

Eau potable

Cours 7.2 – Pompes

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Principaux éléments

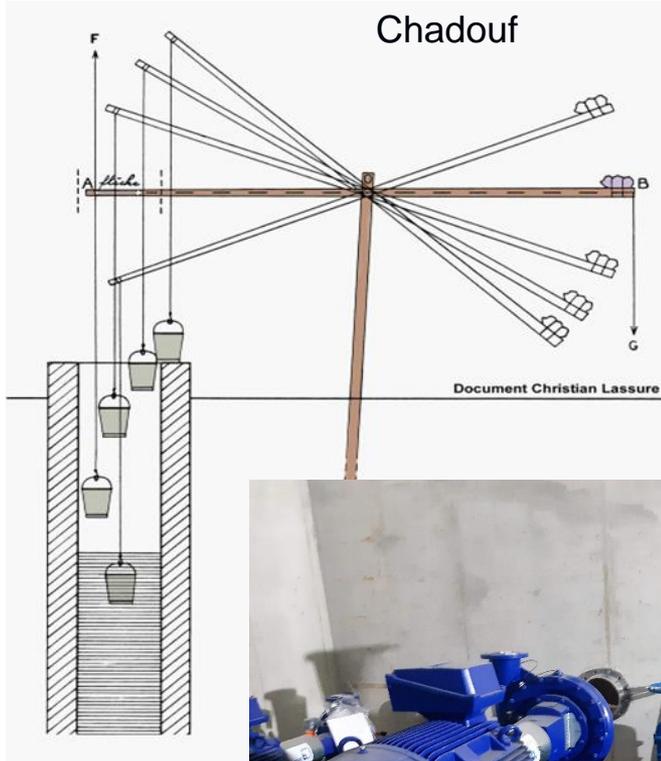
- Fonctionnalités
- Historique
- Types de pompes
- Dimensionnement

Fonctions et historique :

- Les pompes permettent de donner de l'énergie afin d'élever un écoulement et/ou d'accroître la pression dans une conduite.
- Les pompes existent depuis longtemps, cependant les pompes centrifuges ont été développées avec l'essor de l'industrie (et ont permis son développement).
- Grâce aux pompes actuelles l'urbanisation et l'agriculture ont connu un essor marqué : l'eau a pu être amenée à des endroits sans ressources.
- Le domaine de l'eau potable ne connaît principalement les pompes centrifuges : l'eau est amenée dans une roue qui transforme l'énergie cinétique en énergie potentielle de pression et d'élévation / mais il existe un grand nombre de famille de pompes selon les applications (doseuses, à membrane, etc..).

Exemple de pompes :

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Exemple de pompes :

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets

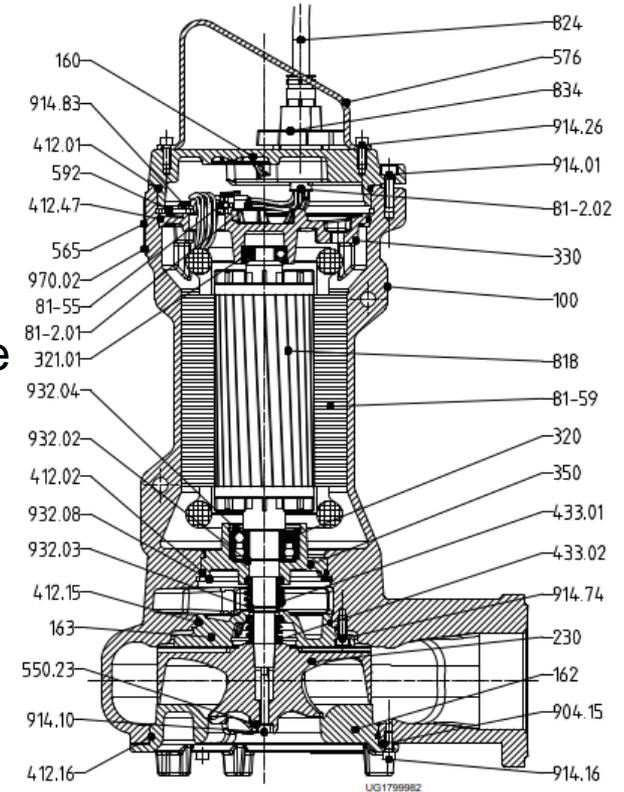


SIF - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Pompes noyées / immergées

