

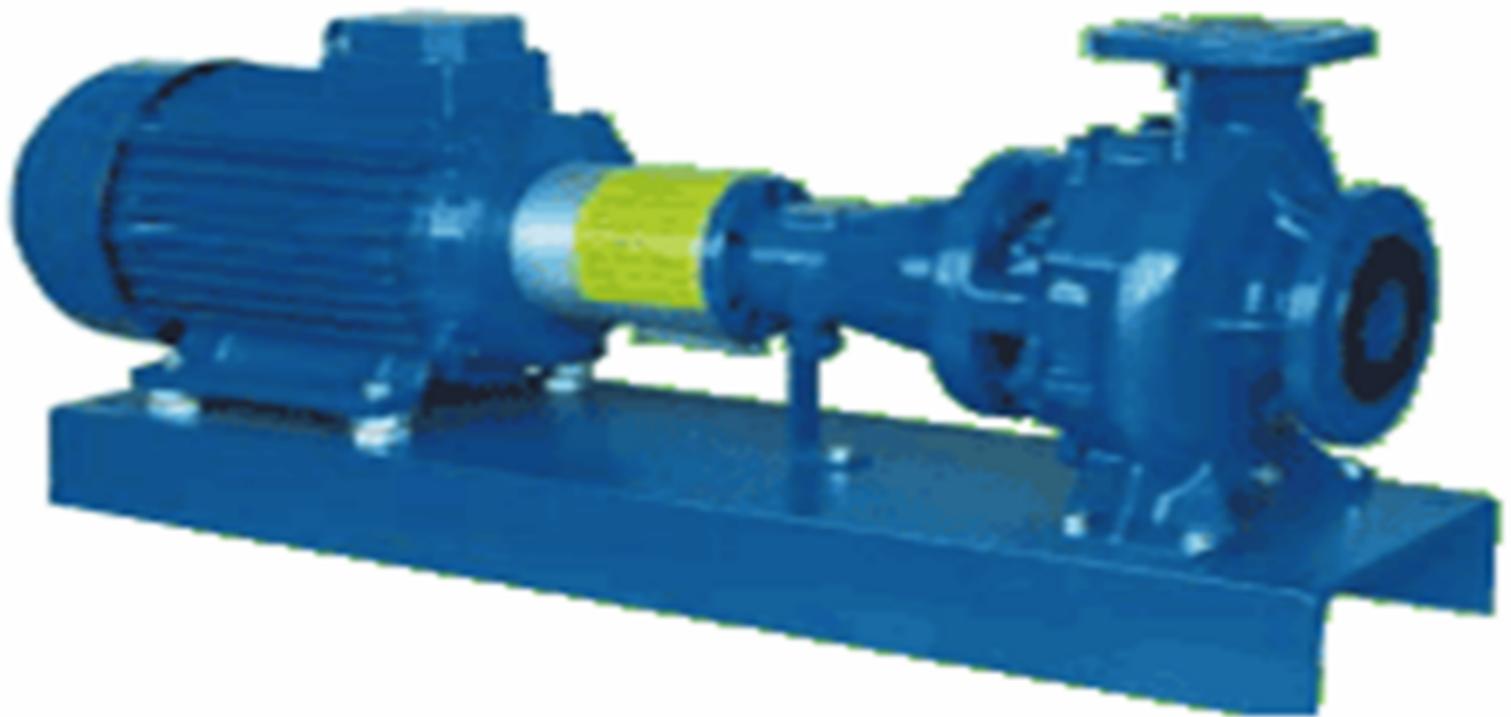
# **CHAPITRE I**

## **Les turbomachines**

## *Introduction*

- L'évolution de la chimie et de la pétrochimie depuis plusieurs années a conduit à une utilisation de plus en plus fréquentes de pompes, compresseurs, turbines, ...etc à haute performance capable de satisfaire à des normes rigoureuses de rendement, de fiabilité et d'endurance par l'exploitation des grandes unités chimiques.

# *I. 1. POMPES*



## *I. 1. 1. Fonction*

Elles permettent le plus souvent de **transformer l'énergie mécanique** d'un moteur en **énergie hydraulique** afin:

1. De faire passer un liquide d'un niveau à un autre niveau plus élevé (Pompe de transfert).
2. D'augmenter la pression d'un fluide.



## *Remarques:*

- ➔ On peut classer les pompes dans la catégorie des actionneurs (**convertisseurs d'énergie**).
- ➔ Le fluide peut être soit:  
Recyclé dans un circuit fermé  
(**pompe à l'huile de voiture**).
- ➔ Renouvelé dans un circuit ouvert  
(**pompage d'eau**).

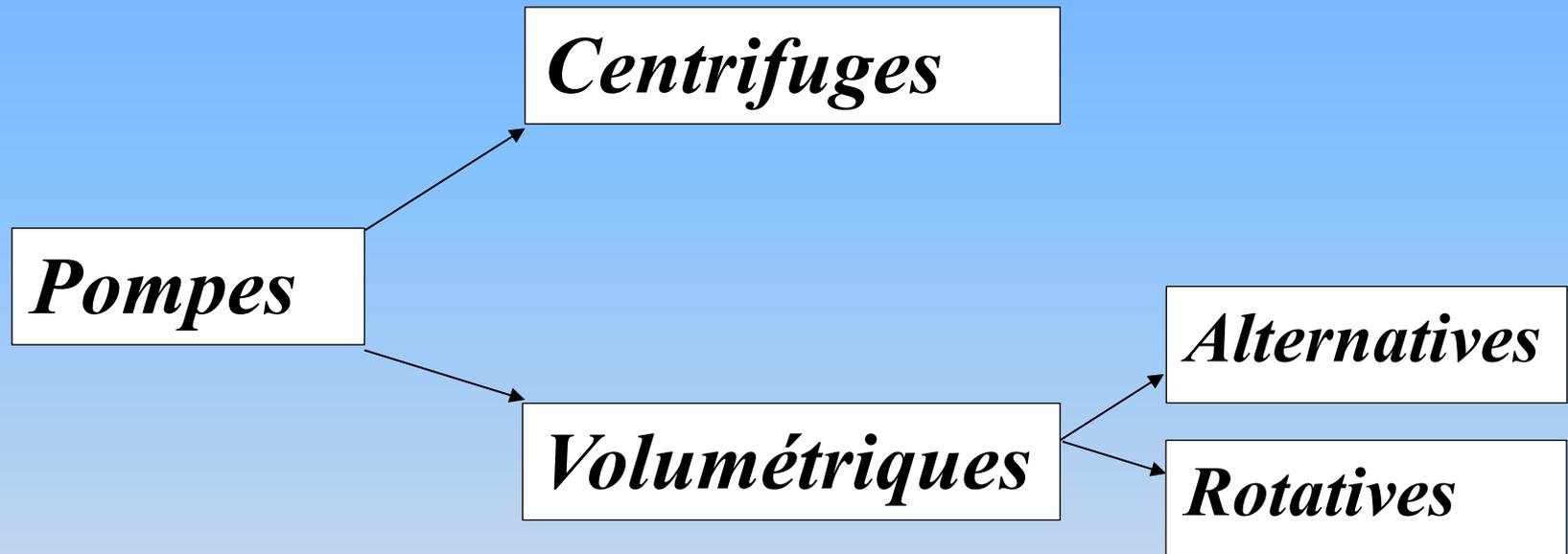
## *1.1. 2. Les différents types de pompes*

On peut classer les pompes en deux grandes catégories.

**1.** Celles dont le déplacement du liquide est obtenu en agissant sur la vitesse du liquide. Elles sont dites **Centrifuges**.

**2.** Celles dont le déplacement du liquide est obtenu en variant le volume d'une cavité. Elles sont dites **Volumétriques**.

