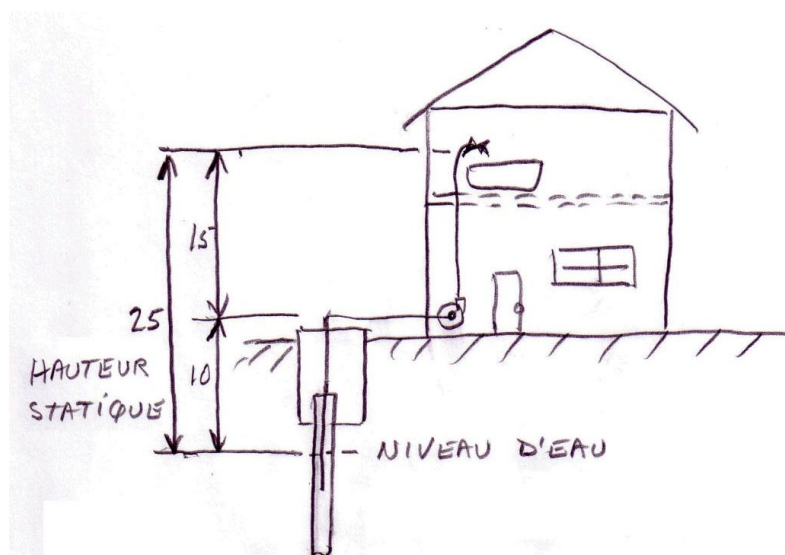


Figure 29 Hauteur statique.

11. Qu'est-ce que la perte de charge due au frottement?

La perte de charge due au frottement est la perte d'énergie due au mouvement du fluide à travers les conduites et les raccords. On a besoin d'une force pour déplacer le fluide contre le frottement. La force qu'on utilise pour vaincre le frottement s'exerce dans la même direction que le mouvement du liquide et requiert de l'énergie. D'une façon semblable qu'on a calculé la hauteur de charge pour déplacer un poids verticalement, la perte de charge due au frottement se calcule en connaissant la force requise pour opposer le frottement fois le déplacement ou la longueur du tuyau divisé par le poids de fluide déplacé. Ces calculs ont été fait pour nous et les valeurs de perte de charge due au frottement se trouve dans la Table 1.

Débit et pertes de charge pour tubes et tuyaux (Impérial) (basé sur une vitesse de 10 pi/s)			
Dia. nom. (in)	Dia. int. (in)	Débit (gpm)	Perte de charge (pieds par pieds de tuyau)
1/4	0.311	2.4	2.15
1/2	0.527	6.8	1.08
3/4	0.745	13.6	0.69
1	0.995	24	0.48
1 1/2	1.6	63	0.26
2	2.067	105	0.19
2 1/2	2.469	149	0.15
3	3.068	230	0.117
4	4.026	400	0.084
6	6.065	900	0.051
8	8.125	1615	0.036
10	10.25	2570	0.027
12	12.25	3675	0.022
14	13.5	4460	0.0194

Table 1

La Table 1 donne le débit et la perte de charge pour de l'eau dans des conduites de différents diamètres à une vitesse moyenne de 10 pi/s. Cette vitesse est typique pour de l'eau dans une conduite et n'est pas trop grande ce qui causerait des pertes de charge élevées et pas trop petite ce qui ralentirait le procédé. La vitesse dépend du débit et du diamètre du tuyau, vous trouverez des chartes de débit pour des vitesses de 5 pi/s et 15 pi/s dans l'appendice A pour des unités dans le système impérial et métrique. Si vous voulez faire vos propres calculs vous trouverez l'information à l'appendice D.

Si la vitesse que vous utilisez est moins que 10 pi/s alors la perte de charge sera plus petite et si la vitesse est supérieur la perte sera plus grande. Une vitesse de 10 pi/s est une pratique normale pour déterminer la grosseur des conduites sur le côté refoulement de la pompe. Pour le côté aspiration de la pompe, on est souvent plus conservateur et on utilise une vitesse entre 4 et 7 pi/s. C'est pourquoi on voit souvent un diamètre de tuyau plus gros à l'aspiration qu'au refoulement de la pompe. Typiquement, la grosseur du tuyau à l'aspiration sera le même diamètre que la connexion à la pompe ou un diamètre plus grand.

Pourquoi se préoccupé de la vitesse, le débit n'est-il pas suffisant pour décrire le mouvement du liquide? Tout dépend de la complexité de votre système, si le tuyau de refoulement a le même diamètre partout alors la vitesse est constante et on peut utiliser la table de frottement pour calculer la perte de charge totale du système. Si le diamètre change alors la vitesse changera et le frottement sera plus élevé ou plus faible dans certaine partie du système. On devra donc se baser sur la vitesse pour déterminer la perte de charge dans cette partie de la conduite.

Pour ceux qui veulent faire des calculs détaillés des pertes de charge due au frottement vous trouverez les informations nécessaires pour les pertes de charge due aux tuyaux dans l'appendice B et les pertes due aux raccords en appendice C.

12. La courbe caractéristique (performance) de la pompe

La courbe caractéristique de la pompe a une apparence similaire à la courbe de pression de refoulement vs. débit de la Figure 21. Tel que mentionné, cette courbe n'est pas pratique puisqu'il faudrait savoir la pression à l'aspiration de la pompe pour pouvoir l'utiliser. La figure 30 montre une courbe caractéristique typique de hauteur de charge totale vs. débit. C'est ce type de courbe que tous les manufacturiers de pompes utilisent, ces courbes sont publiés pour chaque modèle de pompe et vitesse disponible.

Il y a des manufacturiers qui ne fournissent pas automatiquement la courbe caractéristique de leurs pompes. Par contre, cette courbe doit exister et si vous insistez vous pourrez sans doute l'avoir. En général, plus on paie pour un produit plus on a d'informations techniques.

