

Pompes centrifuges

DESCRIPTION D'UNE POMPE CENTRIFUGE SIMPLE

Les pompes centrifuges sont le type de pompe le plus répandu en raffinerie et usines chimiques. Leur fonction est d'assurer le débit de liquide souhaité par l'exploitant mais dans des conditions de pression imposées par les procédés et les applications, avec des contraintes particulières à l'installation, l'environnement, la fiabilité, la sûreté, etc.

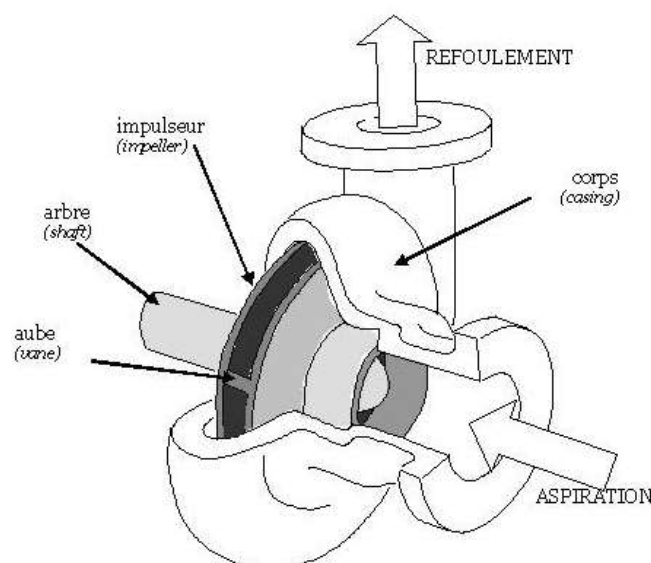
Les parties tournantes ou rotor composé de l'**arbre** sur lequel sont montés les **roulements**, l'**impulseur** (ou roue), le **moyen d'accouplement** et les pièces tournantes de la **garnitures mécaniques**.

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur (souvent nommée improprement turbine). C'est le type de pompe industrielle le plus répandu. Par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement

FONCTIONNEMENT D'UNE POMPE CENTRIFUGE

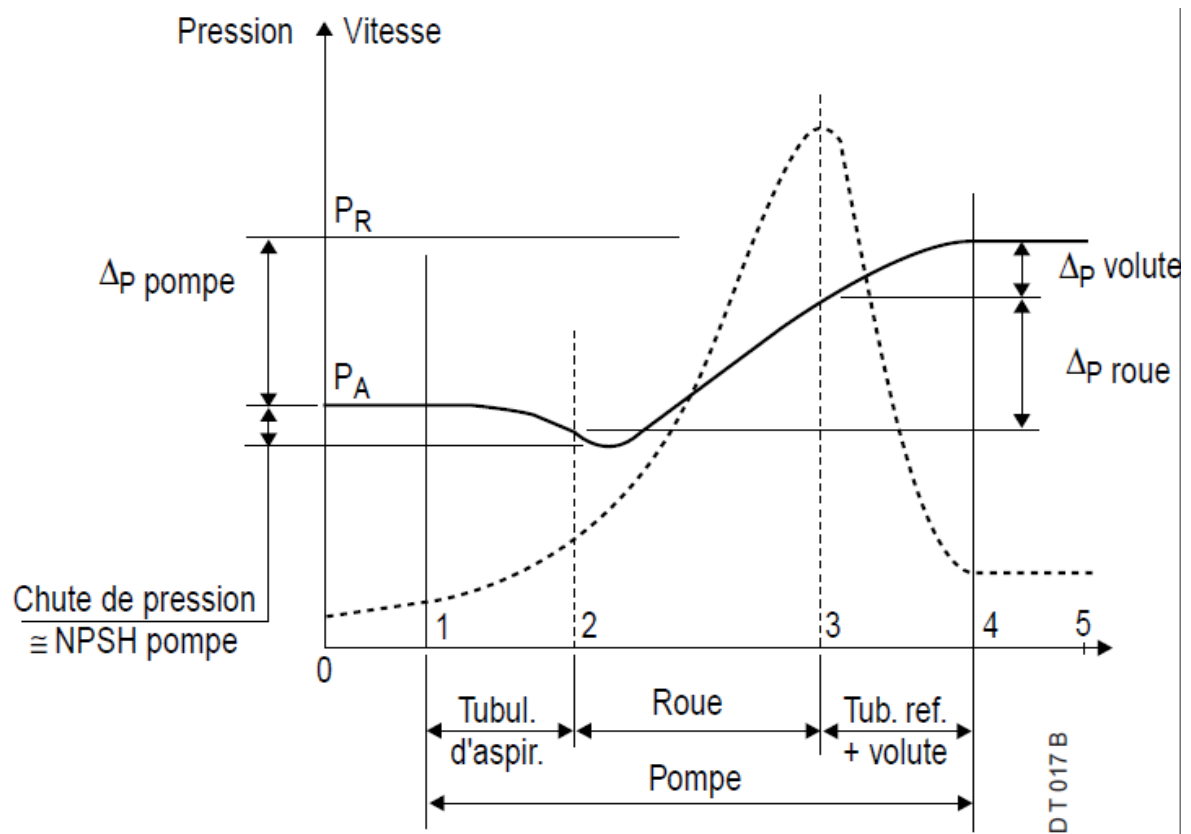
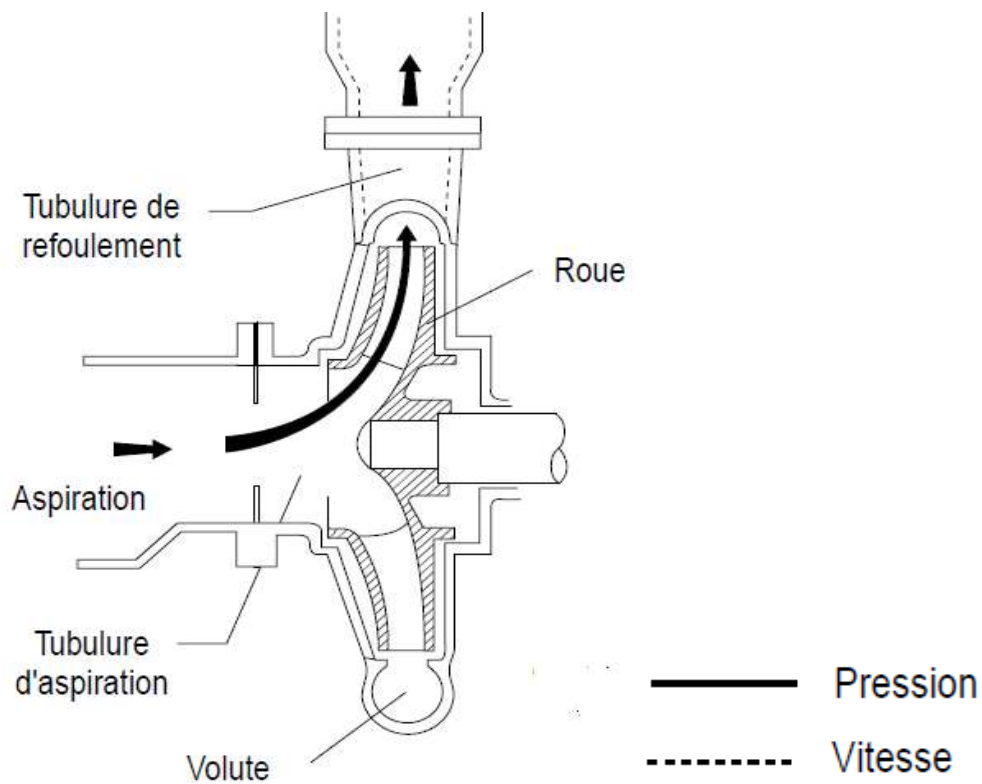
Parmi ces différentes pièces, l'**impulseur** et la **volute** sont celles qui sont directement impliquées dans la fonction de pompage de la machine. Au travers elles, se produisent les variations de vitesse et de la pression du liquide.