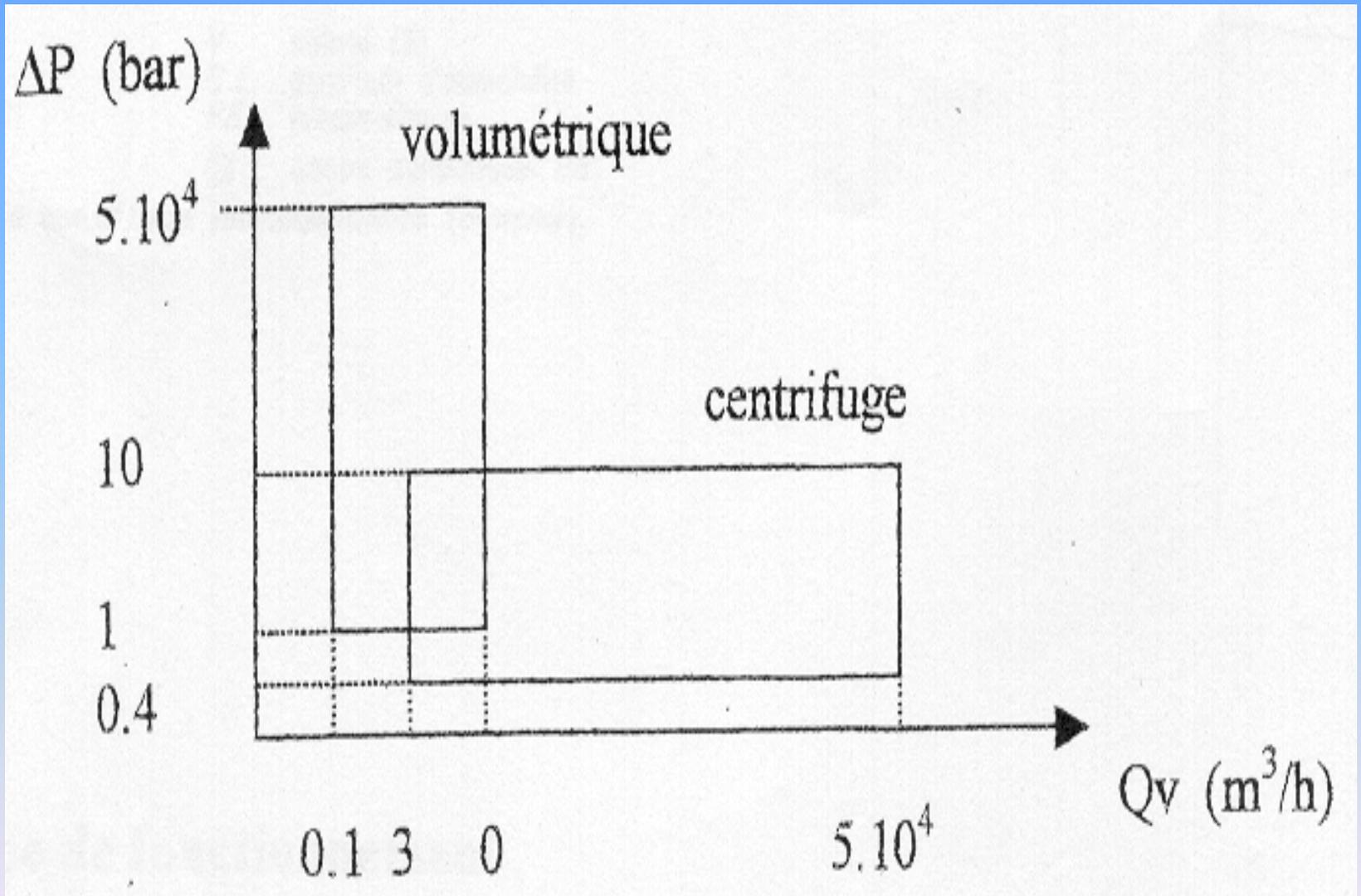
## *I.1. 2. Les différents types de pompes*



## *Remarques:*

- ❑ L'utilisation d'un type de pompe ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide.
- ❑ De manière générale, si on veut **augmenter la pression d'un fluide** on utilisera plutôt les pompes **volumétriques**, tandis que si on veut **augmenter le débit** on utilisera plutôt les pompes **centrifuges**.

### I.1. 3. Domaine d'utilisation des pompes centrifuges et volumétriques



## I. 1. 4. LES POMPES VOLUMETRIQUES

Ces pompes sont classées aussi en deux catégories :

**volumétriques rotatives et alternatives.**

Les pompes **volumétriques rotatives** sont des pompes à vis, à engrenages, à palettes, à lobes.

Par contre, les pompes **alternatives** sont à piston, à diaphragme, à cylindre, à vérin.

## *1.1. 4. 1. Principe et caractéristiques générales*

Un **volume V** de fluide emprisonné dans un espace donné (**le récipient de départ**) est contraint à se déplacer de l'entrée vers la sortie de la pompe par un système mécanique.

Ce volume prélevé dans la **conduite d'aspiration** engendre une **dépression** qui fait avancer le fluide vers la pompe par aspiration.

Cet effet confère aux pompes **volumétriques** d'être **auto- amorçante**.

On obtient un débit théorique moyen proportionnel à la vitesse de rotation.

On appelle "débit" (symbole de grandeur :  $Q_v$ ) la quantité de fluide mise en mouvement en fonction du temps.

$$Q_v = \text{quantité de fluide/ temps}$$

Le débit d'une pompe dépend de deux facteurs importants :

- la cylindrée de la pompe et la vitesse de rotation de la pompe.
- La cylindrée est la quantité du fluide consommée par rotation de la pompe (litre/tour).

$$Q = \text{Cyl} \times N$$

Q : débit (l/mn)

N : vitesse de rotation (tr/mn)

Cyl : (l/tr)

## Exercice d'application:

Calculer le débit d'un fluide en l/min, refoulé par une pompe ayant une cylindrée de  $75 \text{ cm}^3/\text{tr}$  et ayant une vitesse de rotation de  $1500 \text{ tr}/\text{min}$ .

$$Q_v = C \times N$$

$$Q_v = 75 \frac{\text{cm}^3}{\text{tr}} \times 1500 \frac{\text{tr}}{\text{min}}$$

$$Q_v = 112500 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$Q_v = 112500 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \div 1000 \frac{\text{cm}^3}{1}$$

$$Q_v = 112,5 \text{ l/min}$$

## *Remarques:*

1. Si le volume aspiré ne peut s'évacuer dans la canalisation de sortie (vanne fermée, ou canalisation obstruée) l'augmentation de pression aboutirait soit à l'éclatement de la conduite, soit au blocage du moteur d'entraînement de la pompe.

C'est pourquoi une soupape de sûreté doit être impérativement montée à la sortie de la pompe.

2. Les pompes volumétriques nécessitent des hauteurs manométriques totales (**HMT**) beaucoup plus élevée que les pompes centrifuges.

## *Remarques:*

3. La pression de refoulement est ainsi plus importante. Le rendement de ce type des pompes est d'ordre de 0.9 (90%).

4. On distingue généralement deux types de pompes : des pompes alternatives et des pompes rotatives.

## **I. 1. 4. 2. Pompes volumétriques alternatives**

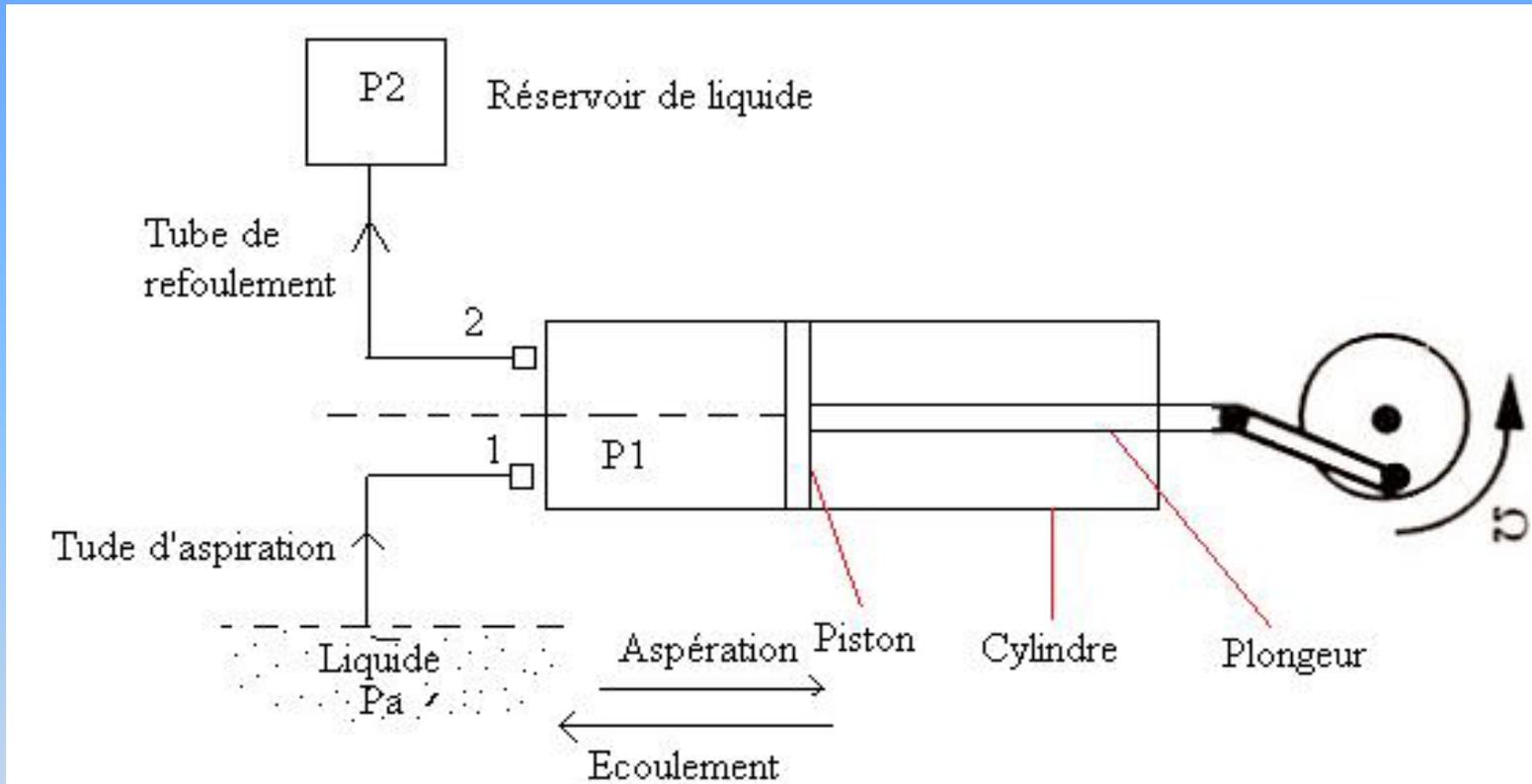
### **A. Pompes à piston**

Selon le principe de fonctionnement les pompes à piston se divisent en trois types :