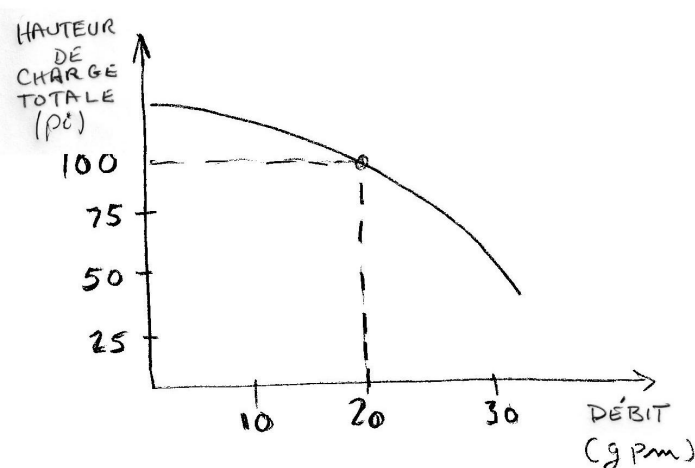


Figure 30 Courbe caractéristique d'une pompe centrifuge.

13. Comment sélectionner une pompe centrifuge - Exemple d'un calcul de hauteur de charge totale

Il est peu probable qu'on puisse acheter une pompe centrifuge qui rencontre exactement nos besoins une fois installée. Le débit que vous obtiendrez dépendra des caractéristiques physiques de votre système. Ce sont ces caractéristiques, par exemple le frottement qui dépend de la longueur et du diamètre des tuyaux ou l'élévation de la sortie du tuyau de refoulement qui dépend de l'environnement de la bâtisse. Le manufacturier ne peut connaître ces facteurs. C'est pourquoi l'achat d'une pompe centrifuge est plus complexe que celle d'une pompe à déplacement positif tel une pompe à piston. Ces pompes produisent toujours le même débit peu importe le système dans lequel vous l'installez.

Les facteurs principaux qui affectent le débit d'une pompe centrifuge sont:

- le frottement, qui dépend de la longueur des tuyaux et du diamètre
- la hauteur statique, qui dépend de la différence d'élévation entre le bout du tuyau de refoulement et la surface du réservoir d'aspiration
- la viscosité du fluide, si le fluide est différent de l'eau.

Les étapes à suivre pour sélectionner un pompe centrifuge sont les suivantes :

1. Fixez le débit

Pour déterminer la grosseur et sélectionner une pompe centrifuge, premièrement, fixer le débit requis. Si vous êtes un propriétaire résidentiel, déterminer quel de vos besoins requiert le plus haut débit. Dans beaucoup de cas, le bain exigera la demande la plus élevée d'environ 10 gpm (0.6 L/s). Dans le secteur industriel, le débit dépendra du niveau de production de l'usine ou peut être aussi simple que de dire 100 gpm (6.3 L/s) remplit un réservoir dans un temps raisonnable. Ou le débit peut dépendre de l'interaction entre différents procédés dans l'usine.

2. Déterminez la hauteur statique

Ceci se trouve en mesurant la hauteur entre le bout du tuyau de refoulement et la surface du réservoir d'aspiration.

3. Calculez la perte de charge due au frottement

La perte de charge due au frottement dépend de la grosseur des tuyaux et de la longueur. Elle se calcule selon la Table 1. Pour des liquides différents de l'eau la viscosité est un facteur important et la Table 1 ne s'applique pas.

4. Calculez la hauteur de charge totale

La hauteur de charge totale est la somme de la hauteur statique (rappelez-vous que la hauteur statique peut être positive ou négative) et la perte de charge due au frottement.

5. Sélectionnez la pompe

Vous pouvez sélectionner la pompe avec la hauteur de charge totale et le débit selon les informations fournies dans les catalogues de manufacturiers de pompes tout en vous assurant de la pertinence du choix de cette pompe pour votre application.

Exemple de calcul de hauteur de charge totale - Sélectionnez un pompe pour une application résidentielle

Mon expérience me dit que pour remplir un bain dans une période de temps acceptable un débit de 10 gpm est requis. Selon la Table 1, la grosseur des tuyaux de cuivre devrait être entre 1/2" et 3/4", je choisis 3/4". Le système sera conçu avec un distributeur de 3/4" à la sortie de la pompe, de ce distributeur il y aura un tuyau de 3/4" qui partira du rez-de-

chaussée pour se rendre au bain au 2^{ème} étage où est situé le bain. Sur le côté aspiration de la pompe, j'utilise un tuyau de 1", la longueur de ce tuyau est 30 pieds.

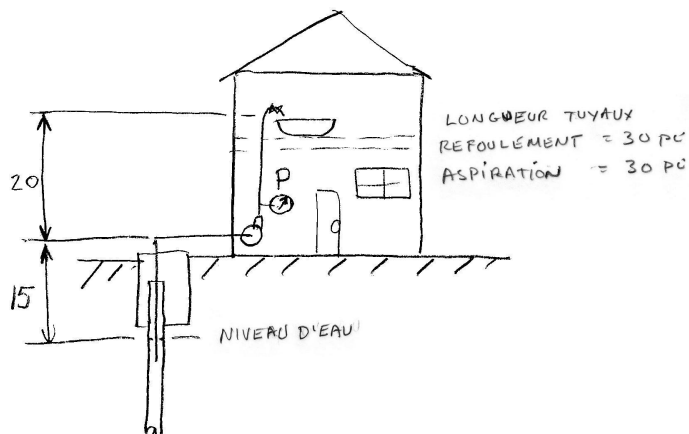


Figure 31 Système typique d'eau domestique.

Perte de charge sur le coté refoulement de la pompe

La Table 1 montre qu'un tuyau de 3/4" produira une perte de charge de 0.69 pied par pied de tuyau. Le tuyau fait un parcours de 10 pieds au rez-de-chaussée et ensuite 20 pieds pour se rendre au bain pour un total de 30 pieds. La perte de charge en pieds est donc $30 \times 0.69 = 21$ pieds. Il y aura des pertes de charge pour les raccords, supposons un estimé conservateur de 30% des pertes pour le tuyau alors la perte de charge pour les raccords est $0.3 \times 21 = 6.3$ pieds. La perte de charge totale pour le côté refoulement est donc $21 + 6.3 = 27.3$ pieds.

