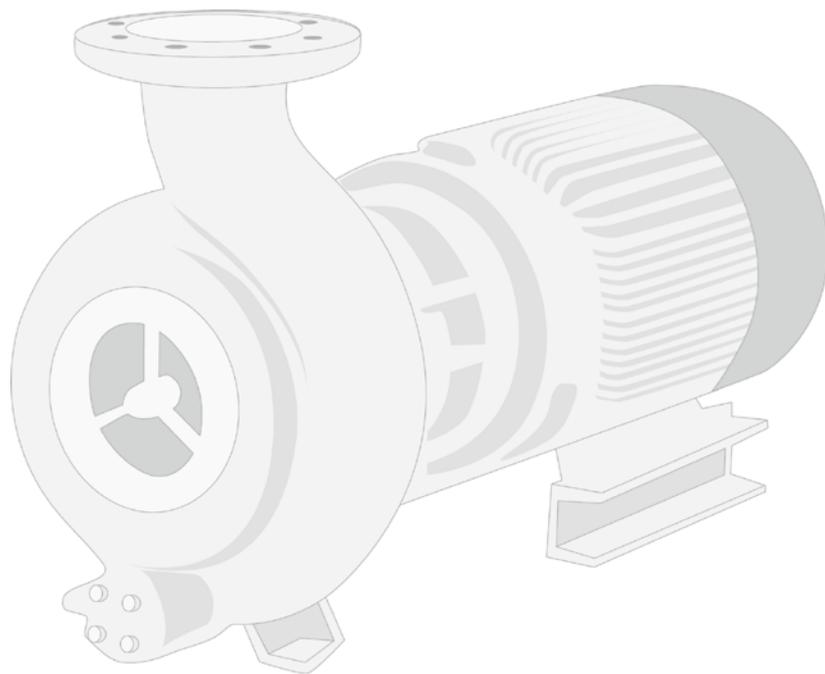
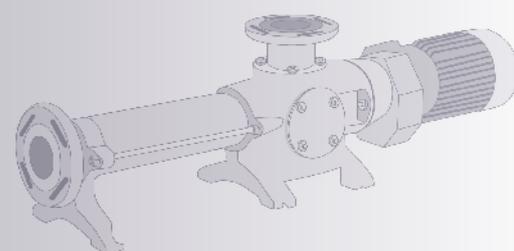
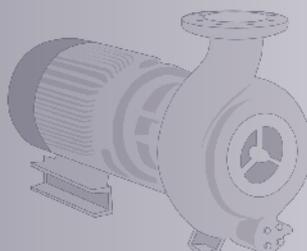
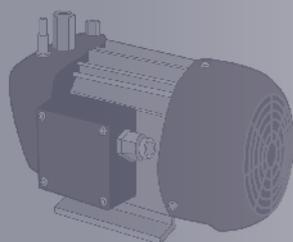
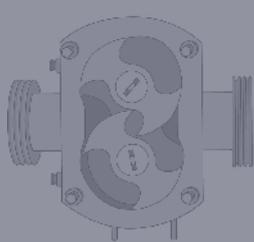


**ASSOCIATION FRANÇAISE
DES POMPES ET AGITATEURS,
DES COMPRESSEURS
ET DE LA ROBINETTERIE**



Guide des POMPES

PROFLUID
membre de la FIM



Les pompes sont partout !

Dans notre monde moderne, elles sont incontournables pour déplacer un liquide du point où il se trouve vers l'endroit où on en a besoin. On mesure d'ailleurs bien leur importance dans notre vie de tous les jours rien qu'en prenant sa douche chaque matin. Mais au-delà des services du quotidien, les pompes ont participé à l'essor des civilisations en permettant l'agrandissement des surfaces cultivables via l'irrigation ou encore en donnant accès à l'eau potable aux 2/3 de la planète. Elles sont également un élément clef de leur développement économique pour lesquels les exemples d'utilisations industrielles sont tout aussi remarquables. Vous l'aurez compris nous vivons dans un monde « omnipompes ».

Leurs rôles sont multiples et pour répondre à tous ces défis techniques, les industriels ont mis au point des technologies de pompes très nombreuses et variées, utilisant parfois même des principes physiques différents pour fonctionner. Si les technologies couramment utilisées sont connues depuis des décennies, elles font actuellement l'objet d'évolutions importantes. Les matériaux progressent pour répondre aux exigences toujours plus pointues des applications, la simulation numérique et les nouvelles techniques de fabrication permettent d'optimiser les équipements et la mécatronique est en train de révolutionner les systèmes de commande et de contrôle. La pompe connectée est une réalité, elle communique désormais avec son écosystème. L'industrie de la pompe est en mouvement.

Les utilisateurs de pompes ne sont pas en reste. Par exemple, dans la chimie ou l'agroalimentaire, chaque jour voit s'allonger la liste des nouveaux liquides issus de mélanges parfois chimiquement complexes ou parfois gustativement plaisants. Quoiqu'il en soit, cette créativité impose également la maîtrise de la mécanique des fluides et des connaissances en rhéologie.

Ces réalités s'imposent aux ingénieurs et techniciens en charge de choisir ou d'exploiter les systèmes de pompage. Ils doivent maintenant être compétents dans de nombreux domaines, répondre à des objectifs parfois contradictoires tant et si bien qu'il leur est difficile de maintenir ou de transmettre leurs connaissances en la matière. Et pourtant, ce savoir-faire est primordial pour réussir les optimisations en tous genres et s'adapter aux révolutions technologiques. Le besoin d'un guide des pompes a donc été une évidence pour PROFLUID et ses adhérents afin d'aider le lecteur à mieux comprendre le fonctionnement des solutions de pompage et à faire ses choix en pleine connaissance. Cet ouvrage s'adresse à un public très large, du novice qui pourra s'initier aux théories de Bernoulli, jusqu'à l'expert qui pourra trouver des références normatives ou découvrir des technologies de pompage qui lui sont encore mal connues.

Je tiens à remercier tous les experts et adhérents de PROFLUID qui ont participé à l'élaboration de ce manuel et tout particulièrement Robert Pozzoli qui a bien voulu mettre noir sur blanc une partie de son expertise acquise pendant sa carrière au CETIM.

Vous souhaitant une fructueuse lecture.

Olivier Brière

Vice-Président Pompes - PROFLUID

Chapitre I - Notions élémentaires d'hydraulique

A. Hauteur équivalente de la vitesse (H_v)	P.7
B. Hauteur équivalente de la pression (H_m)	P.7
C. Altitude (Z)	P.8
D. Hauteur totale de charge ($H_{t,x}$) en un point X	P.8
E. Hauteur totale de charge (H) d'une pompe	P.8
F. Equation de Bernoulli et pertes de charges	P.8
G. Régimes d'écoulement, nombre de Reynolds	P.9
H. Courbe de fonctionnement d'une pompe et courbe réseau	P.10
I. Puissance et rendement des pompes	P.11
J. Cavitation	P.12
- 1. NPSHR des pompes rotodynamiques	
- 2. NPIPR des pompes volumétriques	
- 3. NPSHA et NPIPA du système	
- 4. Critère de non cavitation	
K. Caractéristiques du liquide ayant une influence sur le pompage	P.14
- 1. Densité (ou masse volumique)	
- 2. Pression de vapeur	
- 3. Viscosité	
- 4. Fluide newtonien, non-newtonien	
- 5. Corrosion	
- 6. Abrasion	
- 7. Teneur en air occlus et / ou en gaz dissous - Air ou gaz entraîné dans l'écoulement	

Chapitre II - Principe de fonctionnement et caractéristiques des pompes pour liquide

A. Pompes rotodynamiques	P.19
- 1. Caractéristiques hydrauliques	
a) Vitesse spécifique (n_s)	
b) Courbes de fonctionnement	
c) NPSHR	
d) Lois de similitude	
e) Efforts hydrodynamiques	
- 2. Assemblage de Roues et de volutes	
B. Pompes volumétriques	P.24
- 1. Considérations générales	
- 2. Caractéristiques hydrauliques	
a) Cylindrée et débit volumique	
b) Courbe Pression / Débit	
c) Rendement volumétrique	
d) Hauteurs géométriques d'aspiration, de charge et de refoulement	
e) NPIPR	
- 3. Pompes volumétriques alternatives	
a) Le module doseur	
b) Le module d'entraînement	
c) Le module mécanique de transmission	
- 4. Pompes volumétriques rotatives	

Chapitre III - Types de pompes et applications

A. Pompes rotodynamiques	P.29
- 1. Types de pompes	
- 2. Applications	
B. Pompes volumétriques	P.46
- 1. Types de pompes	
- 2. Applications	

Chapitre IV - Installations et systèmes de pompage

A. Conception d'un réseau simple	P.59
- 1. Données techniques	
- 2. Réseau d'aspiration	
a) Diamètre approximatif de la tuyauterie d'aspiration	
b) Calcul du NPSH disponible (dans les conditions de la première approximation et pour le point de fonctionnement normal de la pompe)	
c) Choix définitif du réseau d'aspiration	
d) Remarque importante concernant l'emplacement de la pompe	
- 3. Etude du réseau de refoulement	
a) Choix d'un diamètre approché de la tuyauterie de refoulement	
b) Perte de charge du réseau de refoulement (pour le diamètre de refoulement approché déterminé à partir du tableau 4.8)	
c) Choix définitif du diamètre de la tuyauterie du refoulement	
d) Protection contre les coups de bélier	
- 4 Calcul de la hauteur totale de charge de la pompe	
B. Considérations à prendre en compte pour un projet de pompage industriel	P.68
C. Considérations à prendre en compte pour un projet de pompage volumétrique	P.68
D. Choix d'une pompe	P.69
- 1. Choix d'un type de pompe	
a) Pompes rotodynamiques	
b) Pompes volumétriques	
- 2. Conseils pour la réduction du coût de cycle de vie lors du choix des pompes	
a) Coût du Cycle de Vie d'une pompe - Pump LCC	
b) Domaine de fonctionnement préférentiel d'une pompe rotodynamique	
c) Facteurs permettant de réduire la consommation d'énergie d'une pompe rotodynamique	
d) Considérations économiques particulières aux pompes volumétriques	
E. Choix d'un mode de régulation du pompage et du système de commande	P.74
F. Choix de motorisation	P. 76
- 1. Considérations générales	
- 2. Types de moteurs électriques et caractéristiques	
- 3. Couple de démarrage	
- 4. Rendement	
- 5. Alimentation par variateur de fréquence	
- 6. Cas des autres types de moteurs	