#### **1. Pompes à piston à action simple**

pendant un va et vient du piston, la pompe aspire une fois et refoule une fois.

# Pompes à piston à action simple



1- clapet d'aspiration

2-clapet de refoulement

$P_a$  : pression atmosphérique

$P_1$  : pression de liquide dans le cylindre

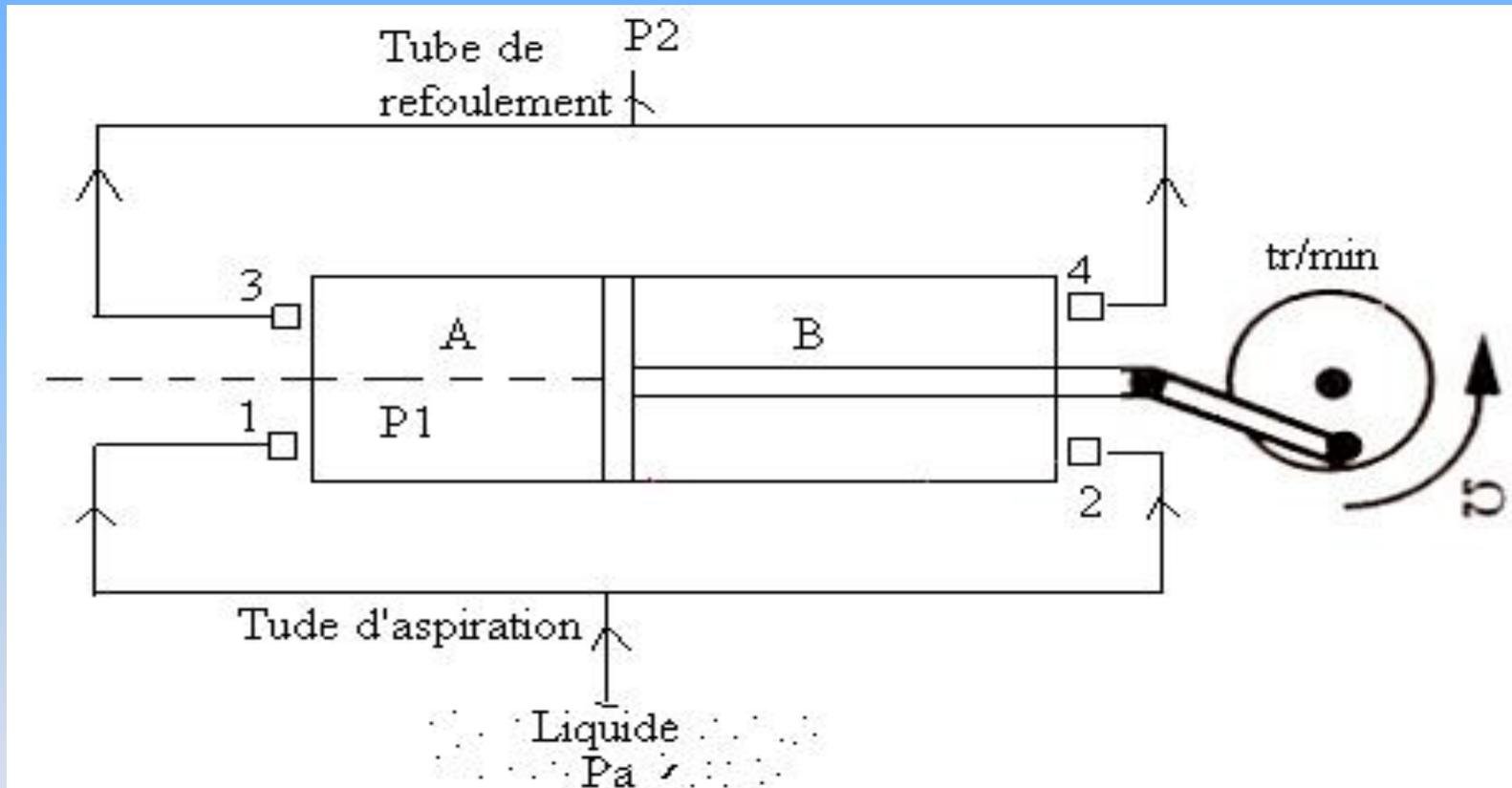
$P_2$  : pression de liquide dans le réservoir

[Animation pompes/Video pompes/Pompes à piston 2.wmv](#)

*Dr. R. SAKER OUARGLI*

## 2. Pompes à piston à action double

Pendant le va et vient du piston, la pompe aspire deux fois et refoule deux fois.

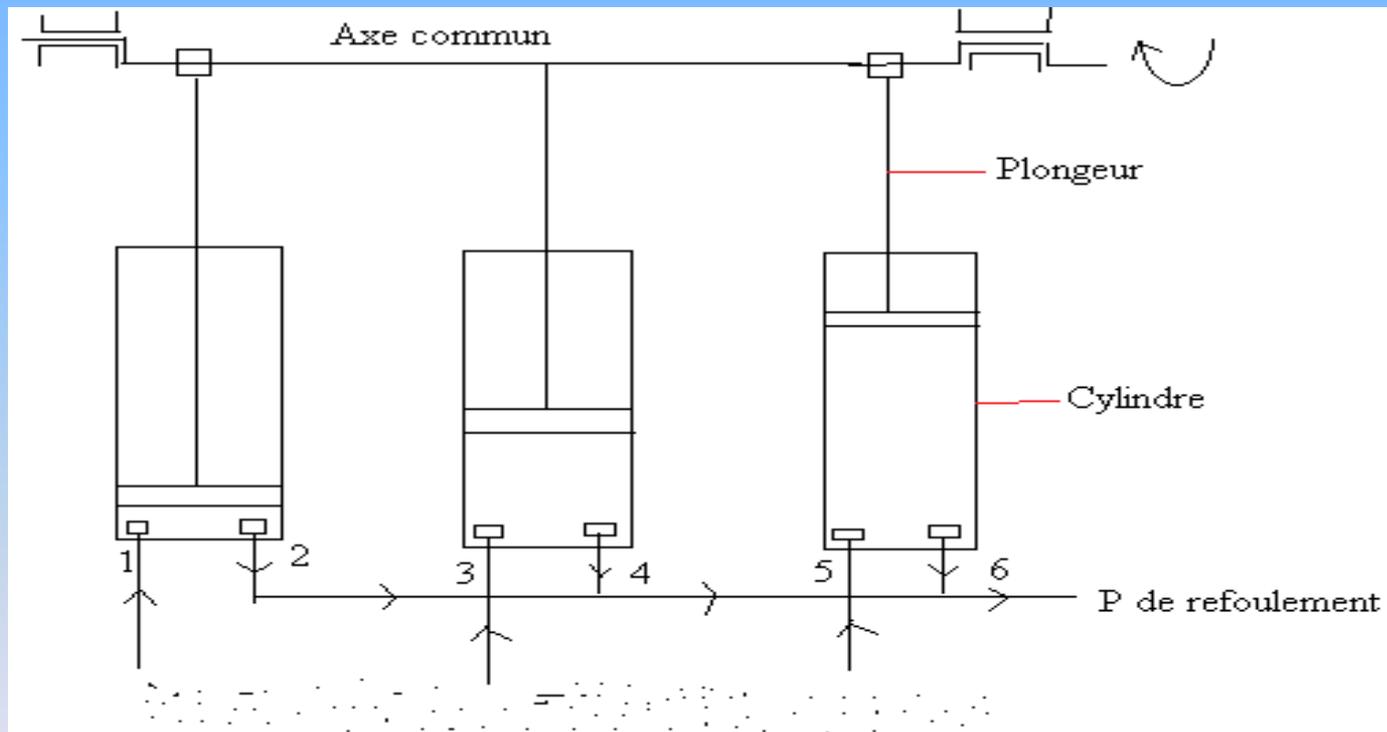


1, 2 : Clapets d'aspiration et 3, 4: Clapets de refoulement

### 3. Pompe à piston à action triple

Cette pompe est la liaison de trois pompes à piston à action simple grâce à l'existence d'un axe commun.

