

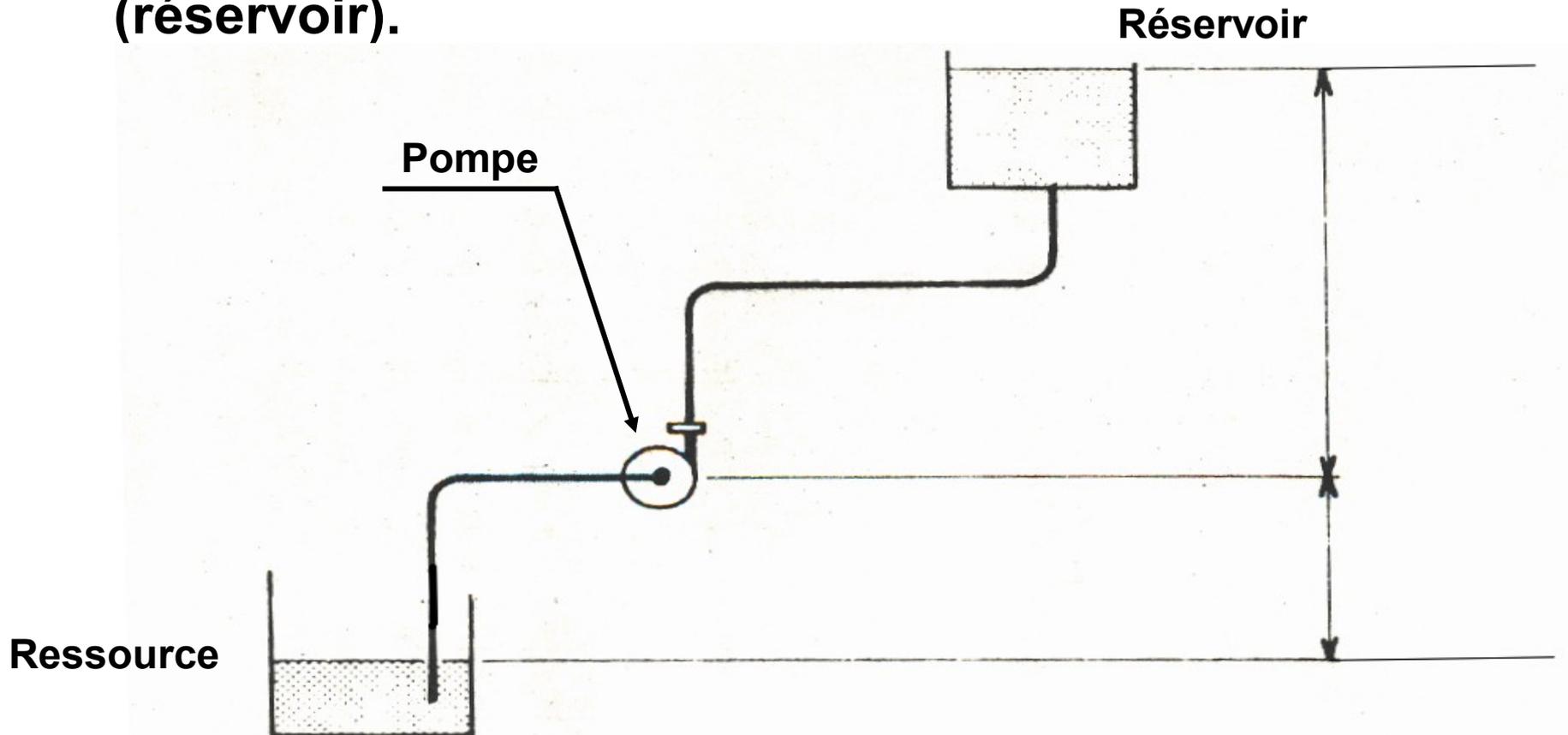


Office National de l'Eau Potable

HYDRAULIQUE DES POMPES CENTRIFUGES

Introduction

Pompe : machine tournante permet de fournir l'énergie à un liquide (l'eau) pour le faire parvenir d'un point bas (ressource) à un point haut désiré (réservoir).



Introduction

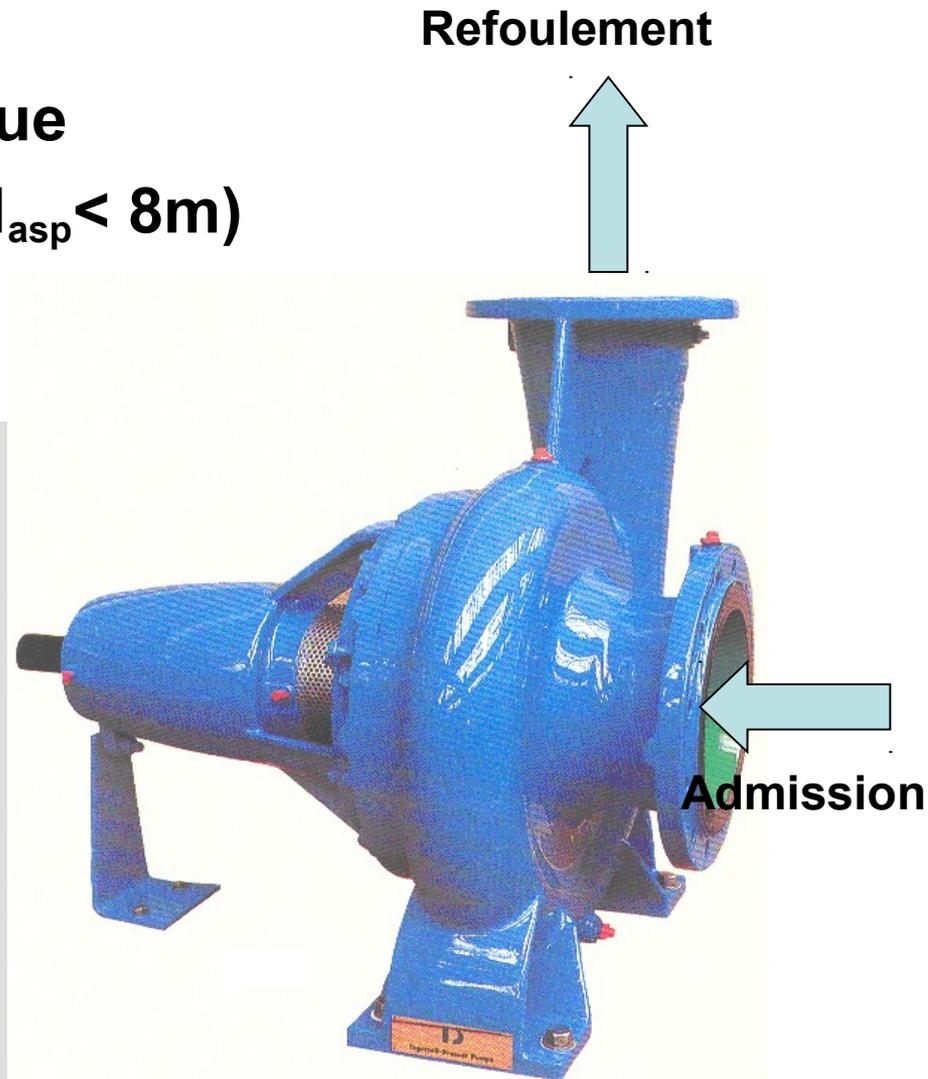
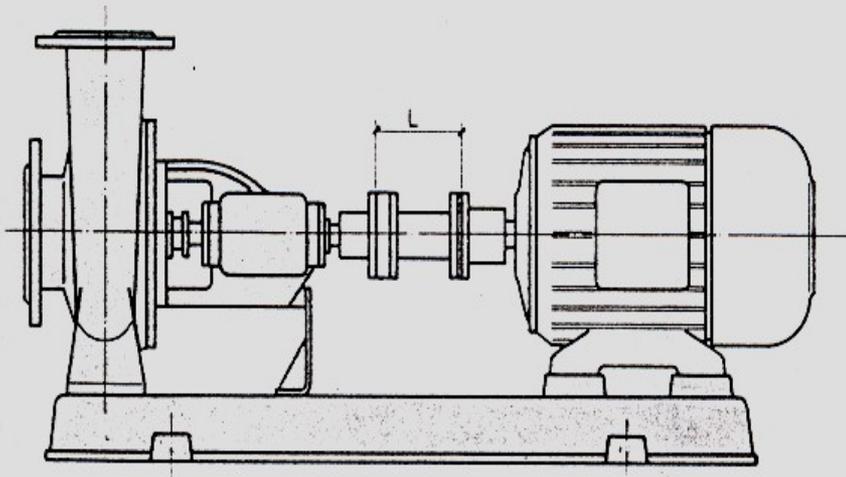
- ❖ **Pompes centrifuges et helicocentrifuges :
accroissement d'énergie par variation de vitesse.
Q : de 0,3 l/s à 3000 l/s – H : de 10 à 1000 m**
- ❖ **Pompes hélices : débits importants, faible hauteur**
- ❖ **Pompes volumétriques : accroissement d'énergie
par variation ou déplacement de volume
petits débits, grande hauteur
(pompes doseuses à injection de réactifs)**

**Les pompes centrifuges sont les plus utilisées
Simplicité et facilité d'exploitation**

Classification des pompes centrifuges

Pompes à axe horizontal

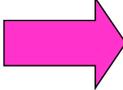
- Disposition la plus classique
- Adoptée pour la surface ($H_{asp} < 8m$)
- Entretien et démontage simplifiés



Classification des pompes centrifuges

Pompes à axe horizontal

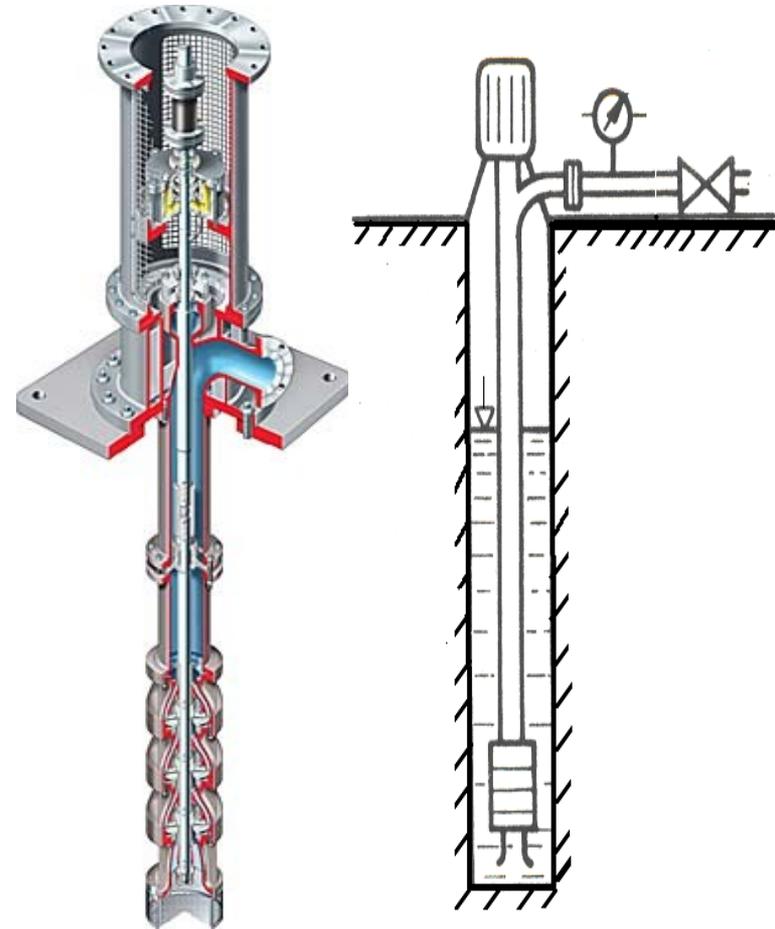
Tenir compte des sujétions relatives à la hauteur d'aspiration et à l'amorçage.

Hauteur d'aspiration grande  Autre type de pompes

Classification des pompes centrifuges

Pompes à axe vertical

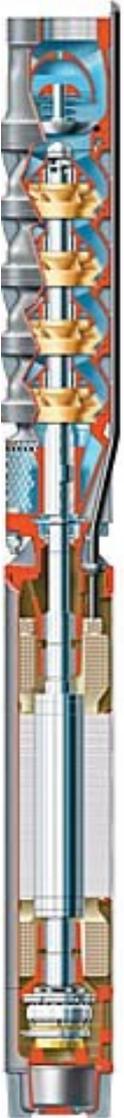
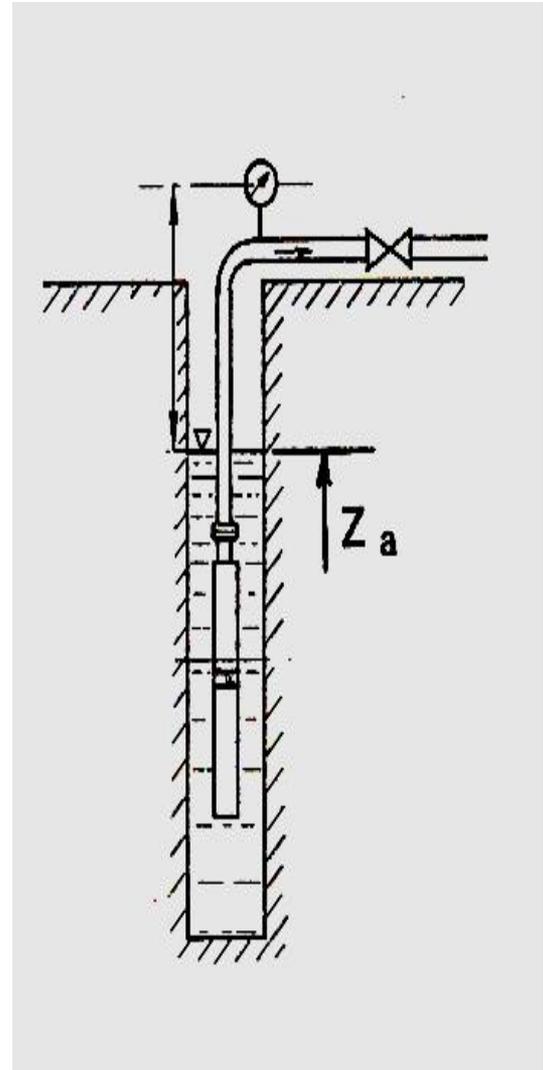
- Pompe commandée par un moteur placé en surface
- Arbre guidé par paliers : éléments de 2 à 1,5m.
- **Nécessite centrage parfait.**
- **Eviter toute vibration.**
- **Montage assez délicat.**
- **Hauteur d'aspiration diminuée.**
- **Encombrement réduit.**
- **Travaux de GC réduit.**
- **Pas de problèmes d'amorçage.**



Classification des pompes centrifuges

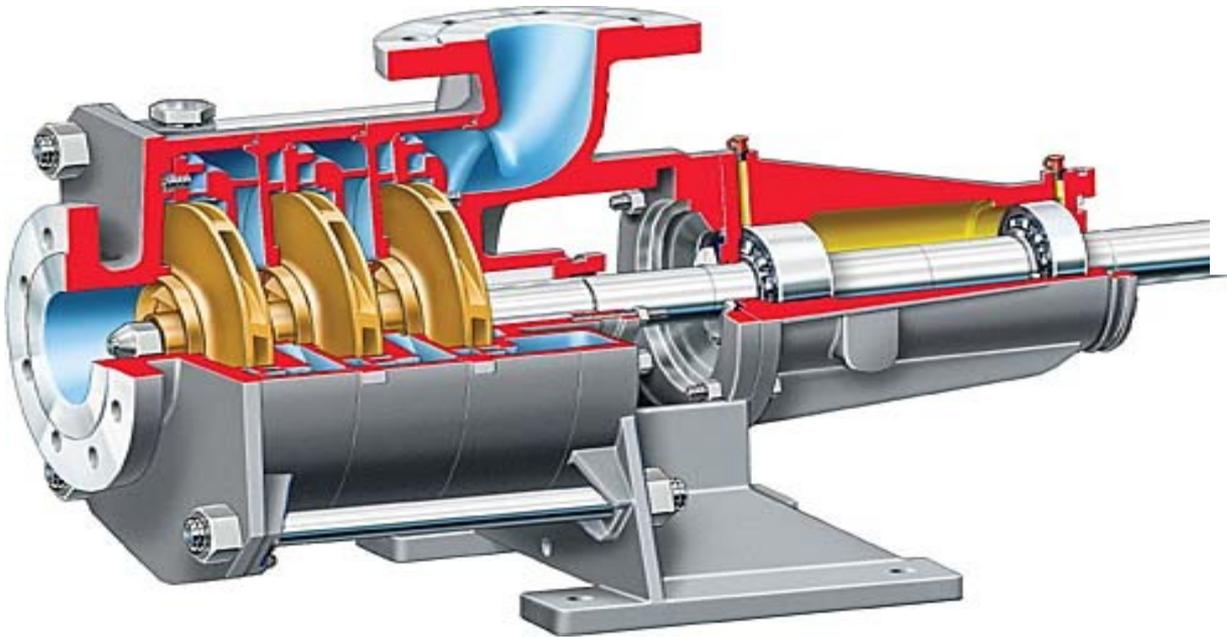
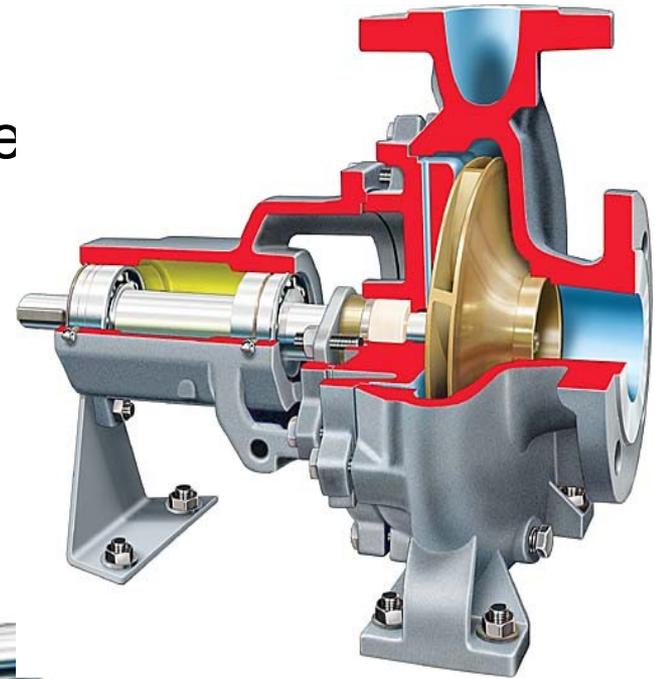
Pompes immergées

- Pompe multicellulaire (plusieurs étages).
- Moteur électrique incorporé placé au dessous
- Refroidissement du moteur : circulation d'eau.
- Installation simplifiée.
- Point délicat : étanchéité du câble électrique dans le moteur.