Chapitre V - De l'emballage jusqu'à la mise en service des groupes de pompage

A. Emballage	P.81
B. Transport et stockage	P.81
- 1. Réception et déballage	
- 2. Manutention et levage	
- 3. Stockage	
C. Calage, lignage, fixation, scellement	P.82
- 1. Groupes expédiés montés sur châssis	
- 2. Groupes expédiés en éléments séparés	
a) Groupes motopompes prévus avec châssis commun	
b) Groupes motopompes prévus sans châssis commun à la pompe et au moteur	
c) Pompes entraînées par courroies	
D. Raccordement des tuyauteries	P.82
- 1. Elimination des corps étrangers	
- 2. Joints	
- 3. Raccordements à la pompe	
E. Garnitures d'étanchéité	P.83
- 1. Boite à étoupe	
- 2. Garnitures mécaniques	

F. Raccordement électrique	P.83
G. Mise en service	P.83
- 1. Liste des vérifications avant démarrage du groupe motopompe	
- 2. Démarrage	
- 3. Vérifications après démarrage	
- 4. Arrêt	

Chapitre VI - Règles d'utilisation des pompes en service

A. Règles générales	P.87
B. Respect du domaine d'utilisation	P.87
C. Utilisation temporaire hors plage de fonctionnement	P.88
D. Étanchéité d'arbre en fonctionnement	P.89
E. Paliers	P.89
- 1. Températures	
- 2. Vibrations	
F. Evolutions d'exploitation	P.89
- 1. Densité du fluide	
- 2. Viscosité du fluide	
- 3. Vitesse de rotation de la pompe	
G. Risques liés au dévirage	P.90

Chapitre VII - Entretien, maintenance et réparation

A. Entretien	P.93
- 1. Entretien Hydraulique	
a) Entretien du presse-étoupe	
b) Précautions contre le gel	
c) Précautions en cas de service intermittent	
- 2. Entretien mécanique	
a) Paliers lisses ou à roulements lubrifiés à l'huile (bagues tournantes ou réserve d'huile)	
b) Paliers à graisse	
c) Paliers à roulements à réserve de graisse (moteurs électriques par exemple)	
- 3. Entretien électrique et éventuellement de l'instrumentation	
B. Maintenance	P.95
- 1. Recommandations générales en maintenance	
- 2. Choix des techniques de maintenance	
a) Maintenance corrective	
b) Maintenance préventive	
c) Réaménagement (en anglais « Retrofitting »)	
- 3. Recommandations liées à la réglementation	
- 4. Documentation constructeur	
- 5. Ouvrages de référence concernant la maintenance des pompes	
C. Rechanges et réparations	P.97

Chapitre VIII - Environnement réglementaire et normatif

A. Aspects réglementaires	P.99
- 1. La Directive Machines (2000/42/CE) et la Directive Basse Tension (2006/95/CE)	
- 2. La Directive Equipements Sous Pression - DESP (2014/68/CE)	
- 3. La Directive ATEX - (2014/34/CE)	
- 4. Le contact avec l'eau potable	
- 5. Le contact avec les aliments	
- 6. La Directive Ecodesign / ErP - Energy related Products (2009/125/UE)	
- 7. La Directive 2012/27/UE sur l'efficacité énergétique	
B. L'approche produit étendu	P.102

C. La norme	P.103
- 1. La certification du produit	
- 2. Le système de normalisation française	
- 3. La normalisation européenne (EN) et internationale (ISO)	
D. Principales normes applicables aux pompes	P.104
- 1. Normes CEN et fascicules de documentation FD/TR européens	
- 2. Normes ISO et fascicules de documentation FD/TR internationaux	
- 3. Normes NF et fascicules de documentation FD français	
- 4. Normes américaines	

Chapitre IX - DN, vues en coupe, lexique

A. Correspondance entre DN (diamètre nominal) et dénomination en pouces (inches)	P.109
B. Exemples de vues en coupe	P.109
C. Lexique	P.120

ANNEXE - Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

A. Disposition des conduits - raccordement pompe/ circuit	P.123
- 1. Disposition des conduits d'aspiration.....	P.123
a) Pente	
b) Convergent	
c) Clapet de pied crépiné	
d) Aspiration dans une rivière	
e) Démontage de la tuyauterie d'aspiration	
- 2. Disposition des conduits de refoulement	
a) Pente	
b) Arrivée dans le réservoir	
- 3. Accessoires à prévoir sur le circuit des pompes centrifuges	
- 4. Accessoires à prévoir sur le circuit des pompes volumétriques	
B. Disposition des conduits - raccordement pompe/circuit	P.127
- 1. Conséquences d'un mauvais dessin des chambres d'aspiration	
a) Vortex ouvert	
b) Génération d'une prérotation à l'entrée de la pompe (Vortex global)	
c) Génération d'une disdistribution de vitesse débitante non uniforme à l'entrée de la pompe	
- 2. Chambre d'aspirationtype pour une pompe verticale	
C. Disposition des chambres d'aspiration dans le cas de plusieurs pompes	P.130
- 1. Généralités - vocabulaire	
- 2. Pompes verticales, placées côte à côte	
- 3. Pompes verticales disposées en ligne, dans le sens de l'amenée d'eau	
- 4. Exemple de disposition qu'il convient d'éviter	
D. Conception de l'installation lorsqu'il existe des régimes	P.133
de fonctionnement prolongée à débit partiel	
- 1. Revue des possibilités permettant d'assurer le réglage du débit	
a) Réglage du débit à vitesse de rotation constante	
b) Déplacement du débit à vitesse de rotation variable	
c) Valeurs comparatives	
- 2. Autres dispositions permettant de réduire la consommation d'énergie	
a) Entraînement par une turbine à vapeur	
b) Turbine hydraulique de récupération	
c) Cas général	
- 3. Variation de débit des pompes volumétriques	

Chapitre I

Notions élémentaires d'hydraulique

Chapitre I

Notions élémentaires d'hydraulique

Dès l'Antiquité, les pompes pour liquides ont été conçues pour répondre au même besoin : déplacer un liquide d'un endroit à un autre. Mais pour puiser de l'eau ou déplacer un liquide quelconque, il faut lui communiquer une énergie. Les pompes vont apporter cette énergie au fluide. Elles aspirent et refoulent un liquide en élevant son énergie massique proportionnellement à sa hauteur de charge.

En un point de l'écoulement d'un fluide, l'énergie massique E et la hauteur de charge H sont la somme de trois catégories :

- L'énergie cinétique et la hauteur équivalente de la vitesse s'expriment à partir de la vitesse d'écoulement du liquide,
- L'énergie de pression et la hauteur équivalente de pression dépendent de la pression du liquide,
- L'énergie potentielle et l'altitude.

L'énergie massique E et la hauteur de charge H étant liées par la relation $E = g.H$ – où la constante g est l'accélération de la pesanteur – les hydrauliciens ont pris l'habitude, par commodité, de raisonner avec des hauteurs H exprimées en m.

Ces grandeurs sont détaillées dans les paragraphes suivants en reprenant les définitions et symboles de la norme **NF EN ISO 17769-1 : 2012 « Pompes pour liquides et installations - Termes généraux, définitions, grandeurs, symboles littéraux et unités - Partie 1 : Pompes pour liquides »**.

A. Hauteur équivalente de la vitesse (H_U)

Cette hauteur se détermine par la relation :

$$H_U = \frac{U^2}{2g}$$

où

U est la vitesse d'écoulement moyenne dans une section S de la conduite, en m/s

g est l'accélération de la pesanteur (environ 9,81 m/s²)

La vitesse d'écoulement moyenne se calcule elle-même à partir du débit dans la conduite, par la relation :

$$U = \frac{Q}{S}$$

où

Q est le débit volumique en m³/s

S la section de la conduite en m²

Note : Le débit volumique Q s'exprime plus généralement en mètres cubes par heure (m³/h) ou en litres par seconde (l/s).
1000 l/s = 3600 m³/h = 1 m³/s

B. Hauteur équivalente de la pression (H_M)

Cette hauteur se détermine par la relation :

$$H_M = \frac{p}{\rho.g}$$

où

p est la pression exprimée en Pa

ρ (rho) est la masse volumique du liquide en kg/m³

g est l'accélération de la pesanteur en m/s²

Note 1 : La pression s'exprime aussi généralement en bar, 1 bar étant équivalent à 10⁵ Pa.