Perte de charge sur le coté aspiration de la pompe

La Table 1 montre qu'un tuyau de 1" a une perte de charge de 0.48 pied par pied de tuyau. La longueur du tuyau d'aspiration est 30 pieds. La perte de charge pour ce tuyau est donc $30 \times 0.48 = 14.4$ pieds. Il y aura des pertes de charge pour les raccords, supposons un estimé conservateur de 30% des pertes pour le tuyau alors la perte de charge pour les raccords est $0.3 \times 14.4 = 4.3$ pieds. S'il y a une vanne de non-retour sur la ligne d'aspiration alors la perte de charge de cette vanne devra être additionner à la perte de charge du tuyau. Une valeur typique de perte de charge pour une vanne de non-retour est 5 pieds. Si on utilise une pompe à jet on a pas besoin de vanne de non-retour ce qui sauve des coûts et de problèmes potentiels. La perte de charge totale pour le côté aspiration est donc $14.4 + 4.3 = 18.7$ pieds.

La perte de charge totale pour les tuyaux de refoulement et d'aspiration est $27.3 + 18.7 = 46$ pieds.

Selon la Figure 30, la hauteur statique est 35 pieds. Donc la hauteur de charge totale (H.C.T.) de la pompe est $35 + 46 = 81$ pieds. On peut maintenant se rendre au magasin et acheter une pompe avec une H.T.C. de 81 pieds et un débit de 10 gpm. La H. C.T. et le débit de la pompe indiqué sur la plaque signalétique devrait être aussi proche que possible de ces valeurs sans fendre de cheveux en quatre (expression québécoise). Vous pouvez allouer une variation de plus ou moins 15% sur la H.C.T. Sur le débit, vous

pouvez aussi allouer une marge mais dans ce cas vous paierez peut-être pour un excédent de débit que vous n'avez pas besoin.

Quelle est la performance nominale de la pompe? Les fabricants détermineront la performance (hauteur de charge totale et débit) au point optimale d'opération appelé le Point de Rendement Maximale (P.R.M.). À ce point d'opération la pompe aura une durée de vie maximale produisant peu de vibration et de bruit. La pompe peut opérer à d'autres débits mais la durée de vie de la pompe sera réduite si on opère trop loin du P.R.M. On essaie de sélectionner une pompe où la hauteur de charge totale au P.R.M. est pas plus $\pm 15\%$ de la valeur d'opération.

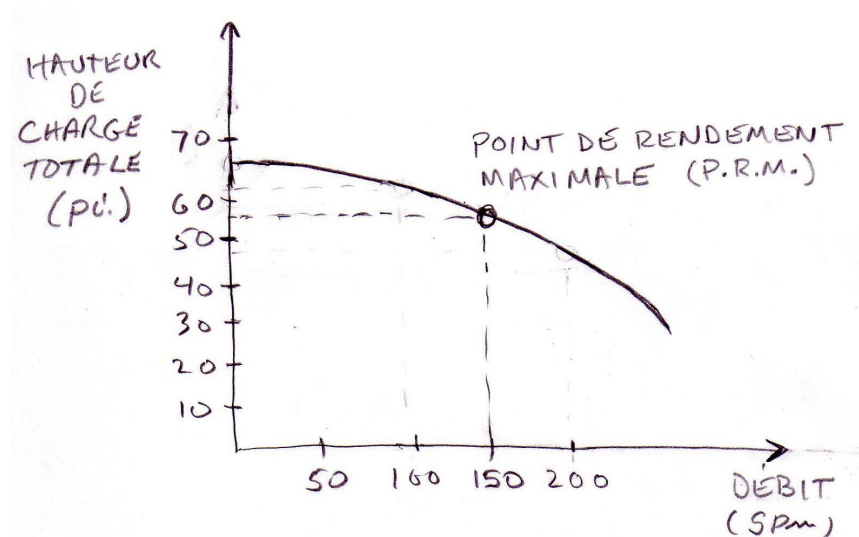


Figure 32 Point de rendement maximale.

14. Calculez la pression au refoulement avec la hauteur de charge totale

Ce calcul est utile si on veut vérifier le niveau de performance de la pompe par rapport à la performance prédite par la courbe caractéristique. La relation entre la hauteur de charge de pression et la pression est:

$$H \text{ (psi)} = 2.31 \frac{p \text{ (psi)}}{GS}$$

ou si on a besoin de calculer la pression à partir de la hauteur de charge de pression:

$$p \text{ (psi)} = \frac{1}{2.31} \times GS \times H \text{ (pi)}$$

où H est la hauteur de charge de pression en pieds de fluide, p la pression en psi et GS est la gravité spécifique. GS est le rapport de la densité du fluide par rapport à la densité de l'eau à 60F. Donc si le liquide est de l'eau alors $GS = 1$.

Si on a la courbe caractéristique de la pompe et on connaît le débit on peut déterminer la hauteur de charge totale de la pompe.

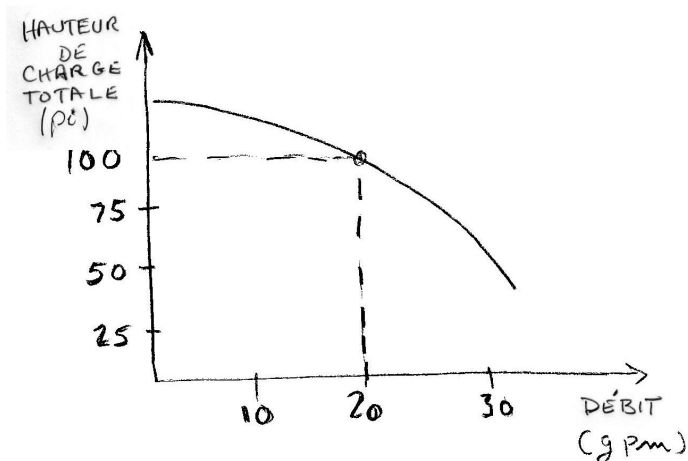


Figure 33 Courbe caractéristique.