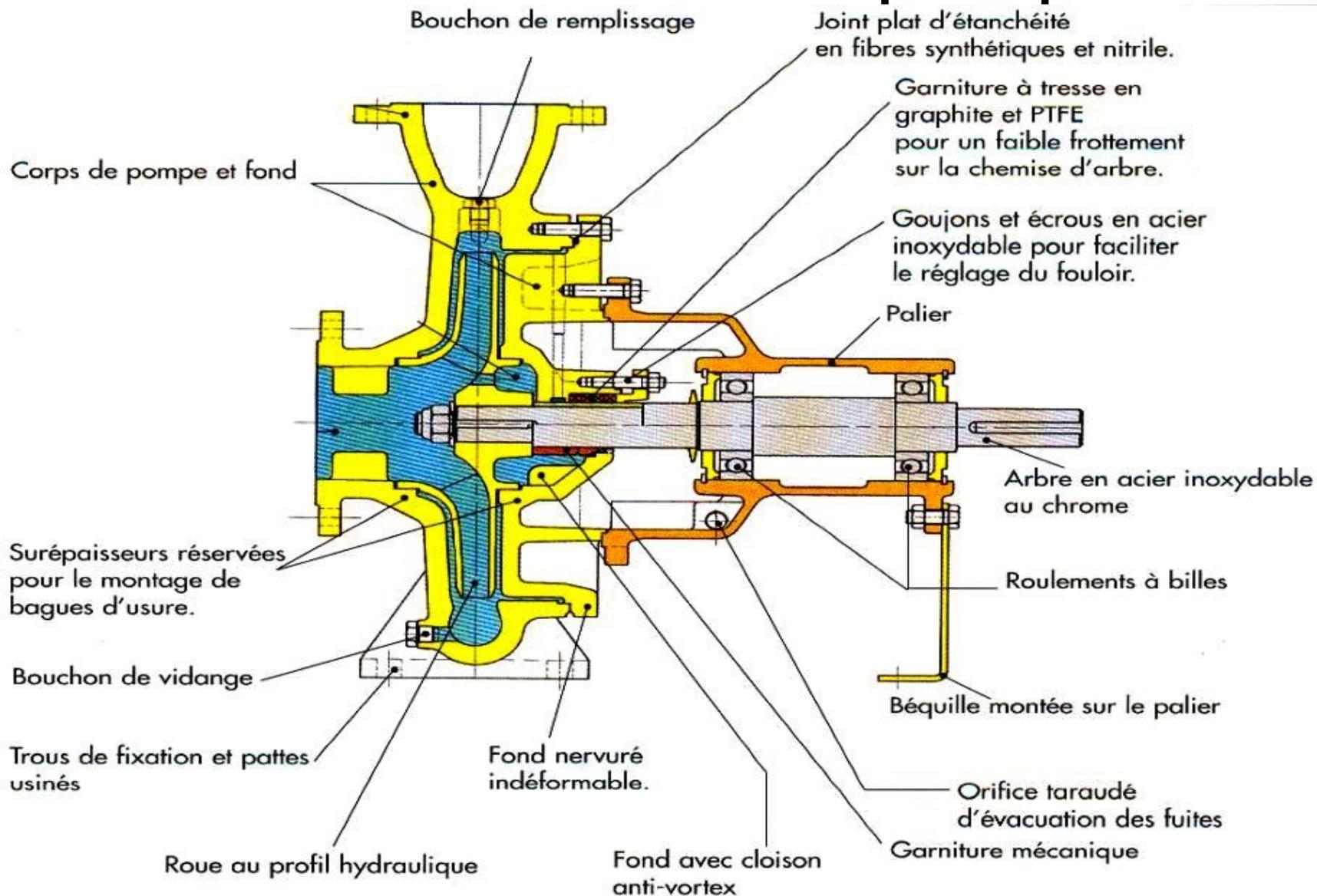
Classification des pompes centrifuges

Pompe monocellulaire
(un seul étage)



Pompe multicellulaire (plusieurs étages)

Constituants d'une pompe



Constituants d'une pompe

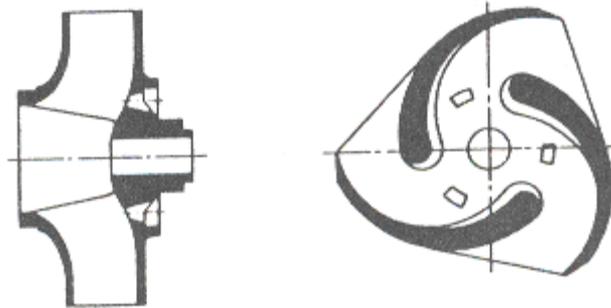
Roue radiale



Roue à 3 canaux ouverte

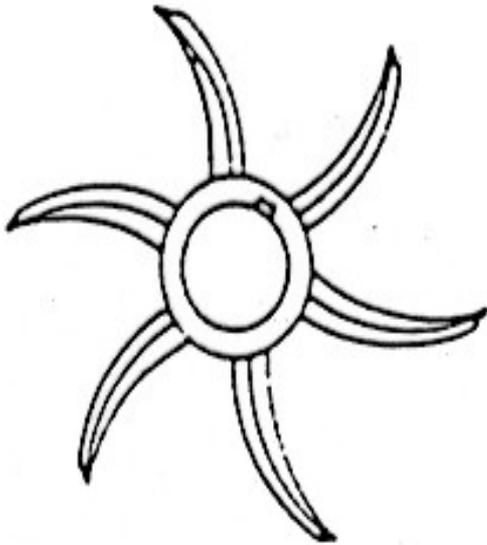


Roue à 3 canaux fermée

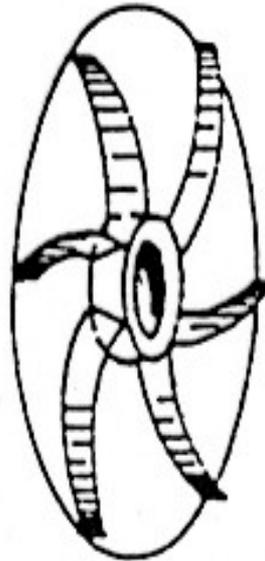


Constituants d'une pompe

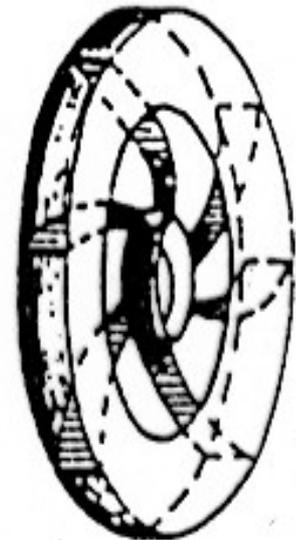
Différents types de roues



Rotor ouvert



Rotor demi-ouvert



Rotor fermé

Constituants d'une pompe

Matériaux

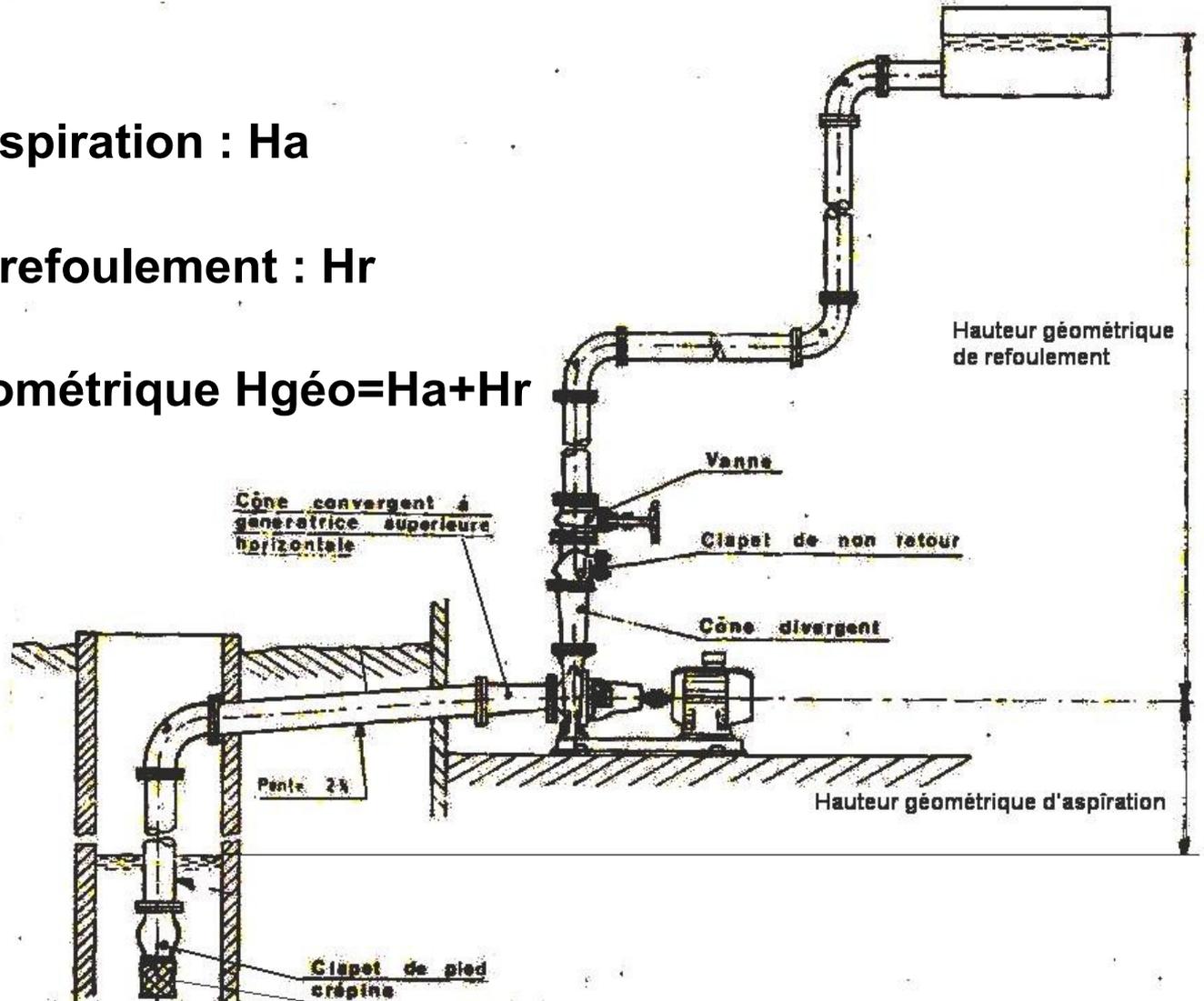
- **Fonte moulée**: économique, utilisée en priorité si pas d'exigence particulière
- **Acier moulé**: Caractéristique mécanique supérieure, résistance à la corrosion semblable
- **Alliage de cuivre** : Bronze, laitons
 - ✓ Bonne caractéristiques mécaniques
 - ✓ Très bonne résistance à la corrosion
 - ✓ Bonne aptitude à la fabrication de pièces étanches
- **Acier inoxydable** : pour installation spécifique