Note 2 : La pression atmosphérique s'exerce en tout point ouvert à l'atmosphère. Elle est de l'ordre de 1,013 bar soit 101,3 kPa au niveau de la mer. L'indication de la pression du fluide dans une canalisation est généralement visualisée sur un manomètre à cadran. Cet instrument indique la différence entre la pression du fluide et la pression atmosphérique, ce que l'on appelle également la pression relative (gauge pressure pour nos amis anglo-saxons !). Si l'on souhaite mesurer la pression absolue, il faut utiliser un capteur de pression absolue dont la chambre de référence est au vide. On peut aussi ajouter la mesure de pression atmosphérique à celle de la pression relative :

$$p_{\text{absolue}} = p_{\text{relative}} + p_{\text{atmosphérique}}$$

Chapitre I

Notions élémentaires d'hydraulique

C. Altitude (Z)

Pour un système donné, les mesures ou les relevés d'altitude Z exprimés en m, doivent être faits par rapport au même plan de référence. Il peut être aisé de prendre comme plan de référence, le plan de pose de la pompe. L'altitude est positive si le point observé est plus élevé que le plan de référence.

D. Hauteur totale de charge ($H_{t,x}$) en un point X

La hauteur totale de charge en un point x est la somme de la hauteur équivalente de la vitesse, de la hauteur équivalente de la pression et de l'altitude du point x :

$$H_{t,x} = H_{u,x} + H_{m,x} + Z_x = \frac{U_x^2}{2g} + \frac{p_x}{\rho_x g} + Z_x$$

E. Hauteur totale de charge (H) d'une pompe

La hauteur totale de charge d'une pompe est la différence entre la hauteur totale au refoulement et la hauteur totale à l'aspiration :

$$H = H_{t,2} - H_{t,1}$$

ou bien

$$H = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + Z_2 - Z_1$$

F. Equation de Bernoulli et pertes de charges

Daniel Bernoulli, médecin, physicien et mathématicien suisse a établi en 1738 le théorème de Bernoulli qui énonce que dans le flux d'un fluide, une accélération se produit simultanément avec la diminution de la pression.

L'équation de Bernoulli – ci-dessous – exprime la conservation de « l'énergie massique » et de « la hauteur totale de charge » le long d'une ligne de courant.

$$\frac{U^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + Z = \text{constante}$$

Pour que cette expression reste constante le long d'une conduite horizontale – le débit volumique étant constant en écoulement liquide – on voit que la pression doit diminuer lorsque la vitesse augmente – c'est-à-dire quand la section de passage diminue – et inversement.

Ceci est toujours vrai, dans une conduite parfaite. Mais dans une conduite réelle, le frottement du liquide sur les parois de la conduite, les changements brusques de direction, les chocs contre des obstacles conduisent en plus à des pertes d'énergie, que l'on appelle également « pertes de charge ».

Pour estimer plus facilement ces pertes de charge, qui sont homogènes avec les hauteurs et que l'on exprime en mètres m, on distingue les pertes de charges linéaires H_{JL} qui se produisent par frottement le long d'une canalisation et les pertes de charges singulières H_{JS} qui se produisent dans une singularité, telle qu'une vanne, un coude, un convergent, un divergent, une grille, etc.

$$H_{J \text{ TOTALE}} = H_{JL} + H_{JS}$$

Que ce soient des pertes de charge linéaires ou singulières, elles varient avec le carré du débit dans un écoulement turbulent – voir paragraphe suivant – et on a l'habitude de les exprimer sous la forme :

$$H_{JL} = K_L (U^2/2g) \text{ et } H_{JS} = K_S (U^2/2g)$$

Les coefficients de pertes de charge adimensionnels K_L et K_S – que l'on appelle également Ksi (ξ) ou Zeta (ζ) à la suite d'une confusion sur les caractères grecs. – peuvent se trouver dans des abaques ou peuvent être déterminés par des essais en laboratoire. Ils varient en fonction du régime d'écoulement du liquide dans la conduite (voir ci-après).

G. Régimes d'écoulement, nombre de Reynolds

L'écoulement d'un liquide de viscosité cinématique ν (nu) à la vitesse moyenne U dans une conduite de diamètre d est caractérisé par le nombre de Reynolds : $Re = \frac{(U.d)}{\nu}$

Ce nombre sans dimension a été mis en évidence en 1883 par Osborne Reynolds. Il caractérise la nature du régime d'écoulement d'un fluide : laminaire, transitoire ou turbulent. La zone de transition entre l'écoulement laminaire et l'écoulement turbulent se situe pour un nombre de Reynolds entre 2000 et 3000.

Dans un écoulement laminaire, que l'on peut rencontrer avec des liquides visqueux transférés par des pompes volumétriques, la répartition des vitesses dans la conduite a une allure parabolique avec une vitesse maximale à l'axe et de faibles vitesses d'écoulement sur les parois. Dans ce régime d'écoulement les coefficients de perte de charge varient en fonction du débit, ce qui oblige à faire des calculs de perte de charge itératifs.

Dans un écoulement turbulent, ce qui est la majorité des cas de fonctionnement des pompes centrifuges, la répartition des vitesses dans la conduite est uniforme dans une section perpendiculaire à la conduite. Dès que ce régime d'écoulement est atteint, les coefficients de perte de charge sont constants, même si le débit augmente, ce qui rend les calculs de pertes de charge beaucoup plus aisés.

Le coefficient K_L est le produit de 2 nombres adimensionnels :

$\frac{L}{D}$ qui est le rapport entre la longueur et le diamètre de la tuyauterie

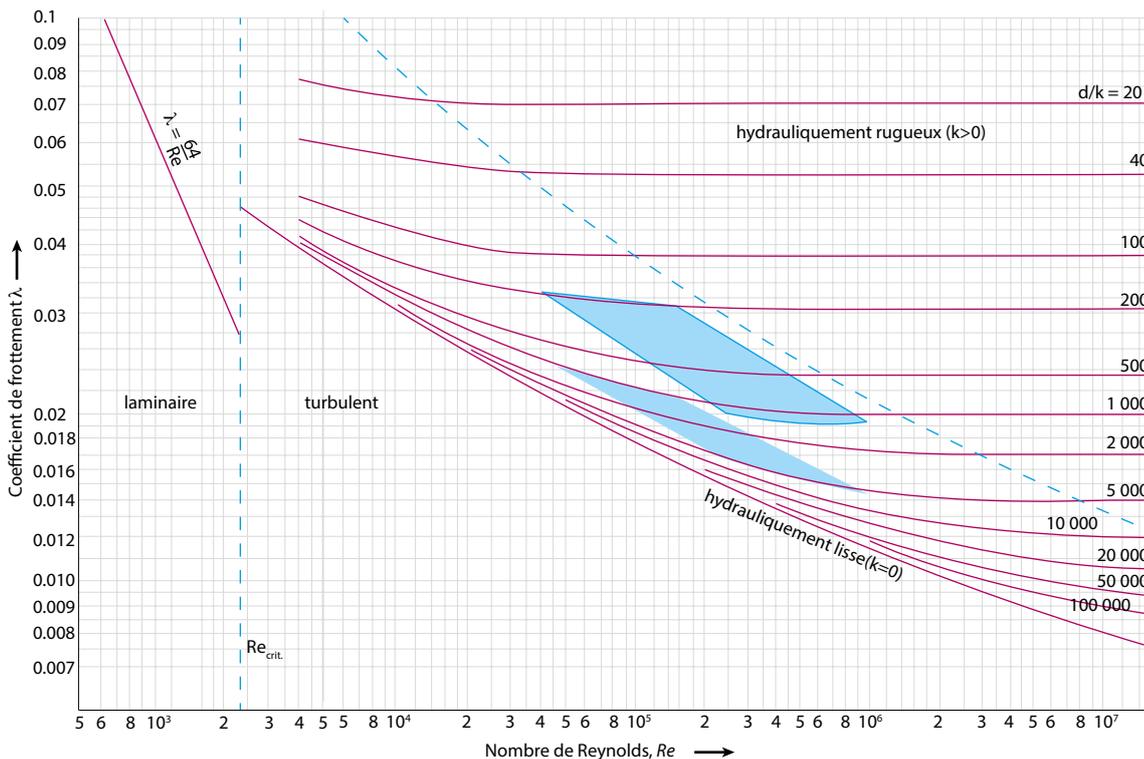
λ (lambda) qui est une fonction du nombre de Reynolds et du rapport $\frac{k}{D}$ où k est la rugosité moyenne de la conduite et D son diamètre

Soit $K_L = \lambda \frac{L}{D}$

La formule empirique de Colebrook basée sur des résultats expérimentaux donne les valeurs de λ

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,71 D} + \frac{2,5}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

Cette formule nécessitant un calcul laborieux a été transcrite sous forme d'abaque par Moody.



Ces considérations ne concernent que les fluides dits newtoniens (voir paragraphe K).

Chapitre I

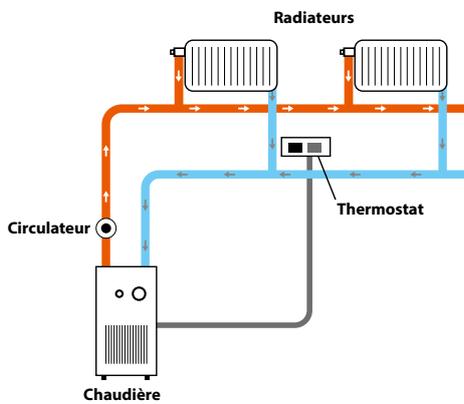
Notions élémentaires d'hydraulique

H. Courbe de fonctionnement d'une pompe et courbe réseau

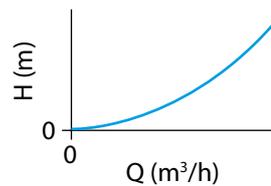
Le fonctionnement des pompes peut être caractérisé, pour une vitesse de rotation donnée, par une relation entre la hauteur totale de charge ou la pression de refoulement et le débit qu'elle refoule. On parle plus familièrement de courbes de fonctionnement Hauteur / Débit ou Pression / Débit, que l'on peut retrouver – sauf pour les pompes prototypes – dans les catalogues des constructeurs ou sur leurs sites Internet.