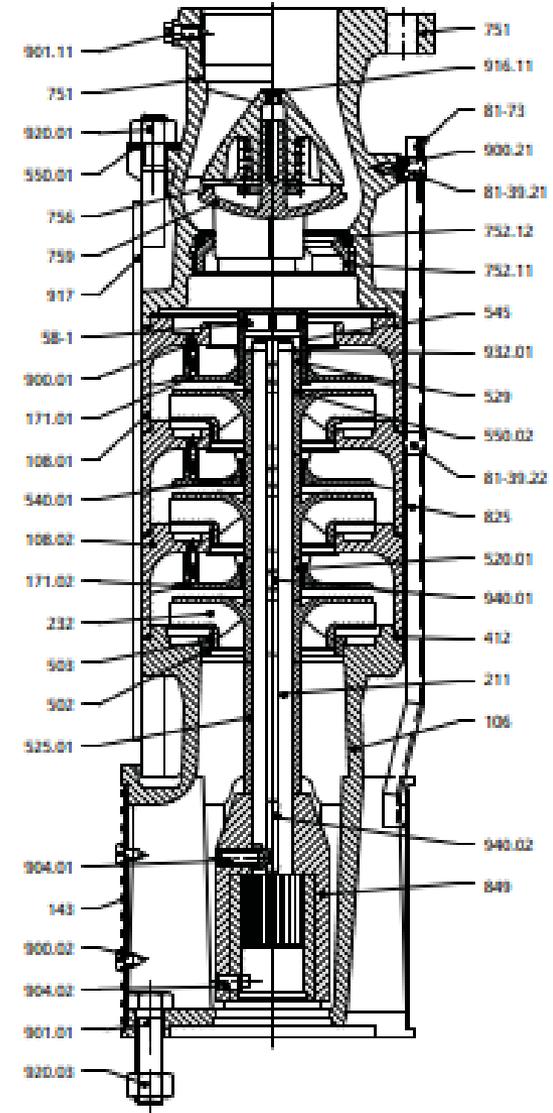
Pompes mono-étagées,
construction monobloc
peu utilisées en eau potable
faible pression, forte plage de
débit



Repère	Désignation des pièces	Repère	Désignation des pièces
100	Corps	576	Poignée
160	Couvercle	592	Cale
162	Fond d'aspiration	81-2.01/.02	Fiche mâle
163	Fond de refoulement	81-55	Fiche femelle
230	Roue	81-59	Stator
320 ²⁹⁾	Roulement	818	Rotor
321.01/.02 ³⁰⁾	Roulement à billes radial	824	Câble
330	Support de palier	834	Passage de câble
350	Corps de palier	904.15 ²⁹⁾	Vis sans tête
412.01/.02/.15/.16/.47	Joint torique	914.01/.10/.16/.26/.74/.83	Vis à six pans creux
433.01/.02	Garniture mécanique	932.02/.03/.04/.08	Segment d'arrêt
550.23	Rondelle	970.02	Plaque
565	Rivet		