Courbes caractéristiques

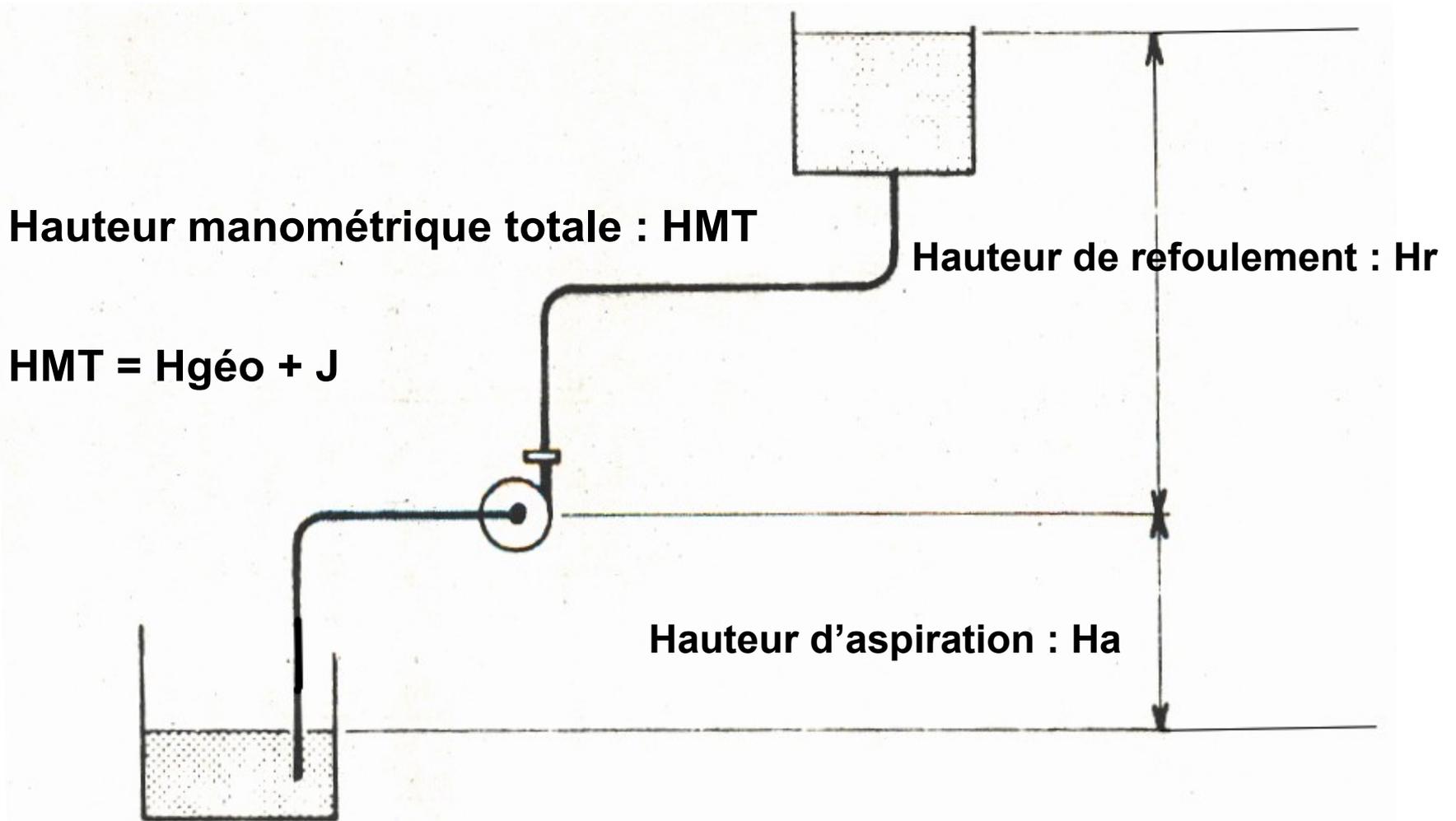
Hauteur d'aspiration : H_a

Hauteur de refoulement : H_r

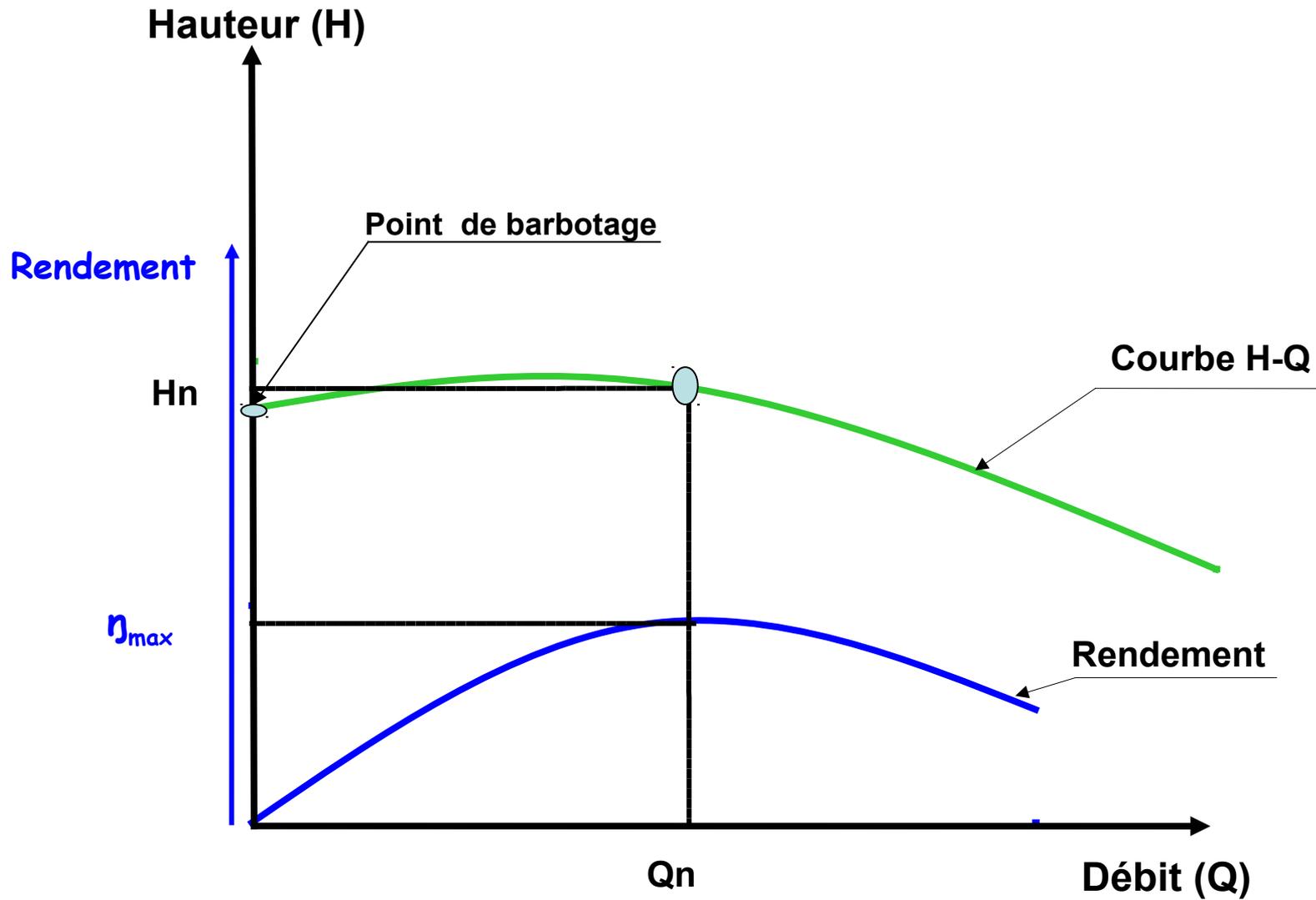
Hauteur géométrique $H_{géo} = H_a + H_r$



