

L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE

1. Introduction

A la surface de la terre, tout corps solide ou liquide est soumis à une pression appelée pression atmosphérique, due à l'attraction gravitationnelle. Pour distribuer un fluide, il faut le déplacer, et donc l'élever par rapport au niveau de puisage. Il faut donc remonter le fluide par un moyen artificiel, c'est le pompage.



Fly Geyser - Black Rock Desert - Nevada

2. Les grandeurs essentielles

2.1. Le débit

Noté **Q**, c'est le volume de fluide refoulé par une pompe en un temps donné. Ce volume s'exprime en mètres cube par seconde (**m³/s**) :

$$\Rightarrow Q = \frac{V}{t}$$

Avec : **Q** : débit en m³/s
V : volume en m³
t : temps en s

Si le volume **V** circule dans une canalisation circulaire de section **S** et de longueur **L**, alors **Q** peut s'écrire :

$$\Rightarrow Q = \frac{S \times L}{t}$$

Avec : **Q** : débit en m³/s
S : section en m²
L : longueur en m
t : temps en s

Or, une distance **L** divisée par un temps **t** donne la vitesse **v** d'écoulement du fluide dans la canalisation. On obtient alors :

$$\Rightarrow Q = S \times v$$

Avec : **Q** : débit en m³/s
S : section en m²
v : vitesse en m/s

Remarque : Les hydrauliciens, en désignant un débit, préfère parler de mètres cube par heure (**m³/h**) car c'est une unité plus « parlante » que le mètre cube par seconde (**m³/s**).

2.2. La pression

Soit F une force s'exerçant uniformément sur une surface plane et perpendiculairement à celle-ci, et S l'aire de cette surface. Notée p , la pression vaut :

$$\Rightarrow p = \frac{F}{S}$$

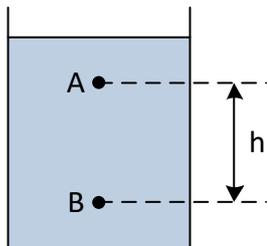
Avec : p : pression en pascal (Pa)
 F : force en newton (N)
 S : surface en m^2

Remarque : Le pascal est une unité très petite qui n'est pratiquement pas utilisée dans l'industrie. On lui préfère le bar. Le pascal est la pression exercée par une force de 1 N sur 1 m^2 . Le bar est la pression exercée par une force de 100 000 N (10^5 N) sur une surface de 1 m^2 :

$$\Rightarrow 1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa}$$

2.3. Principe de l'hydrostatique - Hauteur de colonne d'eau

La différence de pression entre deux points d'un fluide au repos est donnée par :



$$\Rightarrow p_A - p_B = \rho \cdot g \cdot h$$

Avec : p : pression en Pa
 ρ : masse volumique du fluide en kg/m^3
 g : accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$)
 h : différence de hauteur en m

Cette relation montre que pour un fluide donné, au repos, la pression varie uniquement en fonction de la hauteur de la colonne de fluide. Pour cette raison, les hydrauliciens expriment souvent les pressions directement en **mètres de colonne d'eau (mce)**, en se servant de l'équivalence suivante :

$$\Rightarrow 1 \text{ bar} \approx 10,2 \text{ mce}$$

Remarque : Cette équivalence est utilisée bien qu'elle dépende de la pression atmosphérique et de la masse volumique de l'eau, elle-même dépendant de la température.

2.4. Les pertes de charge

Lorsqu'un liquide circule à l'intérieur d'une canalisation, il subit des frottements et des contraintes qui entraînent des chutes de pression appelées **pertes de charge**. Ces pertes s'expriment généralement en mètres de colonne d'eau (**mce**).

On distingue deux types de pertes de charges :

- Les pertes de charges **linéaires**, qui agissent sur toute la longueur d'une canalisation.
- Les pertes de charges **singulières**, qui se concentrent au niveau des accidents de parcours (coudes, vannes, clapets...). La règle générale est d'attribuer une valeur de **2 mce** par éléments perturbateurs.