Pompes noyées / immergées

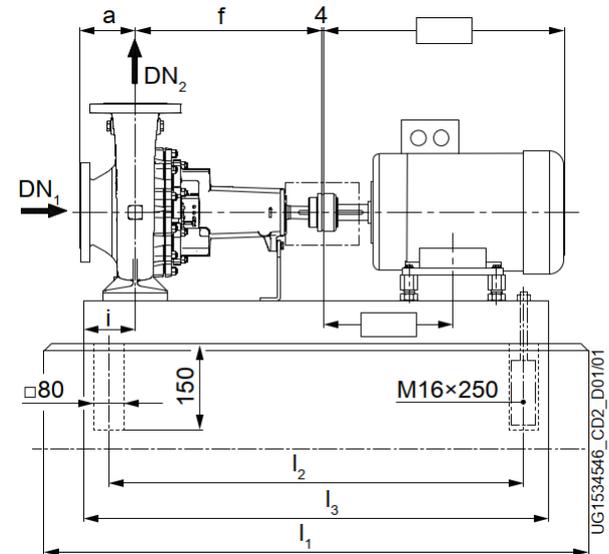
Pompes multi-étagées,
construction monobloc
utilisées en eau potable (forages)
forte pression, forte plage de
débit



Pompes «sèches»

Pompes mono-étagées,
construction sur châssis, moteur
et pompe séparés
utilisées en eau potable (stations
de pompage)
faible pression, forte plage de
débit

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



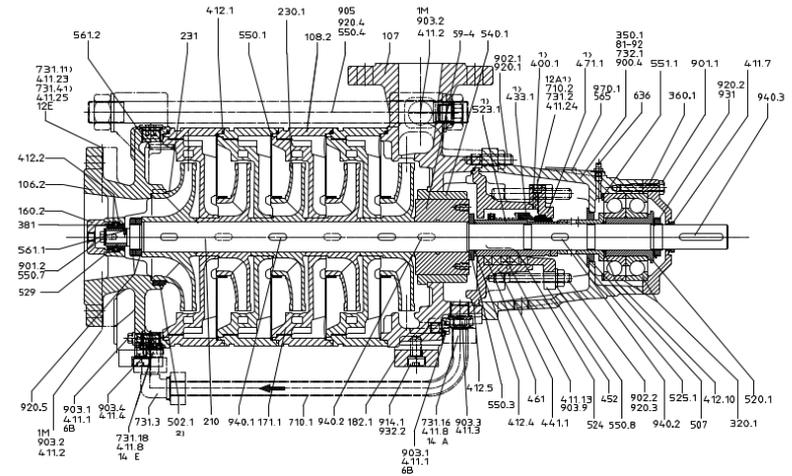
Pompes «sèches»

Pompes multi-étagées,
construction sur châssis, moteur
et pompe séparés
utilisées en eau potable (stations
de pompage)
forte pression, forte plage de
débit

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Plan d'ensemble avec liste des pièces détachées (exemple)