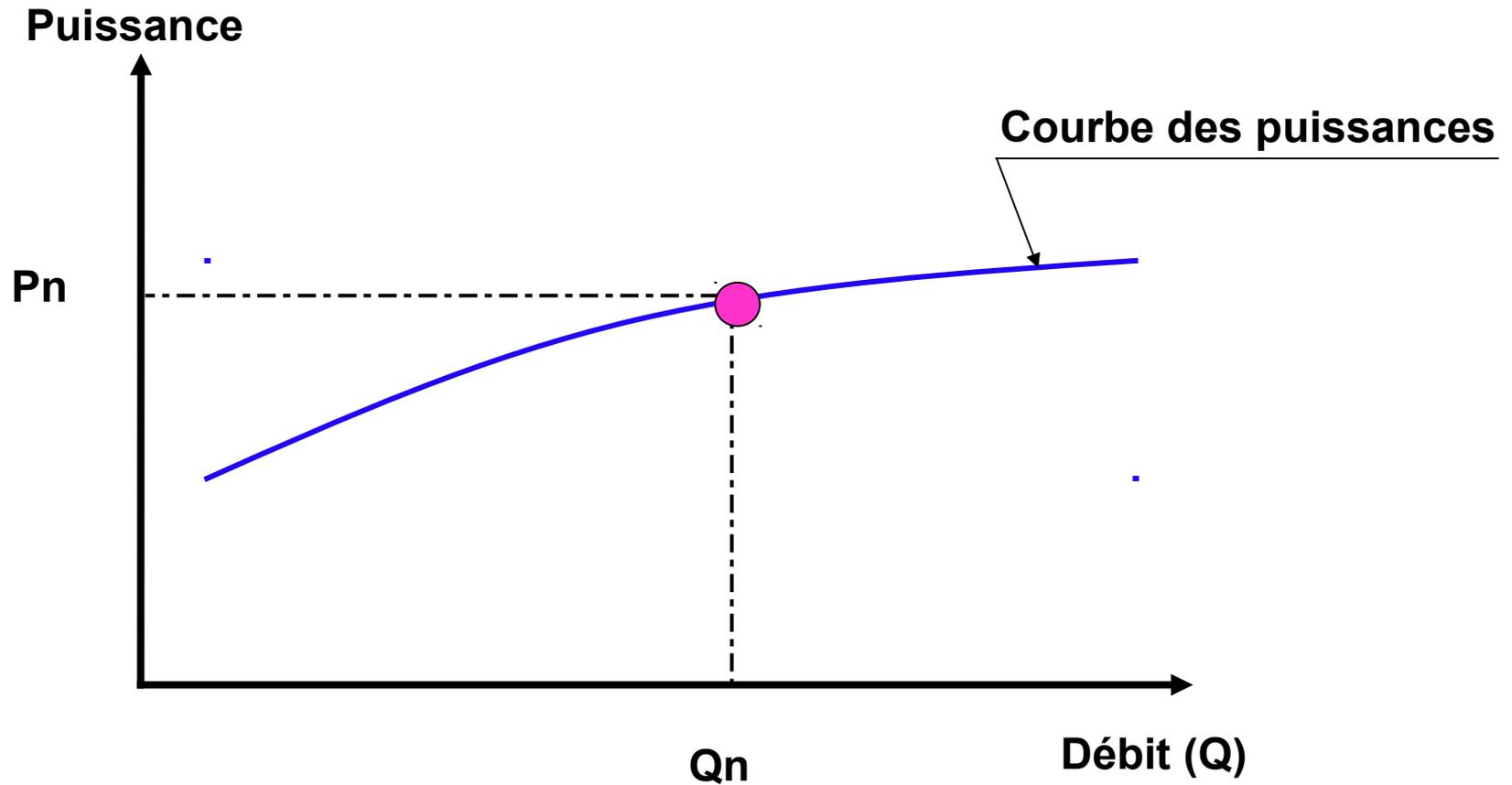
Courbes caractéristiques



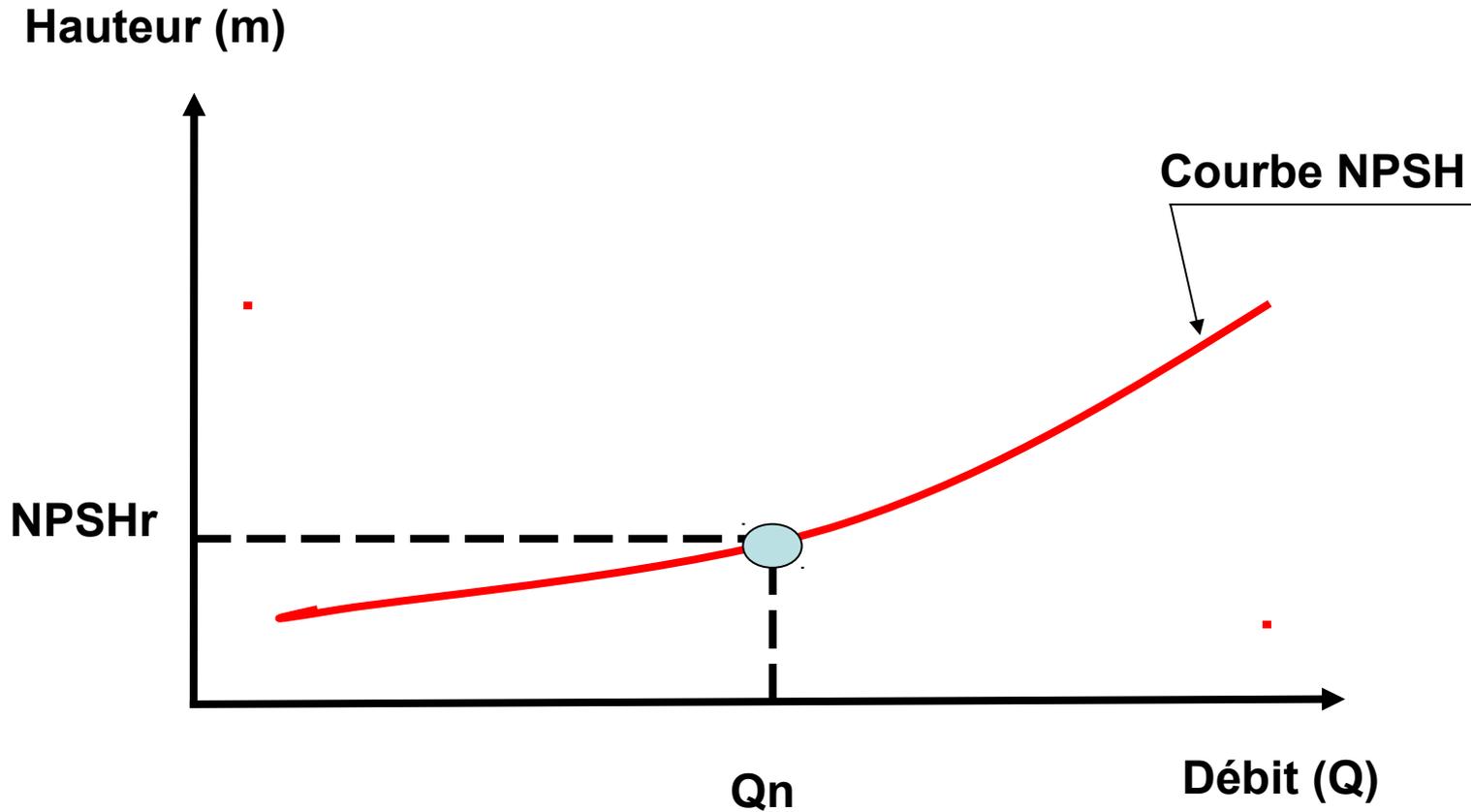
Courbes caractéristiques



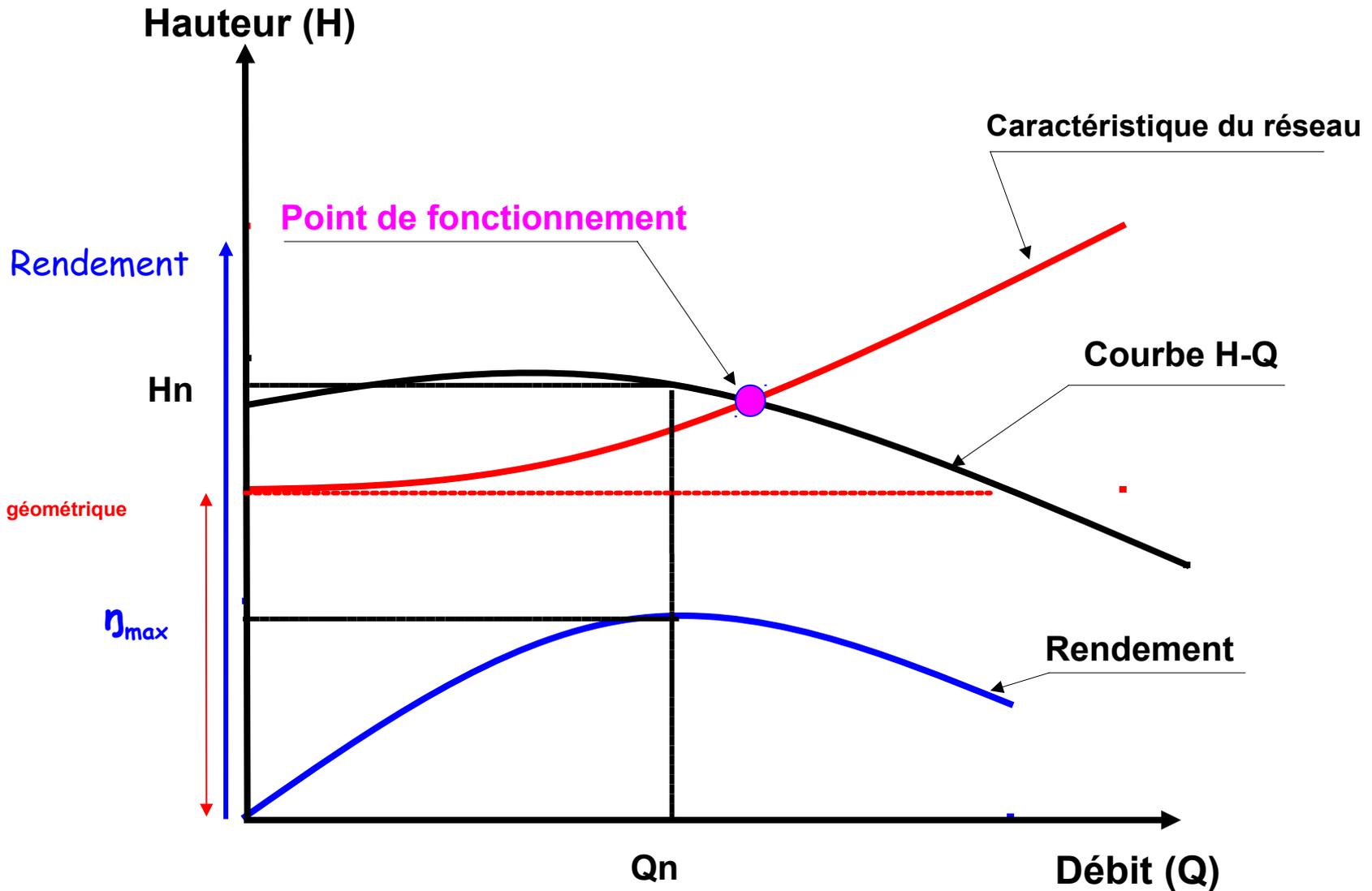
Courbes caractéristiques



Courbes caractéristiques

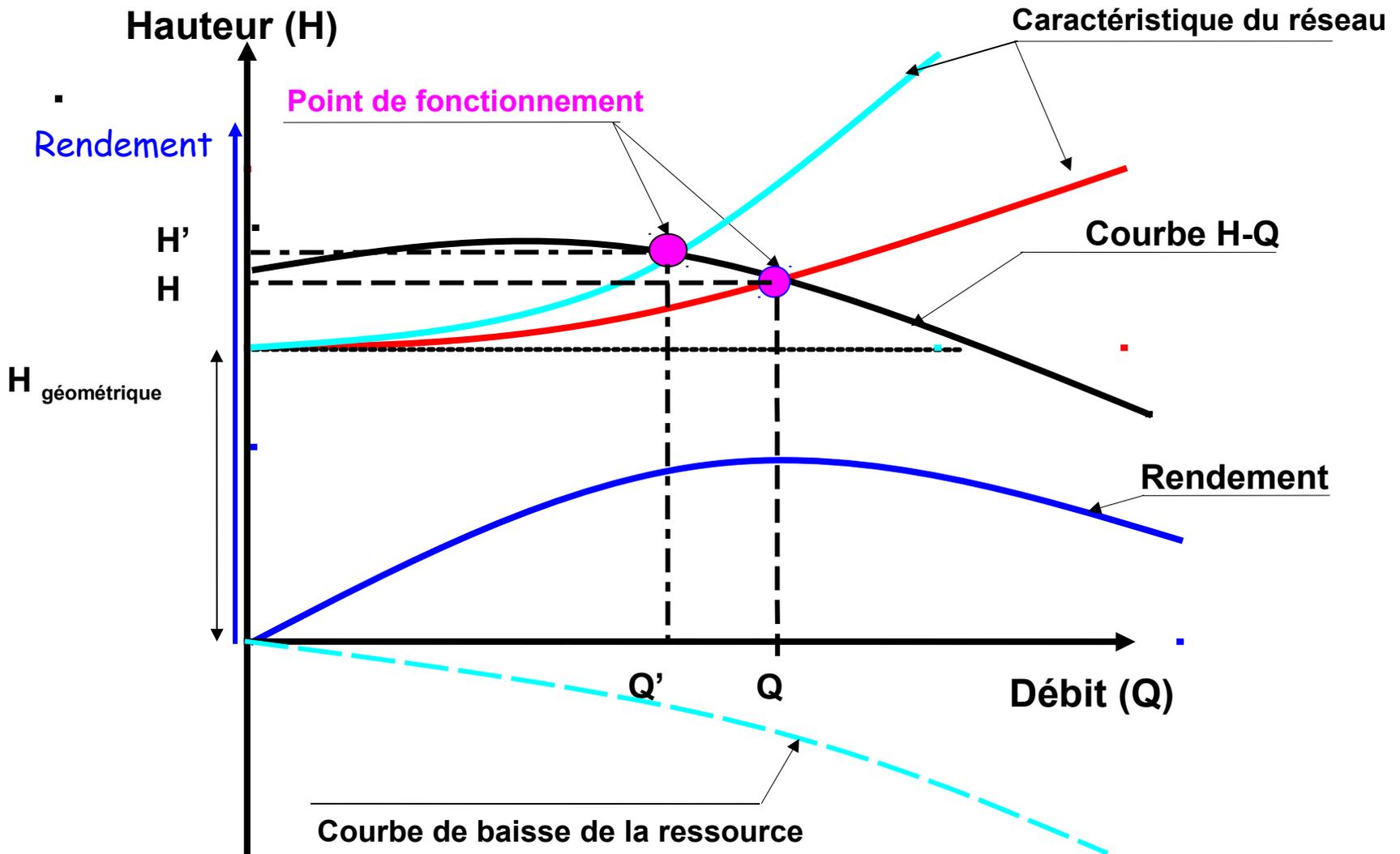


Point de fonctionnement



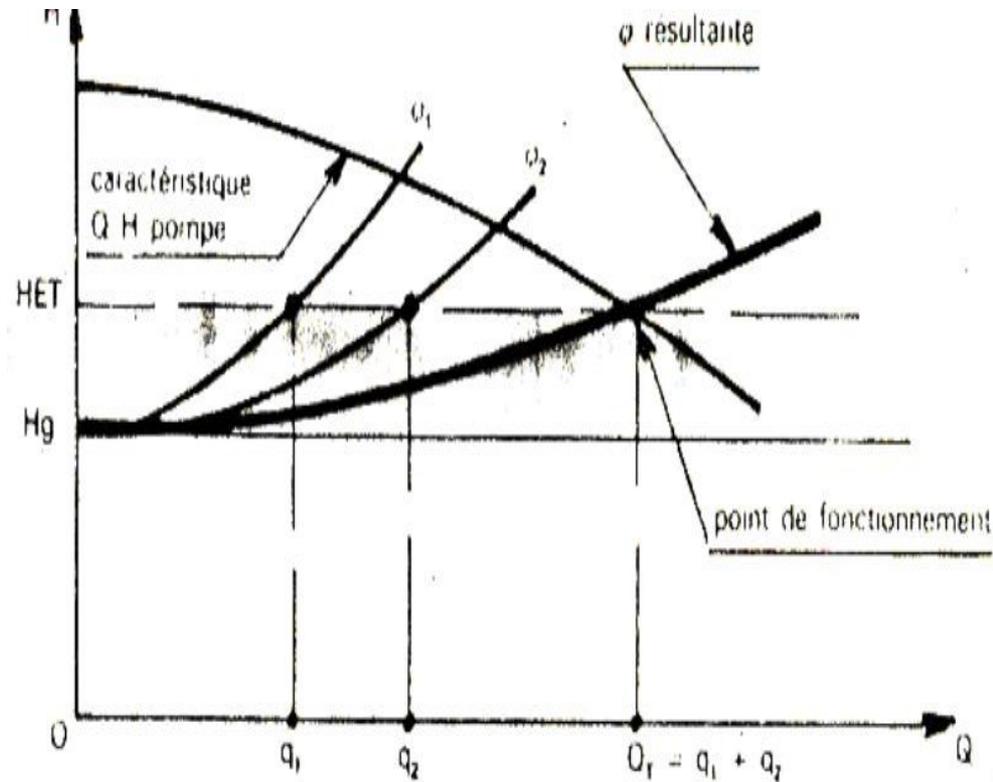
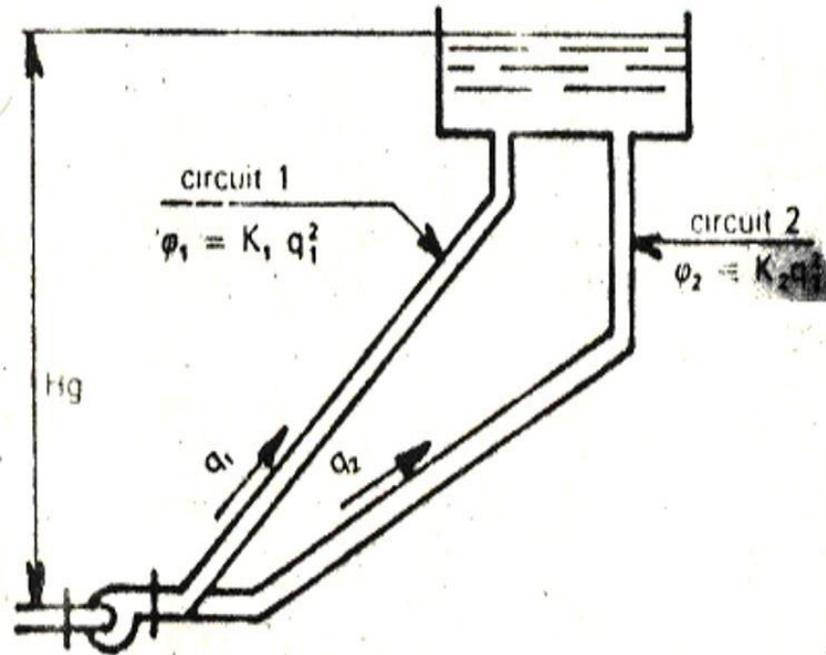
Point de fonctionnement

Cas de baisse de la ressource



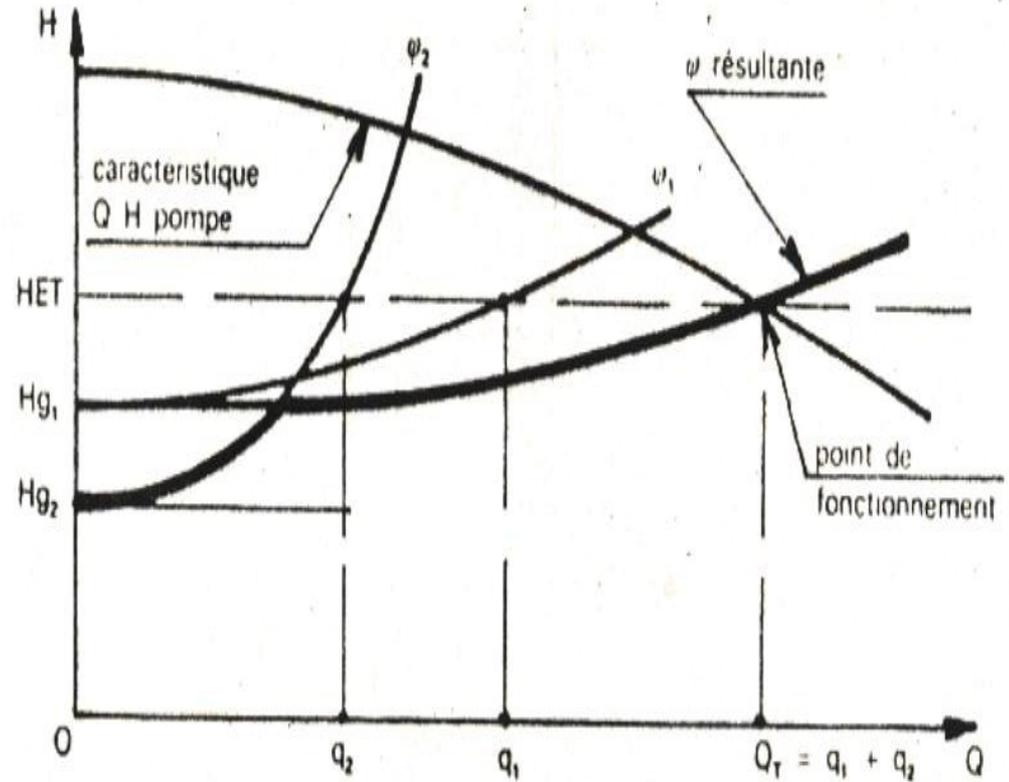
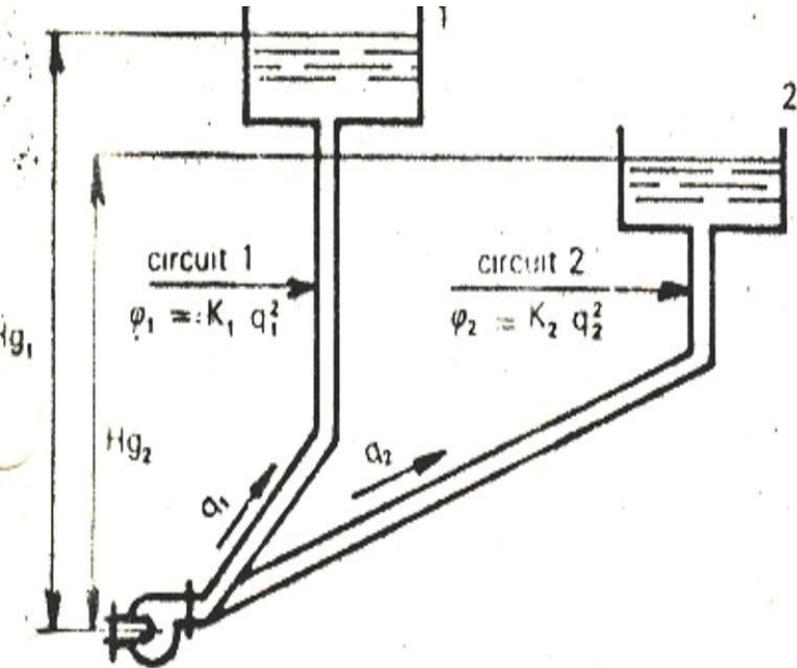
Point de fonctionnement

Situations diverses



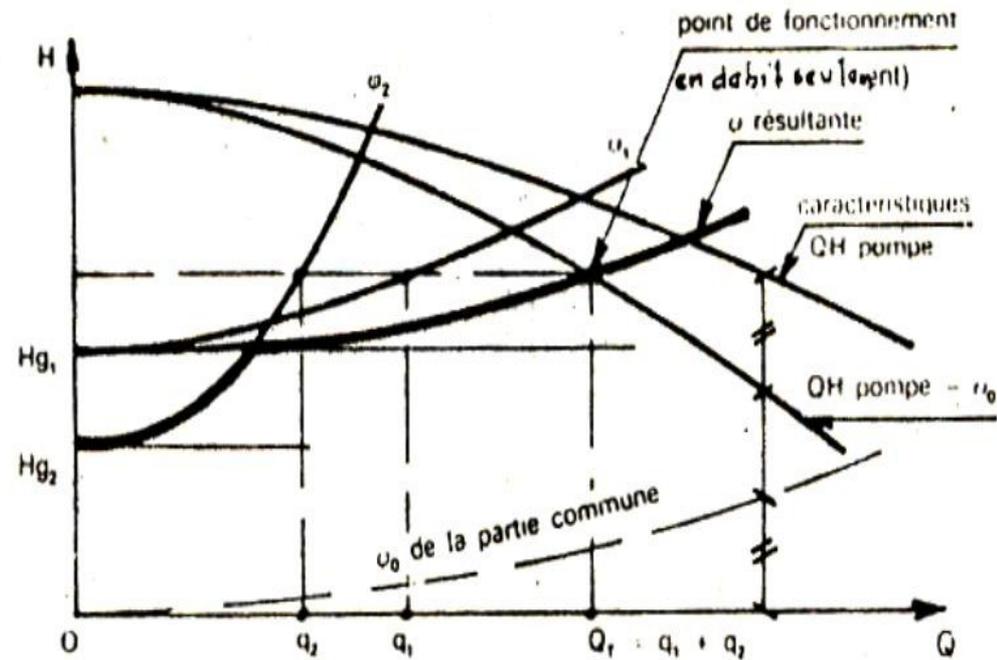
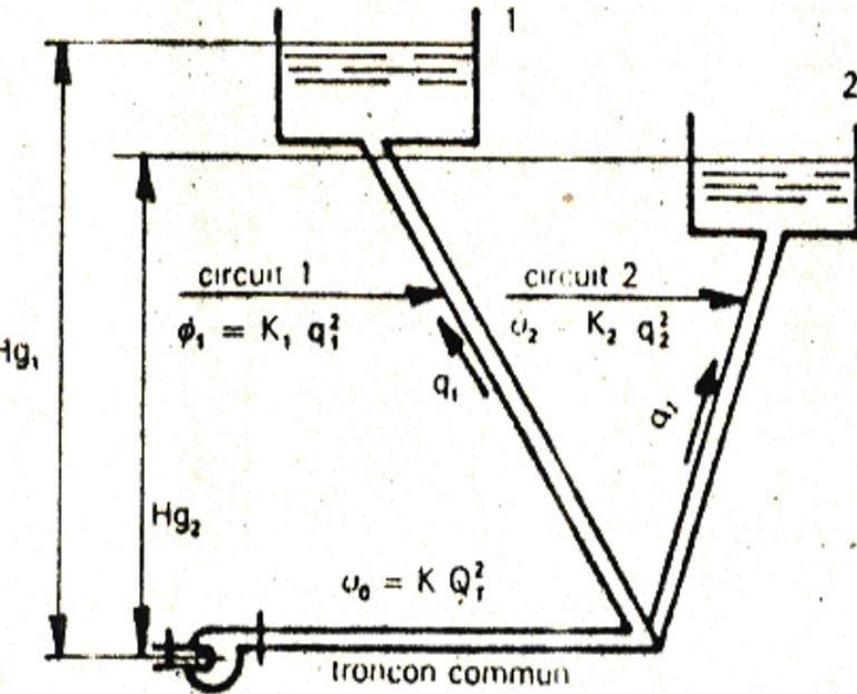
Point de fonctionnement

Situations diverses

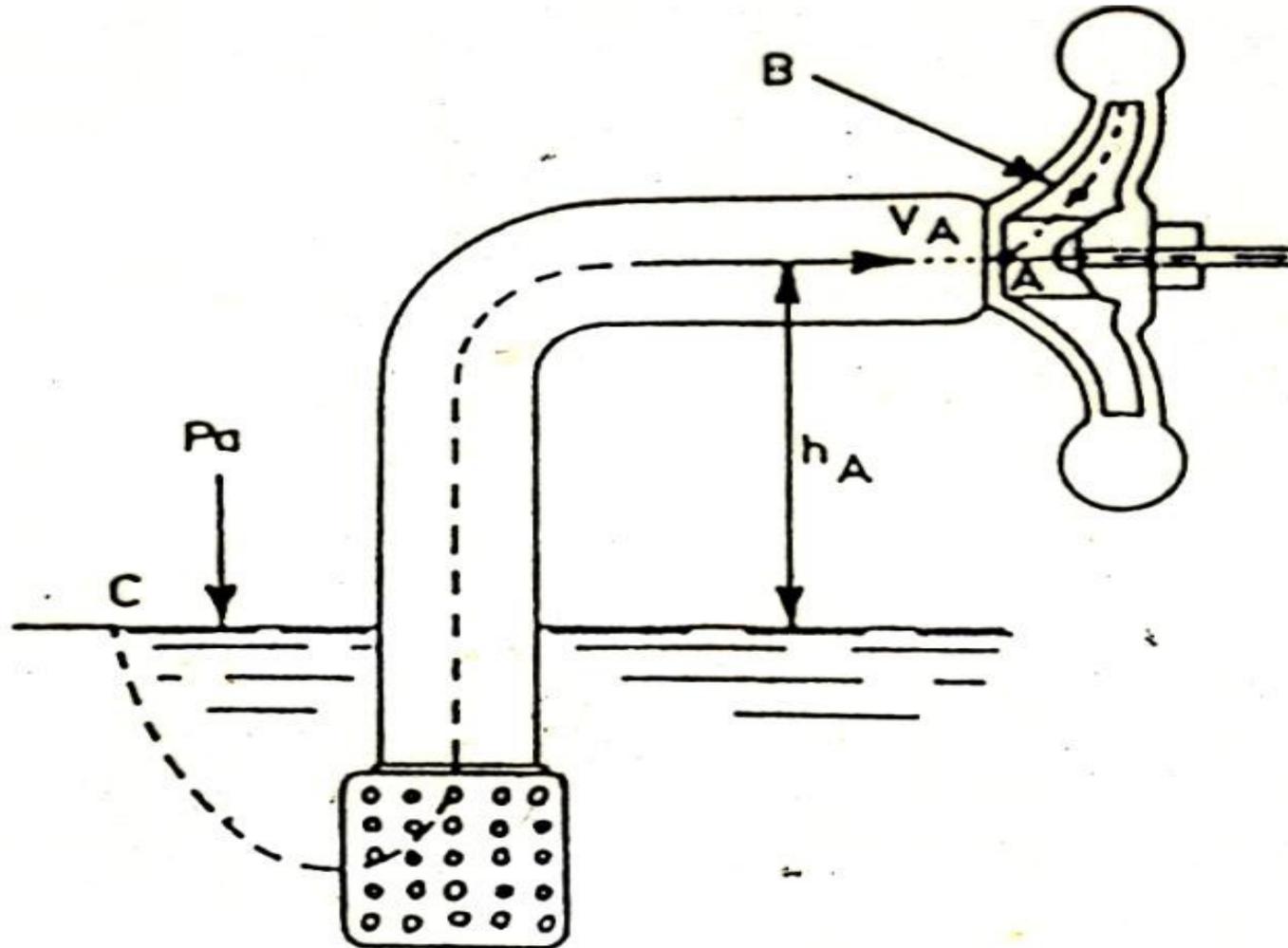


Point de fonctionnement

Situations diverses



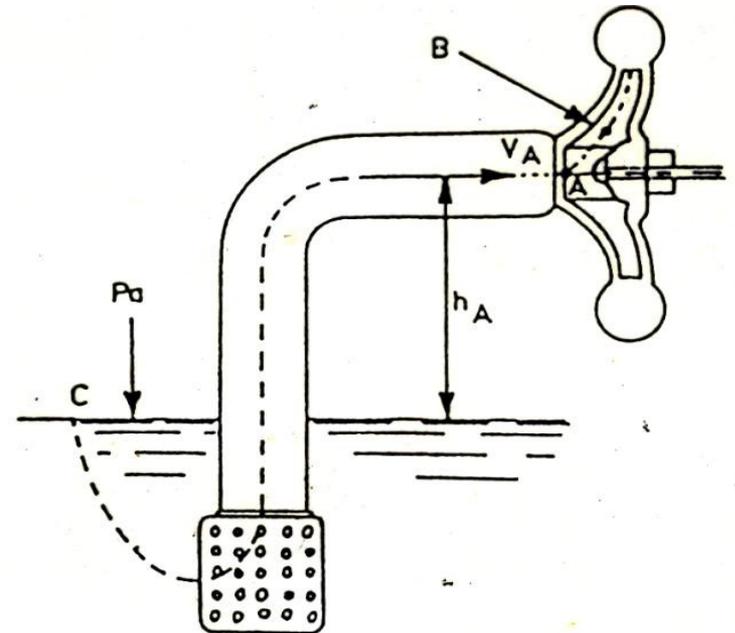
La cavitation des pompes



La cavitation des pompes

Diminution de pression:

- ✓ Augmentation de la hauteur géométrique
- ✓ Augmentation des pertes de charge
- ✓ Diminution de la PA
- ✓ Augmentation de la température de l'eau
- ✓ Augmentation du débit de pompage
- ✓ Augmentation de la vitesse de la roue



La cavitation des pompes

Conséquence :

- ❖ Chute des caractéristiques : baisse des performances
 - ❖ Usures des organes (roue) : durée de vie réduite
 - ❖ Mécaniques : vibrations
-
- ✓ La cavitation est reconnue à son bruit semblable à un broyage.
 - ✓ L'aspect des surfaces érodées par cavitation est spongieux

La cavitation des pompes

Quantification de la cavitation

Notion de NPSH

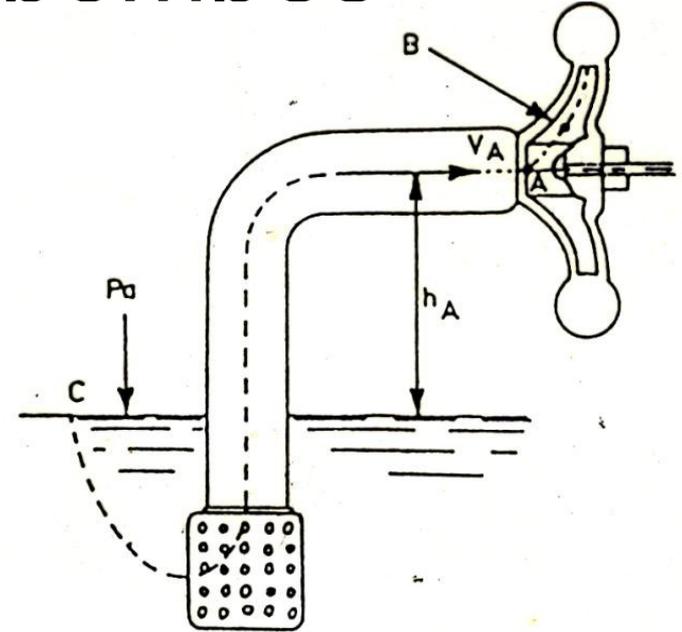
NPSH : Net positive suction Head

La charge nette positive à l'aspiration

$$\text{NPSH} = \text{Pression entrée pompe} - \text{pression vapeur de l'eau}$$

La cavitation des pompes

- P_a , V_a : pression et vitesse à l'entrée de la pompe
- P_c , V_c : pression et vitesse à la surface de la source
- $NPSH = P_a/\rho g - t_v$



Theorème de Bernoulli entre A et C:

$$Z_a + P_a/\rho g + V_a^2/2g = Z_c + P_c/\rho g + V_c^2/2g - J_{asp}$$

$$P_a/\rho g = Z_c - Z_a + P_c/\rho g + V_c^2/2g - V_a^2/2g - J_{asp}$$

$$= P_c/\rho g - (Z_a - Z_c - V_c^2/2g + V_a^2/2g + J_{asp}) - t_v$$

$$Z_a - Z_c = H_{asp}; \quad V_a - V_c \approx 0; \quad P_c/\rho g - t_v \approx 10\text{m}$$

$$\mathbf{NPSH = 10 - (H_{asp} + J_{asp})}$$

La cavitation des pompes

Notion de NPSH

$$\text{NPSH} = 10 - (\text{Hasp} + \text{Jasp})$$

- NPSH décroît quand le débit augmente
- Le NPSH calculé ne dépend pas de la pompe : il s'agit du NPSH disponible

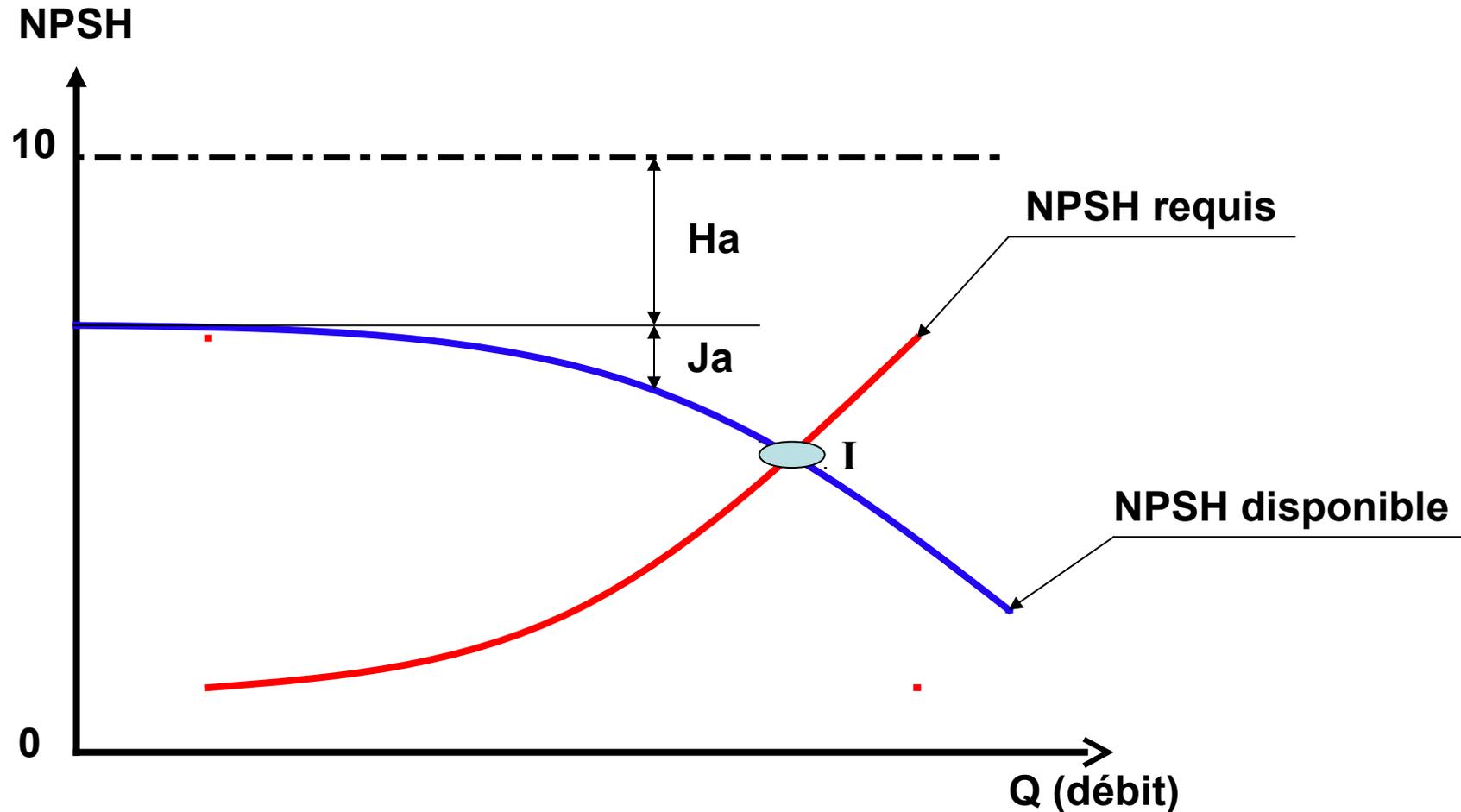
On définit le NPSH requis pour la pompe

- $\text{NPSHr} = \text{fct}(Q)$; ($\approx K \times Q^2$) : donné par le constructeur
- NPSHr : dépend de la pompe
- NPSHr augmente avec le débit