Les trois pistons se trouvent dans des positions différentes.



**1, 3, 5 : Clapets d'aspiration et 2, 4, 6 : Clapets de refoulements**

[Animation pompes\Pompe à pistons en ligne.mp4](#)

## *Remarques*

Soit **S** la surface du piston et **L** sa course, le volume **V<sub>o</sub>** de liquide déplacé est :

$$\mathbf{V_o = S.L}$$

Si le piston effectue **N** allers-retours en 1 seconde alors le débit volumique théorique d'une pompe à piston simple est donnée par la relation suivante :

$$\mathbf{Q_v = N S L}$$

## 4. Pompes à diaphragme (doseuses)

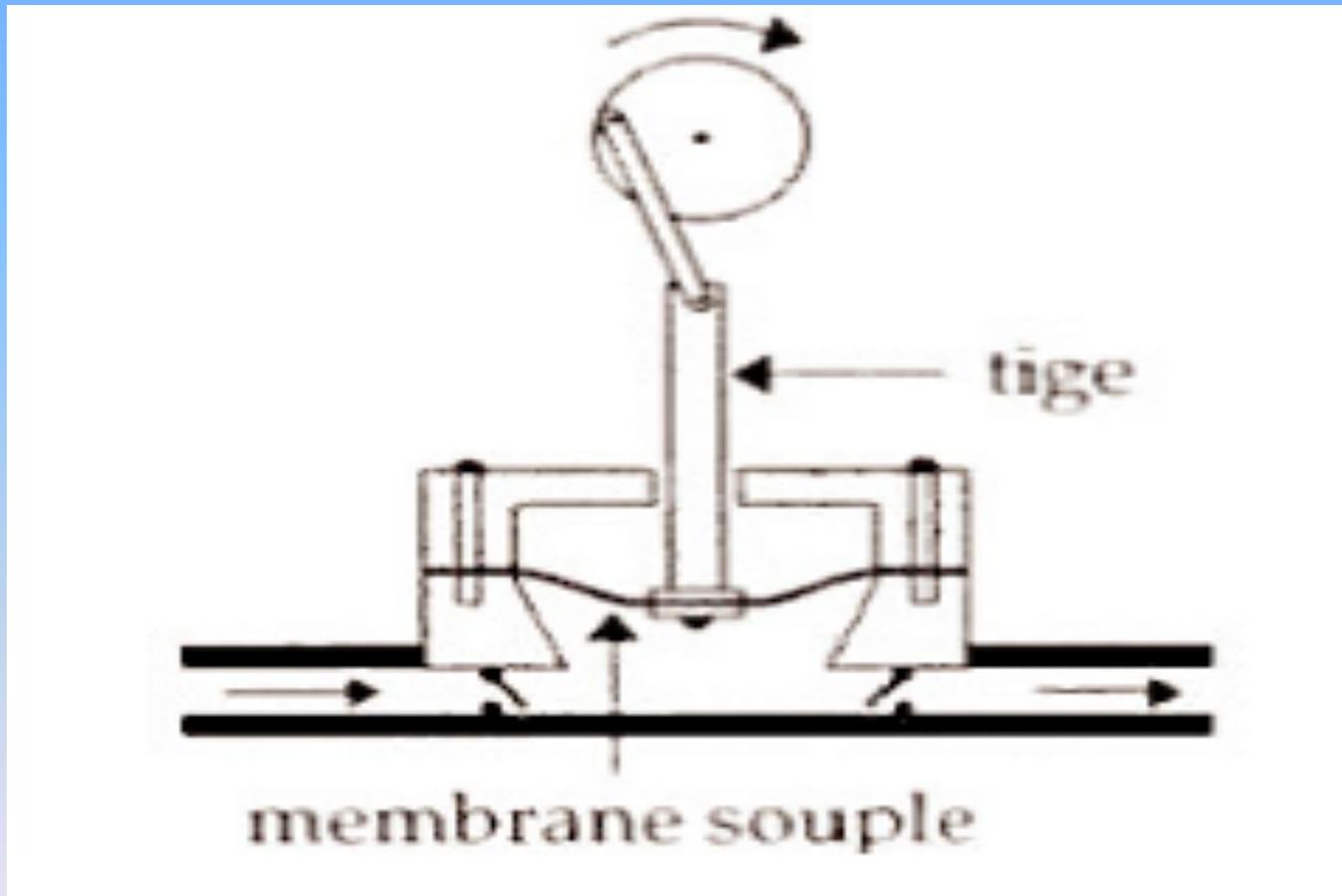
Les pompes à diaphragme sont essentiellement à piston, appelées aussi pompes à membrane.

Le fluide n'entre pas en contact avec les éléments mobiles de la machine. Ces pompes sont donc bien adaptées au pompage des liquides corrosifs ou/et chargés de particules solides.

Ces pompes sont caractérisées par un débit de refoulement très faible (de quelque L/h ou m<sup>3</sup>/h) et peuvent atteindre des pressions de refoulement allant jusqu'à 300 bar, elles sont auto-amorçantes et n'accepte que les viscosités faibles.

# Les principaux domaines d'applications

Dosage fin des produits chimiques et injection du carburant automobile.



## Pompes à diaphragme

[Animation pompes\Pompe à membrane.mp4](#)

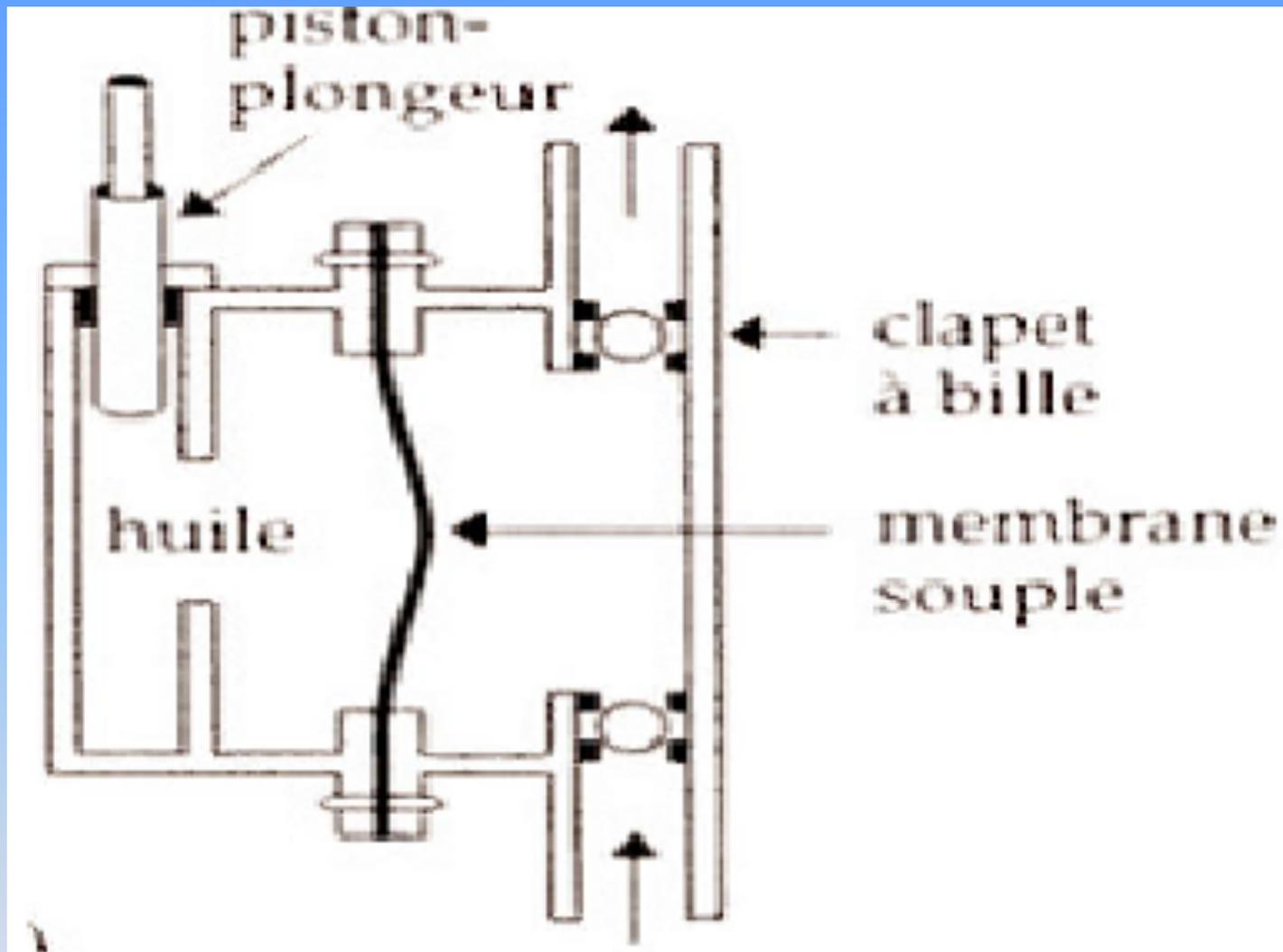
*Dr. R. SAKER OUARGLI*

## 5. Pompes à piston plongeur

Cette machine est un compromis entre la pompe à piston et la pompe à membrane.