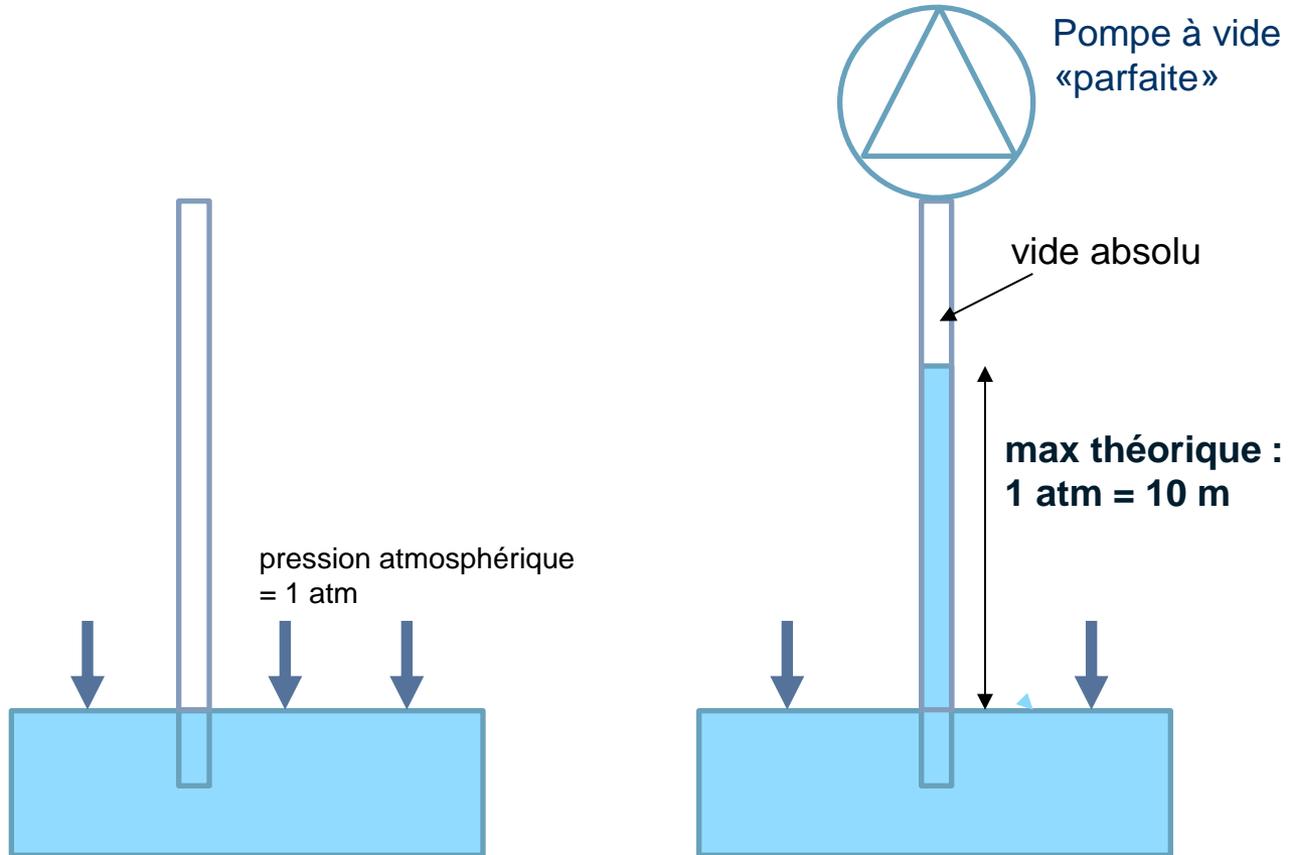


Pourquoi deux types d'installations ?

- Les capacités de refoulement d'une pompe (= « pousser l'eau ») sont beaucoup plus grandes que ses capacités « d'aspiration »
- Refoulement : sans limites ou presque (exceptionnellement jusqu'à 500 m ou plus dans le cas de pompes pour mines).
- Aspiration : conditionnée par la pression atmosphérique – les pertes de charges dans la conduite – la tension de vapeur saturante – NPSH requise (donnée par le constructeur), soit, au niveau de la mer entre 5 et 8 m max !!!
- NPSH requise (net positive suction head = pression nette d'aspiration) = Pression minimum que la pompe peut accepter à l'entrée de(s) la roue(s) avant la cavitation. C'est une donnée du constructeur. (mCE)
- Configuration du pompage et besoins hydrauliques

Aspiration : uniquement fonction de la P atm

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



Aspiration : uniquement fonction de la P atm

Mais : l'eau se transforme en vapeur à basse pression

L'eau se transforme en vapeur à 100°C, mais uniquement à la pression de 1 atm

- on sait que si la pression diminue (montagne), l'eau bout à plus basse température
- de la glace mise en contact avec le vide absolu se mettra à bouillir tout en restant à 0°C

La pompe ne peut pas pomper de la vapeur (cavitation) : il ne faut donc pas que la pression dans le tuyau soit inférieure à la pression à laquelle l'eau va bouillir.

Une pompe ne peut réaliser le vide absolu → la hauteur réelle d'aspiration d'une pompe n'excède pas 7m.