2.5. Le coup de bélier

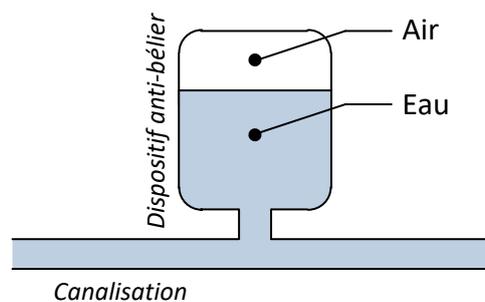
L'arrêt brusque de la circulation d'un fluide dans une canalisation produit une surpression nommée coup de bélier.

En effet, juste avant l'arrêt de l'écoulement, la totalité du liquide circule dans la conduite à une vitesse uniforme. Mais au moment précis de l'arrêt, toute cette masse de liquide en mouvement continue à se déplacer, créant au voisinage de la pompe, une baisse de pression. Cette dernière donne naissance à une onde de dépression qui parcourt toute la longueur de la canalisation à la vitesse du son pour revenir sous la forme d'une onde de pression destructrice.

Les causes d'un coup de bélier sont généralement :

- l'arrêt brutal d'une pompe
- la fermeture brusque d'une vanne

Pour limiter ses effets, on utilise des dispositifs **anti-bélier** assez similaires aux vases d'expansion des circuits de chauffage central :



Le principe est que l'air, en se comprimant, va encaisser le coup de bélier, protégeant ainsi les conduites et les pompes. Cela permet d'éviter les éclatements de conduites d'une part, et de réaliser d'autre part des économies résultant de canalisations qui n'ont pas besoin d'être surdimensionnées.

Anti-béliers domestiques :



Anti-bélier à membrane



Anti-bélier en ligne



Anti-bélier à ressort

Anti-bélier forte pression :



Réservoir hydro-pneumatique à vessie de 4m³ 25/37,5 bar en protection anti-bélier sur une station de pompage

3. Différents types de pompes

On distingue deux groupes de pompes :

- Les pompes manuelles.
- Les pompes entraînées par un moteur : on parle alors de **groupe motopompe** ou encore de **groupe électropompe** dans le cas de moteur électrique.

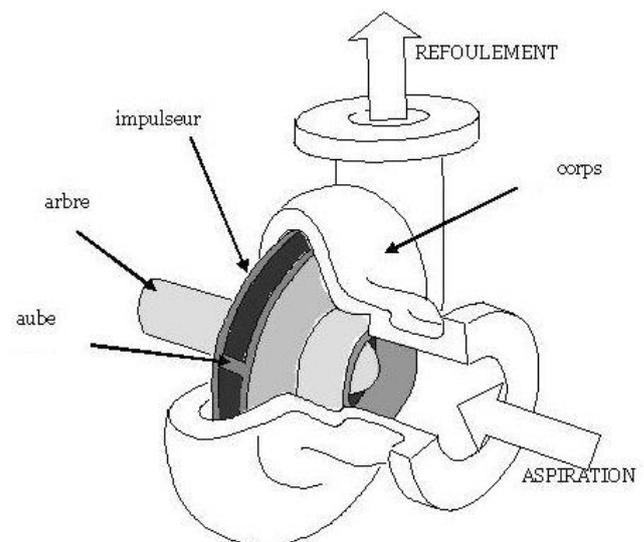
Quel que soit leur type d'entraînement, on classe ensuite les pompes selon leur mode d'action sur le fluide. Les deux principaux types de pompes sont :

- Les pompes **centrifuges** (les plus répandues) : c'est la vitesse d'entraînement qui permet d'obtenir des hauteurs de refoulement importantes. Elles sont donc surtout utilisées dans les stations de pompage pour élever l'eau d'un point à un autre.
- Les pompes **volumétriques** : ces pompes sont surtout utilisées pour fournir de gros débits, pour transférer un liquide d'un point à un autre sans l'élever.

La pompe centrifuge

Son fonctionnement est basé sur la rotation d'une roue à ailettes, aussi appelée **turbine**, qui tourne à grande vitesse dans un logement appelé **volute**, dont la forme rappelle celle d'une coquille d'escargot.