Le principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge repose sur l'effet de la force centrifuge grâce aux aubes de la roue. Celle-ci est placée dans le corps de la pompe qui possède généralement deux orifices, le premier pour l'aspiration dans l'axe de rotation et le second pour le refoulement perpendiculaire à l'axe de rotation. Le fluide pris entre deux aubes se trouve contraint de tourner avec la roue, la force centrifuge repousse alors la masse du liquide vers l'extérieur de la roue où la seule sortie possible sera l'orifice de refoulement. L'énergie fluide provient donc de la force centrifuge.



Pompe centrifuge

1- Evolution de la pression et de vitesse dans une pompe centrifuge



Mise en rotation du fluide

Le principe de base des pompes centrifuges repose sur la mise en rotation du fluide à pomper en le faisant circuler dans une **roue** tournant à une vitesse plus ou moins élevée (ω , en tr.mn^{-1}).

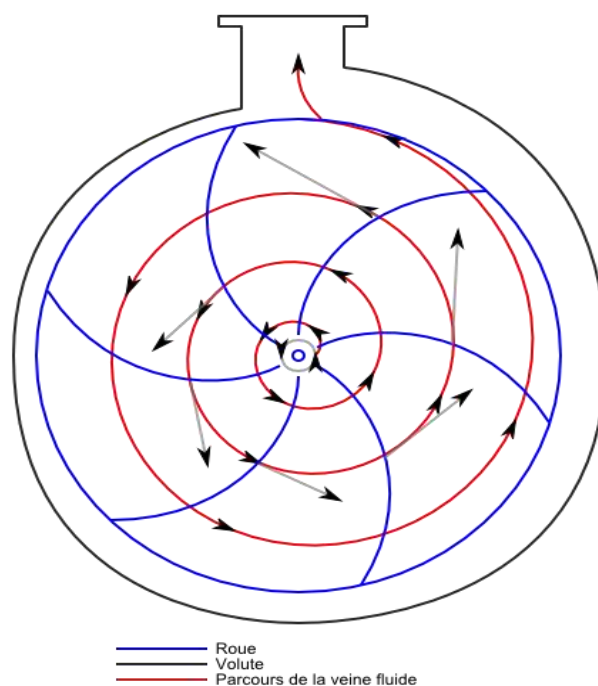
Le fluide est admis au centre de la roue avec une pression dite pression d'aspiration. Lors de sa mise en rotation et de son déplacement vers la périphérie de la roue, sa vitesse et son énergie cinétique augmentent. La pression dynamique qui en résulte augmente donc également d'un terme du type $\rho v^2/2$.

A la périphérie de la roue, le fluide est canalisé vers la tuyauterie de refoulement par le biais d'une **volute**, et son ralentissement transforme une partie de la pression dynamique acquise ($P_d = \rho v^2/2$) en pression statique (P_s , en pascal).

Certaines pompes disposent en plus d'un **diffuseur**, dont le but est de diriger les veines fluides vers la volute en minimisant les pertes de charge.

Pour être caractéristique de la pompe et indépendant du fluide pompé, le gain de pression dynamique fourni par la pompe centrifuge ($P_d = \rho v^2/2$) est en général exprimé en hauteur de fluide (mCL pour mètre de colonne de liquide) et nommé **HMT pour Hauteur Manométrique Totale**. Son expression est fonction du terme $v^2/2g$.

En considérant de façon grossière que la vitesse du fluide en sortie de roue est égale à la vitesse périphérique de la roue, la HMT peut alors être estimée grossièrement par le terme $(2 \pi R \omega)^2 / 2g$



Exemple d'estimation de la HMT d'une pompe centrifuge

Soit une roue tournant à $\omega = 3000 \text{ tr.mn}^{-1}$, et de diamètre $R = 100 \text{ mm}$.

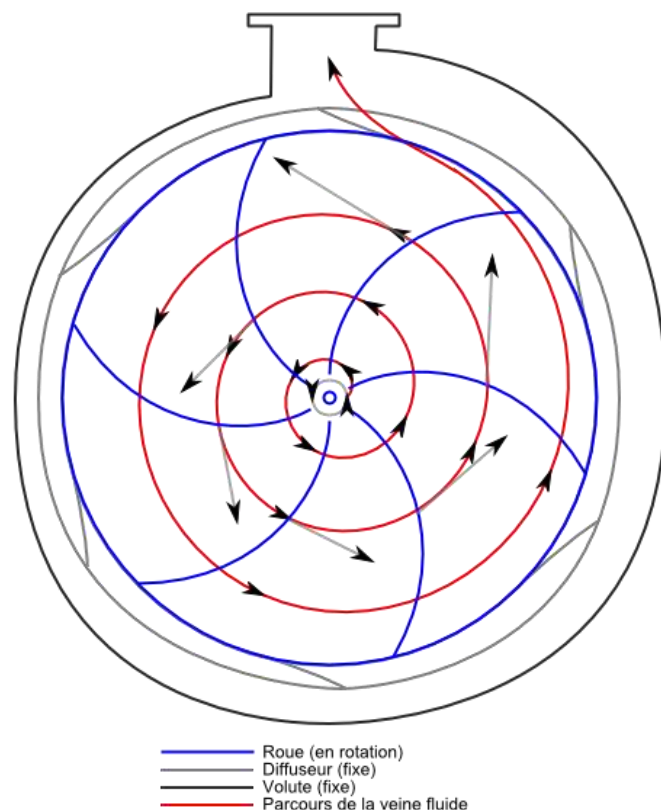
La vitesse périphérique de la roue est donnée par $v = 2 \pi R \omega = 2 \times 3.14 \times 0.100 \times 3000 / 60 = 31,4 \text{ m.s}^{-1}$.

En supposant que le fluide quitte la roue avec cette vitesse, son gain de pression dynamique est $\Delta P_d = \rho v^2 / 2$, il dépend donc de ρ . En le traduisant sous forme de HMT, on peut écrire:

$$\text{HMT} = v^2 / 2g = 31,4^2 / (2 \times 9.81) = 50 \text{ mCL}.$$

Bien évidemment, ce calcul de HMT est très théorique et en réalité, de nombreux phénomènes viennent réduire cette HMT. On peut citer:

- la différence entre vitesse du fluide en sortie de roue et la vitesse périphérique
- les pertes de charges entre l'aspiration et l'entrée de la roue
- les pertes de charge par frottement dans la roue
- les pertes de charges dans le diffuseur et la volute
- la non transformation d'une partie de la pression dynamique acquise en pression statique
- la recirculation d'une partie du débit en sortie de roue vers l'aspirati

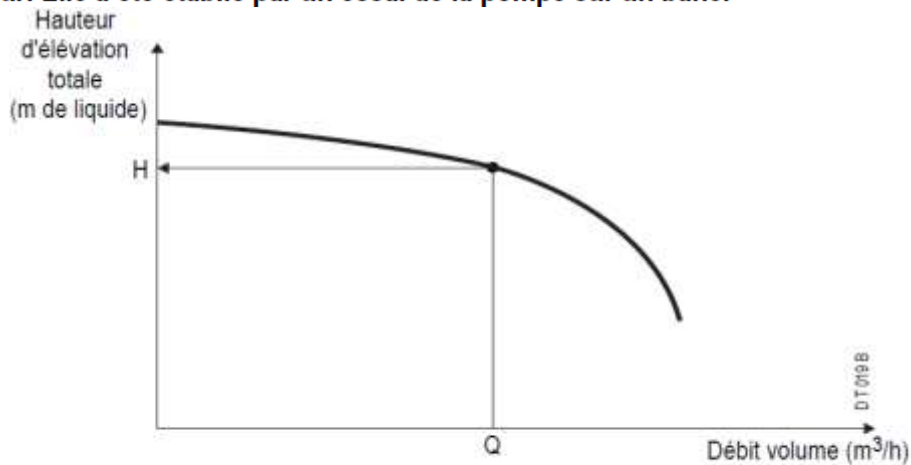


Son principe de fonctionnement est d'utiliser la force centrifuge créée par la rotation de la roue pour transmettre au liquide pompé l'énergie. Le liquide à l'aspiration de la pompe se dirige vers le centre de l'impulseur (rotor) en rotation d'où il sera propulsé radicalement vers l'extérieur par la force centrifuge. Cette vitesse est ensuite convertie en pression au niveau de diffuseur.