En aspiration, il y a un risque de «casser» la colonne d'eau pompée et de créer de la vapeur d'eau = cavitation à l'aspiration de la pompe

Il est toujours préférable d'avoir une pompe en-dessous du niveau d'eau à pomper = aspiration en charge

Aspiration : uniquement fonction de la P atm

Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

Altitude (m)	Pression atmosphérique moyenne (mCE)	différence de température p. rapport au niveau de la mer
0	10.1325	0
500	9.6	-3.2
1'000	9.0	-6.5
1'500	8.5	-9.7
2'000	7.9	-13.0
3'000	7.0	-19.5
4'000	6.2	-26.0
6'000	4.7	-39.0
10'000	2.7	-65.0

à 0 m, la pression atmosphérique diminue d'environ 0.00116 mCE par m d'altitude

Variation de la pression atmosphérique avec la météo

- Record de basse pression au niveau de la mer : 8.7 mCE (Pacifique Est)
- Record de haute pression : 10.84 mCE (Sibérie, 1968)

Donc on peut avoir en gros une variation maximum de ± 0.5 mCE lié à la météo.

Aspiration : uniquement fonction de la P atm

En résumé, la hauteur d'aspiration maximale est égale à :

Hasp = Maximum théorique = 10.1 mCE (pression atmosphère à 0 m)

- 0.00116 mCE × altitude (en m)
- la pression de vapeur à la température donnée (env. 0.2 à 0.3 mCE)
- la NPSH de la pompe pour le débit donné
- la somme des pertes de charge entre l'entrée du tuyau et la pompe, pour le débit donné
- Une marge de sécurité pour prendre en compte notamment les variations de pression atmosphérique de 0.5 mCE

Aspiration : cavitation en cas de dépassement de la NPSH

La cavitation apparait lorsque :

- La pompe arrive à sa limite d'aspiration (NPSH disponible < NPSH requis)
- La vitesse de rotation de la pompe est trop élevée
- La température / viscosité du fluide pompé ne correspond pas aux données de dimensionnement

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



La cavitation est caractérisée par l'apparition de bulles de vide d'air/vapeur d'eau dans les zones en dépression des parties en mouvement. Lorsque ces bulles se «referment» une onde de choc de plusieurs centaines de bars vient percuter le matériau de la roue et arrache des particules → dégradation de surface, pouvant amener à la destruction complète de la pompe à terme.

Reconnaisable par des bruits de «grains de sable» dans un engrenage.

Refoulement : fonction de plusieurs facteurs

L'eau est un fluide incompressible (au gaz dissous près)

On peut donc la «pousser» mécaniquement

Mais la capacité mécanique d'une pompe à mettre le fluide en mouvement dépend :

- De la forme de la roue
- Du nombre de roues
- De l'énergie apportée aux roues (électrique, thermique, etc.)

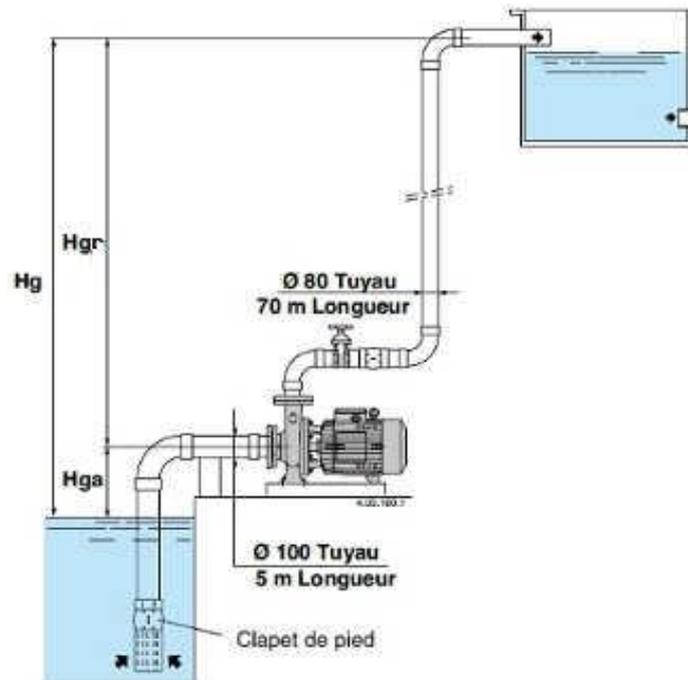
Comme vu dans le cours 7.1, les conduites en charge créent des pertes de charge → influence sur le débit et la pression de pompage