Le fluide n'est pas isolé du piston, mais les frottements de celui-ci sont faibles car limités au niveau du presse-étoupe qui assure l'étanchéité.

Ces pompes sont adaptées la production de hautes pressions.



## Pompe à piston plongeur

## I. 1. 4. 3. Pompes volumétriques rotatives

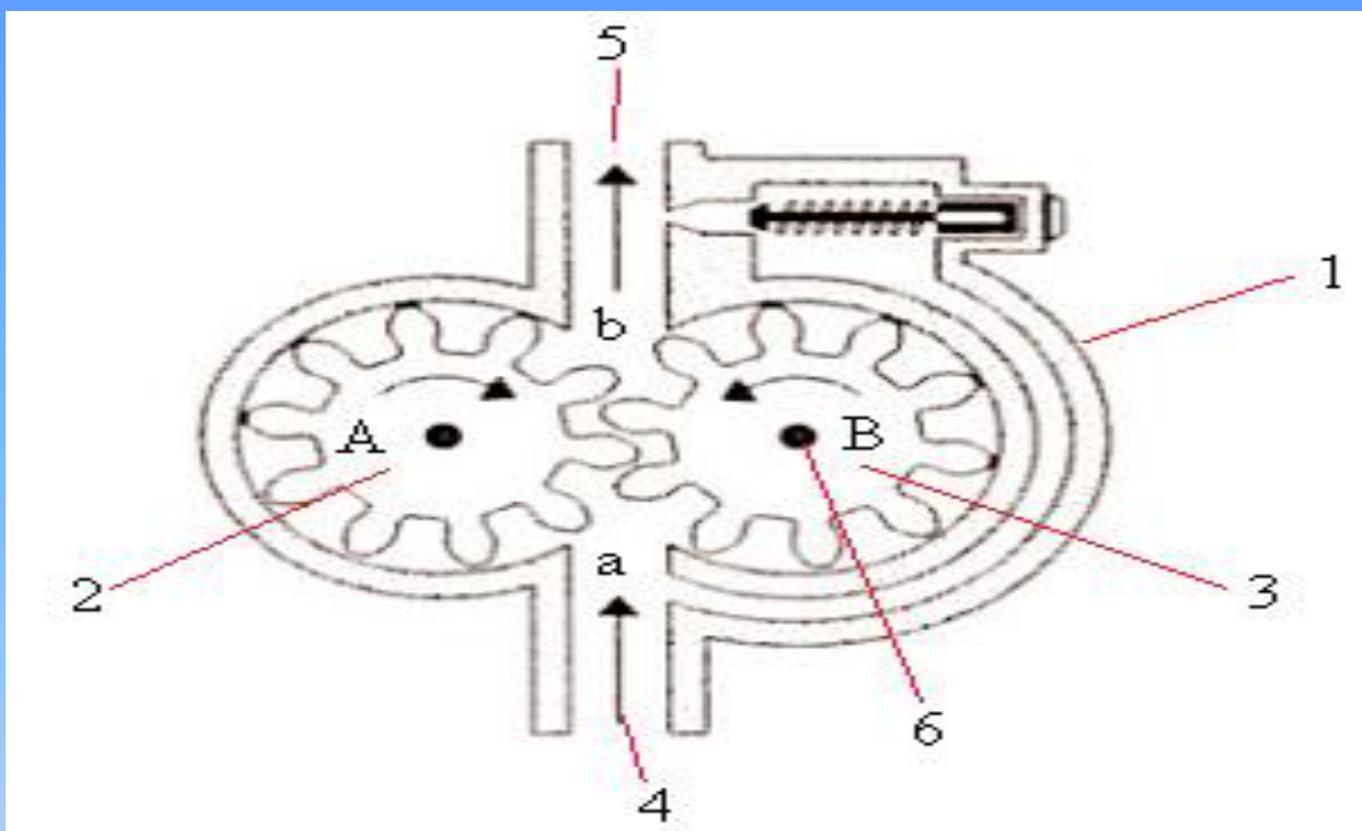
Ces pompes montrent un grand succès pour le transfert des liquides visqueux, sont simple de point de vue de construction.

Elles sont caractérisées par l'absence des soupapes ou de clapets et l'obtention de débit régulier et peuvent être élevés.

### A. Pompes à engrenage

Il existe un plus grand nombre de variantes de ce type de pompe.

Elles diffèrent entre elles par la disposition et la forme des dentures.



1- chemise de la pompe. ; 2- engrenage A. ; 3- engrenage B.  
 4- tube d'aspiration ; 5- tube de refoulement. ; 6- axe de moteur.

L'axe de l'engrenage B est couplé à un moteur quand l'axe B fait la rotation l'engrenage A est entraîné par B mais dans le sens inverse, donc le liquide est entraîné par A et B du bas vers le haut.

[Animation pompes\Pompe à engrenage](#)

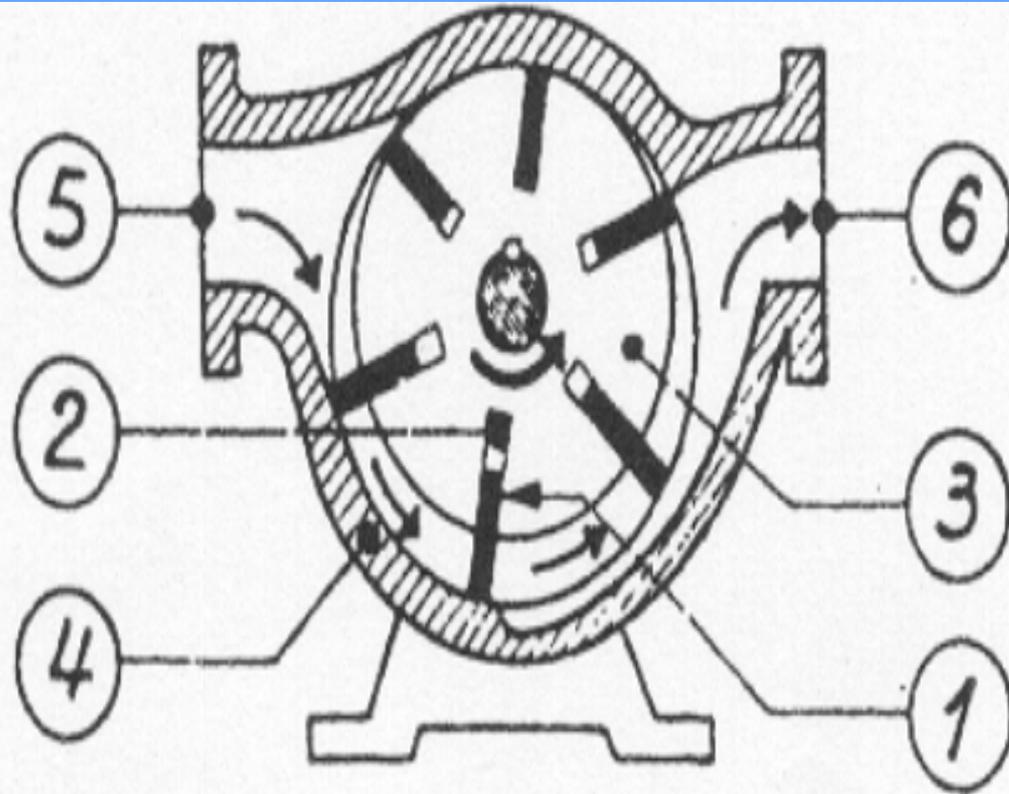
*Dr. R. SAKER OUARGLI*

[2.wmvAnimation pompes\Pompe à engrenage.mp4](#)

## B. Pompe à palette rigide

- C'est la classique des pompes à vide.
- Un rotor excentré tourne dans un cylindre fixe.
- Sur ce rotor, des palettes, libres de se mouvoir radialement, et poussées par des ressorts s'appliquent sur la face intérieure du cylindre fixe.
- Les espaces ainsi délimités varient au cours de la rotation et créent les dépressions nécessaires au fonctionnement d'une pompe volumétrique.