CARACTERISTIQUE DE LA POMPE

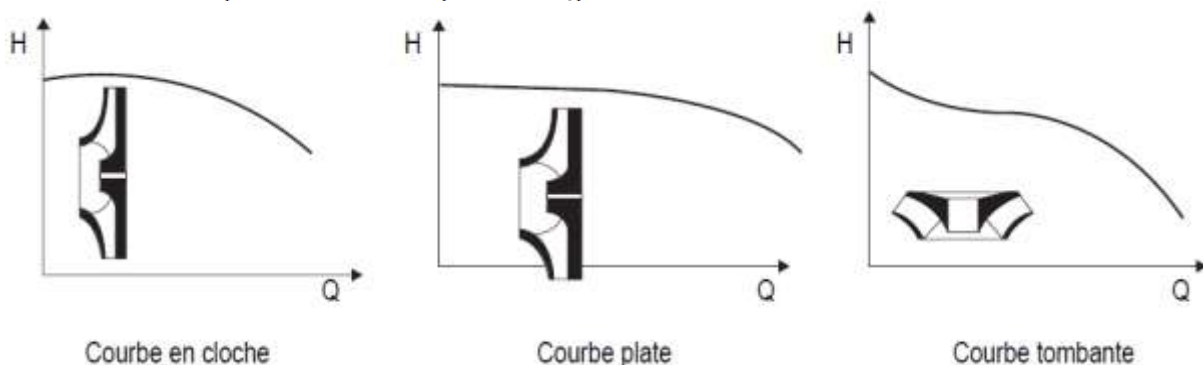
2- Variation de la hauteur d'élévation en fonction du débit :

La courbe représentant la variation de hauteur en fonction du débit s'appelle la **caractéristique "hauteur d'élévation" $H(Q)$ de la pompe**. Pour chaque pompe, une courbe est fournie par le constructeur. Elle a été établie par un essai de la pompe sur un banc.



– Courbe caractéristique hauteur d'élévation fonction du débit volume –

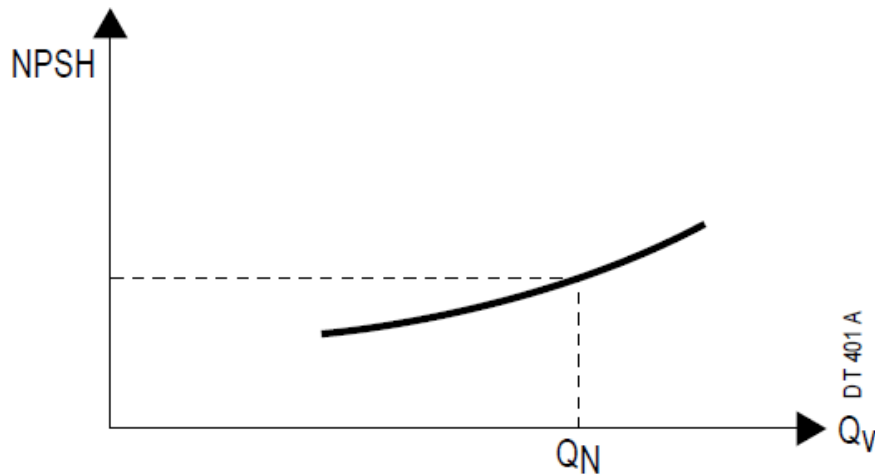
Selon le type de la pompe, son rôle, ses spécifications, la courbe caractéristique peut prendre diverses allures. Les formes de la roue, le nombre et l'inclinaison des aubages, la volute permettent au constructeur d'adapter la caractéristique aux exigences de l'utilisateur.



Les courbes les plus courantes dans les pompes procédé sont de type "plate" ou "en cloche".

• Le *NPSH requis*

Le constructeur de la machine doit également fournir la courbe de NPSH en fonction du débit. Celle-ci est généralement tracée entre 40 et 50 % et 100 à 110 % du débit nominal.



N.P.S.H.

Le **N.P.S.H.** (Net Positive Suction Head) représente pour une vitesse de rotation donnée, la pression absolue minimale que doit avoir l'eau à la bride d'entrée de la pompe pour éviter que ne se produise une cavitation.

Lors du pompage, le liquide situé à l'intérieur d'une pompe centrifuge ne possède pas une pression uniforme. Il s'y trouve notamment des zones présentant des dépressions plus ou moins accentuées.

Lorsque le liquide pompé est suffisamment proche de son point d'ébullition, il peut se produire que la pression en ces points tombe en deçà de sa tension de vapeur, de sorte qu'il se forme dans la pompe des bulles de vapeur. Lorsque ces bulles parviennent dans des zones où la pression remonte, elles implosent soudainement. L'implosion est accompagnée de bruit et, dans le cas où elle se produit au voisinage d'une paroi, elle est susceptible d'y occasionner des dégâts mécaniques en provoquant des microperforations du métal.

Lorsque ce phénomène se produit d'une manière suffisamment généralisée dans la masse du fluide, on dit que la pompe «cavite».

La cavitation est l'ennemi numéro un de la pompe centrifuge. C'est un phénomène bruyant, qui peut détruire une machine en quelques minutes.

Pour y remédier, il faut qu'une pression suffisante soit toujours assurée à l'aspiration de la pompe. Seul le constructeur de la machine est à même de déterminer par des tests le caractère suffisant ou non de la hauteur manométrique totale à l'aspiration.

Cette caractéristique essentielle de la machine s'appelle son NPSH (de l'anglais *Net Positive Suction Head*). On l'appelle « NPSH requis » de la pompe, qui doit toujours être inférieur au « NPSH disponible » de l'installation, qui dépend de la géométrie du circuit, du fluide, du réservoir en amont, etc. Pour une pompe donnée, le NPSH requis augmente avec le débit. Les constructeurs de machines donnent les courbes de NPSH requis en complément des courbes caractéristiques dont il a été fait mention plus haut.

La cavitation

On parle de phénomène de cavitation dans une pompe lorsque dans le liquide véhiculé, il y a apparition de cavités de vapeur si petites soient-elles.

Quand y a-t-il formation de cavités de vapeur ?

Lorsque la pression en un point arbitrairement choisi (en général l'oeillard de la roue) devient inférieure à la tension de vapeur du liquide.

C'est, pour une température donnée, la pression absolue en dessous de laquelle le liquide vaporise (passage liquide - vapeur).

Pourquoi la pression peut-elle devenir aussi basse ?

- Augmentation des pertes de charge sur l'aspiration
- Augmentation de la hauteur d'aspiration
- Aspiration dans une bache sous vide
- Charge insuffisante
- Augmentation de la température du liquide véhiculé

La cavitation, d'où cela peut-il provenir ?

Installation

- ☞ niveau de la bache à l'aspiration trop bas
- ☞ obstruction accidentelle sur le circuit d'aspiration
- ☞ augmentation imprévue de la température de l'eau
- ☞ ouverture non remarquée d'une vanne sur le refoulement augmentation accidentelle du débit

Pompe

Usure de la roue, Destruction des bagues d'étanchéité

Nota : une pompe peut caviter dans les petits débits

Traitements

-Vérifier les points précédemment énumérés et modifier celui ou ceux dont l'évolution a été néfaste.

-Une pompe peut fonctionner pendant un temps très court en cavitation.

-Il ne faut pas prolonger cet état de chose.

-La destruction est en général très rapide (fonction du matériau). Arrêter la machine

Les principales causes de défaillance des pompes sont la **cavitation** et la **surpression** dans le circuit.

La cavitation se produit généralement dans lorsque les conditions d'aspiration correcte ne sont pas remplies ; ou lorsque la vitesse de l'huile augmente à un tel point qu'elle crée une dépression.

La cavitation se remarque de façon sonore lorsque la pompe devient bruyante. Il faut intervenir rapidement pour éviter une détérioration prématurée.

Les causes sont : - vitesse de rotation élevée ; - mauvaise aspiration de l'huile ; - aspiration de l'air provoquant une émulsion de l'huile ; - viscosité de l'huile trop élevée.