= nécessité de déterminer la Hauteur Manométrique Totale (HMT) d'une pompe

Refoulement : HMT d'une pompe

HMT = H géométrique + PdC pompe + PdC conduite, en mCE

- Hauteur géométrique : hauteur à laquelle il faut relever l'eau
 - Attention au type de pompe utilisée (noyée ou sèche) = Δ entre l'altitude du plan d'eau refoulement et plan d'eau aspiration, quel que soit la position altimétrique de la pompe
- PdC pompe : PdC singulière de la pompe elle-même, qui augmente avec le débit
- PdC conduite : \sum PdC linéaires + PdC singulières à l'aspiration et au refoulement



La HMT d'une pompe varie en fonction du débit \rightarrow si Q augmente alors HMT baisse (augmentation des PdC avec le débit)

La courbe de fonctionnement de la pompe se superpose à la courbe réseau pour déterminer le point de fonctionnement nominal de la pompe

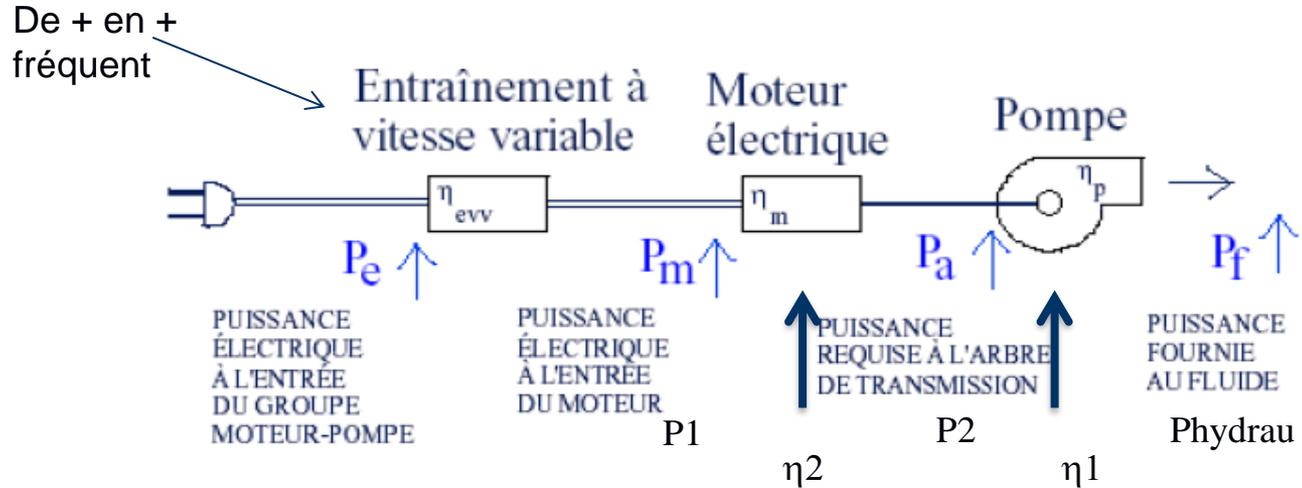
La puissance utile de la pompe ou énergie hydraulique : puissance correspondant au travail demandé à la pompe

$$P_u = \rho \times g \times Q \times H \text{ en Watt}$$

- La puissance hydraulique ou utile, est la puissance appliquée au fluide pour remplir les conditions de débit du réseau (souvent appelée P3 par le constructeur).
- la puissance absorbée (ou mesurée à l'arbre, ou fournie par moteur) est mesurée à l'arbre de la pompe (souvent appelée P2) ;
- la puissance moteur (ou active) est la puissance électrique absorbée par le moteur (souvent appelée P1);
- le rapport de la puissance utile par la puissance absorbée à l'arbre nous donne le rendement de notre pompe (c'est le rendement de la courbe constructeur);

Le rendement global est le produit de tous les rendements.