[Animation pompes\Video pompes\Ppe à palettes.wmv](#)



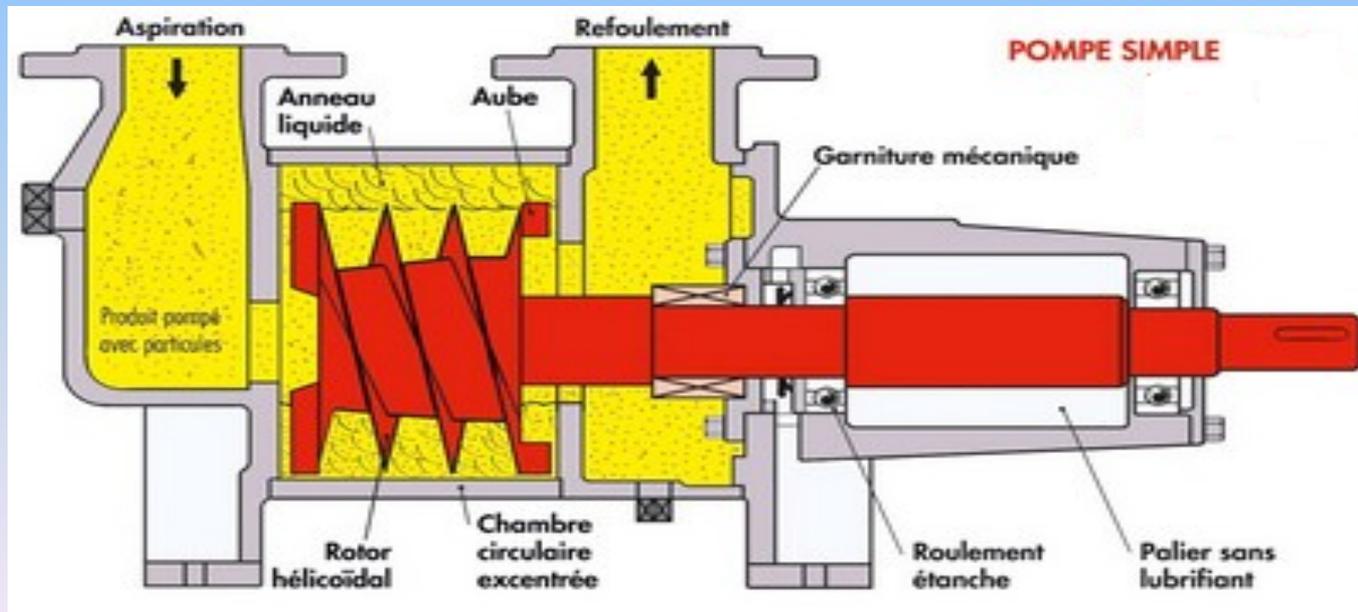
1 palettes  
 2 fente radiale  
 3 tambour

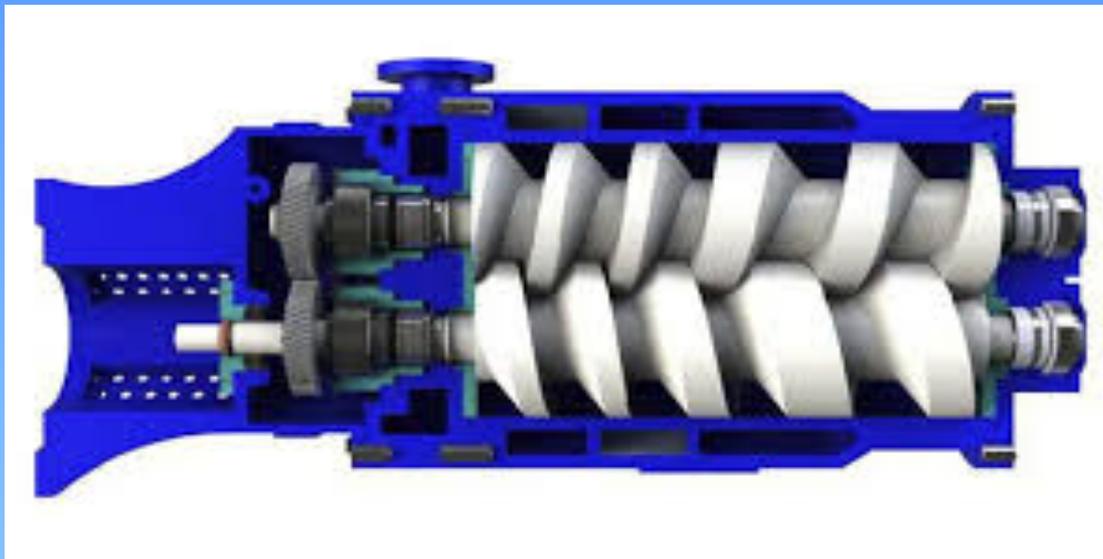
4 corps de pompe  
 5 orifice d'aspiration  
 6 orifice de refoulement

## D. Pompe à vis

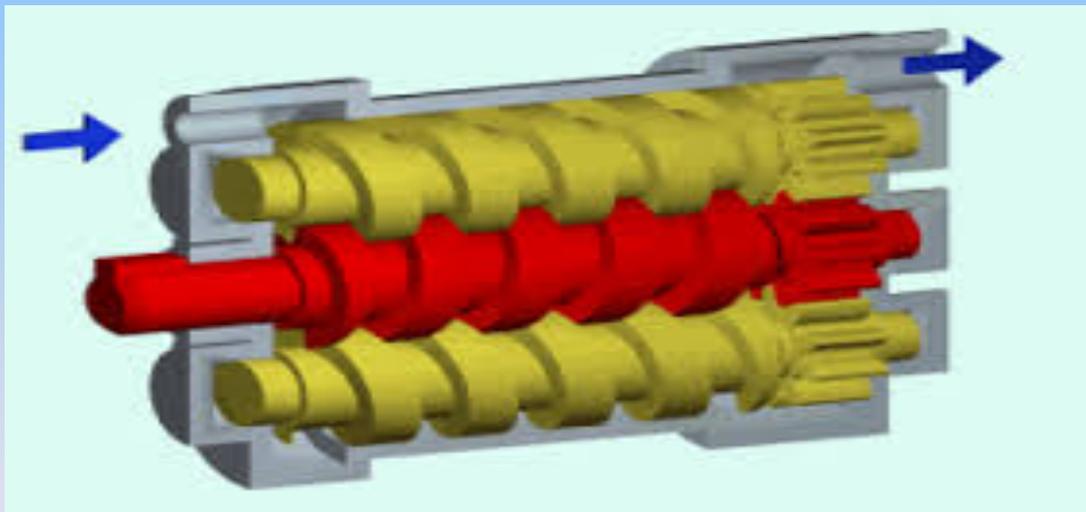
Cette pompe comporte **deux ou trois vis** logées dans un carter.

La **vis centrale** est entraînée par le **moteur électrique** et transmet le mouvement de rotation aux autres vis. L'espace libre entre les vis se déplace sans variation de volume et transporte le fluide de l'orifice d'aspiration vers l'orifice de refoulement.