La courbe caractéristique est montrée à la Figure 33. Si le débit est 20 gpm alors la hauteur de charge totale sera 100 pieds.

L'installation est telle que montrée à la Figure 34 où le niveau d'eau est situé 15 pieds plus bas que l'aspiration de la pompe.

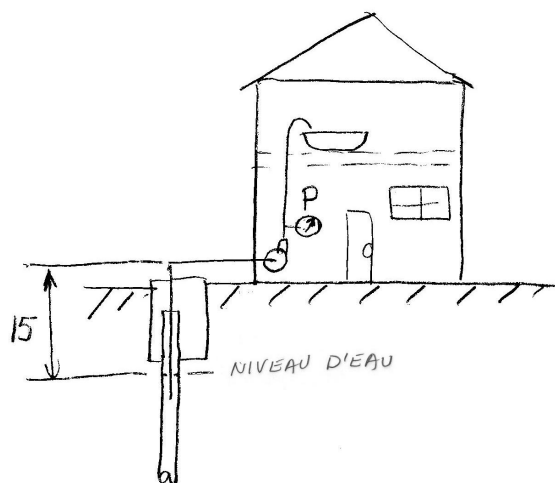


Figure 34 Système de pompage typique.

La pompe doit produire du vide ou une pression plus basse que la pression atmosphérique pour que l'eau soit aspirée et se rende à la bride d'aspiration de la pompe. Puisqu'on connaît la hauteur de charge totale, on peut soustraire la hauteur de charge de pression à l'aspiration pour obtenir la hauteur de charge de pression au refoulement et ensuite convertir cette valeur en pression. Nous savons que la pompe doit aspirer l'eau vers le haut d'une distance de 15 pieds. En fait cette hauteur devra être un peu plus élevée pour compenser pour le frottement, mais présumons que le tuyau est suffisamment gros que le frottement est très bas alors -15 pieds sera la valeur de la hauteur de charge de pression à l'aspiration.

$$\text{HAUTEUR DE CHARGE TOTALE} = 100 = H_R - H_A$$

ou

$$H_R = 100 + H_A$$

La hauteur de charge totale est égale à la différence entre la hauteur de charge de pression au refoulement H_R moins celle à l'aspiration H_A . H_A est égale à -15 pieds donc:

$$H_R = 100 + (-15) = 85 \text{ pieds}$$

La pression au refoulement sera:

$$p = \frac{1}{2.31} \times 1.0 \times 85 = 37 \text{ psig}$$

Maintenant vous pouvez vérifier si la pression que vous mesurez au refoulement est proche de celle que vous avez calculé baser sur la courbe caractéristique. Si la pression au refoulement prédite par le calcul est trop différente de celle mesurée, alors il peut y avoir un problème avec la pompe.

À noter: soyez prudent où vous situez le manomètre de pression, s'il est beaucoup plus haut que la bride d'aspiration de la pompe, disons plus que 2 pieds, votre lecture de pression sera plus basse que la vraie pression.

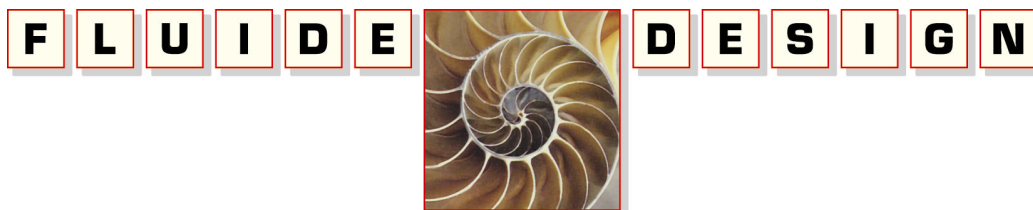
APPENDICE A

Débit et perte de charge pour tuyaux de différents diamètres à une vitesse de 5 pi/s

Débit et perte de charge pour tuyaux de différents diamètres à une vitesse de 15 pi/s

Débit et perte de charge pour tuyaux de différents diamètres à une vitesse de 4.5 m/s

Débit et perte de charge pour tuyaux de différents diamètres à une vitesse de 1.5 m/s



PERTE DE CHARGE POUR DIFFÉRENT DÉBITS

Débit et pertes de charge pour tubes et tuyaux (Impérial) (basé sur une vitesse de 5 pi/s)			
Dia. nom. (in)	Dia. int. (in)	Débit (gpm)	Perte de charge (pieds par pieds de tuyau)
1/4	0.311	1.2	0.58
1/2	0.527	3.4	0.29
3/4	0.745	6.8	0.187
1	0.995	12.1	0.13
1 1/2	1.6	31	0.071
2	2.067	52	0.051
2 1/2	2.469	75	0.041
3	3.068	115	0.031
4	4.026	198	0.022
6	6.065	450	0.014
8	8.125	808	0.009
10	10.25	1286	0.007
12	12.25	1837	0.0058
14	13.5	2230	0.052



PERTE DE CHARGE POUR DIFFÉRENT DÉBITS

Débit et pertes de charge pour tubes et tuyaux (Impérial) (basé sur une vitesse de 15 pi/s)			
Dia. nom. (in)	Dia. int. (in)	Débit (gpm)	Perte de charge (pieds par pieds de tuyau)
1/4	0.311	3.55	4.68
1/2	0.527	10.2	2.35
3/4	0.745	20.4	1.51
1	0.995	36.3	1.04
1 1/2	1.6	94	0.575
2	2.067	157	0.42
2 1/2	2.469	224	0.335
3	3.068	346	0.256
4	4.026	595	0.184
6	6.065	1351	0.111
8	8.125	2424	0.078
10	10.25	3858	0.059
12	12.25	5510	0.048
14	13.5	6692	0.042