Puissance d'une pompe



Conclusion : lorsque le constructeur fournit une courbe de puissance et de rendement, il y a lieu de savoir à quoi il fait référence.

En effet, il peut s'agir de la puissance à l'arbre ou la puissance absorbée par le moteur. Normalement, le constructeur donne la courbe de la puissance absorbée par le moteur.

Le rendement final sera le produit de tous les rendements respectifs.

De « Station de pompage d'eau – Astee - Lavoisier Editeur, 2005 », il ressort que :

Quand on connaît le point de fonctionnement, on va connaître la puissance absorbée par report sur la courbe de puissance fournie par le constructeur. Celle-ci va permettre de calibrer le moteur et ainsi connaître la consommation électrique annuelle

La puissance absorbée P d'une pompe centrifuge est la puissance mécanique absorbée au niveau de l'arbre de la pompe = $H1 \times Q1 \times r \times g/h1$

La puissance mécanique absorbée (à l'axe) doit être inférieure à la puissance disponible du moteur qui s'appelle la puissance mécanique nominale.

Puissance électrique consommée ou absorbée du moteur en kW = Puissance mécanique absorbée en kW / rendement du moteur.

Consommation en W/m³ d'eau douce = P électrique (kW) x 1'000/ m³

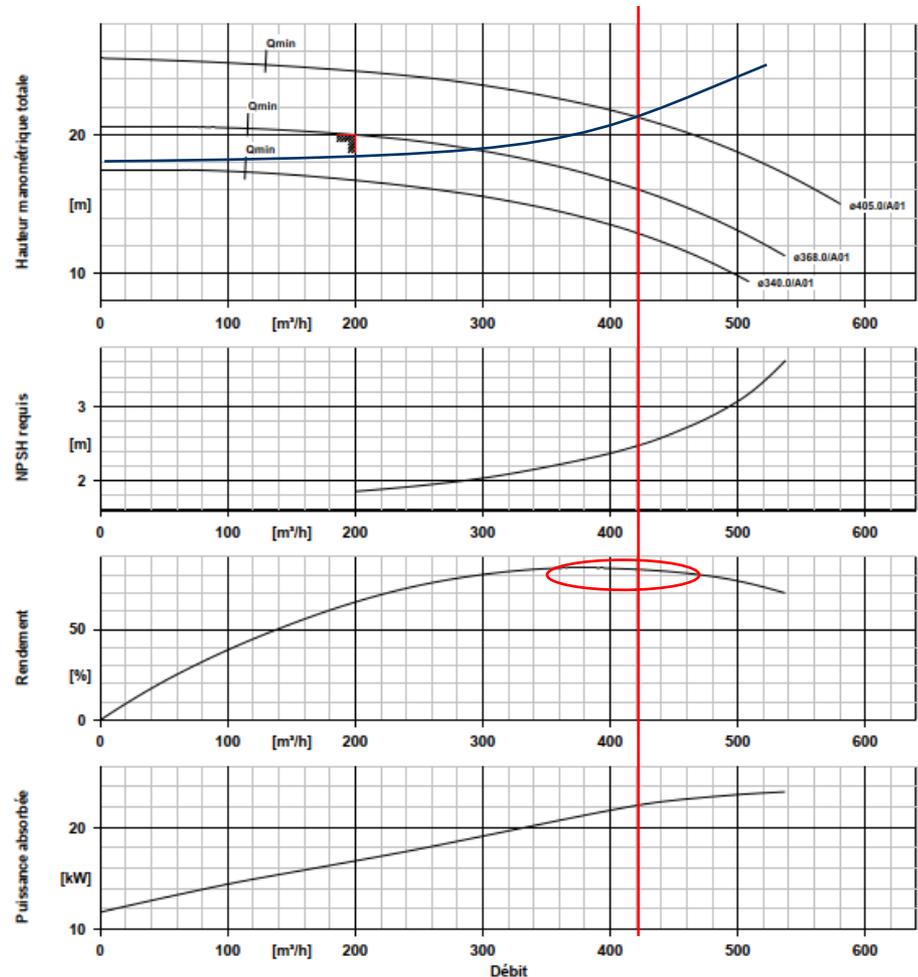
* Pour la puissance totale fournie par le générateur électrique : tenir compte de $\cos \phi$