Nota: La cavitation par émulsion est le résultat d'une entrée d'air dans le circuit (raccord défectueux,...). On observe alors une formation de mousse sur le niveau d'huile et le bruit de la pompe augmentant progressivement. Cette émulsion est très longue à se dissiper dans le réservoir et on sera amené à remplacer le fluide

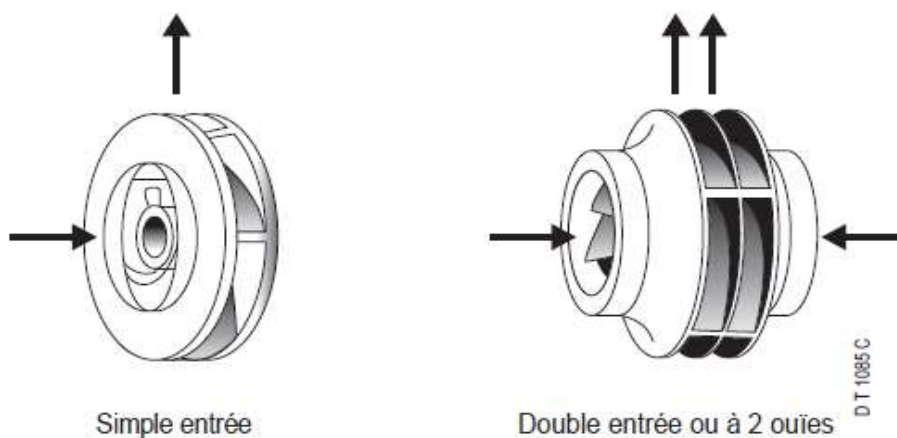
Cavitation = formations de cavités remplies de vapeur ou gaz dans un liquide en mouvement

Ce mot décrit un phénomène complexe pouvant exister dans une installation de pompage.

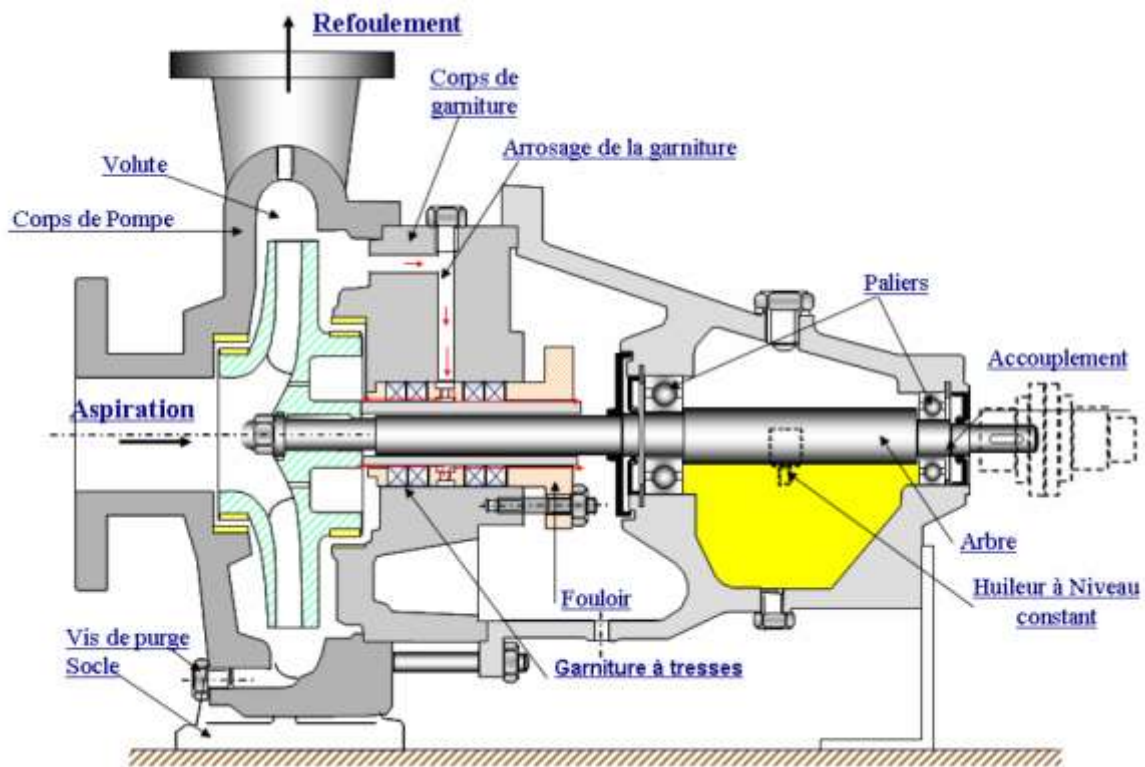
Cas d'une pompe centrifuge : quand un liquide coule dans un tuyau d'aspiration et qu'il entre dans l'œil de l'impulseur, sa vitesse augmente ce qui amène une réduction de pression. Si cette pression descend en dessous de la tension de vapeur correspondant à la température du liquide, celui-ci va se vaporiser et le courant qui s'écoule consistera à la fois de liquides et de poches de vapeur. Continuant son mouvement dans l'impulseur, le liquide arrive à une zone de pression plus élevée et les cavités de vapeur disparaissent. C'est cette disparition de poches de vapeur qui cause le bruit relié à la cavitation.

La cavitation peut varier de très légère à très forte : dans le premier cas le seul effet est une baisse de l'efficacité ; dans le deuxième cas, une forte cavitation est très bruyante et peut briser l'impulseur de la pompe ou d'autres parties (voir photos) .