**Pompe à double vis**



**Pompe à trois vis**

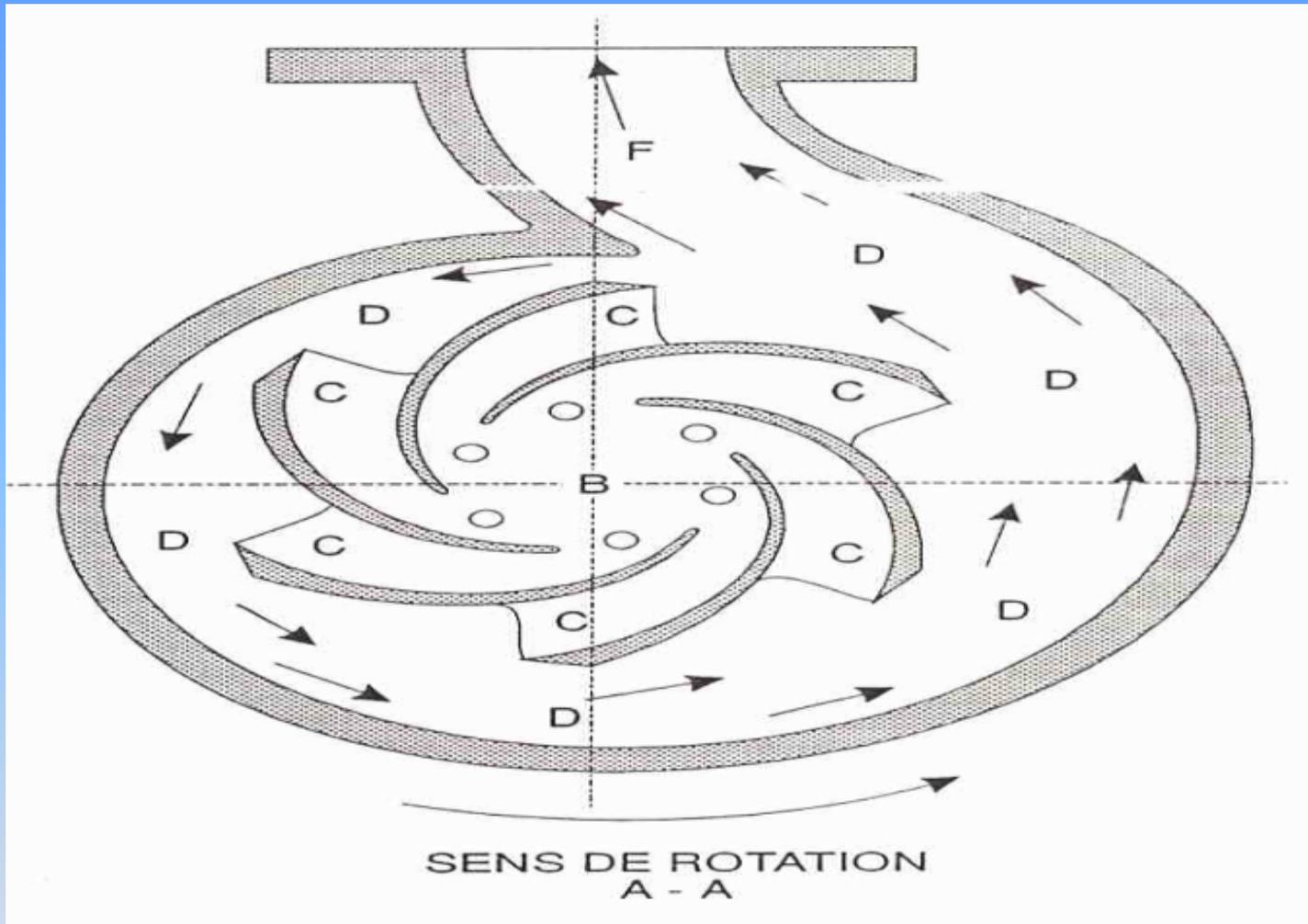
[Animation pompes\Pompe à double vis.mp4](#) [Animation pompes\Pompe à vis.mp4](#)

## I. 1. 5. LES POMPES CENTRIFUGES

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 (en  $\text{tr.mn}^{-1}$ ).

Le fluide est admis au centre de la roue (l'ouïe) avec une pression dite pression d'aspiration où il est repris par les aubes de la roue.

Lors de sa mise en rotation et de son déplacement vers la périphérie de la roue, sa vitesse et son énergie cinétique augmentent.



# POMPE CENTRIFUGE

[Animation pompes\Pompe centrifuge.wmv](#)

*Dr. R. SAKER OUARGLI*

## a. Les avantages et les inconvénients de ces pompes

Ce sont des machines de construction simple et plus compactes que les machines volumétriques, d'utilisation facile et peu coûteuse.

Leur rendement est souvent meilleur que celui des volumétriques.

Impossibilité de pomper des liquides trop visqueux et une production d'une pression différentielle peu élevée (de 0,5 à 10 bar).

## *a. Les caractéristiques des pompes*

**Les caractéristiques d'une pompe sont les suivant:**

HMT (Hauteur manométrique totale) =  $f(Q_v)$

NSPH (Net positive Suction Head) requis et disponible

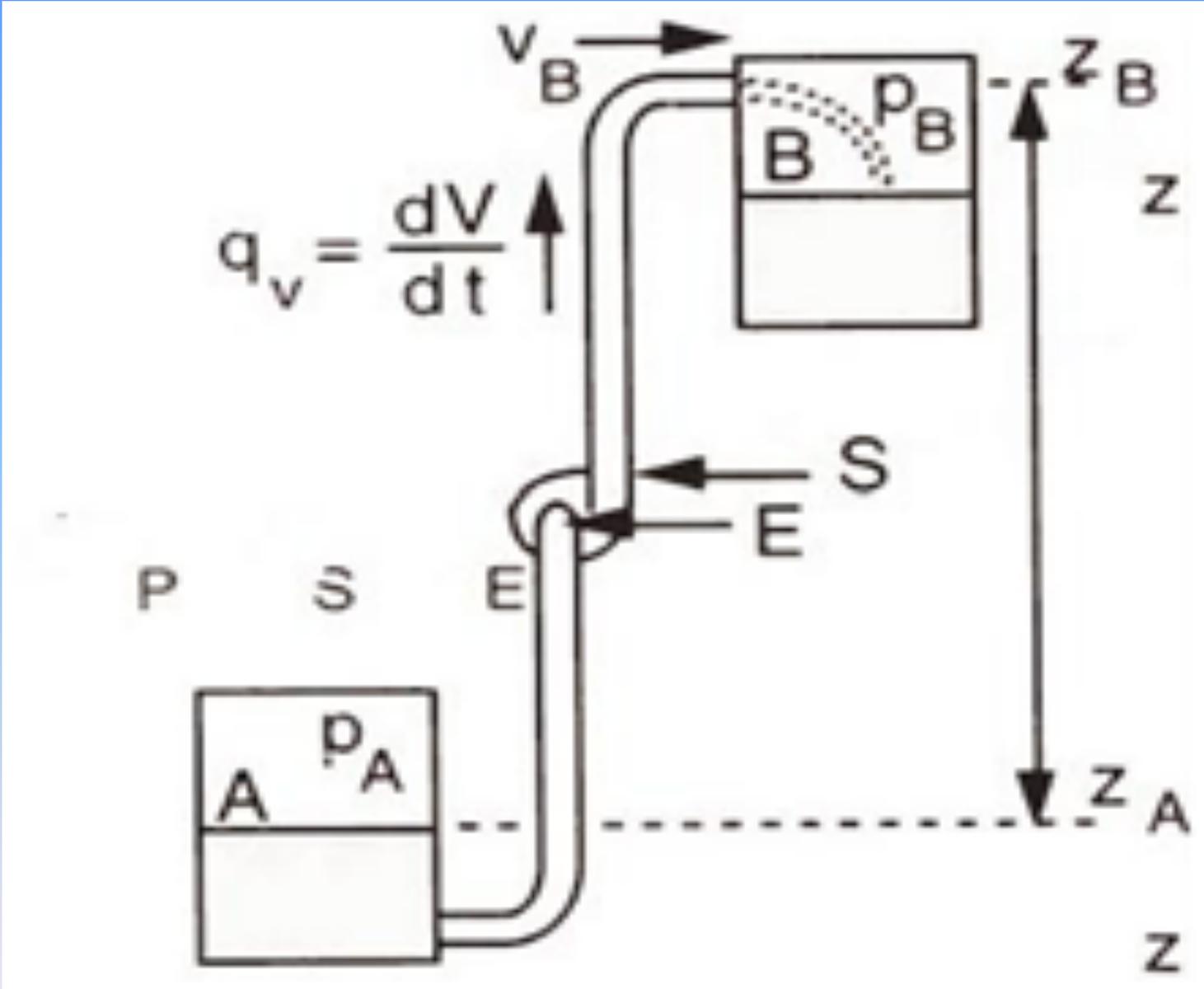
La puissance =  $f(Q_v)$

Le rendement =  $f(Q_v)$

## **b. Pression différentielle engendrée par la pompe**

- Sur l'installation ci-contre, la pompe qui tourne à vitesse constante élève le liquide contenu dans le réservoir inférieur et le rejette dans le réservoir supérieur.
- Entre « A » et « E » : le fluide s'élève par aspiration, on dit que la pompe travaille **à l'aspiration**.
- Entre « S » et « B » : la pompe travaille **au refoulement**.
- **La différence de pression de la pompe est :**

$$\Delta P = P_S - P_E$$



## c. Hauteur manométrique totale HMT

- C'est la force qui permet le transport du fluide dans la tuyauterie et son utilisation au point le plus élevé de l'installation.
- La HMT requise pour un circuit et un débit donné correspond à l'énergie (en Joule par  $m^3$  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  $J_{A \rightarrow B}$ ), et pour accroître éventuellement la vitesse du fluide entre A et B.
- Ceci se traduit, en mCE, par l'équation de Bernoulli généralisée suivante:

## Exercice d'application:

Soit une installation comprenant une pompe centrifuge pompant de l'eau d'un réservoir A à un réservoir B avec un débit de  $9\text{m}^3/\text{hr}$ .

### Données

Pertes de charges (Tronçon aspiration et refoulement) = 4%

Tuyauterie d'aspiration de 15 m

Tuyauterie de refoulement de 25m

pression résiduelle de 2 bar

Calculer la hauteur manométrique totale de cette pompe si la hauteur d'aspiration est de 5m et celle du refoulement est de 10m.