Le circuit ou le système sur lequel on souhaite installer une pompe possède également sa caractéristique Hauteur / Débit ou Pression / Débit.

Dans un circuit fermé – comme un circuit de chauffage central – l'énergie apportée par la pompe servira uniquement à vaincre les pertes de charges.

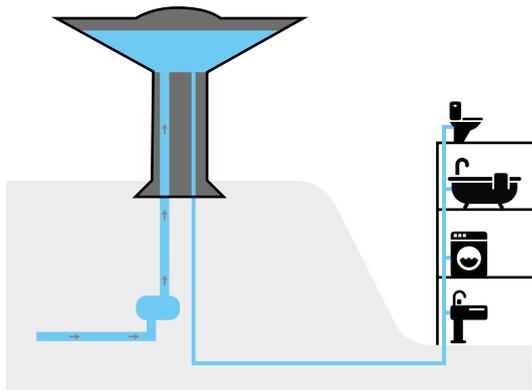


Exemple de circuit en boucle fermée : la pompe, un circulateur de chauffage central, fait circuler de l'eau entre une chaudière et des radiateurs

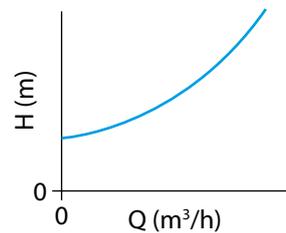


Courbe réseau pour un circuit boucle fermée. A débit nul la hauteur est nulle. Elle est ensuite proportionnelle au carré du débit. $H = H_{J\text{ TOTALE}}$

Alors que dans un circuit ouvert – comme une pompe qui aspire dans un forage pour remplir un réservoir en altitude – l'énergie fournie par la pompe servira à vaincre à la fois les pertes de charge et à élever le fluide.

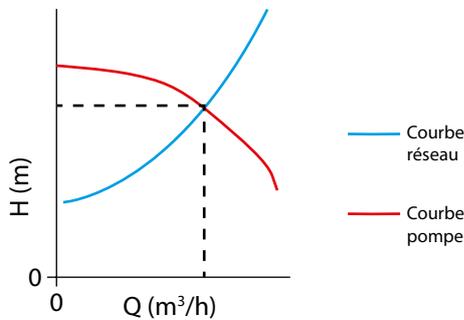


Exemple de circuit en boucle ouverte : une pompe d'alimentation d'un château d'eau

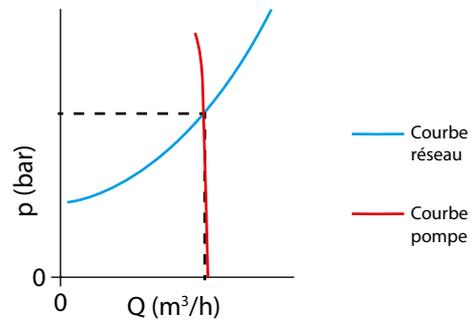


Courbe réseau pour un circuit boucle ouverte : à débit nul, la hauteur est égale à la hauteur statique qui est la différence d'altitude entre le niveau d'aspiration et le niveau de refoulement. S'y ajoutent ensuite les pertes de charge. $H = H_{\text{stat}} + H_{J\text{ TOTALE}}$

Le point de fonctionnement de l'installation de pompage est le point d'intersection entre la courbe de fonctionnement de la pompe et la courbe du réseau.



Point de fonctionnement d'une installation de pompage équipée d'une pompe centrifuge à vitesse fixe



Point de fonctionnement d'une installation de pompage équipée d'une pompe volumétrique à vitesse fixe (le débit varie faiblement avec la pression)

Pour déplacer le point de fonctionnement, on peut :

- Modifier la courbe réseau, en ajoutant une vanne de réglage qui permettra de faire varier sa perte de charge – mais qui ne permettra pas de changer beaucoup le débit si la pompe est volumétrique - ou en ajoutant un by-pass qui va faire glisser le point en débit. Ces solutions sont consommatrices d'énergie,
- Modifier la courbe de la pompe, en jouant sur ses paramètres géométriques ou en faisant varier sa vitesse de rotation en utilisant un variateur de fréquence pour alimenter son moteur. Cette dernière solution peut apporter des économies d'énergie importantes, surtout dans les circuits fermés.

I. Puissance et rendement des pompes

Si la courbe Hauteur / Débit ou Pression / Débit est la première chose à vérifier lorsque l'on veut s'assurer du bon fonctionnement d'une pompe, l'aspect énergétique prend de plus en plus d'importance, et les courbes de puissance et de rendement en fonction du débit sont également fournies par les constructeurs de pompes.

La puissance hydraulique P_h que l'on appelle également puissance utile P_u (êta h) (en watt), correspond à l'énergie transmise au liquide pendant son passage par la pompe :

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$$

où

ρ est la masse volumique du fluide en kg/m^3 ,

Q est le débit en m^3/s ,

g est l'accélération de la pesanteur (environ 9.81 m/s^2),

H est la hauteur totale de charge de la pompe en m

La puissance mécanique absorbée par la pompe au niveau de l'arbre P_2 (en watt) est la puissance transmise à la pompe par la machine d'entraînement. Etant donné les diverses pertes hydrauliques et mécaniques dans la pompe, la puissance mécanique à fournir sur l'arbre est supérieure à la puissance hydraulique fournie par la pompe au liquide - P_2 est supérieure à P_h - et le rendement hydraulique de la pompe η_h (êta h) est égal à :

$$\eta_h = \frac{P_h}{P_2}$$

La puissance électrique consommée par un groupe motopompe est notée P_{mot} ou P_1 . P_1 est la puissance en entrée du moteur ou du variateur de vitesse (VSD) quand la pompe en est équipée. Elle dépend du rendement du moteur η_{mot} et du variateur η_{VSD} .

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_{\text{mot}}$$

ou $P_2 = P_1 \cdot \eta_{\text{mot}} \cdot \eta_{\text{VSD}}$, si la pompe est équipée de VSD

Chapitre I

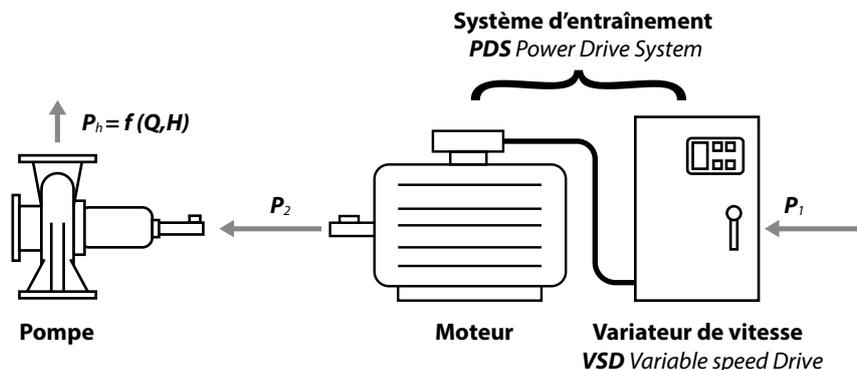
Notions élémentaires d'hydraulique

Le rendement global d'un groupe de pompage η_{global} est donc :

$$\eta_{\text{global}} = \eta_h \cdot \eta_{\text{mot}} \cdot \eta_{\text{VSD}}$$

et

$$P_1 = \frac{P_h}{\eta_{\text{global}}}$$



J. Cavitation

On appelle cavitation la naissance de bulles de vapeur dans un liquide soumis à une dépression.

Dans une pompe, la cavitation apparaît quand le liquide qui la traverse est soumis à une pression absolue inférieure à sa pression de vaporisation (à la température de l'écoulement).

Lorsque cela se produit, des bulles de vapeur apparaissent puis s'écrasent dans les zones où la pression est plus grande. Des implosions se produisent alors et créent des surpressions locales importantes. La cavitation est ainsi accompagnée de bruits, de vibrations, de chute de performances, de phénomènes d'érosions. C'est un phénomène mécanique très dommageable pour les pompes, qu'il faut absolument éviter.

La vaporisation du liquide pompé – et donc la cavitation – dépend de la pression et de la température. Pour l'eau, la température de vaporisation à pression atmosphérique est de 100°C. On dit que la pression de vapeur p_v de l'eau à 100°C est de 1.013 bar. À des pressions inférieures, l'eau se vaporise à des températures inférieures.

Pour éviter la cavitation, il faut donc que la pression absolue au sein de la pompe reste supérieure à la pression de vapeur ; ce qui dépend :

- De la pression (ou de la hauteur de charge) fournie par le système à l'aspiration de la pompe,
- De l'évolution de la pression à l'intérieur de la pompe, liée à la conception de la pompe.

Ainsi, afin de s'assurer qu'une pompe est adaptée pour fonctionner sur un réseau sans caviter, on a défini les grandeurs caractéristiques suivantes pour les pompes et pour le système :

1. NPSHR des pompes rotodynamiques

Le NPSH est la grandeur caractéristique qui définit le comportement en cavitation des pompes rotodynamiques. Ce terme issu de l'anglais « Net Positive Suction Head » est traduit en français par « hauteur énergétique nette absolue à l'aspiration » dans la norme de terminologie NF EN ISO 17769-1.

Les équations de dimensionnement des roues de pompes rotodynamiques étant basées sur des « hauteurs », le **NPSH** s'exprime comme une hauteur de charge **en m**.