Photos illustrant le phénomène de cavitation sur des aubes de pompe centrifuge



Formes des roues



Coupe d'une Pompe centrifuge monocellulaire

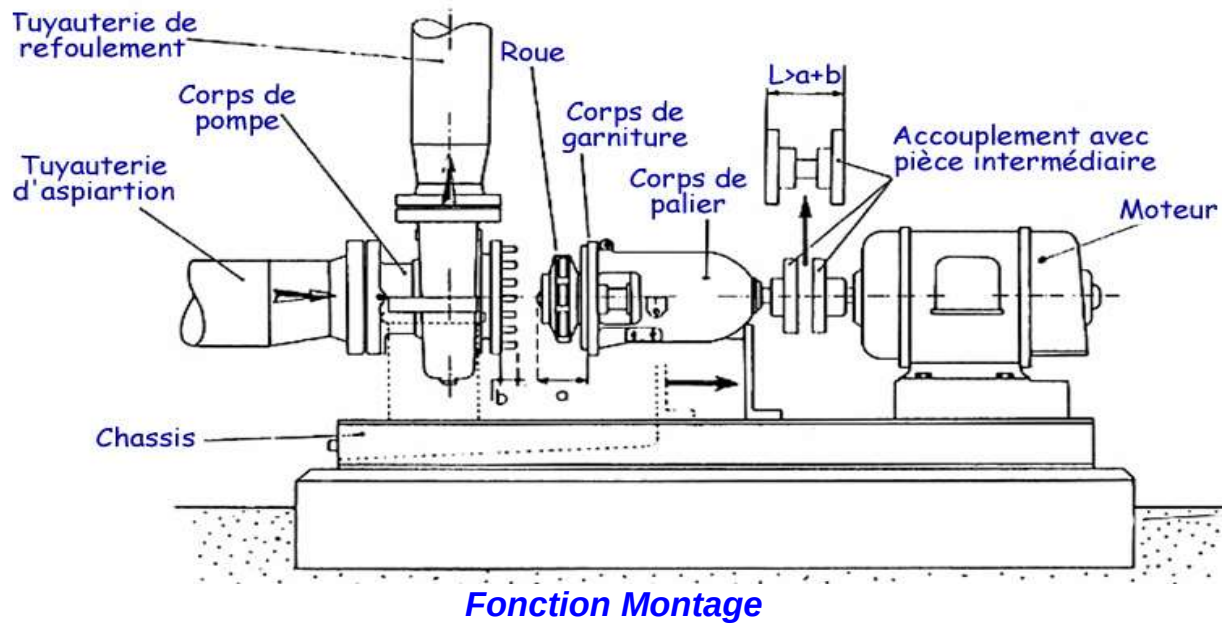
Fonction Montage

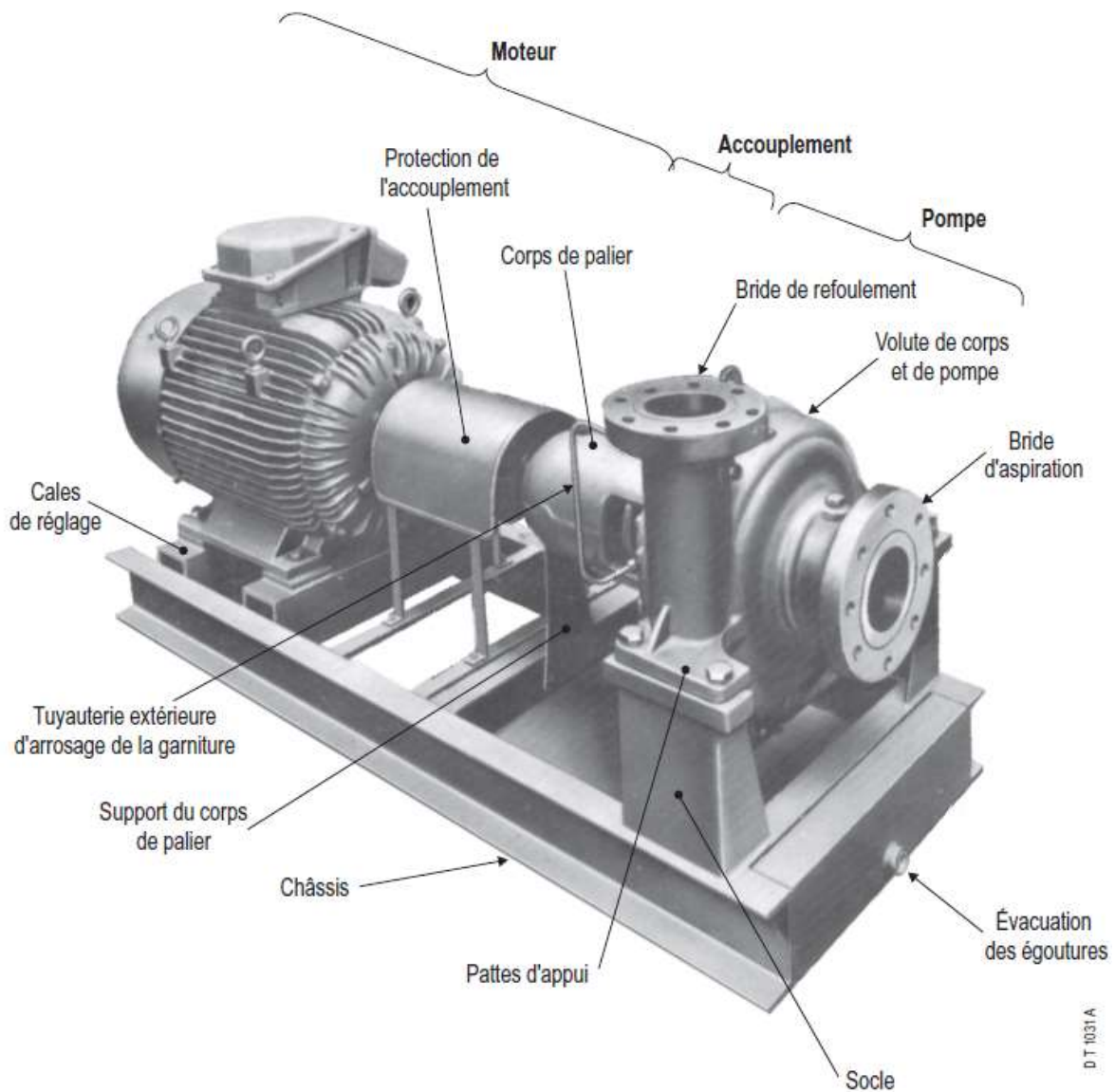
Le démontage de la pompe pour visite de l'impulseur, réparation de la garniture ou des roulements doit être possible sans démontage des tuyauteries d'aspiration et de refoulement. Pour cette raison, la pompe est divisée en deux parties :

Le **mobile** étant en réparation, on procède à la pose de joint plein sur le corps de pompe ou au niveau des brides d'aspiration et de refoulement pour se protéger de toute fuite des vannes de sectionnement.

Le **mobile** est composé du corps de la garniture et du corps de palier et du rotor. Une fois la pièce intermédiaire de l'accouplement retirée, on peut faire coulisser l'ensemble mobile sans toucher aux tuyauteries principales.

Le **corps de pompe**, là se montent les tuyauteries d'aspiration et de refoulement. Il reste normalement fixé au socle lorsqu'une réparation est à effectuer sur les pièces tournantes.





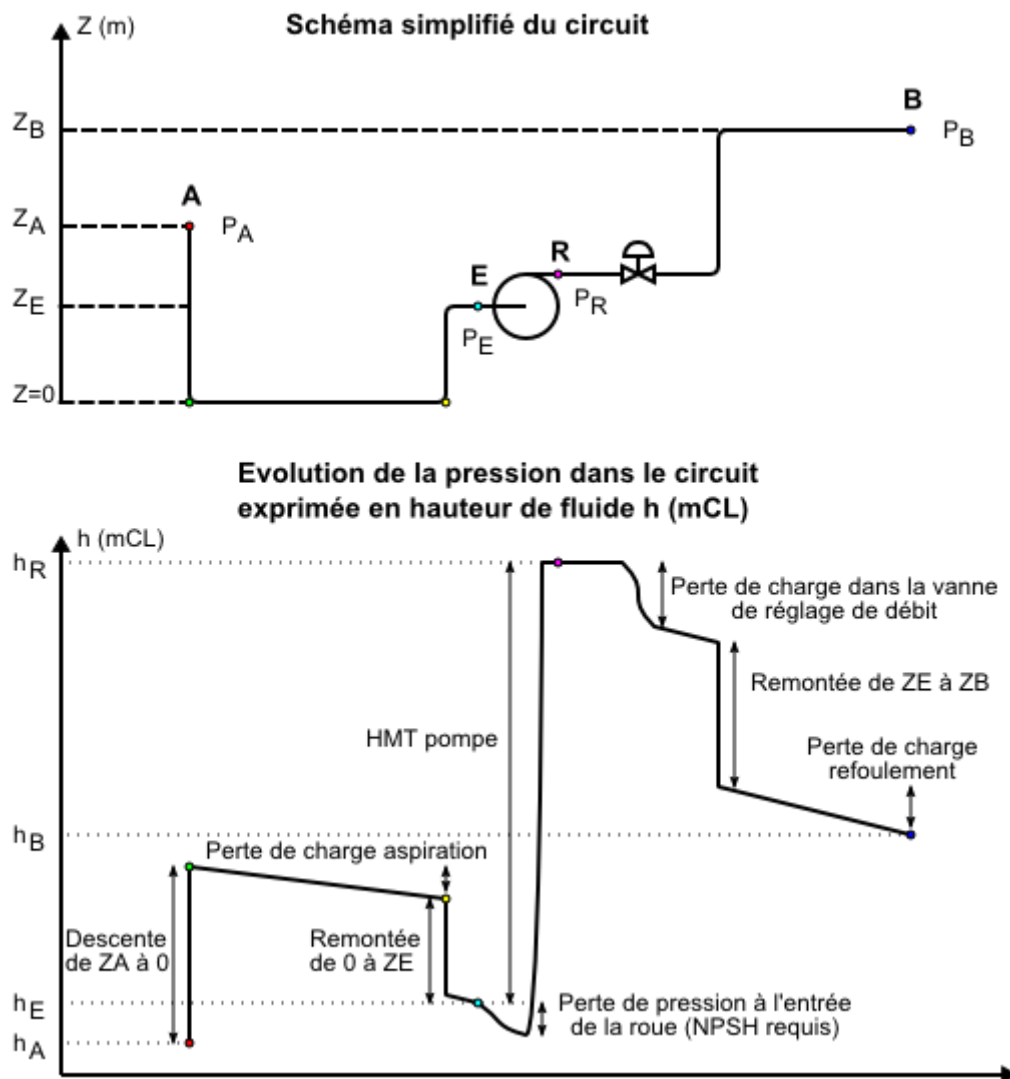
Présentation extérieure d'une pompe centrifuge moonoétagée

Cours pompe centrifuge: courbe caractéristiques HMT fonction du débit volumique

Une pompe centrifuge a pour vocation de pomper un fluide d'un point A, nommé aspiration (bac d'aspiration par exemple), à un point B, nommé refoulement (colonne, autre...). Les différentes contraintes de cette opération sont de:

- démarrer la pompe qui doit pomper le liquide (voir amorçage)
- régler un débit de fluide choisi

- vaincre la différence de pression statique entre A et B
- vaincre la différence de hauteur (élévation) entre A et B
- donner une vitesse de circulation au fluide
- vaincre les pertes de charge par frottement entre A et B
- maintenir une pression suffisante au point E pour éviter la vaporisation du fluide pompé à l'entrée de la pompe (voir cavitation).