F L U I D E D E S I G N

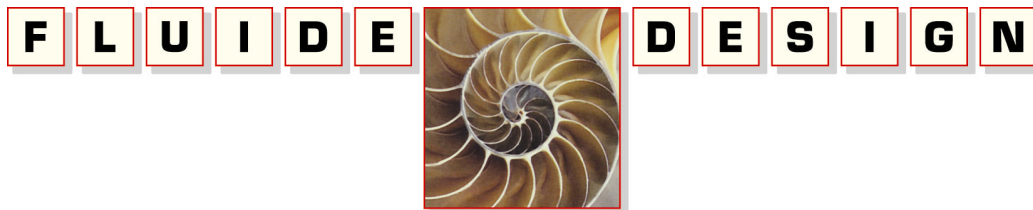
PERTE DE CHARGE POUR DIFFÉRENTS DÉBITS

Flow rate and friction head loss for tubing and pipe sizes (metric) (based on 1.5 m/s velocity)			
Inside dia. (mm)	Flow rate (L/s)	Flow rate (m ³ /h) x 1000	Friction head loss (meter of head per meter of pipe)
15	1.1	3.98	0.24
20	1.97	7.1	0.17
25	3.1	11.1	0.13
32	5	18.1	0.09
40	7.87	28.3	0.07
50	12.3	44.2	0.052
65	20.8	74.8	0.038
80	31.5	113	0.029
100	49.2	177	0.022
125	76.8	276.7	0.017
150	110.7	398	0.014
200	196.8	708	0.0096
250	307	1107	0.0073
300	443	1594	0.0059



PERTE DE CHARGE POUR DIFFÉRENTS DÉBITS

Débit et pertes de charge pour tubes et tuyaux (Impérial) (basé sur une vitesse de 3 m/s)			
Dia. int. (mm)	Débit (L/s)	Débit (m ³ /h) x 1000	Perte de charge mètres par mètres de tuyau)
15	0.68	2.43	0.9
20	1.2	4.32	0.62
25	1.88	6.75	0.47
32	3.07	11.06	0.34
40	4.8	17.28	0.26
50	7.5	27.00	0.2
65	12.7	45.63	0.14
80	19.2	69.12	0.11
100	30	108.00	0.084
125	46.9	168.75	0.064
150	67.5	243.00	0.051
200	120	432.00	0.036
250	187	675.00	0.027
300	270	972.00	0.022



PERTE DE CHARGE POUR DIFFÉRENTS DÉBITS

Débit et pertes de charge pour tubes et tuyaux (Impérial) (basé sur une vitesse de 4.5 m/s)			
Dia. int. (mm)	Débit (L/s)	Débit (m ³ /h) x 1000	Perte de charge mètres par mètres de tuyau)
15	3.32	12	1.97
20	5.9	21.2	1.36
25	9.2	33.2	1.03
32	15.1	54.4	0.75
40	23.6	85	0.57
50	36.9	133	0.43
65	62.4	225	0.31
80	94.5	340	0.24
100	148	531	0.183
125	231	830	0.139
150	332	1196	0.112
200	590	2125	0.079
250	922	3321	0.06
300	1328	4782	0.048

APPENDICE B

Un exemple comment faire des calculs de perte de charge due au frottement dans la tuyauterie avec formules



CALCULS DE PERTE DE CHARGE

La vitesse moyenne v est calculé avec la formule [1] et les unités appropriées sont indiquées entre parenthèse (voir la dernière page pour une liste de symboles).

$$v(pi / s) = 0.4085 \frac{q(USgal . / min)}{D^2(po)^2} \quad [1]$$

Ou dans le système métrique

$$v(m / s) = 1273 .23 \frac{q(L / s)}{D^2(mm)^2} \quad [1a]$$

Le nombre de Reynolds est :

$$R_e = 7745.8 \frac{v(pi / s)D(po)}{\mathbf{n}(cSt)} \quad [2]$$

Ou dans le système métrique

$$R_e = 1000 \frac{v(m / s)D(mm)}{\mathbf{n}(cSt)} \quad [2a]$$

Si le nombre de Reynolds est plus bas que 2000 alors le débit sera caractérisé par le régime laminaire. Si le nombre de Reynolds est plus haut que 4000 alors l'écoulement est en régime turbulent. La vitesse est normalement suffisamment grande pour que le débit soit en régime turbulent.

On trouve la viscosité de beaucoup de liquides dans le Cameron Hydraulic data book. La viscosité de l'eau à 60F est 1.13 cSt.

Si le débit est laminaire alors le paramètre de frottement f se calcule avec l'équation [3].

$$f = \frac{64}{R_e} \quad [3]$$

Si le débit est en régime turbulent alors le paramètre f se calcule avec l'équation [4] de Swamee-Jain.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log_{10} \left(\frac{e}{3.7 D} + \frac{5.74}{R_e^{0.9}} \right) \right)^2} \quad [4]$$

Dans le régime turbulent le paramètre de frottement f dépend de la rugosité du tuyau. La Table B1 donne quelques valeurs pour différents matériels.