Le **NPSHR**, NPSH requis d'une pompe rotodynamique, est une valeur caractéristique de la pompe, déterminée par un essai hydraulique normalisé et spécifiée par le fabricant dans sa documentation technique (voir paragraphe A.1.c du chapitre II).

2. NPIPR des pompes volumétriques

Le NPIP est la grandeur caractéristique qui définit le comportement en cavitation des pompes volumétriques. Ce terme issu de l'anglais « Net Positive Inlet Pressure » est traduit en français par « pression nette positive à l'aspiration » dans la norme de terminologie NF EN ISO 17769-1.

Comme les pompes volumétriques génèrent un débit volumique dans un réseau et subissent en retour la pression imposée par ce réseau, il est plus commun pour ces pompes de raisonner en pression plutôt qu'en hauteur de charge. Le **NPIP** s'exprime comme une pression en Pa.

D'autre part, compte tenu de l'aspect pulsatoire de l'écoulement, plus ou moins important dans les pompes volumétriques, **le NPIP est défini comme la pression minimale instantanée** déterminée au point de référence à l'aspiration de la pompe, moins la pression de vapeur du liquide à la température maximale de fonctionnement.

Le **NPIPR** est la valeur de NPIP requise par une pompe volumétrique pour atteindre les performances exigées, compte tenu du fluide spécifié. Il n'existe pas de norme européenne ou internationale pour la déterminer, mais il est de la responsabilité du fabricant de la fournir (voir paragraphe B.2.e du Chapitre II).

3. NPSHA et NPIPA du système

Le NPSH disponible, que l'on note **NPSHA** (A pour « Available » en anglais, traduit en français par « disponible ») est une caractéristique du système en amont de la pompe et des conditions de fonctionnement, indépendante de la conception de la pompe.

Dans le cas simple où une pompe aspire dans un réservoir dont le niveau de la surface libre est connu, avec une tuyauterie de perte de charge connue, le NPSHA à l'aspiration de la pompe se calcule de la manière suivante :

$$NPSHA = \frac{P_a - P_v}{\rho g} + \frac{U_a^2}{2g} + Z_a - H_{ja}$$

où :

P_a est la pression absolue à la surface du réservoir ($P_a = P_{\text{atmosphérique}}$ si le réservoir est à l'atmosphère)

P_v est la pression de vapeur du liquide à la température prise dans la section d'aspiration de la pompe

U_a est la vitesse du liquide à la surface libre dans le réservoir (considérée en pratique comme nulle)

ρ est la masse volumique du liquide

Z_a est la différence de niveau entre la surface libre du liquide dans le réservoir et l'aspiration de la pompe, positive si celle-ci est au-dessus de l'aspiration de la pompe

H_{ja} sont les pertes de charge entre le réservoir et l'aspiration de la pompe

Selon la norme NF EN ISO 16330 : 2003 « Pompes volumétriques à mouvement alternatif – Prescriptions techniques », le NPIP disponible ou NPIPA est une valeur déterminée par le fabricant de la pompe à partir du NPSHA et des données du système.

La norme NF EN ISO 13710 : 2004, dédiée aux « Industries pétrolière, pétrochimique et du gaz naturel », propose toutefois la formule suivante :

$$NPIPA = P_a + P_z - P_f - P_v - P_{ha}$$

où

P_a est la pression absolue à la surface du liquide,

P_z est la hauteur statique (+) ou la hauteur d'élévation statique (-), pour le niveau du fluide au-dessus ou en dessous de l'entrée de la pompe

P_f est la perte par friction au niveau de la conduite, clapet et raccords d'aspiration à viscosité maximale,

P_v est la pression de vapeur du fluide ou la pression de dissolution du gaz,

P_{ha} est la perte de pression provoquée par la perte de charge due à l'accélération

Le NPSHA s'exprime en m et le NPIPA en Pa.

4. Critère de non cavitation

Pour éviter le risque de cavitation, il faut s'assurer au minimum :

- Pour les pompes rotodynamiques, que : $NPSHA > NPSHR$
- Pour les pompes volumétriques, que : $NPIPA > NPIPR$

Chapitre I

Notions élémentaires d'hydraulique

Mais, dans la plupart des cas le constructeur ajoute une marge de sécurité, basée sur des normes, des règles de l'art ou sur son expérience.

Ces marges sont détaillées dans le Chapitre II, selon le type de pompe.

K. Caractéristiques du liquide ayant une influence sur le pompage

Le pompage d'eau claire à température ambiante représente l'application la plus courante.

Beaucoup de formules, tables, abaques, courbes caractéristiques sont donc donnés pour ces conditions.

Pour d'autres liquides, d'autres températures, un certain nombre de caractéristiques physiques ont une influence plus ou moins importante sur le fonctionnement de la pompe :

1. Densité (ou masse volumique)

La densité d'un liquide est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique de l'eau pure à 4°C. C'est une valeur sans dimension.

La densité d'un liquide varie avec sa température.

La courbe caractéristique Hauteur / Débit d'une pompe rotodynamique est indépendante de la densité du fluide. En revanche, la pression au refoulement de la pompe et la puissance consommée augmentent avec la densité.

Attention, si on fait fonctionner avec de l'eau un groupe motopompe rotodynamique conçu pour véhiculer un hydrocarbure de densité 0,8, il consommera 20% de puissance en plus pour le même débit !

2. Pression de vapeur

La **pression de vapeur saturante** est la pression à laquelle un fluide passe de l'état gazeux à l'état liquide (ou de l'état liquide à gazeux) pour une température donnée.

La pression de vapeur saturante s'exprime en Pa.

Si la température du fluide augmente, la pression à laquelle le fluide passe de l'état liquide à gazeux (pression de vapeur saturante) augmente. C'est ainsi qu'un liquide comme l'eau peut se transformer en vapeur à pression ambiante par apport de chaleur. Mais il est possible de faire cette transformation sans varier la température, en abaissant la pression ambiante au-dessous de la pression de vapeur saturante.

La pression de vapeur d'un liquide varie avec la température. La température a de ce fait une grande influence dans le calcul du NPSHA ou du NPIPA.

3. Viscosité

La viscosité définit la capacité plus ou moins grande d'un liquide à s'écouler dans un tube.

La **viscosité dynamique** s'exprime en pascals x secondes (Pa.s) dans le système SI et en poises (P ou Po) ou en poiseuilles (PI) dans le système CGS, avec les correspondances suivantes :

$$1 \text{ PI} = 10 \text{ P} :$$

$$1 \text{ Pa.s} = 1 \text{ PI} = 1 \text{ kg.m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 1 \text{ N.s/m}^2$$

$$1 \text{ P} = 1 \text{ g.cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

La **viscosité cinématique** est égale à la viscosité dynamique divisée par la masse volumique et s'exprime en m²/s dans le système SI, et en cm²/s, stokes St ou centistokes cSt dans le système CGS, avec les correspondances suivantes :

$$1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 100 \text{ cSt}$$

La viscosité cinématique de l'eau à 20°C est de 1 cSt

Dans les applications industrielles, la viscosité est quelquefois exprimée en d'autres unités qui s'apparentent à la viscosité cinématique, comme par exemple le degré Engler en Europe, les secondes Redwood en Grande-Bretagne, les secondes Saybolt Universal (SU) aux États-Unis, etc.

La viscosité d'un liquide varie avec :

- La température : la viscosité varie en raison inverse de la température suivant une loi qui est fonction du liquide. Chaque liquide possède sa propre courbe de viscosité fonction de la température ;
- La pression : pour une température donnée, la viscosité augmente avec la pression suivant une loi exponentielle qui, elle aussi, est fonction du liquide ou de la famille du liquide ;
- L'agitation : cas particulier des produits thixotropes.

La viscosité a un impact considérable sur les pertes de charge et sur les performances de la pompe elle-même. Les performances d'une pompe sont la plupart du temps données par le fabricant pour un fonctionnement en eau claire. Lorsque des fluides visqueux sont pompés, ces performances doivent être corrigées en appliquant des facteurs de corrections (généralement fournis par le fabricant).

Les pompes rotodynamiques voient leur hauteur de charge baisser et leur consommation d'énergie augmenter rapidement avec l'augmentation de la viscosité du fluide. On pourra trouver dans la norme ANSI/HI 9.6.7 – 2010 « Effects of Liquid Viscosity on Rotodynamic (Centrifugal and Vertical) Pump Performance » des facteurs de correction de performances par rapport au fonctionnement en eau claire, permettant des calculs pour des viscosités allant jusqu'à 3000 cSt (que l'on peut extrapoler jusqu'à 4000 cSt). Pour des viscosités supérieures, cette technologie n'est pas adaptée.

Les pompes volumétriques s'accommodent bien des fluides fortement visqueux, même s'il existe selon le type de pompe une gamme de viscosité optimale pour obtenir le meilleur rendement :

- Les viscosités faibles peuvent être à l'origine d'un moins bon rendement en raison de fuites internes,
- Les viscosités élevées peuvent également réduire le rendement en raison du frottement interne.

4. Fluide newtonien, non-newtonien

Pour les fluides dits newtoniens – comme l'eau - **la viscosité est constante** quelle que soit l'intensité du cisaillement qui leur est appliquée.

Mais il existe également des fluides **non newtoniens** qui **voient leur viscosité changer sous l'effet d'une contrainte mécanique**. Ces fluides comme le yaourt, certaines peintures et vernis et certaines boues, font la joie des hydrauliciens !

Ainsi, au fur et à mesure que l'on remue un yaourt il devient de plus en plus liquide. Le yaourt est dit thixotrope.