Remarque: parfois lors de l'étude de la pompe seule, les points A et/ou B considérés sont les brides d'aspiration et de refoulement de la pompe. Nous prenons ici le cas général où A et B sont séparés de la pompe par des ensembles de tuyauteries, des dénivellations, et où les pressions en A et B sont imposées et/ou connues.

Réglage du débit d'une pompe centrifuge

Pour régler le débit d'une pompe centrifuge, on utilise souvent une vanne de réglage située au voisinage du refoulement de la pompe. En effet, une vanne située à l'aspiration provoquerait une baisse de pression en E et un risque de cavitation ($NPSH_{dispo} < NPSH_{requis}$).

Une autre méthode de réglage utilisable est de faire varier la vitesse de rotation de la roue de la pompe (à l'aide d'un variateur de vitesse du moteur électrique, ou par réglage de la turbine d'entraînement). Dans ce cas il n'y a plus besoin d'avoir une vanne au refoulement, ce qui est plus économique d'un point de vue énergétique.

HMT requise pour un circuit et un débit donné

La HMT requise pour un circuit et un débit donné correspond à l'énergie (en Joule par m³ de fluide, unité équivalente au Pascal Pa) pour vaincre les forces de pression entre A et B, pour élever le fluide de A à B, pour vaincre les pertes de charge par frottement entre A et B (notées $J_{f,A \rightarrow B}$), y compris celles correspondant à une vanne de réglage éventuelle (notée J_{vanne}), et pour accroître éventuellement la vitesse du fluide entre A et B.

Ceci se traduit, en mCL, par l'équation de Bernoulli généralisée suivante:

$$P_A/\rho g + Z_A + v_A^2/2g + HMT = P_B/\rho g + Z_B + v_B^2/2g + J_{f,A \rightarrow E} + J_{f,R \rightarrow B} + J_{vanne}$$

En transposant, on obtient la HMT de la pompe par la formule:

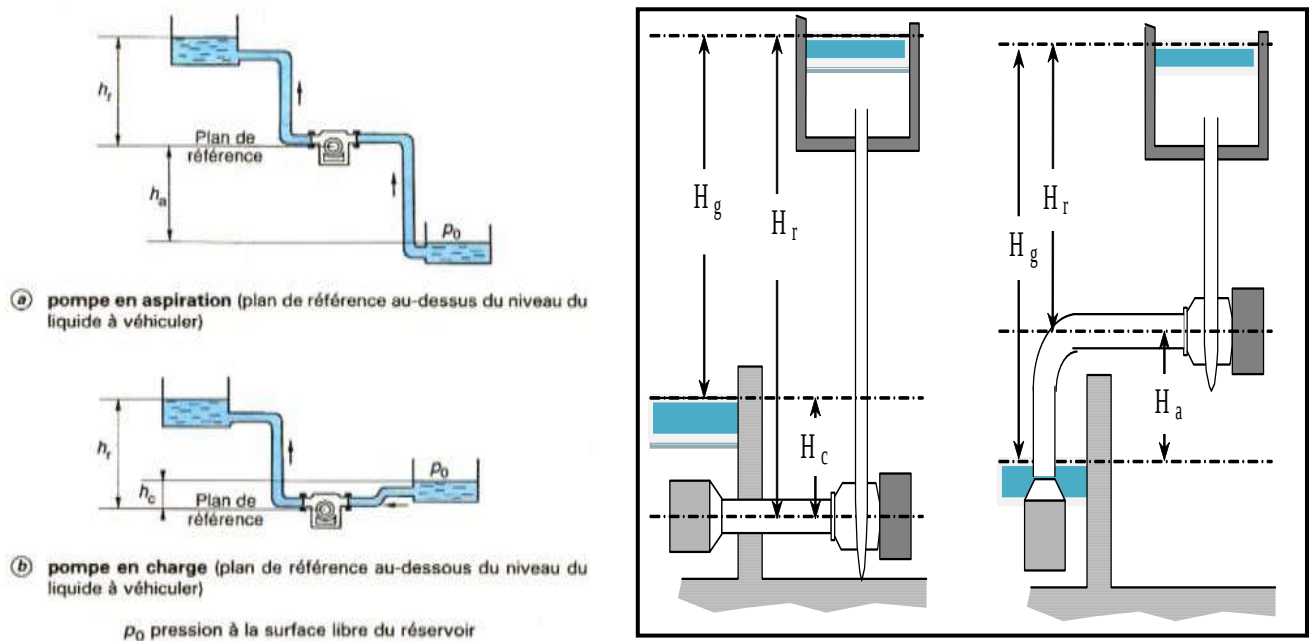
$$HMT = (P_A - P_B)/\rho g + Z_B - Z_A + (v_B^2 - v_A^2)/2g + J_{f,A \rightarrow E} + J_{f,R \rightarrow B} + J_{vanne}$$

La HMT est donc la somme des termes de variation de pression (sur ρg), d'élévation, de variation du carré de la vitesse sur $2g$, et des pertes de charges totales du circuit au débit retenu.

Remarque: dans de nombreux exercices, on ne tient pas compte de la vanne de réglage

On appelle plan de référence d'une pompe **le plan horizontal de rotation** ou, dans le cas d'une pompe à axe vertical, le plan horizontal passant par l'entrée de l'ouïe de la première roue (dans les cas différents, le constructeur précise sa définition du plan de référence).

Aspiration en charge Asp. en dépressions (vide)



On appelle hauteur géométrique d'aspiration **H_a** , la distance verticale entre le plan de référence de la pompe et le niveau le plus bas de la prise d'eau.

On appelle hauteur géométrique de charge **H_c** , la distance verticale entre le niveau dans la prise d'eau et le plan de référence.

On appelle hauteur géométrique **H_g , totale** de refoulement la distance verticale entre le plan d'eau de la prise et le niveau dans le réservoir de refoulement :

$$H_{gt} = H_a + H_r$$

$$H_{gt} = H_r - H_c$$

On appelle hauteur manométrique totale d'élévation, H_t , l'équivalent en hauteur d'eau de l'énergie fournie par la pompe au liquide. Si J représente l'ensemble des pertes de charges dans le liquide on a :

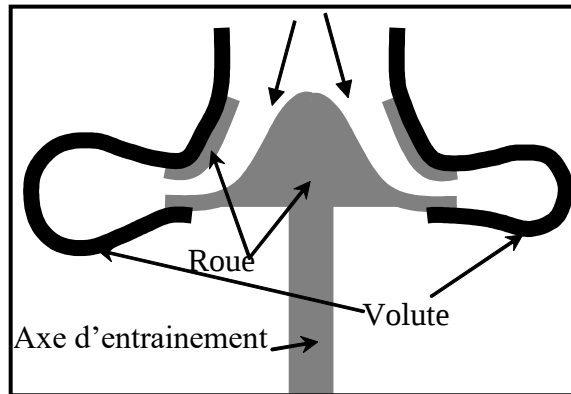
$$H_{Mt} = H_r + H_a + J$$

$$H_{Mt} = H_r - H_c + J$$

En général les termes de vitesse $\frac{u^2}{2g}$ sont négligeables.