Condition de non cavitation : $\text{NPSHd} > \text{NPSHr}$

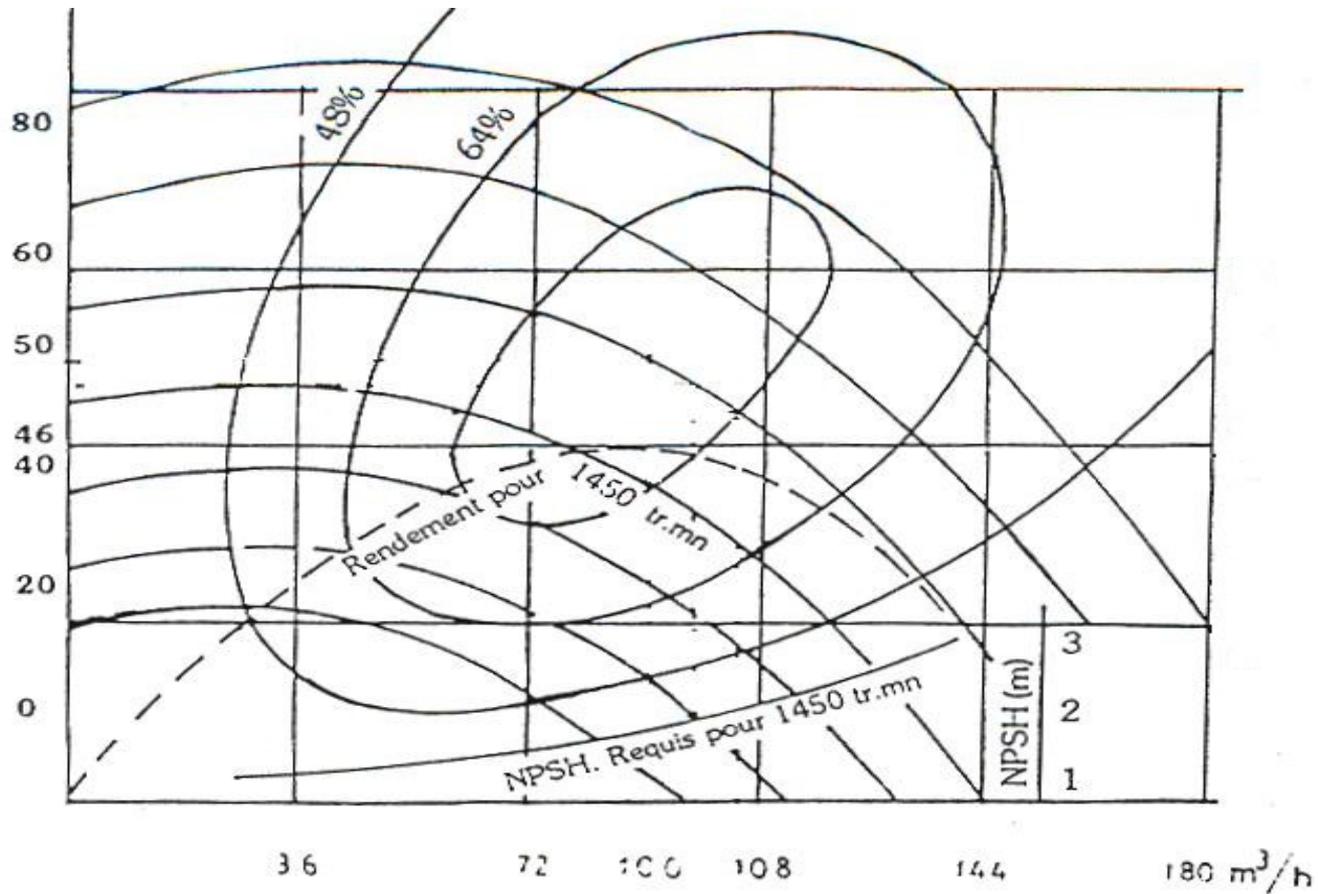
La cavitation des pompes

Notion de NPSH



Le point I marque le début de la cavitation

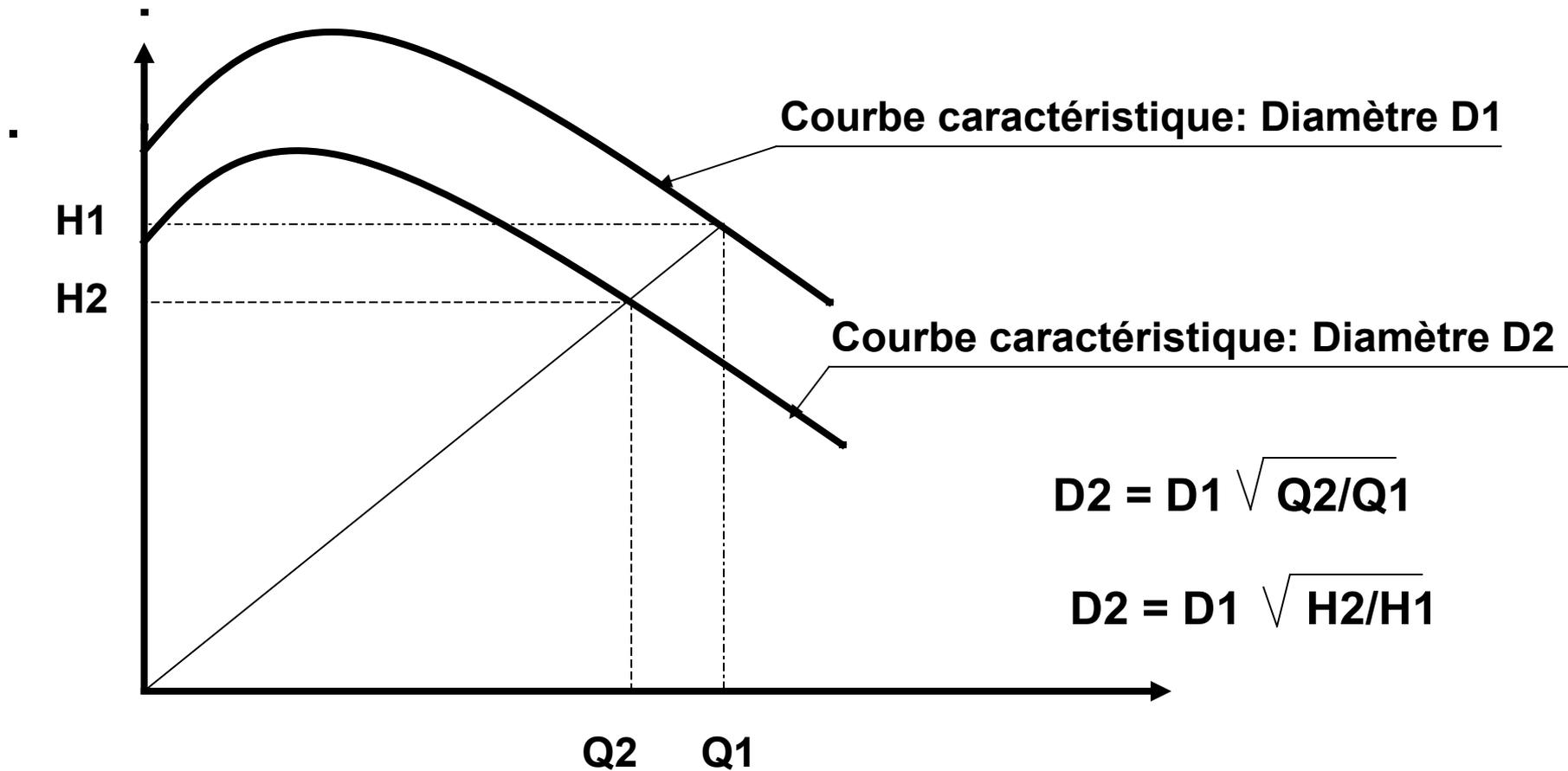
Caractéristiques des pompes



POMPE CENTRIFUGE TYPE
30 P- N°1

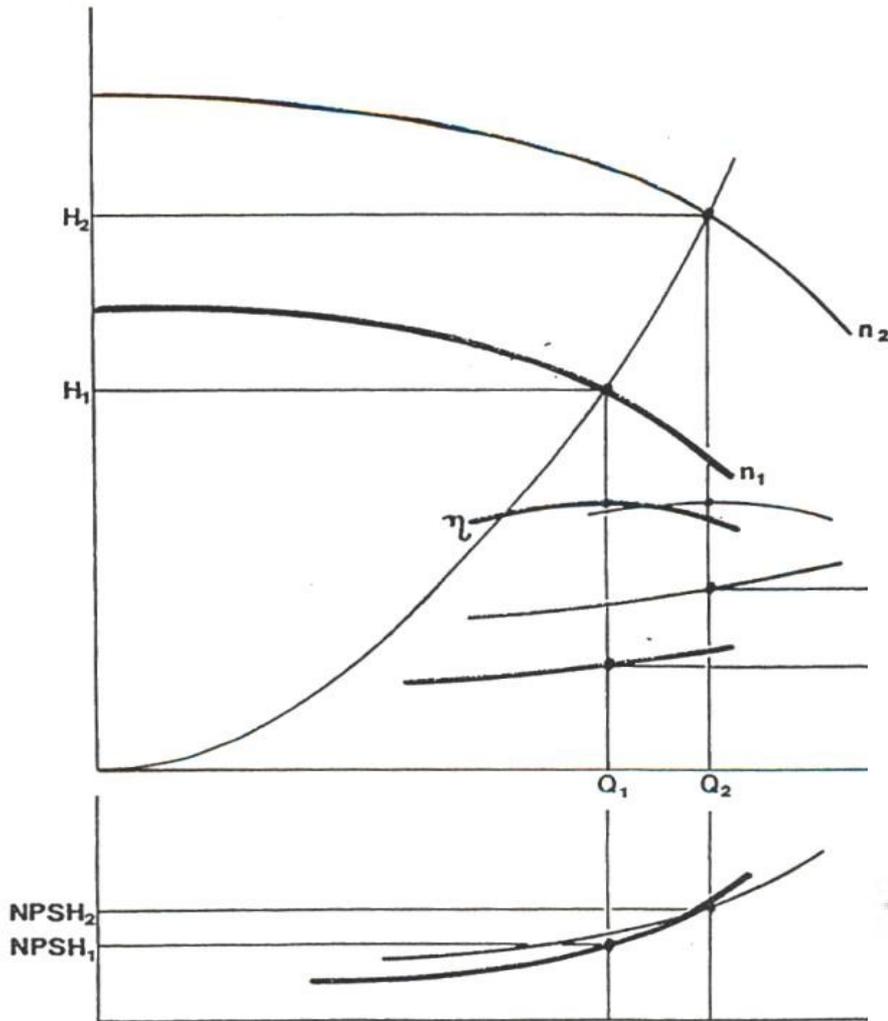
Caractéristiques des pompes

Rognage ou recoupe de roues de pompes



Caractéristiques des pompes

Vitesse de rotation



$$H_2 = H_1 \left[\frac{n_2}{n_1} \right]^2$$

$$Q_2 = Q_1 \left[\frac{n_2}{n_1} \right]^3$$

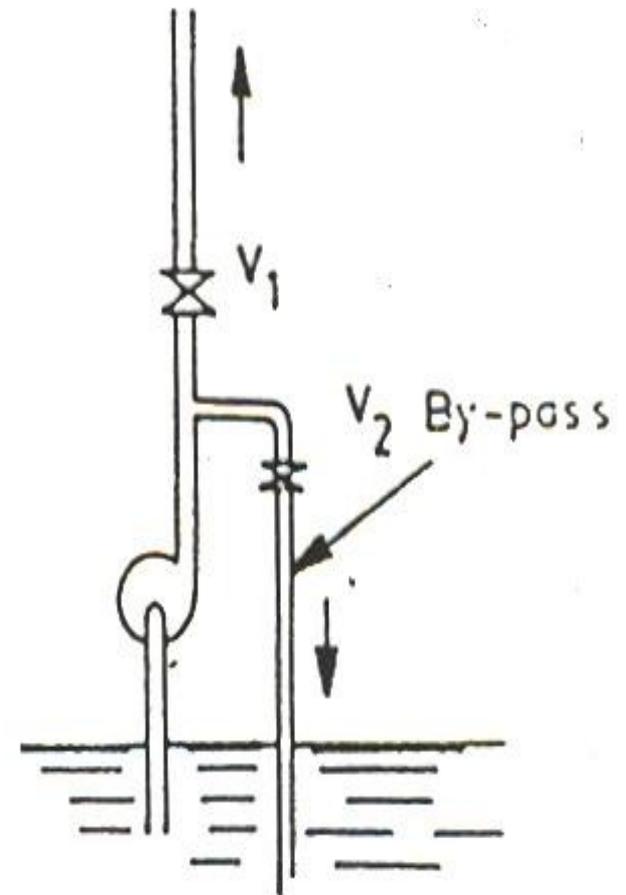
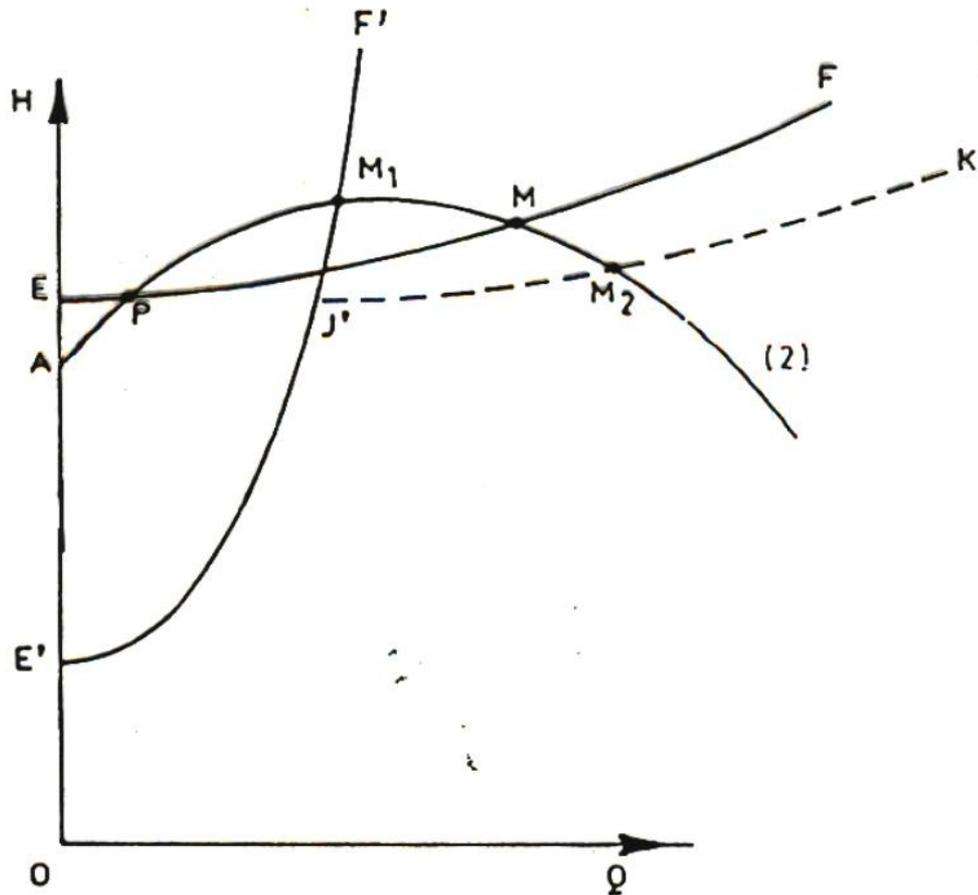
$$P_2 = P_1 \left[\frac{n_2}{n_1} \right]^3$$

$$NPSH_2 = NPSH_1 \left[\frac{n_2}{n_1} \right]^2$$

si $\frac{n_2}{n_1} >$

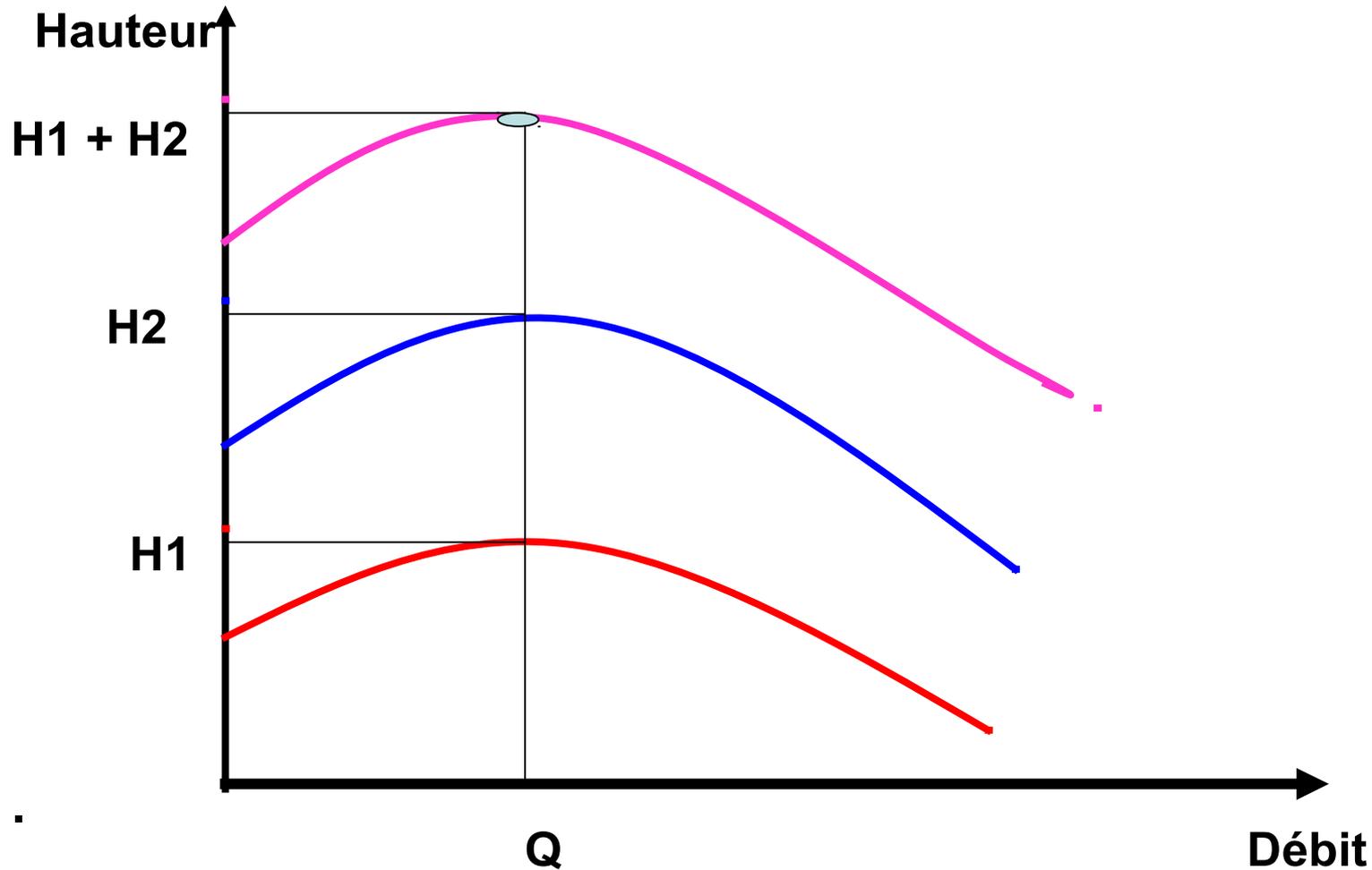
Caractéristiques des pompes

Cas particulier de la hauteur géométrique



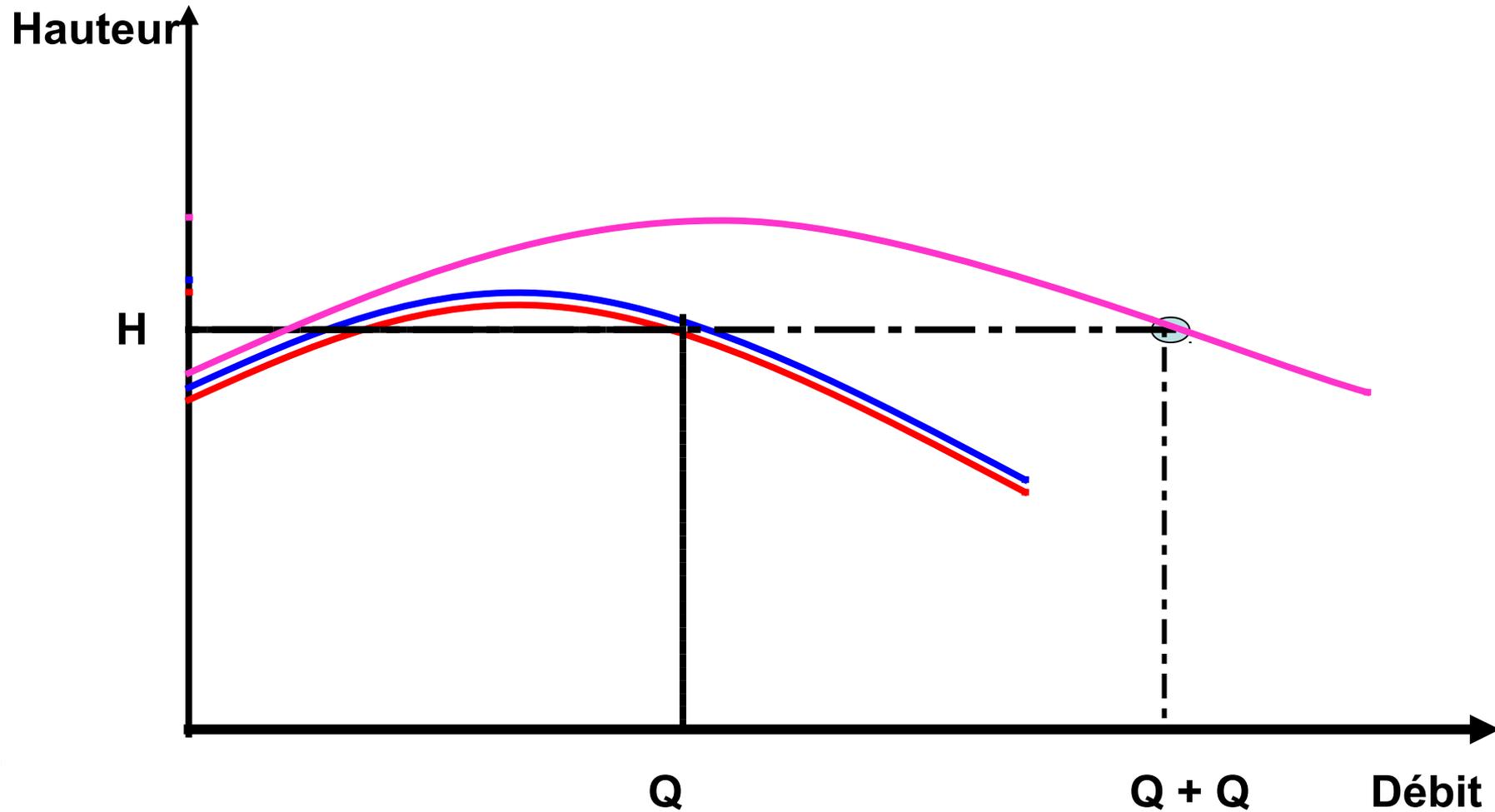
Couplages des pompes

En série



Couplages des pompes

En parrallèle



Point de fonctionnement

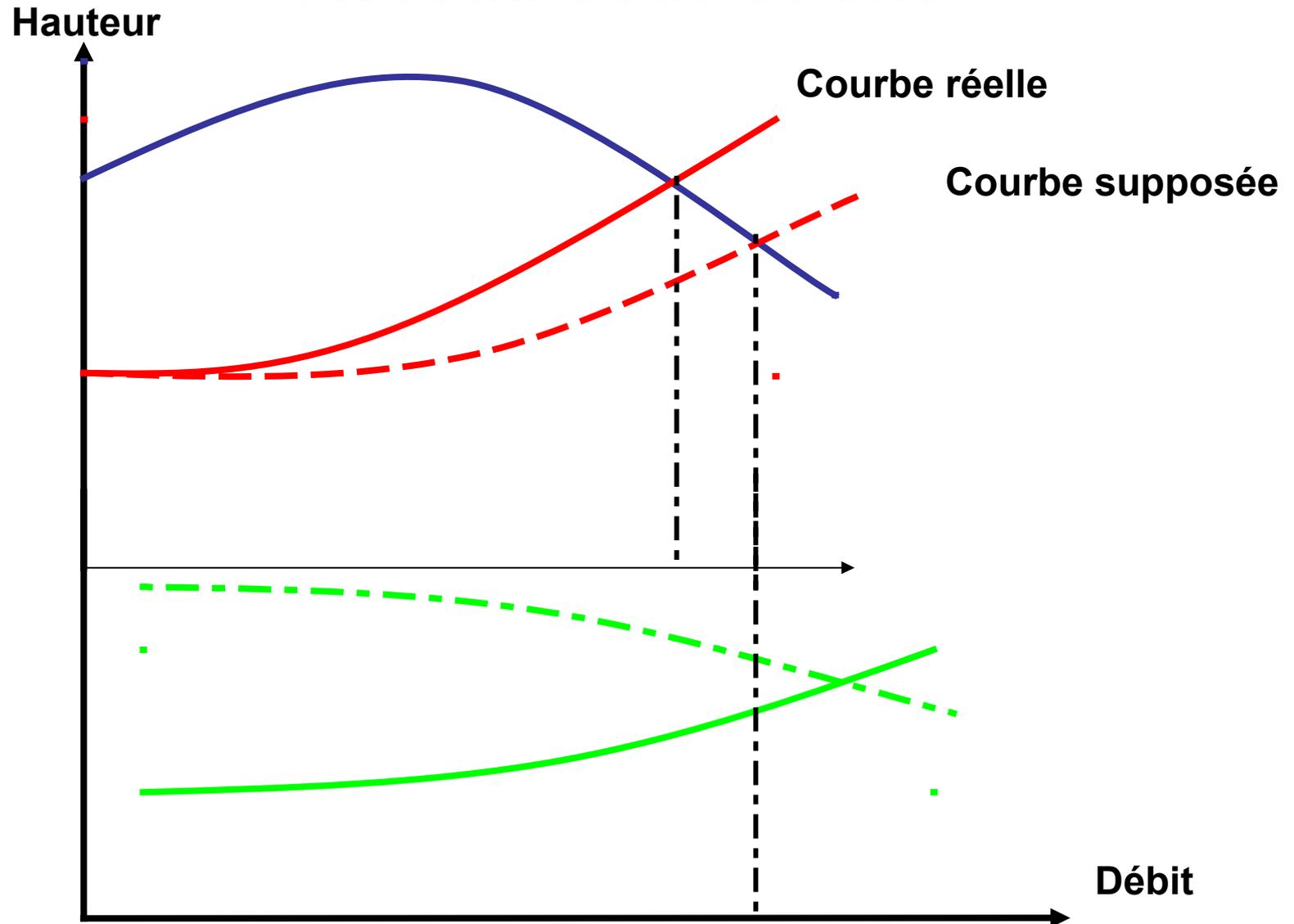
Caractéristique du réseau (refoulement) peut présenter des écarts importants par rapport aux prévisions et qui sont dus:

- ✓ Calcul des pertes de charges
- ✓ Nature des accessoires
- ✓ Etat des conduites
- ✓ Prise en compte d'une hauteur de sécurité



le point de fonctionnement supposé est déplacé

Point de fonctionnement Réseau Sous estimé

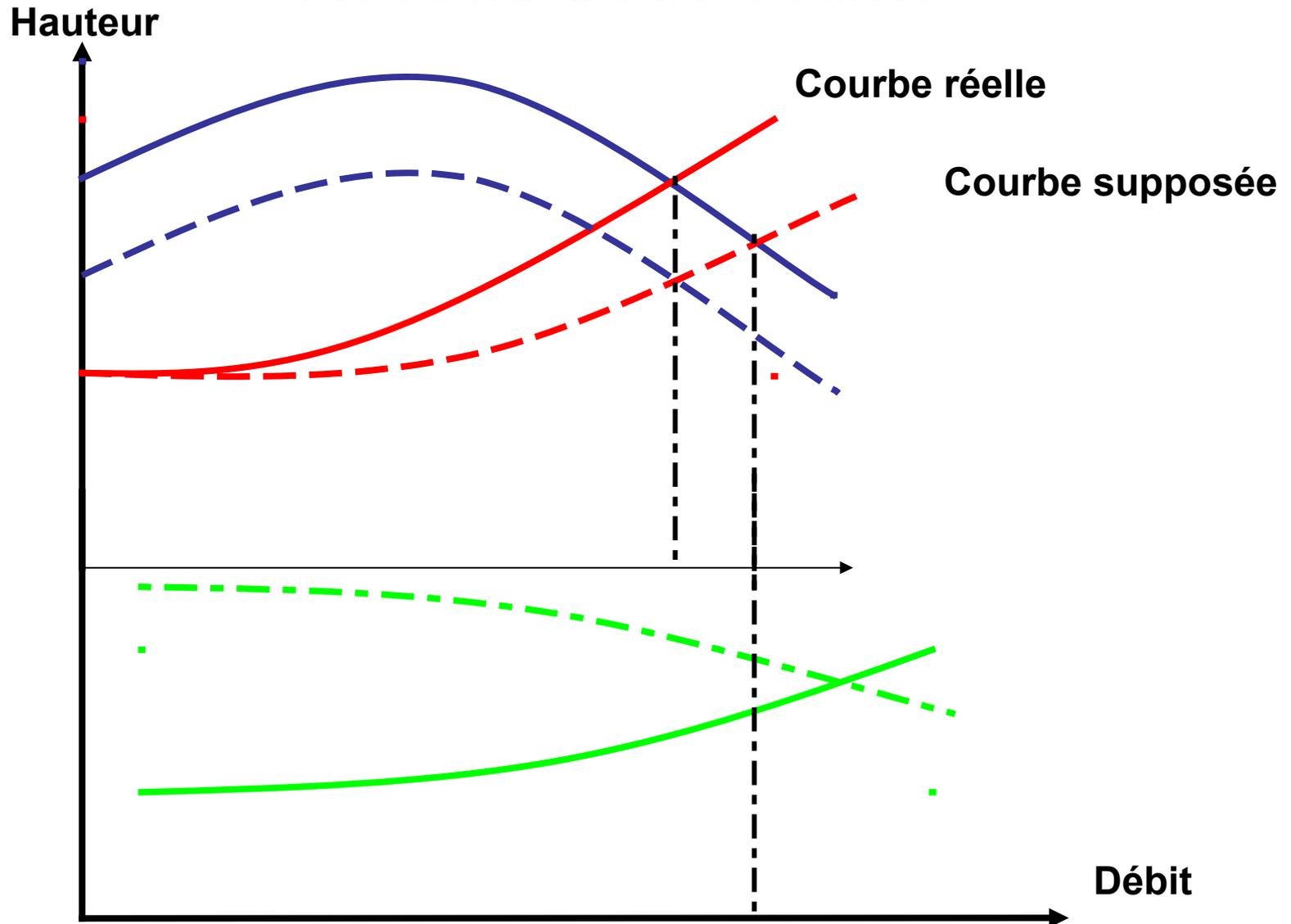


Point de fonctionnement Réseau Sous estimé

Solutions:

- ✓ Réduire les pertes de charges (changer les accessoires)
- ✓ Couplage de pompes
- ✓ Modifier la vitesse de rotation

Point de fonctionnement Réseau Sous estimé



Point de fonctionnement Réseau Sur-estimé

Hauteur

Supposé

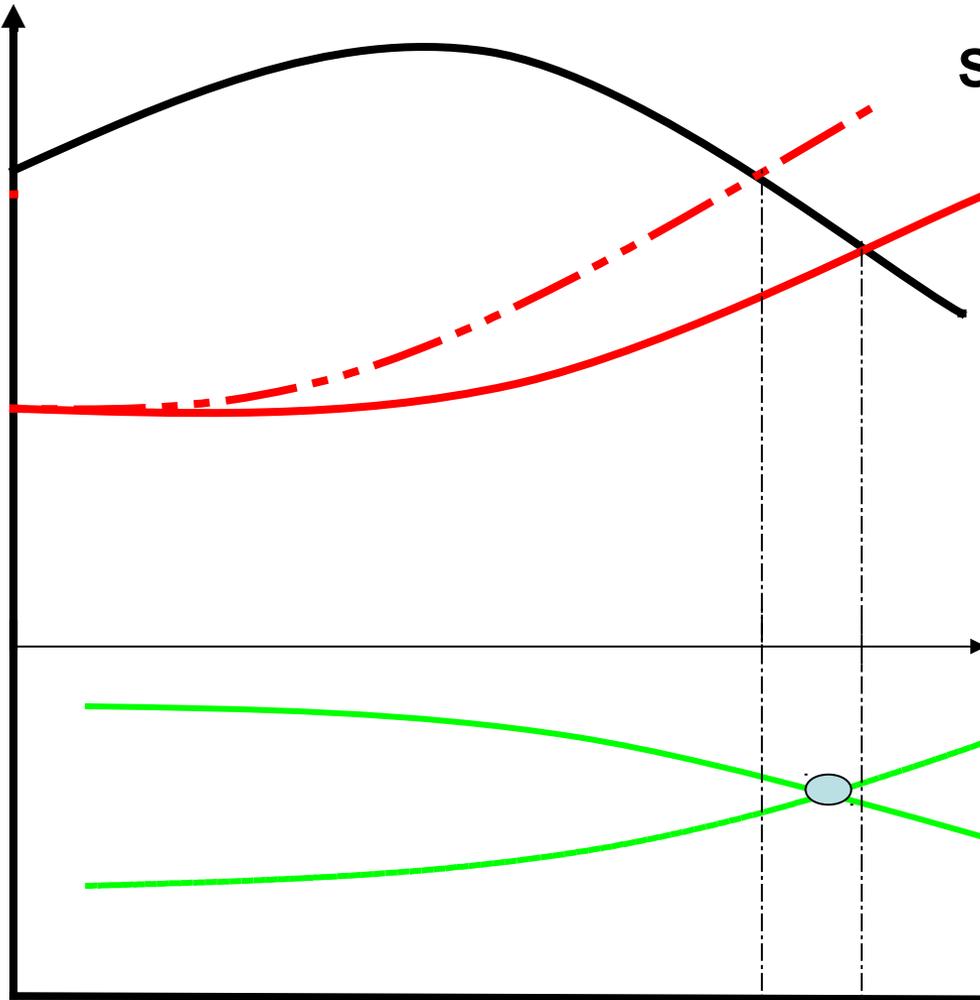
Réel

Requis

Disponible

Débit

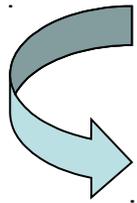
NPSH



Point de fonctionnement Réseau Sur-estimé

Solutions :

- ✓ Créer des pertes de charges supplémentaires:

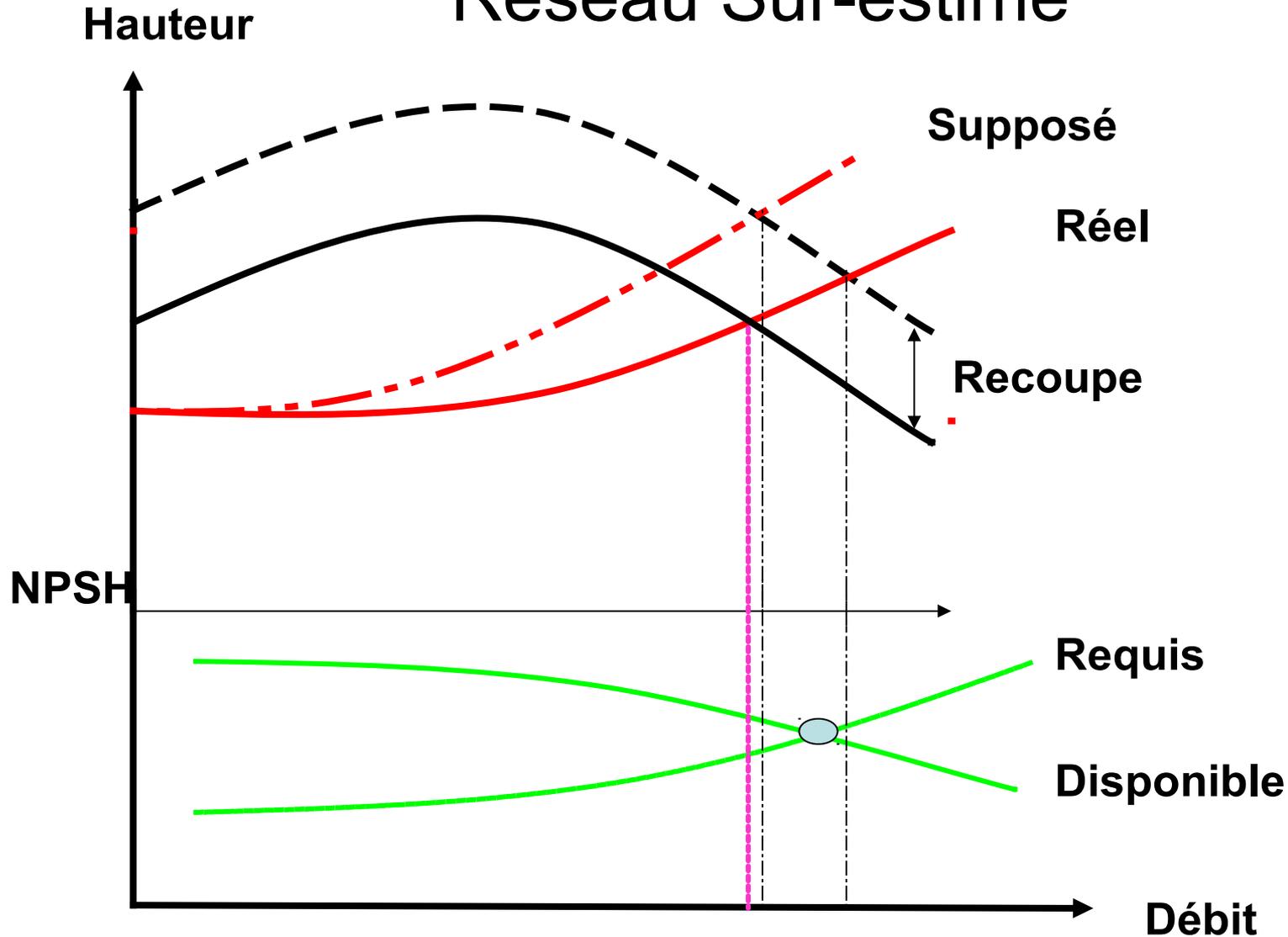


Vannage , montage d'un diaphragme, etc

Gaspillage d'énergie

- ✓ Recoupe de la roue
- ✓ Modification de la vitesse de rotation

Point de fonctionnement Réseau Sur-estimé



Choix des pompes

Conditions hydrauliques

- Hauteurs, débit : courbes caractéristiques disponibles divers fournisseurs
- Choisir le type de pompes : condition d'aspiration (NPSH)
- Possibilité de variation des conditions de pompage
- Fonctionner dans la plage de rendement maximum
- Coût le plus faible du m³ d'eau

Conditions mécaniques

- Groupe fournie par le constructeur qui a procédé aux adaptations nécessaires

Choix des pompes

Conditions d'installation et d'entretien

- Aspiration
- Amorçage
- Encombrement du groupe
- Qualité de l'eau pompé (T°, pH, matières en suspension, sels dissous, etc.....)
- Choix des matériaux

Choix des pompes

Contraintes générales

Caractéristiques du réseau électrique : tension d'alimentation du groupe, puissance du transfo

❖ Vitesse de rotation :

- Grande vitesse (3000t/mn)
 - Moins chers
 - Durée de vie plus courte
 - Plus de bruit

Caractéristiques du puits ou forage :

- Diamètre limite le diamètre de la pompe
- Qualité des parois influence le choix de la pompe

Choix des pompes

- Si Haspiration $< 8\text{m}$: pompe à axe horizontal
- Si Haspiration $> 8\text{m}$: pompe immergée ou bien à axe vertical

	Axe vertical	Immergée
Avantages	<ul style="list-style-type: none">• Réparation et entretien du moteur faciles• Peut travailler dans de faible tranche d'eau	<ul style="list-style-type: none">• Montage et démontage facile• Convient pour les forages et puits profonds
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">• Perte dans la ligne d'arbre (tenir compte rendement de transmission : rendement global faible)• Nécessite main d'œuvre qualifiée	<ul style="list-style-type: none">• Entretien difficile

Choix des pompes

Etapes principales de choix

Définir les paramètres particuliers de l'installation :

- Choisir le type de groupe de pompage
- Déterminer la puissance du groupe de pompage
- Choisir la pompe à partir de catalogue de fabricants

Calcul de la puissance :

Puissance du moteur: $P_m = \sqrt{3} U I \cos \varnothing$

Quelques puissances normalisées en Kw :

10 – 11 – 15 -18,5 – 22 - 132 - 160 – 220 - 250

- Puissance hydraulique : $P_{hyd} = \rho g Q H_{MT}$

- Rendement =
$$\frac{\rho g Q H_{MT}}{\sqrt{3} U I \cos \varnothing}$$

Choix des pompes

Exemple de choix

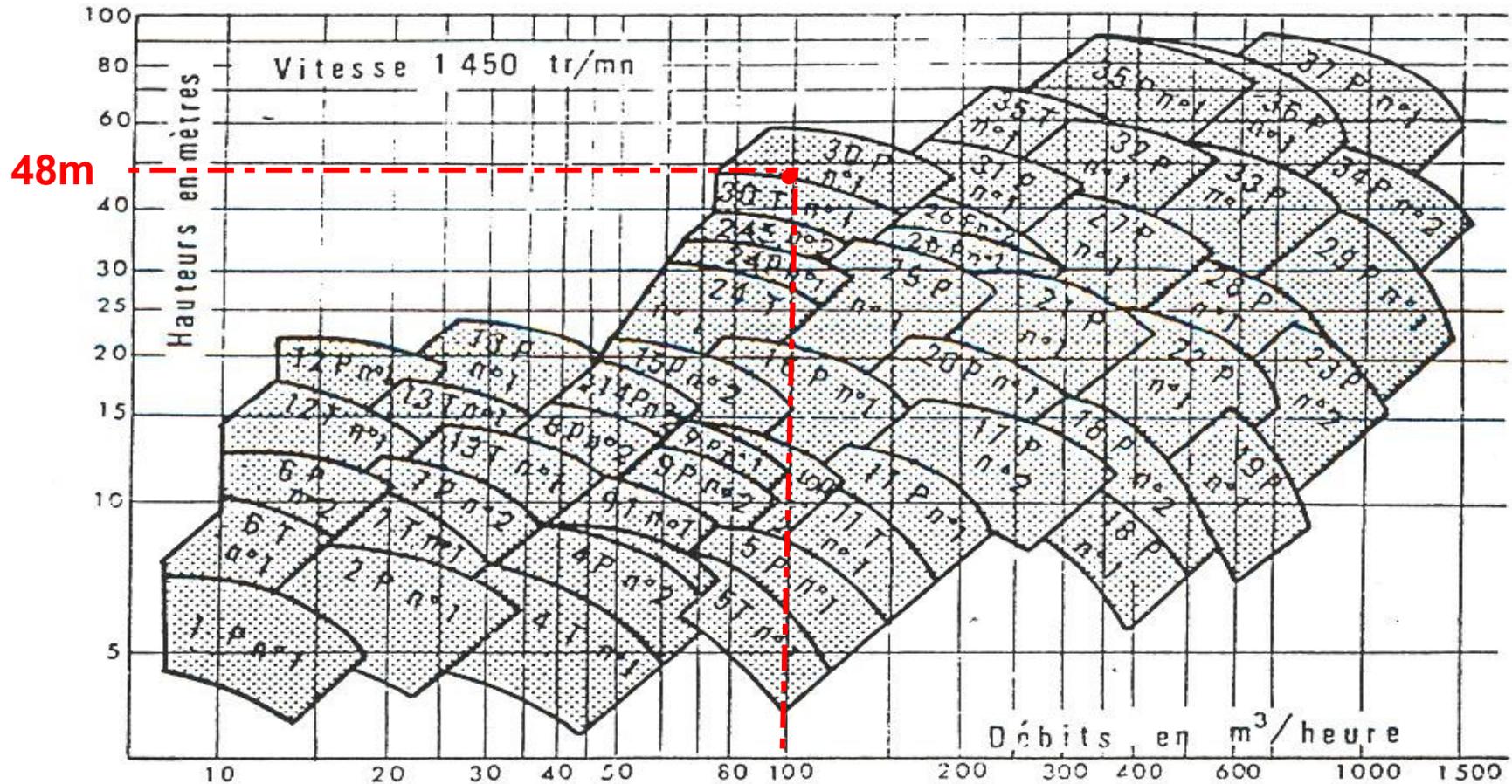
Définir les paramètres de l'installation :

- Débit : 100 m³/h (28 l/s)
- Hauteur : 48 m (Hauteur manométrique totale)

Consultation du catalogue de fournisseurs

Choix des pompes

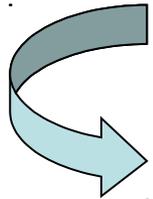
Exemple de choix



— Le débit Q et la hauteur **100 m³/h** ont un point qui se situera à l'intérieur d'une plage correspondant à un type de pompe fabriqué par le constructeur.