Si un fluide devient au contraire de plus en plus épais quand on le remue il est dit antithixotrope. C'est le cas de la crème liquide qui devient de la crème fouettée au bout d'un moment, et qui est bien moins liquide.

D'autre part, les fluides dont la viscosité diminue instantanément quand on applique une pression dessus sont dit rhéofluidifiants ou pseudo-plastiques. C'est le cas par exemple du ketchup, du sang, de la lave, de la mélasse, de certaines peintures ou encore du vernis à ongles : ils sont très compacts, mais deviennent pratiquement liquides quand l'écoulement est rapide (plus on appuie sur la bouteille de ketchup, plus ce qui en sort est fluide).

Tous ces fluides un peu particuliers sont le domaine de prédilection des fabricants de pompes volumétriques !

5. Corrosion

Un liquide corrosif peut détruire, par une réaction chimique, tout ou partie des matériaux en contact. Cette réaction chimique est fonction à la fois du liquide et du matériau en contact. Il est donc préférable, avant d'entreprendre quoi que ce soit, de s'assurer que le liquide à véhiculer est compatible avec la pompe.

6. Abrasion

Un liquide abrasif peut détruire tout ou partie d'un matériau par frottement. Cette usure provient, dans la plupart des cas, de particules solides contenues dans le liquide. Il est souvent utile de donner au fabricant de la pompe le diamètre moyen des particules solides, afin de s'assurer de la compatibilité de la pompe (ou de l'installation) avec le liquide véhiculé.

L'abrasion est fonction de l'aspect, de la taille et de la dureté des particules, mais aussi de la vitesse d'écoulement et des turbulences que peut subir le liquide lors de son passage dans la pompe.

Chapitre I

Notions élémentaires d'hydraulique

7. Teneur en air occlus et / ou en gaz dissous – Air ou gaz entraîné dans l'écoulement

Un liquide pompé peut contenir une certaine quantité d'air occlus et / ou de gaz dissous. Une huile de lubrification, par exemple, peut contenir jusqu'à 10% d'air à température ambiante et à la pression atmosphérique. Le pétrole peut en contenir jusqu'à 20%. La capacité d'un liquide à dissoudre un gaz diminue lorsque la pression diminue, ou que la température augmente.

La teneur en air occlus et / ou en gaz dissous dans un liquide a une influence sur l'apparition de la cavitation :

- Un essai de NPSH réalisé sur une pompe centrifuge avec de l'eau désaérée permet d'obtenir des valeurs de NPSH3 plus faibles (environ 30 cm, suivant les caractéristiques de la pompe).
- On a pu également constater que des essais de cavitation de pompes volumétriques réalisés avec de l'huile, pouvaient être faussés par la désaération de l'huile, que l'on peut confondre avec un début de cavitation.

Par contre l'air ou le gaz qui se sépare du liquide en même temps que la cavitation apparaît, a un effet « amortisseur », et réduit les dommages causés par la cavitation.

Un liquide pompé peut également entraîner une certaine quantité d'air ou de gaz, ce qui peut avoir une influence considérable sur les performances de la pompe.

Sur une pompe rotodynamique, la hauteur de charge et le rendement peuvent être réduits lorsque la quantité d'air ou de gaz entraîné dépasse de 2 à 4 % la quantité de liquide en volume. Pour des applications de pompage en rivière - ou même en réservoir à pression atmosphérique et température ambiante - lorsque l'eau est aérée, certains constructeurs recommandent de diminuer le NPSHA de 2,5 m.

Sur une pompe volumétrique, l'entraînement de gaz réduit les capacités en débit de la pompe et peut provoquer des pulsations de pression conduisant à l'endommagement des composants de la pompe ou à d'importantes vibrations des tuyauteries. Les pompes volumétriques supportent toutefois des quantités de gaz plus élevées que les pompes rotodynamiques, pouvant aller jusqu'à 50% de la quantité de liquide en volume.

Chapitre II

Principe de fonctionnement et caractéristiques des pompes pour liquide

Chapitre II

Principe de fonctionnement et caractéristiques des pompes pour liquide

A. Pompes rotodynamiques

On regroupe sous cette appellation les pompes centrifuges, hélicocentrifuges et hélices.

Cette famille de pompes peut être caractérisée par le fait que la pression y est générée par l'action de forces centrifuges qui augmentent l'énergie cinétique d'un liquide lors de son passage dans une roue, puis par la conversion en pression de l'énergie cinétique communiquée au liquide, en le ralentissant.

Bien que le principe en ait été connu bien avant, c'est pendant la seconde moitié du XIX^e siècle que l'on voit le démarrage de l'utilisation des pompes rotodynamiques en Angleterre et en Allemagne (la pompe volumétrique alternative étant la règle à cette époque). L'essor de la pompe rotodynamique accompagne celui de l'utilisation des moteurs électriques auxquels elle est particulièrement adaptée, puisqu'elle ne requiert aucune pièce intermédiaire de transformation du mouvement : la pompe rotodynamique est un enfant du XX^e siècle. Aujourd'hui elle représente plus de 75% du marché mondial des pompes.

1. Caractéristiques hydrauliques

Le fonctionnement hydraulique d'une pompe rotodynamique peut être défini par :

- Un nombre caractéristique de sa géométrie, qu'on appelle sa « vitesse spécifique »,
- Des courbes représentant son fonctionnement en fonction du débit,
- Un terme permettant de qualifier sa capacité à aspirer un liquide sans caviter, le « NPSH ».

Des efforts hydrodynamiques s'exercent au niveau de sa roue lorsque la pompe fonctionne, qu'il est également important de connaître, pour sa conception, mais également pour son utilisation.

a) Vitesse spécifique (n_s) :

La vitesse spécifique (n_s) d'une pompe rotodynamique est une variable qui permet de caractériser une famille de turbomachines homothétiques à partir de la vitesse de rotation, de la hauteur et du débit.

Elle se calcule par la formule suivante

$$n_s = n \frac{Q_{opt}^{0,5}}{H_{opt}^{0,75}}$$

où

n est la vitesse de rotation de la pompe, en tours par minute ;

H_{opt} est la hauteur totale de charge, au point de meilleur rendement (optimal), en mètres ;

Q_{opt} est le débit-volume, au point de meilleur rendement (optimal), en mètres cubes par seconde.

Note : n_s peut être un nombre sans dimension si $(g.H_{opt})^{0,75}$ est le dénominateur et si des unités cohérentes sont utilisées. Cependant, dans la pratique, g n'est pas incorporé et les unités mètres, mètres cubes par seconde et tours par minute sont utilisées.

Une vitesse spécifique élevée est caractéristique d'un fort débit sous faible hauteur, alors qu'une vitesse spécifique faible définit un faible débit sous forte hauteur. Bien que les frontières soient floues entre les pompes centrifuges, les pompes hélico-centrifuges et les pompes hélices, la figure ci-dessous donne une indication de l'évolution de la géométrie de la roue en fonction de n_s :

n_s	10	=>	50	=>	200	=>	400
½ coupe de pompe							
Type de pompe	Centrifuge		Hélico-centrifuge		Hélice		

Figure 2.1 : Evolution de la géométrie des roues de pompes rotodynamiques en fonction du n_s

Chapitre II

Principe de fonctionnement et caractéristiques des pompes pour liquide

b) Courbes de fonctionnement

Pour une géométrie et une vitesse de rotation données, le fonctionnement d'une pompe rotodynamique est habituellement décrit par les courbes caractéristiques suivantes :

- La courbe de hauteur totale de charge en fonction du débit,
- La courbe de puissance mécanique en fonction du débit,
- La courbe de rendement en fonction du débit.

Note : Le fonctionnement des groupes motopompes, pour lesquels la pompe et le moteur d'entraînement ne peuvent pas être dissociés, peut être décrit par les courbes suivantes :

- La courbe de hauteur totale de charge en fonction du débit,
- La courbe de puissance électrique en fonction du débit,
- La courbe de rendement groupe en fonction du débit.

Le débit utilisé dans le tracé des courbes est le débit volumique, noté Q, que l'on peut exprimer en litres par seconde, en mètres cube par seconde ou en mètres cubes par heure.

La hauteur totale de charge de la pompe est définie au paragraphe E du chapitre I. Elle est notée H et s'exprime en mètres :

$$H = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + Z_2 - Z_1$$

La courbe de hauteur totale de charge en fonction du débit est indépendante du liquide pompé. A débit nul elle représente l'altitude maximale à laquelle la pompe peut élever le liquide.

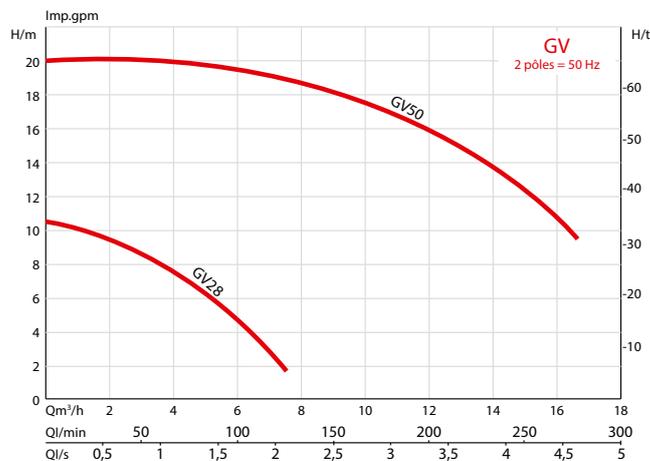


Figure 2.2 : Exemple de courbes de hauteur totale de charge en fonction du débit

La puissance mécanique absorbée par la pompe dépend elle de la densité du liquide pompé. On l'exprime en watts ou kilowatts.