Pompes mono- et multi-cellulaires

- ☞ Une **pompe monocellulaire** ne comporte donc qu'**une seule roue**, les canaux de retour deviennent inutiles. En fait, le rôle des diffuseurs et des canaux de retour est joué par un seul élément : la volute. Cette volute a une section croissante depuis son origine jusqu'à la sortie. Mais le débit transitant dans la volute va en augmentant si bien que la vitesse y demeure sensiblement constante.



- ☞ Une **pompe centrifuge multicellulaire** comporte plusieurs roues clavetées sur un même arbre d'entraînement. Chaque cellule, ou étage, comporte les éléments décrits précédemment : c'est à dire une **turbine**, un **diffuseur** et des **canaux de retour** qui ramènent l'eau à l'entrée de la turbine suivante.

On fait appel aux pompes multicellulaires lorsque la hauteur de refoulement est telle qu'elle conduirait pour une pompe monocellulaire, à des dimensions trop importantes pour la construction. On utilise également les pompes multicellulaires lorsque des raisons d'encombrement limitent le diamètre extérieur de la roue, et par conséquent, la hauteur de relèvement de chaque étage.

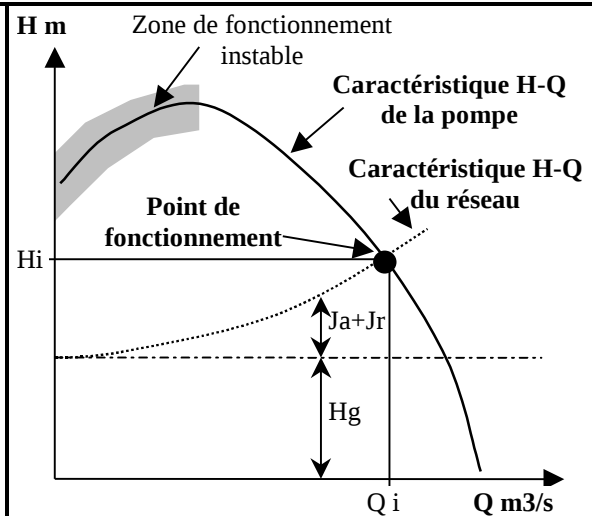
Point de fonctionnement

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

$$H_t = H_g + J_a + J_r$$

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

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



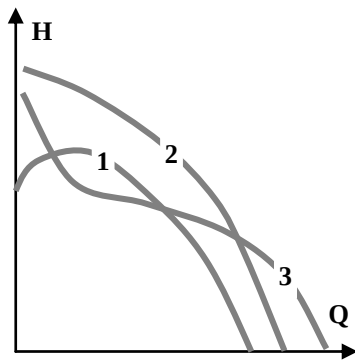
Les courbes principales établies par le constructeur et qui caractérisent une pompe sont au nombre de quatre :

1. Courbe débit – hauteur (Q, H) ;
2. Courbe de rendement (Q, R) ;
3. Courbe de puissance (Q, P) ;
4. Courbe du NPSH requis ($Q, NPSH$).

Les courbes principales établies par le technicien (utilisateur de la pompe) et qui caractérisent l'installation sont au nombre de deux:

1. Courbe débit – perte de charge (caractéristique de la conduite ou du réseau de conduites)
2. Courbe du NPSH disponible

a-Courbe débit-hauteur (q, H_t) :



Cette courbe donne la relation entre le débit Q et la hauteur manométrique totale d'élévation de la pompe. Cette caractéristique dépend évidemment de la vitesse de rotation de la pompe.

Cette courbe présente généralement l'allure d'une parabole (1 et 2). Pour les roues à écoulement radial, la caractéristique peut être du type 1 ou du type 2.

Dans le type 1 le point à vanne fermée ($Q = 0$) est inférieur au point où H est maximum ; ceci conduit à des difficultés d'emploi (instabilités) au niveau du débit correspondant à H max., et surtout dans le cas où l'on doit placer des pompes de ce type en parallèle.

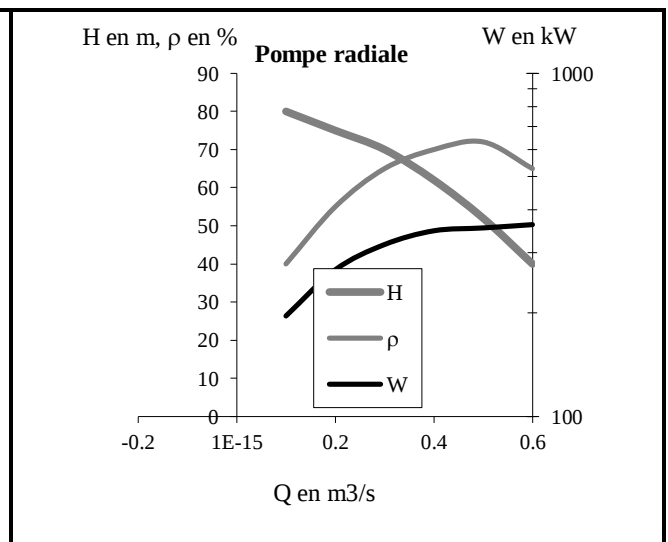
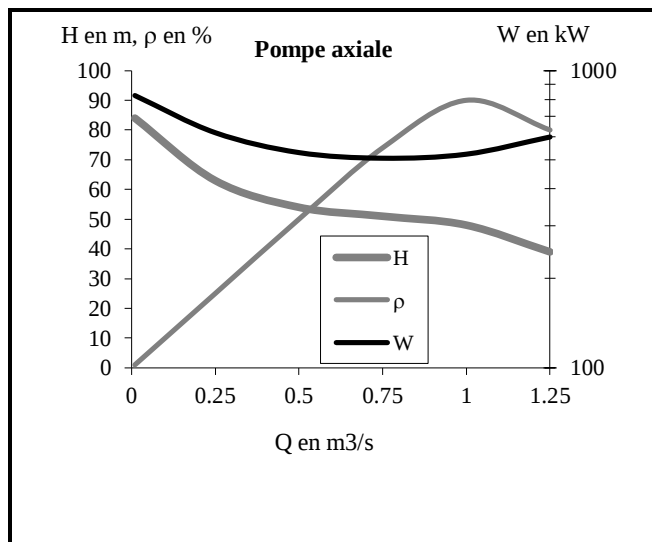
Pour les roues à écoulement semi-axial, la caractéristique est toujours plongeante (type 2). Enfin, pour les pompes hélices, la caractéristique prend la forme particulière de la courbe 3.

b-Courbe de rendement (Q, r)

La courbe de rendement (Q, R) présente un maximum pour le point HQ pour lequel ont été calculés les angles d'entrée et de sortie des aubages. Suivant la vitesse de rotation de la pompe, la caractéristique QH se déplace et on peut porter dans le plan (Q, H) les courbes iso rendement. Pour le point à vanne fermée, le rendement est nul.

c-Courbe des puissances absorbées (Q, P)

Cette courbe a généralement l'allure parabolique de la courbe de droite, mais dans le cas des pompes axiales, la puissance absorbée vanne fermée peut être supérieure à celle absorbée en service.



Dans la pratique les caractéristiques d'une pompe sont tracées après un essai où l'on mesure Q, H et P , ρ est calculé ensuite à partir de ces éléments.

I. Caractéristiques générales des pompes centrifuges.

Une **pompe centrifuge** est une machine tournante destinée à communiquer au liquide pompé une énergie suffisante pour provoquer son déplacement dans un réseau hydraulique comportant en général une hauteur géométrique d'élévation de niveau (Z), une augmentation de pression (p) et toujours des pertes de charges.

Une pompe centrifuge est constituée principalement par une roue à **ailettes ou aubes** (rotor) qui tourne à l'intérieur d'un carter étanche appelé **corps de pompe**.

Pour améliorer le rendement de la pompe, on peut intercaler entre le rotor et la volute une roue fixe appelée diffuseur qui est munie d'aubes de courbure convenable.