MATÉRIEL DU TUYAU	Rugosité du tuyau ϵ (pi)
Acier	0.00015
Fonte asphaltée	0.0004
Acier galvanisé	0.0005

Table B1

Le facteur de frottement $\Delta H_{FP}/L$ se calcule ave l'équation [5] de Darcy-Weisback

$$\frac{\Delta H_{FP}}{L} \left(\frac{pi \text{ fluide}}{100 pi \text{ tuyau}} \right) = 1200 f \frac{(v(pi/s))^2}{D (po) \times 2g (pi/s^2)} \quad [5]$$

$$g=32.17 \text{ pi/s}^2$$

ou dans le système métrique :

$$\frac{\Delta H_{FP}}{L} \left(\frac{m \text{ fluide}}{100 pi \text{ tuyau}} \right) = 1000 f \frac{(v(pi/s))^2}{D (mm) \times 2g (m/s^2)} \quad [5a]$$

$$g=9.8 \text{ m/s}^2$$

La perte de charge due au frottement pour le tuyau ΔH_{FP} se calcule avec l'équation [6]

$$\Delta H_{FP} (pi \text{ fluide}) = \frac{\Delta H_{FP}}{L} \left(\frac{pi \text{ fluide}}{100 pi \text{ tuyau}} \right) \times \frac{L(pi \text{ tuyau})}{100} \quad [6]$$

ou dans le système métrique :

$$\Delta H_{FP} (m \text{ fluide}) = \frac{\Delta H_{FP}}{L} \left(\frac{fluide}{100 m \text{ tuyau}} \right) \times \frac{L(m \text{ tuyau})}{100} \quad [6a]$$

Exemple de calcul

Calculez la perte de charge pour un tuyau d'acier de 2 1/12" nom., schedule 40 (2.469" diamètre interne) à un débit de 149 gpm pour de l'eau à 60F et une longueur de 50 pieds. La rugosité est 0.00015 pi et la viscosité de l'eau est 1.13 cSt.

La vitesse moyenne dans le tuyau v est:

$$v(\text{pi} / \text{s}) = 0.4085 \times \frac{149}{2.469^2} = 9.98 \quad [1']$$

Le nombre de Reynolds Re est:

$$R_e = 7745.8 \times \frac{9.98 \times 2.469}{1.13} = 1.69 \times 10^5 \quad [2']$$

Le paramètre de frottement f est:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log_{10} \left(\frac{0.00015 \times 12}{3.7 \times 2.469} + \frac{5.74}{(1.69 \times 10^5)^{0.9}} \right) \right)^2} = 0.02031 \quad [4']$$

Le facteur de frottement $\Delta H_{FP}/L$ est calculé avec l'équation [5] de Darcy-Weisback

$$\frac{\Delta H_{FP}}{L} \left(\frac{\text{pi} \text{ fluide}}{100 \text{ pi} \text{ tuyau}} \right) = 1200 \times 0.02031 \times \frac{9.98^2}{2.469 \times 2 \times 32.17} = 15.34 \quad [5']$$

La perte de charge du tuyau ΔH_{FP} est:

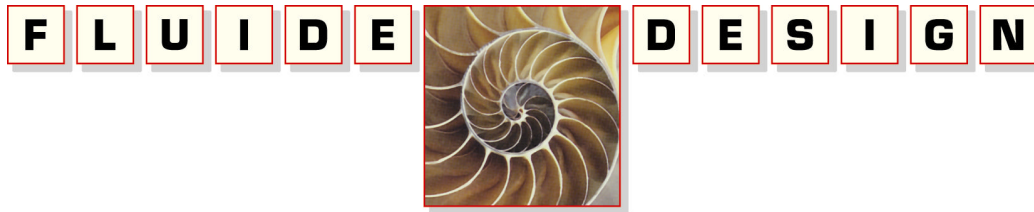
$$\Delta H_{FP} (\text{pi} \text{ fluide}) = 15.34 \times \frac{50}{100} = 7.67 \quad [6']$$

Symboles

Nomenclature des variables		Système impérial (Unités FPS)
D	diamètre du tuyau	po (pouce)
Re	nombre de Reynolds	non dimensionnel
q	débit	USgpm (gallons par minute)
ΔH_{FP}	perte de charge de frottement due au tuyau	pi (pied)
ν	viscosité	cSt (centistokes)
ε	rugosité du tuyau	pi (pied)
v	vitesse	pi/s (pied/seconde)
L	longueur du tuyau	pi (pied)
f	paramètre de frottement	non dimensionnel
$\Delta H_{FP}/L$	facteur de frottement	pied de fluide/100 pi de tuyau
g	accélération due à la gravité (32.17 pi/s ²)	pi/s ² (pied par seconde carré)

APPENDICE C

Un exemple comment faire des calculs de perte de charge due au frottement dans les raccords avec formules



CALCUL DE PERTE DE CHARGE DANS LES RACCORDS

La perte de charge due à un raccord dépend d'un facteur K qui peut se trouver dans plusieurs sources dont le Cameron Hydraulic data book ou le Hydraulic Institute Engineering data book.

La perte de charge due au frottement ΔH_{FR} peut être calculer avec la formule suivante ou K est un facteur qui dépend du type de raccords, v est la vitesse de l'écoulement, g est la constante de gravité (32.17 pi/s² or 9.8 m/s²).

$$\Delta H_{FR} (pi \text{ fluide}) = K \frac{v^2 (pi / s)^2}{2g (pi / s^2)}$$

ou dans le système métrique

$$\Delta H_{FR} (m \text{ fluid}) = K \frac{v^2 (m / s)^2}{2g (m / s^2)}$$

Par exemple un coude vissé de 2 ½" a un facteur K de of 0.85 selon la Figure C1, la vitesse est 10 pi/s (déterminé par rapport au débit). La perte de charge due au coude est:

$$\Delta H_{FR} (pi \text{ fluide}) = 0.85 \frac{10}{2 \times 32.17^2} = 1.3$$

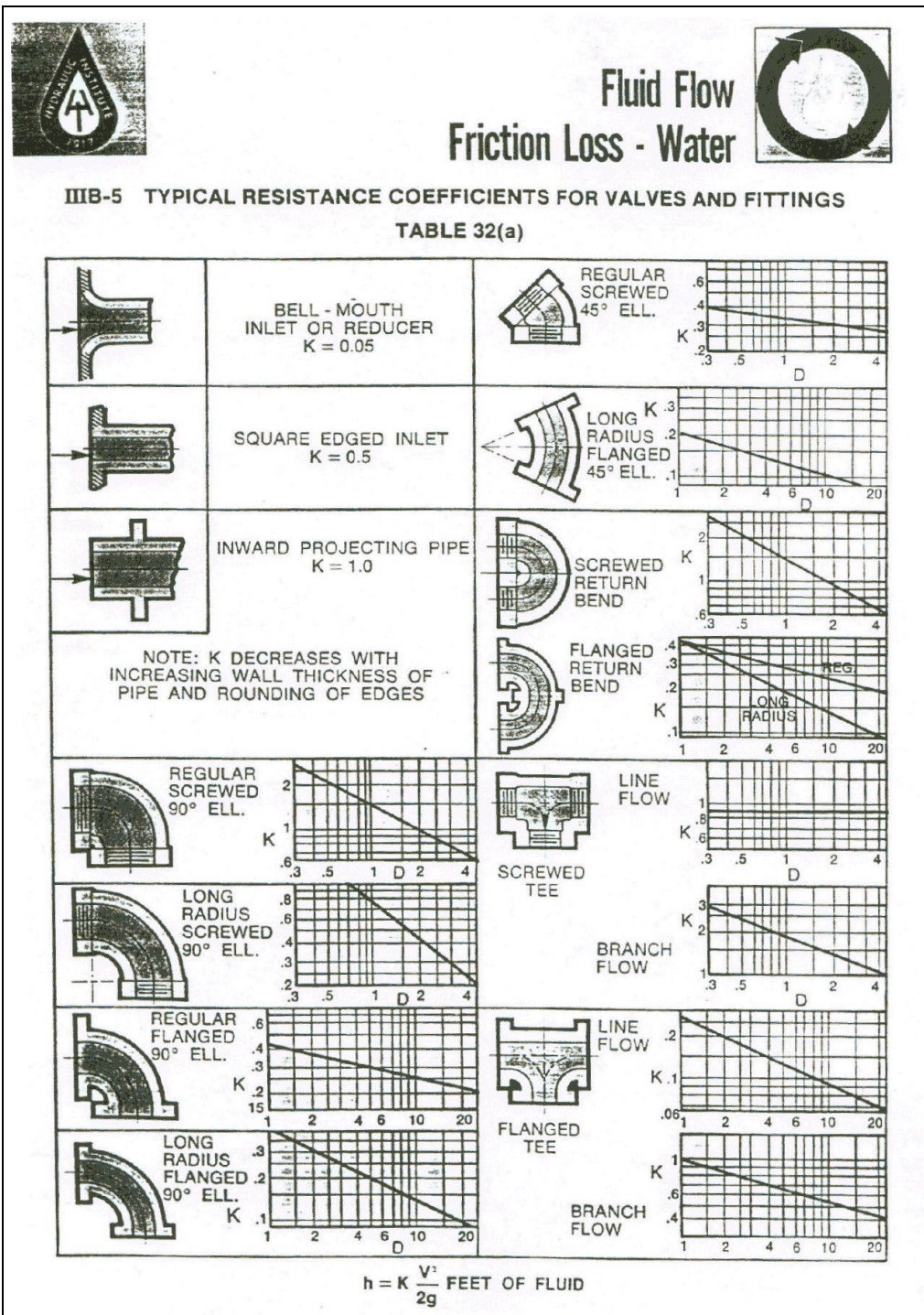


Figure C1 Coefficient K pour les pertes de charge due aux raccords (source le Hydraulic Institute Standards book www.pumps.org).

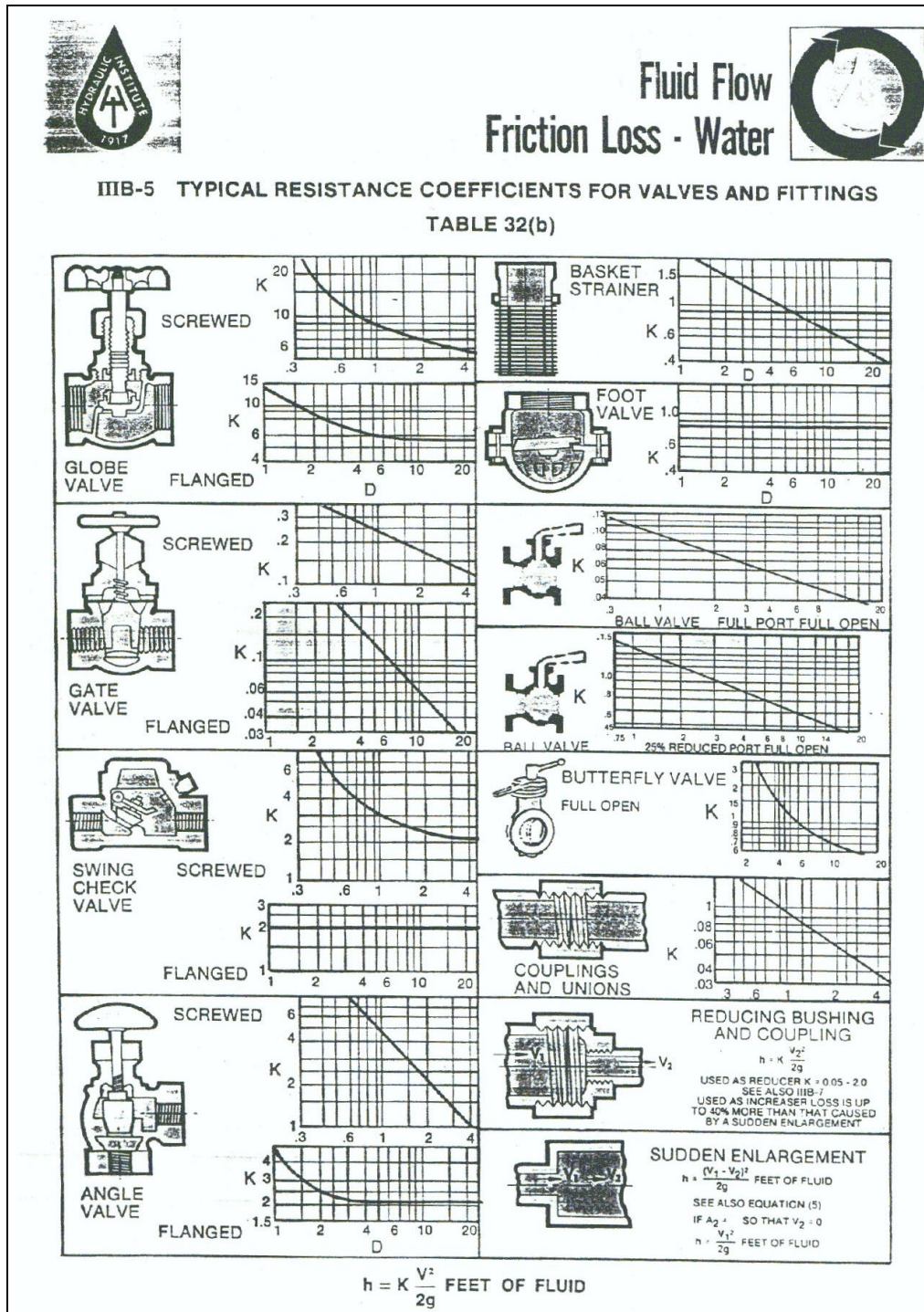
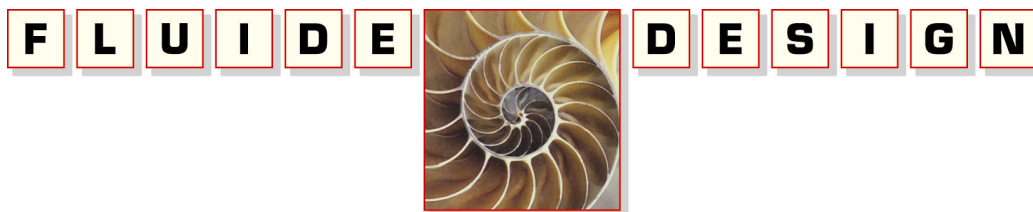