## **d. N.P.S.H Hauteur de charge nette absolue (Net Positive Suction Head)**

- Une pompe possède une capacité maximum d'aspiration qui est la valeur du vide qu'elle peut produire. Cette caractéristique varie suivant le type et la conception technique de la pompe.
- Théoriquement, la hauteur maximale d'aspiration, dans une cavité où règne le vide absolu, est égale à la pression atmosphérique, c'est à dire à 1013 mbar au niveau de la mer (10,33 m d'eau). Elle diminue progressivement quand l'altitude augmente.
- **En réalité cette hauteur est limitée, non seulement par les pertes de charge dans la conduite d'aspiration mais également par les propriétés physiques à chaque type de liquide.**

## Qu'est-ce le N.P.S.H.?

NPSH est simplement une mesure permettant de quantifier la hauteur manométrique d'aspiration disponible pour éviter la vaporisation au niveau le plus bas de la pression dans la pompe.

- A une température donnée, un liquide à une pression d'ébullition bien donnée correspond sa tension de vapeur.
- Si la pression en un point de ce liquide devient inférieure à la tension de vapeur, il entre en ébullition.
- Le NPSH requis est une donnée fournie par le constructeur. Il est généralement donné sous forme de courbe en fonction du débit.

$$NSPH_{dis} = (P_{asp} - P_{vs}) - \rho gh - \Sigma J$$

## Remarques

Le NSPH requis ou nécessaire est un paramètre donné par le constructeur de la pompe et généralement donné sous la forme d'une courbe.

➤ Pour éviter le phénomène de cavitation, il faut que

$$NSPH_{donné} > NSPH_{requis} + 0,5 mce$$

Avec : 0,5 mce est une marge de sécurité.

## *e.* CAVITATION

C'est un terme employé pour décrire le phénomène qui se produit dans une pompe quand le NPSH est insuffisamment disponible. La pression du liquide est réduite à une valeur égale ou inférieure à sa pression de vapeur là où les petites bulles ou poches de vapeur commençant à se former.

Le bruit d'accompagnement est le moyen le plus facile pour identifier la cavitation. La vibration et les dommages mécaniques tels que la défaillance de roulement peuvent également se produire en raison du fonctionnement dans la cavitation.

## Exemple d'application :

Soit une pompe qui aspire de l'eau à un débit de 60 m<sup>3</sup>/h avec une longueur de tuyauterie de 10m et une hauteur de 63 ; la pression de vapeur saturante est de 1700 Pa.

Données :  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$  ;  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $J=5\%$  ;  $NSPH_{requis} = 3 \text{ mce}$

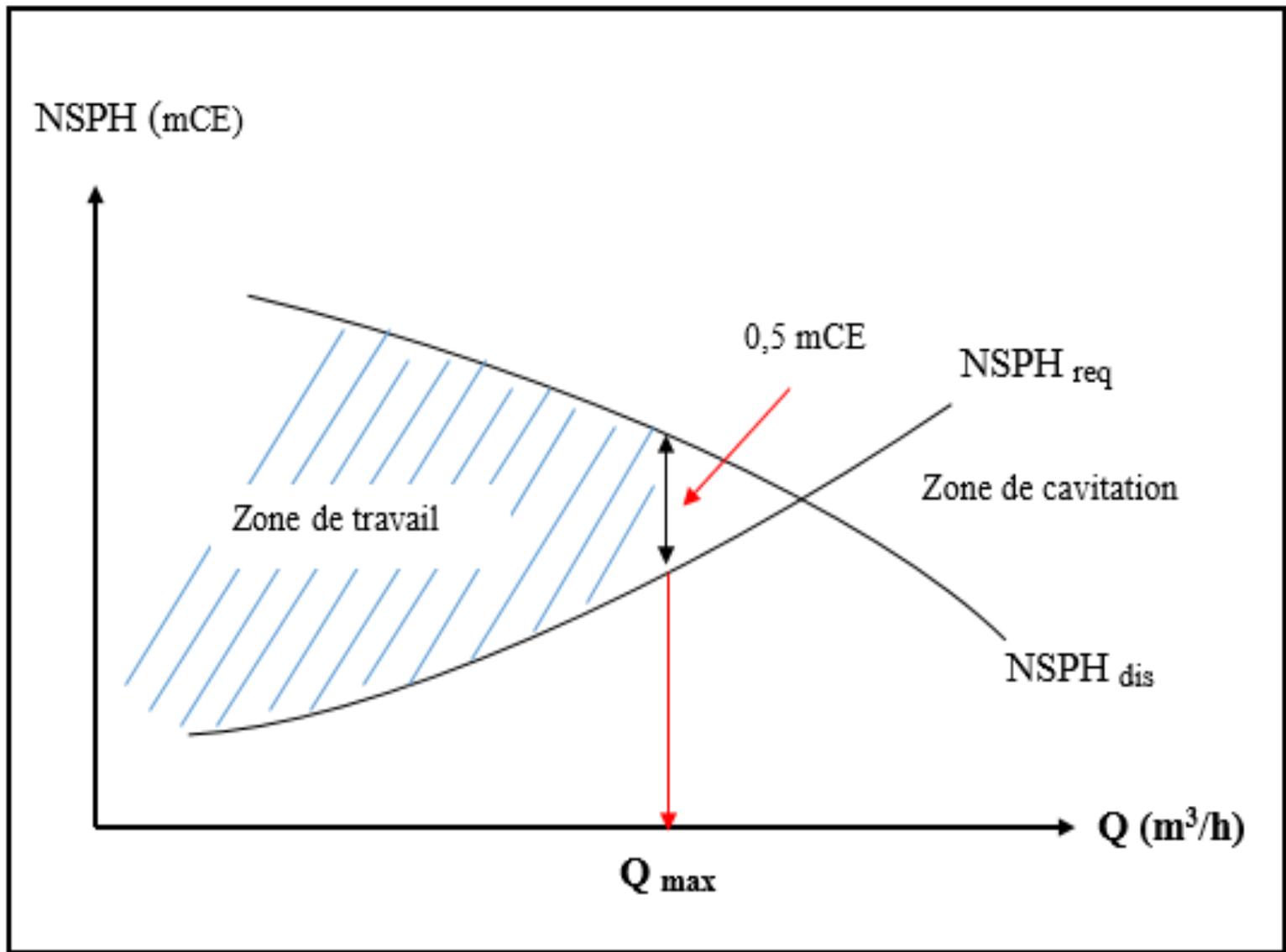
Y a-t-il un risque de cavitation ?

$$NSPH_{disp} = (P_{asp} - P_{vs}) - \rho gh - J = (101325 - 1700) / 9,81 \cdot 10^3 - 6 - 5/100 \times 10$$

$$NSPH_{disp} = 3,65 \text{ mce}$$

$$NSPH_{requis} + 0,5 \text{ mce} = 3 + 0,5 = 3,5 \text{ mce}$$

Donc:  $NSPH_{donné} > NSPH_{requis} + 0,5$       **Pas de risque de cavitation**



- Le seul moyen d'empêcher les effets indésirables de la cavitation c'est de s'assurer que le NPSH disponible dans le système est plus élevé que le NPSH requis par la pompe.
- Le circuit de refoulement n'intervient pas dans les problèmes de cavitation.
- Il ne faut jamais placer de vanne de réglage ou de vanne d'isolement sur la conduite d'aspiration.

## *e.* PUISSANCE D'UNE POMPE

C'est la puissance hydraulique communiquée au liquide lors de son passage à travers la pompe.

Cette puissance est donnée par la relation suivante :

$$P = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot h}{\eta}$$

$P$  : puissance en Watts

$Q$  : Débit volumique en  $\text{m}^3/\text{s}$

$\rho$  : densité du liquide en  $\text{kg}/\text{m}^3$

$h$  : Hauteur de charge en mètre  $\text{m}$

$\eta$  : Rendement global de la pompe.

## *e.* PUISSANCE FOURNIE À L'ARBRE DE POMPE

La puissance fournie par l'arbre d'entraînement de la pompe est donnée par la relation suivante :

$$P = \frac{\Delta P \cdot Q}{\eta}$$

## *f.* RENDEMENT D'UN SYSTÈME DE POMPAGE

Le rendement global d'un système de pompage est donné par la relation suivante :

$$\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{moteur}} \cdot \eta_{\text{pompe}} \cdot \eta_{\text{transmission}}$$

$\eta_{\text{moteur}}$  : Rendement du moteur de la pompe

$\eta_{\text{pompe}}$  : Rendement de la roue mobile de la pompe

$\eta_{\text{transmission}}$  : Rendement manométrique de la tuyauterie entre l'entrée et la sortie de la pompe.