Le calcul des pompes centrifuges s'effectue par *l'analyse dimensionnelle* et par le *théorème d'Euler*.

b) Hauteur manométrique :

On appelle **Hauteur manométrique** H d'une pompe, l'énergie fournie par la pompe à l'unité de poids du liquide qui la traverse. Si H_{TA} est la charge totale du fluide à l'orifice d'aspiration et H_{TR} la charge totale du fluide à l'orifice de refoulement, la hauteur manométrique de la pompe est : $H = H_{TA} - H_{TR}$

La hauteur varie avec le débit et est représentée par la **courbe caractéristique** $H = f(q_v)$ de la pompe considérée.

c) Rendement :

Le **rendement** η d'une pompe est le rapport de la puissance utile P (puissance hydraulique) communiquée au liquide pompé à la puissance absorbée P_a par la pompe (en bout d'arbre) ou par le groupe (aux bornes du moteur). Si q_v est le débit volume du fluide, ρ sa masse volumique et H la hauteur manométrique de la pompe, la **puissance P et le rendement η sont donnés par :**

$$P = q_v \rho g H$$
$$\eta = \frac{q_v \rho g H}{P_a}$$

Le rendement de la pompe varie avec le débit et passe par un maximum pour le débit nominal autour duquel la pompe doit être utilisée.

d) Limitation de la hauteur manométrique d'aspiration – NPSH - Cavitation

Le critère qui sert à définir la pression nécessaire à l'aspiration pour obtenir un bon fonctionnement de la pompe, c'est à dire pour maintenir en tout point du fluide une pression supérieure à la pression de vapeur saturante, est le « **NPSH** » (sigle de l'abréviation anglo-saxonne de « Net Positive Suction Head » over vapour pressure).

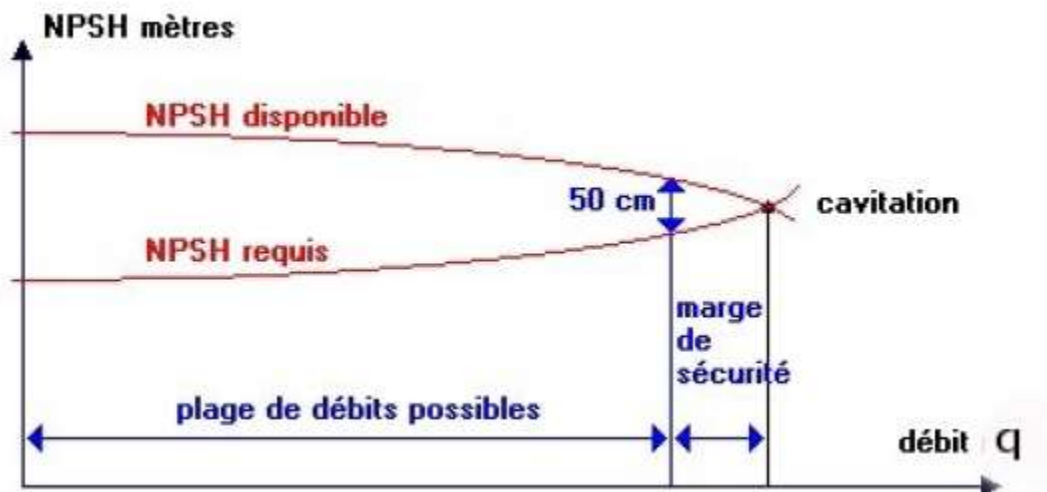
Cette caractéristique, donnée par le constructeur est qualifiée de « **NPSH requis** ». Elle tient compte en particulier de la chute de pression que subit le fluide lors de son accélération à l'entrée de la roue.

La pompe ne fonctionnera correctement que si la pression totale à l'entrée p_A est supérieure à la somme $p^\circ + \text{NPSH requis}$. On appelle « **NPSH disponible** » la différence entre la pression totale à l'entrée et la pression de vapeur saturante :

Pour qu'une pompe fonctionne normalement (sans cavitation), il faut que le **NPSH disponible** (calculé) soit supérieur au **NPSH requis** (indiqué par le constructeur).

NPSH disponible > NPSH requis

Les conditions d'aspiration sont d'autant meilleures que la différence entre les deux est grande.



La cavitation est la vaporisation du liquide contenu dans la pompe quand il est soumis à une pression inférieure à la tension de vapeur correspondant à sa température.

Ce phénomène se produit à l'orifice d'aspiration de la pompe ; des bulles apparaissent dans les zones où la pression est la plus faible (entrée des aubes de roue des pompes centrifuges) : elles sont transportées dans les zones de pressions plus fortes où se produit leur recondensation. Des implosions se produisent alors à des fréquences élevées et créent des surpressions locales très élevées (jusqu'à des centaines de bars)

La cavitation est un phénomène à éviter absolument, car il entraîne de graves conséquences:
érosion du matériau pouvant aller jusqu'au perçage des aubes de turbine des pompes centrifuges
augmentation du bruit et des vibrations générés par la pompe
chute des performances des pompes avec diminution importante de la hauteur manométrique totale, du débit et du rendement.

$$P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa} \quad \text{et} \quad 1 \text{ mCe} = 9810 \text{ Pa} \quad \text{donc} \quad P_{\text{atm}} = 10,33 \text{ mCe}$$

Marche en série et Marche en Parallèle

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

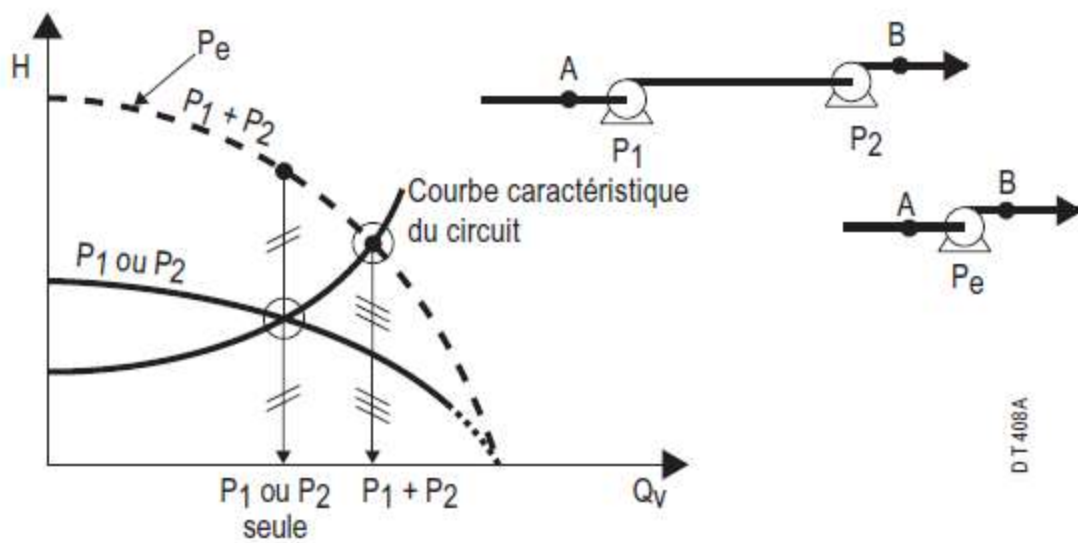
a - Marche en série

Cette disposition se rencontre notamment :

- sur les pipelines où les stations de pompage sont réparties
- sur le circuit de charge de colonne à distiller composée généralement de 2 pompes en série
- sur les installations de pompage équipées d'une pompe "booster" servant à mettre sous pression l'aspiration de la pompe principale

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

La caractéristique de la pompe équivalente à 2 pompes en série est la suivante:



b - Marche en parallèle

Cette disposition est très courante car de nombreuses pompes sont doublées. Même si en principe elles ne fonctionnent pas simultanément, dans certaines phases d'exploitation cette marche en parallèle est utilisée : inversion de pompe, besoin de débit important.

La différence de pression entre A et B est la même pour les 2 pompes. Le débit total est la somme du débit de chaque pompe.

La caractéristique de la pompe équivalente à 2 pompes en parallèle est établie de la façon suivante.