Figure C2 Un exemple comment faire des calculs de perte de charge due au frottement dans la tuyauterie avec formules

APPENDICE D

Des formules et un exemple de calcul de la vitesse du liquide dans la tuyauterie



CALCUL DE LA VITESSE MOYENNE D'UN ÉCOULEMENT

La vitesse moyenne d'un écoulement peut être calculer avec la formule suivante ou v est la vitesse en pied/seconde, D le diamètre interne en pouces du tuyau et q le débit en gallons US par minute.

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

ou dans le système métrique:

$$v(m / s) = 1273.2 \frac{q(L / s)}{D^2(mm)^2}$$

Par exemple, un tuyau de 2 1/2", cédule 40, a un diamètre interne de 2.469 po, si le débit est 105 gpm, la vitesse sera.

$$v(pi / s) = 0.4085 \frac{105}{2.469^2} = 9.98$$

APPENDICE E

La relation entre la pression et la hauteur de charge de pression



LA RELATION ENTRE LA PRESSION ET LA HAUTEUR DE CHARGE DE PRESSION

Quand on parle d'hauteur de charge souvent on veut dire la hauteur de charge due à la pression. La hauteur de charge est une énergie par unité de poids qui est aussi appelé énergie spécifique. Il y a plusieurs types d'énergie : élévation, vitesse, pression et frottement. Toutes ces énergies ont une hauteur de charge correspondante.

L'énergie de pression est égale à l'énergie fois le volume de liquide déplacé ou pV .

Pourquoi est-ce que pV est une forme d'énergie?

La pression est une force divisé par une surface.

$$p = \frac{F}{A}$$

Le volume est égale à la longueur de tuyau fois la surface interne perpendiculaire à l'axe central du tuyau.

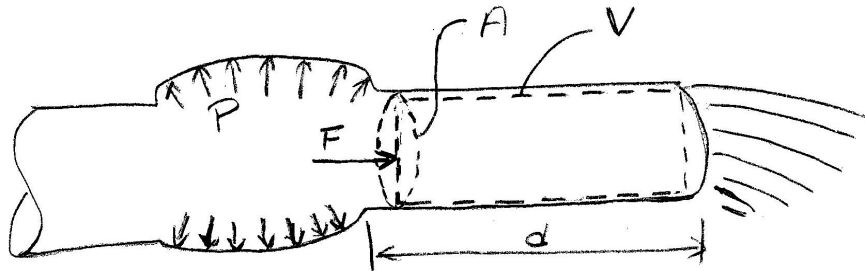


Figure E1

$$V = A \times d$$

Donc

$$pV = \frac{F}{A} \times d \times A = F \times d$$

pV représente de l'énergie par ce que c'est une force fois une distance.

La hauteur de charge de pression H est l'énergie de pression divisé par le volume de liquide déplacé:

$$H = \frac{p \times V}{W} = \frac{p}{\frac{W}{V}} = \frac{p}{g}$$

W/V est le poids divisé par le volume ou la densité du liquide et s'exprime par la lettre grecque γ . Si on utilise le psi pour l'unité de pression et des liv/pi³ pour l'unité de la densité (γ), alors:

$$H(pi) = 144 \times \frac{p(psi)}{g(liv / pi^3)}$$

Au lieu de la valeur absolu de la densité, on préfère souvent utiliser la valeur relative GS appelé gravité spécifique. GS est le rapport de la densité du fluide par rapport à la densité de l'eau à 60F.

$$SG = \frac{g_F}{g_E}$$

γ_F est la densité du liquide et γ_E la densité de l'eau à 60°F qui est 62.34 liv/pi³.

Donc la hauteur de charge de pression devient:

$$H(pi) = \frac{144}{62.34} \times \frac{p(psi)}{GS}$$

ou

$$H(pi) = 2.31 \times \frac{p(psi)}{GS}$$

ou dans le système métrique

$$H(m) = 4.86 \times \frac{p(kPa)}{GS}$$