Tous ces éléments permettent de créer les courbes caractéristiques des pompes

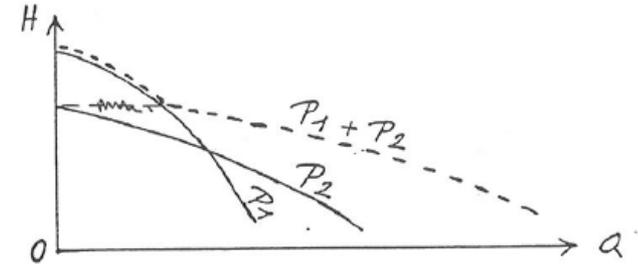
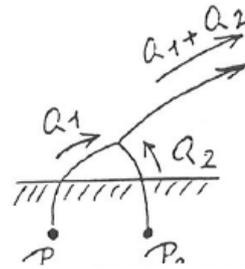
Chaque modèle de pompe possède une courbe de fonctionnement : c'est un ensemble de couple de point (Q,H), fonction de la forme de sa roue, du diffuseur, de la vitesse du moteur, du nombre de roues, puissance ...

La courbe de rendement est importante : le point de fonctionnement doit se trouver légèrement à droite du max de la courbe pour anticiper l'usure de la pompe

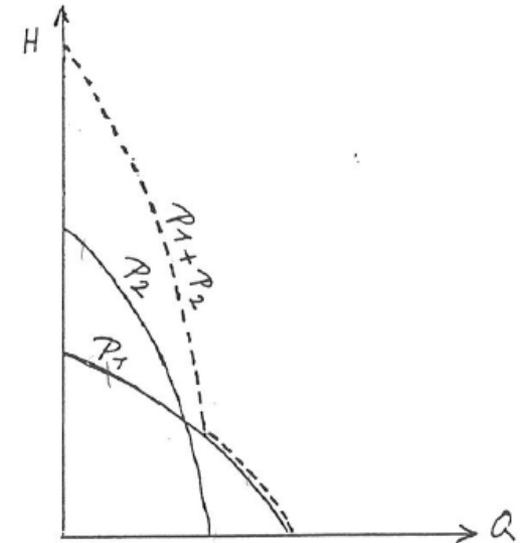
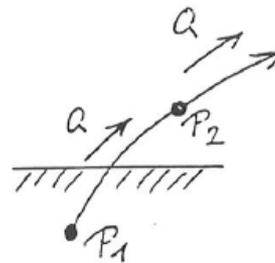
Chaque type de pompe a une plage de fonctionnement qu'il faut respecter pour assurer un bon rendement de pompage



Assemblage en parallèle : les débits s'additionnent



Assemblage en série : les HMT s'additionnent (cas de pompes multi-étagées)



Le coup de bélier est une variation de pression (surpression ou dépression) créant une onde de choc (entre 500 et 1200 m/s) apparaissant chaque fois qu'il y a un déplacement brusque (arrêt ou départ – ou variation de la vitesse) de l'eau dans les conduites. Cette surpression ou dépression peut respectivement :

faire éclater, des conduites ou les déboîter,

aspirer les joints, laisser de l'eau provenant de l'extérieur pénétrer dans le réseau, implorer la conduite.

C'est un phénomène transitoire ($Q=f(t)$),

Ce phénomène est à considérer, à chaque endroit où :

- une vanne se ferme ou s'ouvre trop rapidement,
- ou une pompe se met en marche ou s'arrête trop rapidement,
- une ventouse se ferme trop rapidement.

Il conviendra alors de mettre en place le dispositif adéquat (ballon anti-bélier, variateur, volant d'inertie...)

Éviter : vannes quart de tour, manœuvre brusque sur bornes hydrantes



Pensez aux conséquences

SIE - Traitement et valorisation des eaux et des déchets



AVANT!