Choix des pompes

Exemple de choix



Consultation du catalogue de fournisseurs

Type de pompes le mieux adapté : 30 PN°1

Choix des pompes

Exemple de choix

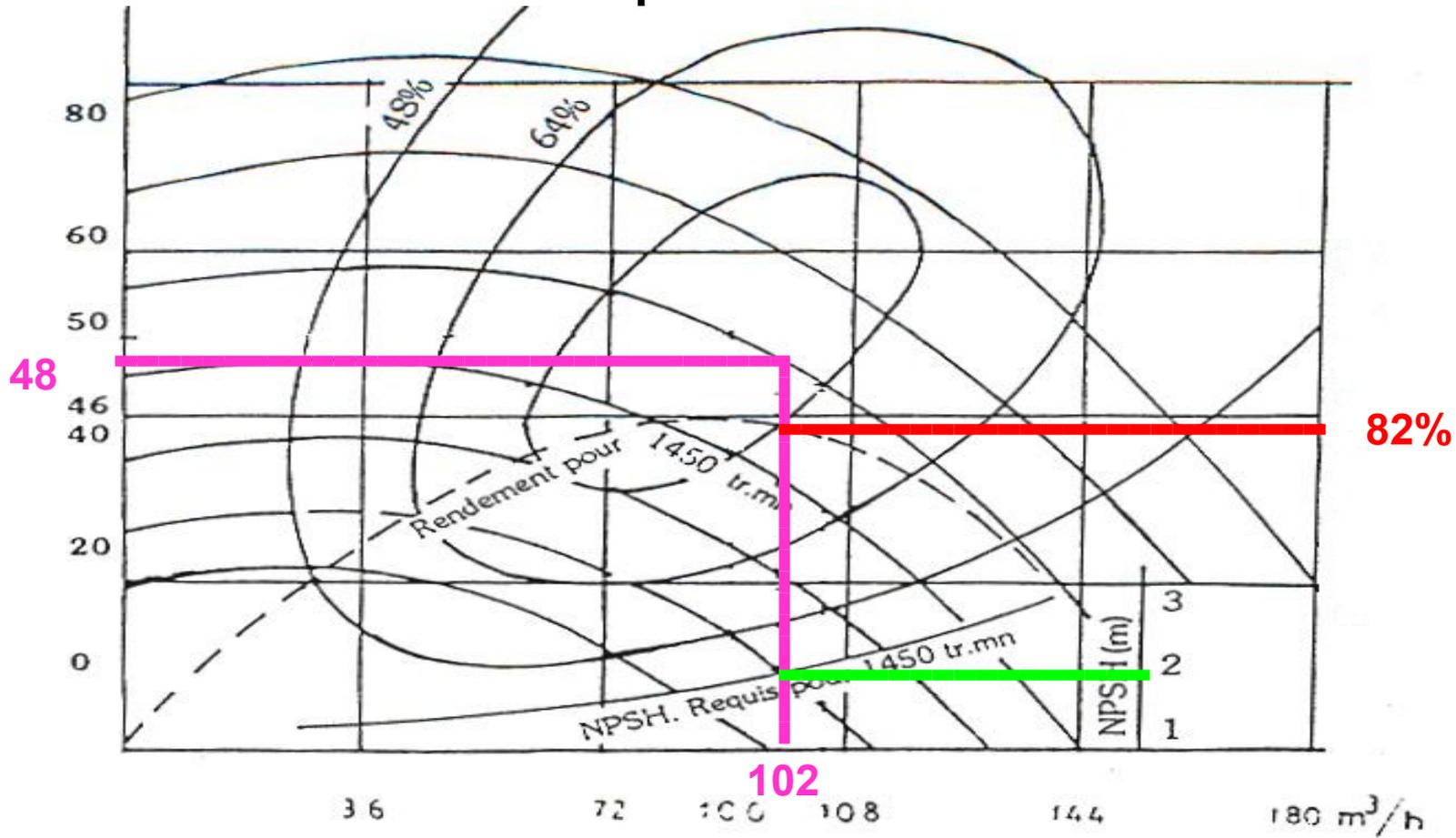
Définir les paramètres particuliers de l'installation :

- Débit : 100 m³/h
- Hauteur : 48 m
- Rendement à choisir ~ 75%
- NPSH disponible : 6 m
- Choix de la vitesse de rotation en conformité avec le catalogue : 1450t/mn

**Consultation des courbes caractéristiques
et vérification de l'adéquation du choix**

Choix des pompes

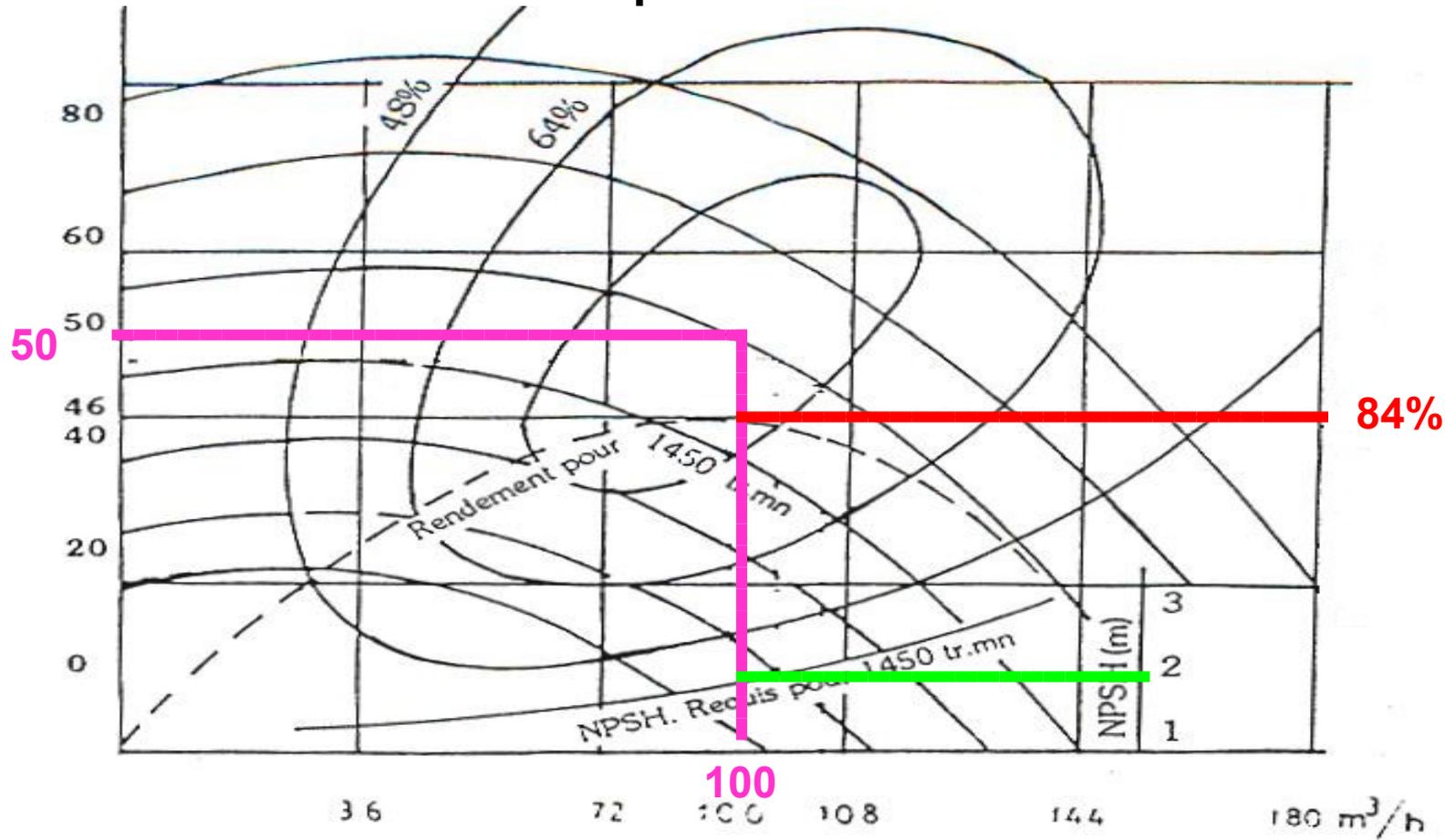
Exemple de choix



POMPE CENTRIFUGE TYPE
30 P- N°1

Choix des pompes

Exemple de choix



POMPE CENTRIFUGE TYPE
30 P- N°1

Essais de réception des pompes

Sur site

Objet des essais :

mesurer les caractéristiques de la pompe et les comparer avec les valeurs données par l'entrepreneur (basées sur les garanties fournies par le fournisseur)

Garantie globale de l'installation porte sur :

- Débit
- Puissance
- Rendement du groupe

Essais de réception des pompes

Sur site

Grandeurs à mesurer:

- Hauteur manométrique d'aspiration
- Hauteur manométrique de refoulement
- Débit de la pompe
- Tension et intensité du courant électrique
- Cos
- Energie active et réactive

L'entrepreneur doit préciser dans son offre l'appareillage et les conditions de mesure qui seront utilisées

Essais de réception des pompes

Sur site

Effectuer les calculs pour:

- La hauteur totale
 - La puissance utile du groupe
 - La puissance absorbée
 - Le rendement du groupe
-
- ▣ S'assurer de choix du débit qui permettra de mettre en évidence le point de fonctionnement de la pompe et du circuit de refoulement
 - ▣ Pour compléter la courbe de la pompe, il est nécessaire de trouver un point supplémentaire au-delà du point de fonctionnement

Essais de réception des pompes

Sur site

Conduite de l'essai :

- Vérifier que les appareils de mesures sont installés
- Préparer le tableau de relevé des mesures
- Fermer la vanne de refoulement (débit nul) et effectuer la lecture des appareils de mesure
- Ouvrir progressivement la vanne de refoulement et continuer par étapes jusqu'à ouverture totale de la vanne
- Ouvrir une vidange sur la conduite de refoulement pour tracer un point au-delà du point de fonctionnement

Noter toute anomalie constatée : bruit douteux, vibration anormale, fuites, ...

Essais de réception des pompes

Tolérances et pénalités

➤ Débit garanti :

$$\text{Ecart (en\%)} = \frac{Q_{\text{contractuel}} - Q_{\text{mesuré}}}{Q_{\text{contractuel}}}$$

➤ Rendement garanti :

$$\text{Ecart (en\%)} = \frac{\eta_{\text{contractuel}} - \eta_{\text{mesuré}}}{\eta_{\text{contractuel}}}$$

Essais de réception des pompes

Tolérances et pénalités

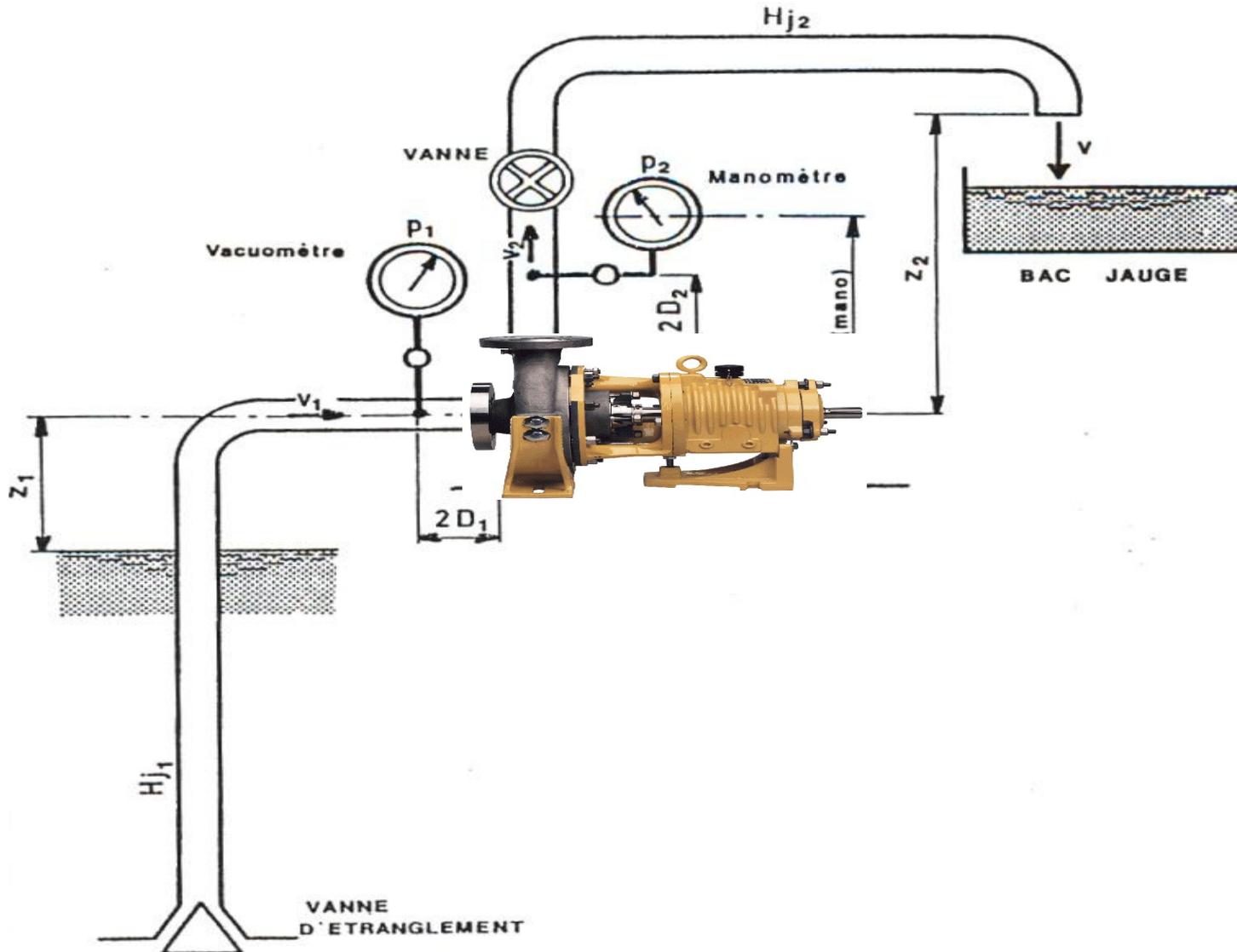
➤ Débit garanti

Ecart (%)	>10%	10%<	<5%	<5%
Tolérance ou pénalité	Refus	Pénalité : 1% du montant du groupe par point d'écart		Bon

➤ Rendement garanti

Ecart (%)	>5%	5%<	<2%	<2%
Tolérance ou pénalité	Refus	Pénalité : 1% du montant du groupe par point d'écart		Bon

Essais de réception des pompes



Essais de réception des pompes

En usine

Courbes caractéristiques résultent des différents essais effectués sur une plateforme équipée à cet effet par le constructeur

Disposition et grandeur de la plateforme d'essai : fonction de la nature et de l'importance des matériels à tester

Essais de réception des pompes

En usine

Instrumentation selon les grandeurs à mesurer:

- **Hauteur** : manomètre, vacuomètre, tube de mercure
- **Débit** : Bacs jaugés, déversoirs, débitmètres, compteurs
- **Puissance** : Moteurs étalonnés
- **Vitesse de rotation** : tachymètre, compte tours
- **Température** : Thermomètre
- **Pression atmosphérique** : Baromètre

Pour un tracé correct des caractéristiques

Relever au moins 5 point de fonctionnement ainsi que le point à débit nul