Si l'on introduit de l'eau dans le corps de la pompe à proximité de l'axe de la roue, l'eau va être entraînée, se mettre à tourner et se faire éjecter dans le volute par la force centrifuge. L'eau va alors traverser la pompe et être refoulée à l'extérieur. Ce mouvement crée une dépression à l'intérieur de la pompe et va ainsi entretenir la circulation du fluide.



Lorsque les performances attendues le justifient, plutôt que d'augmenter la taille de la roue (problèmes mécaniques, de coût...), on place plusieurs turbines en série sur un même axe : on parle alors de **pompe centrifuge multicellulaire**.

Les pompes centrifuges sont les plus répandues car elles possèdent de nombreux avantages :

- gamme de performances très étendues,
- simplicité, fiabilité, faible coût,
- encombrement réduit,
- fonctionnement souple et relativement silencieux,
- aucun danger de surpression à l'intérieur de la pompe même si l'orifice de sortie est obstrué.

4. Les puissances

4.1. La puissance hydraulique

Un fluide s'écoulant avec un débit Q , sous une pression p , transporte une puissance hydraulique P donnée par :

$$\Rightarrow P = p \times Q$$

Avec : P : puissance en W
 p : pression en Pa
 Q : débit en m³/s

Compte tenu des unités généralement employées au niveau industriel, on rencontrera le plus souvent la relation suivante :

$$\Rightarrow P = p \times Q \times \frac{1000}{36}$$

Avec : P : puissance en W
 p : pression en bar
 Q : débit en m³/h

Dans les deux cas, attention à employer les bonnes unités.

4.2. La puissance fournie par une pompe

Une pompe est capable de redonner de l'énergie à l'eau. Elle transmet à l'eau, avec un rendement plus ou moins bon, une énergie empruntée (l'électricité pour un groupe électropompe). Cette énergie W dépend de la masse m de fluide à élever sur une hauteur h :

$$\Rightarrow W = m \cdot g \cdot h$$

Avec : W : énergie en J
 m : masse en kg
 h : hauteur en m
 g : accélération de la pesanteur en m/s²

Ainsi, la puissance P d'une pompe qui élève une masse m de fluide sur une hauteur h en un temps t est donnée par :

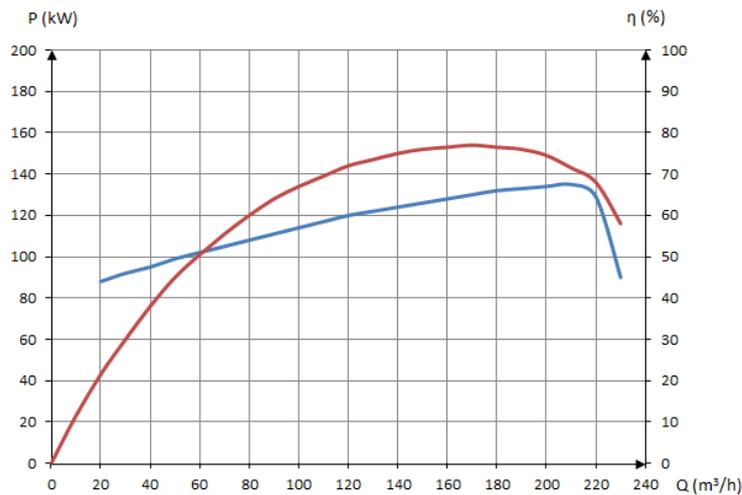
$$\Rightarrow P = \frac{W}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$$

Avec : P : puissance en W
 W : énergie en J
 t : temps en s
 m : masse en kg
 h : hauteur en m
 g : accélération de la pesanteur en m/s²

5. Rendement

5.1. Rendement de la pompe

Le rendement dépend du point de fonctionnement. Les caractéristiques des pompes peuvent comporter les courbes de puissance absorbée et de rendement en fonction du débit : $P_a=f(Q)$ et $\eta=f(Q)$. La courbe de rendement présente un maximum qui correspond à son débit nominal. Il est important d'utiliser la pompe au voisinage de ce point pour utiliser au mieux l'énergie.



5.2. Rendement d'un groupe

Le groupe de pompage est généralement composé de deux machines : la pompe et le moteur.