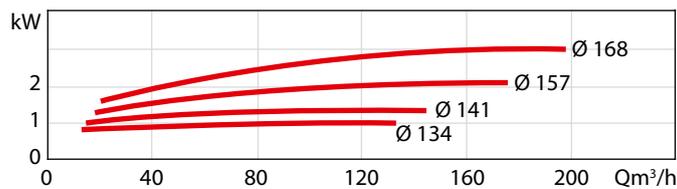


Figure 2.3 : Exemple de courbes de puissance en fonction du débit pour différents diamètres de roue

La puissance et rendement de la pompe sont définis au paragraphe I du chapitre I.

L'allure et la valeur maximale de la courbe de rendement dépendent de la conception de la pompe, de sa taille, mais également de sa vitesse spécifique.

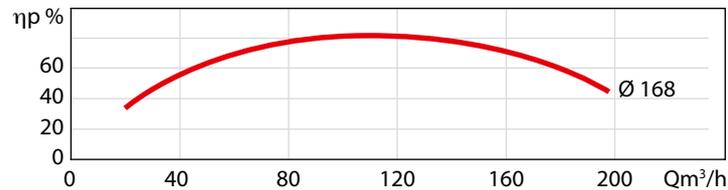


Figure 2.4 : Exemple de courbe de rendement en fonction du débit

Le point de la courbe caractéristique de rendement présentant la valeur la plus élevée est appelé « point de rendement optimal » ou BEP (de l'anglais « Best Efficiency Point »). Lorsque l'on doit choisir une pompe pour un réseau hydraulique donné, on s'efforce de faire coïncider le point de rendement optimal de la pompe avec le point de fonctionnement souhaité pour l'installation.

Dans les catalogues de certains constructeurs de pompes les courbes caractéristiques d'une famille de pompes peuvent être présentées sous formes de tuiles, chaque tuile représentant le domaine d'utilisation de l'une des pompes de la famille :

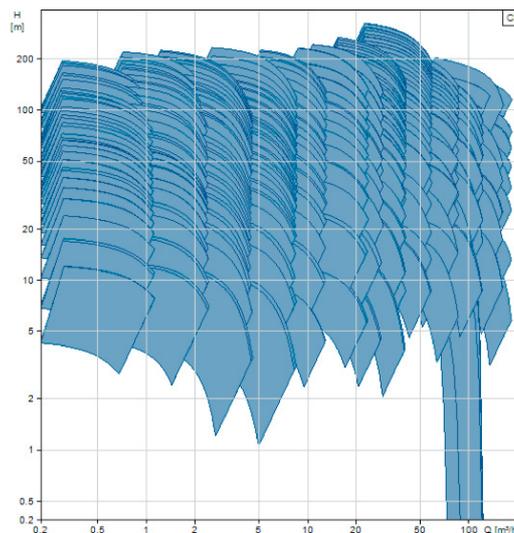


Figure 2.5 : Exemple de courbes de hauteur totale de charge en fonction du débit pour une famille de pompes

Lorsque les pompes sont susceptibles de fonctionner dans de larges gammes de vitesses, d'autres constructeurs préfèrent concentrer toutes les informations d'une pompe sur un même graphique :

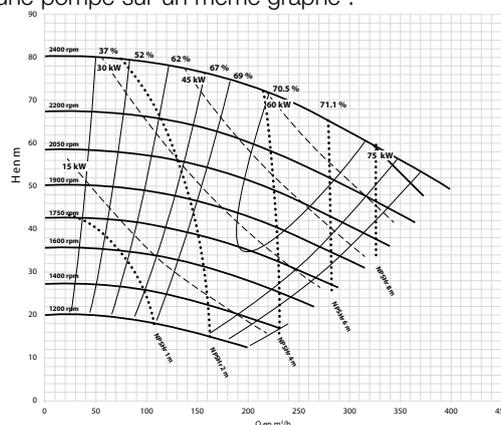


Figure 2.6 : Exemple de présentation donnant pour une pompe donnée l'ensemble de ses caractéristiques de hauteur, puissance, rendement et NPSH en fonction du débit et à plusieurs vitesses

Chapitre II

Principe de fonctionnement et caractéristiques des pompes pour liquide

c) NPSHR

Ce terme est défini au paragraphe J.1 du chapitre I « Notions élémentaires d'hydraulique ».

On rappellera ici que les pompes, comme tous les composants hydrauliques traversés par un fluide, sont sujettes à des phénomènes de cavitation. A l'entrée d'une pompe rotodynamique, l'accélération de l'écoulement du fluide peut localement vaporiser le fluide, avant que les bulles ainsi créées implosent, de manière destructrice pour le matériel, quand la pression remonte dans la roue.

Le NPSHR d'une pompe destinée à une application industrielle est déterminé par un essai en eau pour une chute de la hauteur totale de charge de 3%, à débit constant. Il est dans ce cas noté NPSH3. La procédure d'essais est décrite dans la norme NF EN ISO 9906 : 2012 « Pompes rotodynamiques - Essais de fonctionnement hydraulique pour la réception - Niveaux 1, 2 et 3 ».

La chute de hauteur est la conséquence d'une accumulation de bulles obstruant l'ouïe d'aspiration de la pompe, mais d'autres phénomènes tels que le bruit ou l'usure des matériaux apparaissent pour des valeurs de NPSHA inférieures.

Pour des applications sévères, l'utilisateur de la pompe peut souhaiter connaître le NPSHA correspondant à l'apparition des premières bulles de cavitation. Ceci peut être réalisé sur des pompes prototypes soit en installant des hublots de visualisation à l'aspiration de la pompe, soit par des méthodes acoustiques.

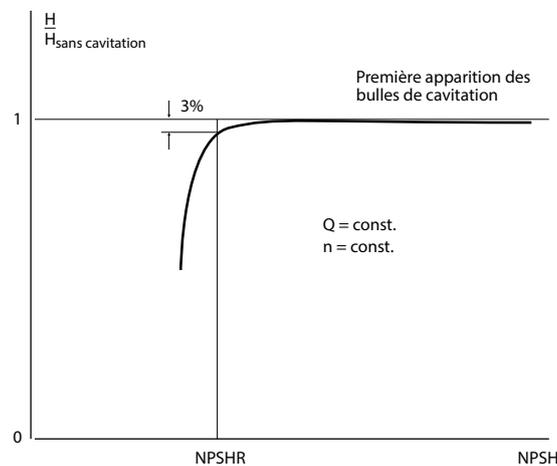


Figure 2.7 : Courbe représentant l'évolution de la hauteur relative $H/H_{\text{sans cavitation}}$ en fonction du NPSH et pour un débit donné

Remarque pratique sur l'expression du NPSH :

L'expression du NPSH peut porter à confusion car son calcul se fait par rapport au vide (une valeur de NPSH n'est jamais négative !). La pression atmosphérique étant proche d'une hauteur d'eau de 10 m, on peut estimer en première approche – dans une installation de pompage d'eau froide dans des conditions ambiantes, où l'on néglige les pertes de charges – que :

- Une pompe qui a un NPSHR de 13 mètres nécessite une charge d'eau à l'aspiration de 3 m au-dessus de son aspiration ($13\text{m} - 10\text{m} = 3\text{m}$),
- Une pompe qui a un NPSHR de 1 mètre peut aspirer dans un plan d'eau situé à 9 m en dessous de son aspiration ($1\text{m} - 10\text{m} = -9\text{m}$).

Pour être certain d'éviter ou de limiter la cavitation à un niveau acceptable, le fabricant de la pompe peut recommander une marge de sécurité à appliquer entre le NPSHR (ou le NPSH3) et le NPSHA.

Cette marge est principalement fonction des paramètres suivants :

- La taille, le type et la vitesse spécifique de la pompe,
- La vitesse circonférentielle à l'entrée de la roue,
- La conception de la roue et en particulier la forme méridienne et la géométrie des aubes,
- Le liquide pompé et sa température,
- La résistance du matériau de la roue à l'érosion de cavitation.

A minima, une règle de base suivie par l'industrie de la pompe en général, propose que les conditions du site doivent être telles que :

$$\text{NPSHA} \geq \text{NPSHR} + 0.5 \text{ m}$$

Toutefois cette règle peut conduire à de mauvais choix dans certaines applications sensibles, c'est pour cette raison que quelques industries ont choisi d'utiliser un coefficient de sécurité S tel que :

$$\text{NPSHA} \geq \text{NPSHR} \times S$$

Ce coefficient de sécurité S est basé sur l'expérience du constructeur de la pompe, qui est le seul capable de le fournir pour chaque application.

Le lecteur pourra trouver des informations plus détaillées sur le NPSH, les marges de sécurité et des valeurs du coefficient de sécurité S dans le Guide EUROPUMP n°1, 1999 : « NPSH for Rotodynamic Pumps » [1], la norme ANSI/HI 9.6.1- 2012 « Rotodynamic Pumps - Guideline for NPSH Margin », les Techniques de L'Ingénieur – B 4313 – « Pompes centrifuges, hélico-centrifuges et axiales : cavitation » par Jean-François LAPRAY [2].

d) Lois de similitude

Des caractéristiques de similitude permettent de mieux adapter une pompe rotodynamique aux caractéristiques du réseau sur lequel on souhaite l'installer.

Il a en effet été démontré (dans un domaine où le rendement de la pompe n'est pas affecté) que :

- Le débit varie proportionnellement avec la vitesse de rotation,
- La hauteur varie avec le carré de la vitesse de rotation,
- La puissance hydraulique varie avec le cube de la vitesse de rotation.