Les caractéristiques de la puissance absorbée P_a et du rendement η en fonction du débit Q , fournies par les constructeurs, se rapportent en général à la pompe seule.

Le rendement doit intégrer l'énergie totale dans l'énergie absorbée, y compris celle consommée par le moteur et ses auxiliaires.

Mode opératoire :

- L'énergie absorbée est une énergie électrique.
- L'énergie utile est une énergie hydraulique.
- Ces énergies évaluées dans l'unité de temps deviennent respectivement la puissance absorbée P_a et la puissance utile P_u .

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

Avec : η : rendement en %
 P_u : puissance utile en W
 P_a : puissance absorbée en W

Soit pour un groupe électropompe triphasé :

$$\eta = \frac{p \cdot Q}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi}$$

Avec : η : rendement en %
 p : pression en Pa
 Q : débit en m^3/s
 U : tension composée en V
 I : courant en A
 $\cos\varphi$: facteur de puissance

6. Choix d'un groupe électropompe

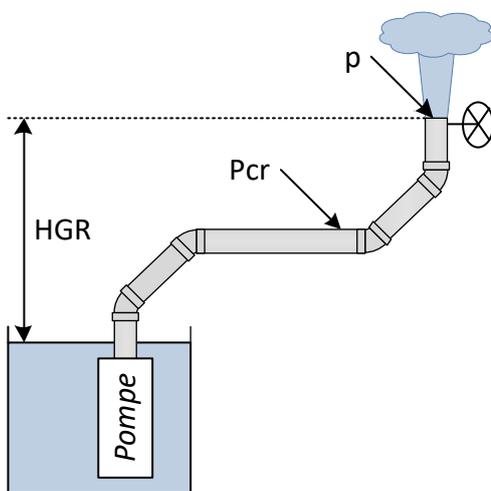
Pour choisir un groupe électropompe, il est nécessaire de connaître :

- le **débit Q** souhaité en m³/h,
- la **Hauteur Manométrique Totale HMT** en mce.

La hauteur manométrique totale est la hauteur qui va permettre de caractériser l'installation raccordée à la pompe. Pour calculer la HMT, on distingue deux cas :

- Les pompes immergées
- Les pompes de surface

6.1. Les pompes immergées



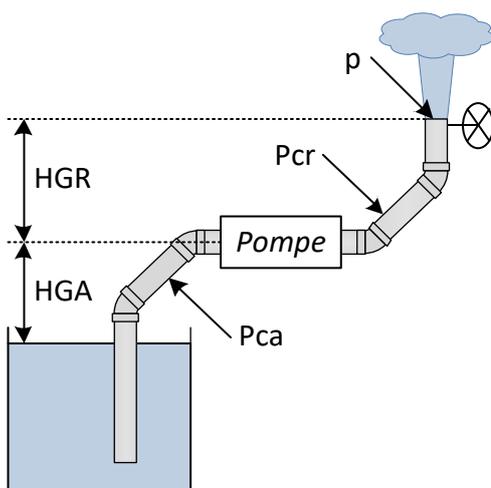
$$\Rightarrow \text{HMT} = \text{HGR} + \text{Pcr} + p$$

Avec :

HMT : hauteur manométrique totale en mce
HGR : hauteur géométrique au refoulement en m
Pcr : pertes de charge au refoulement en mce
p : pression utile en mce

Les pertes de charge (**Pcr**) sont déterminées en fonction du débit et des dimensions de la conduite (longueur et diamètre).

6.2. Les pompes de surface



$$\Rightarrow \text{HMT} = \text{HGA} + \text{HGR} + \text{Pca} + \text{Pcr} + p$$

Avec :

HMT : hauteur manométrique totale en mce
HGA : hauteur géométrique à l'aspiration en m
HGR : hauteur géométrique au refoulement en m
Pca : pertes de charge à l'aspiration en mce
Pcr : pertes de charge au refoulement en mce
p : pression utile en mce

Les pertes de charge (**Pca** et **Pcr**) sont déterminées en fonction du débit et des dimensions de la conduite (longueur et diamètre).