Ce qui s'écrit :

$$\frac{Q_a}{Q_b} = \frac{n_a}{n_b} \qquad \frac{H_a}{H_b} = \frac{n_a^2}{n_b^2} \qquad \frac{P_a}{P_b} = \frac{n_a^3}{n_b^3}$$

De la même manière, pour de petites variations du diamètre de roue D, on peut écrire :

$$\frac{Q_a}{Q_b} = \frac{D_a^2}{D_b^2} \qquad \frac{H_a}{H_b} = \frac{D_a^2}{D_b^2} \qquad \frac{P_a}{P_b} = \frac{D_a^4}{D_b^4}$$

Ces relations permettent d'appliquer des techniques d'optimisation, comme le rognage de roue ou la vitesse variable.

Les lois de similitudes s'appliquent mal au NPSH qui devra être vérifié à la vitesse réelle de fonctionnement de la pompe.

e) Efforts hydrodynamiques

Le déséquilibre des pressions qui s'exercent sur la roue en fonctionnement, et qui augmente lorsque l'on s'éloigne du point de rendement optimal, se traduit par des efforts axiaux et radiaux qui se transmettent à l'arbre.

Les constructeurs veillent à minimiser ces efforts par différents dispositifs - comme les trous d'équilibrage percés dans la roue pour limiter la poussée axiale - mais l'efficacité de ces dispositifs s'atténue également lorsque l'on s'éloigne du point optimal.

L'effort axial sur l'arbre, minimal au point de rendement optimal, peut devenir nettement plus grand aux points de débit minimal et maximal (jusqu'à 5 ou 6 fois) ; les paliers de l'arbre doivent donc être munis d'une butée capable de supporter l'effort maximal.

Il en est de même pour l'effort radial, perpendiculaire à l'axe, qui résulte d'une mauvaise répartition de la pression autour de la roue dans la volute. Il entraîne un fléchissement de l'arbre et le soumet à une flexion rotative.

Pour ces raisons, une pompe centrifuge ne doit jamais fonctionner de façon prolongée à débit nul, car elle va s'échauffer rapidement jusqu'à sa destruction.

C'est aussi pour cela qu'il convient d'utiliser une pompe dans le domaine de fonctionnement pour lequel elle a été conçue par son fabricant.

2. Assemblage de roues et de volutes

Les pompes rotodynamiques qui sont aujourd'hui sur le marché existent dans une multitude de combinaisons différentes de roues et de volutes. Le fascicule de documentation français FD E44-002 en présente une grande partie.

Chapitre II

Principe de fonctionnement et caractéristiques des pompes pour liquide

Nous en avons retenu quelques unes ci-dessous :

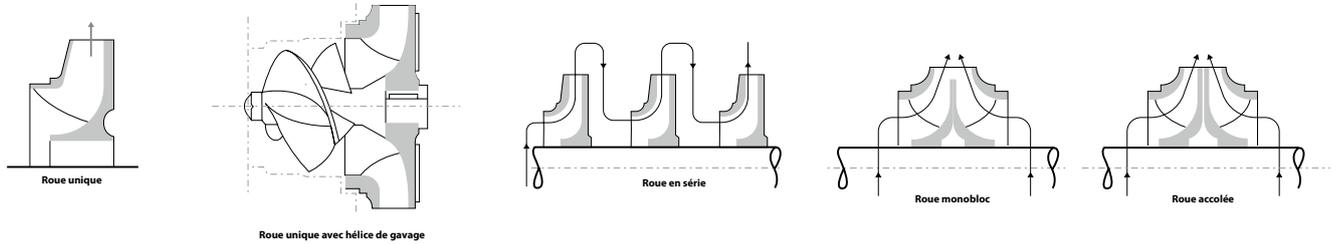


Figure 2.8 : Extrait du fascicule de documentation FD E44-002 présentant différents assemblages de roues de pompes centrifuges

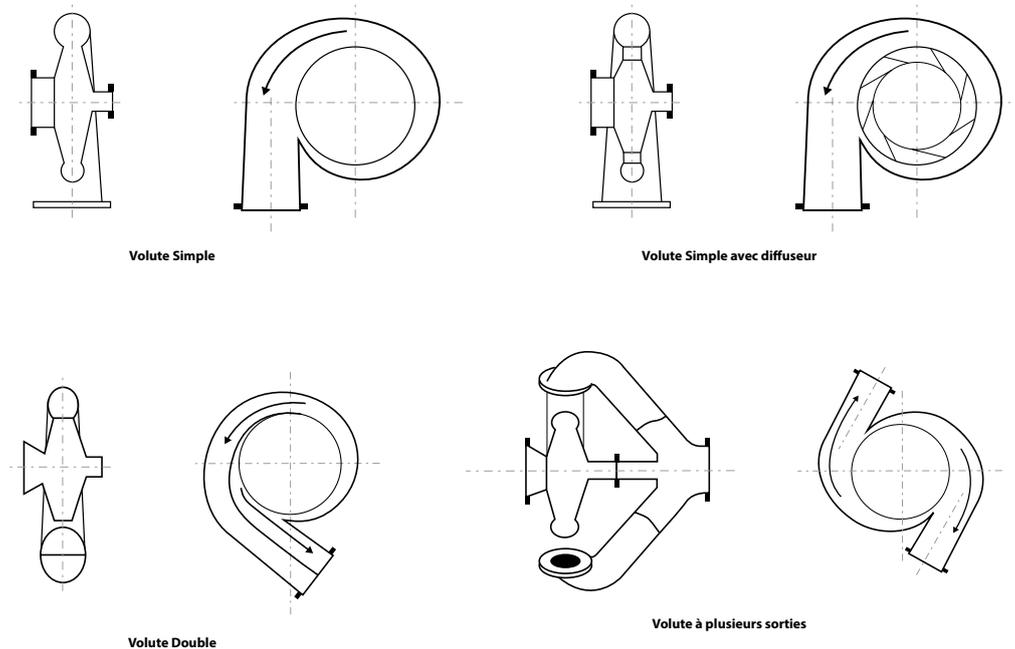


Figure 2.9 : Extrait du fascicule de documentation FD E44-002 présentant différents assemblages de volutes de pompes centrifuges

B. Pompes volumétriques

On imagine que la première pompe est apparue quand l'homme a commencé à se construire un habitat, et qu'il a fallu y apporter l'eau nécessaire à sa survie depuis le puit ou la rivière. La vis d'Archimède, que ce dernier (287 – 212 av. J.-C.) aurait mis au point pour permettre aux habitants du bord du Nil d'arroser leurs terrains, la pompe à piston que les grecs et les romains auraient découverts dans l'Antiquité, et la « noria » qui aurait été inventée par des ingénieurs grecs entre le III^e et le II^e siècle avant JC, sont autant d'ancêtres de nos pompes volumétriques actuelles.

Les pompes volumétriques ont pour caractéristique de prélever en un temps donné, un volume de liquide à l'aspiration, et de le transférer au refoulement. Leur débit varie en fonction de leur vitesse de rotation ou du nombre de cycles.

Certaines pompes volumétriques sont dites alternatives car elles font appel au mouvement alterné d'un piston ou d'une membrane : pompes à piston plongeant, à membrane à commande pneumatique, doseuses électromagnétiques...

D'autres sont dites à mouvement rotatif : pompes à engrenage, à vis, à cavité progressive, à palettes, péristaltiques...

Au-delà de ces types de base décrits dans cet ouvrage, il existe une multitude de principes de fonctionnement différents adaptés à des applications et des fluides particuliers. Une étroite collaboration avec le fabricant et/ou fournisseur est conseillée pour que le choix de la pompe réponde au mieux aux besoins de l'utilisateur.

1. Considérations générales

La pression au refoulement d'une pompe volumétrique peut atteindre des valeurs extrêmes en cas de blocage du débit pompé. Il est donc nécessaire d'installer une soupape au refoulement d'une telle pompe, s'il y a une vanne d'isolement au refoulement (les pompes volumétriques sont en général équipées en interne d'une soupape de protection).

Au-delà de la fonction « classique » de transfert de liquide, les pompes volumétriques peuvent également assurer des fonctions de dosage de précision élevée, en continu, en asservissant le débit à un signal...

Une pompe volumétrique est en général auto-amorçante. Cela signifie que si elle est exempte de liquide lorsqu'on la démarre, elle crée une aspiration (un vide) suffisant pour amener le liquide jusqu'à l'aspiration.

2. Caractéristiques hydrauliques

a) Cylindrée et débit volumique

La cylindrée C_y d'une pompe volumétrique est le volume fermé transféré de l'aspiration vers le refoulement à chaque rotation de son arbre d'entraînement.

Pour une pompe alternative, la cylindrée est le volume total balayé par le piston ou le plongeur.

Pour une pompe rotative, c'est le volume emprisonné entre le rotor et le stator (comme par exemple le volume emprisonné dans les dentures d'une pompe à engrenages).

Le débit volumique théorique d'une pompe volumétrique est le produit de sa vitesse de rotation N par sa cylindrée C_y .

b) Courbe Pression / Débit

Une pompe volumétrique qui refoule dans un système impose son débit au système, qui impose en retour une pression au refoulement de la pompe.

On a donc coutume pour les pompes volumétriques de représenter leur caractéristique de fonctionnement par une courbe de pression en fonction du débit, pour une vitesse de rotation donnée.

La figure 2.10 donne l'allure de cette courbe Pression / Débit qui s'infléchit lorsque la pression augmente. Ceci s'explique par le fait qu'une partie du liquide refoulé revient de façon interne à l'aspiration lorsque la pression augmente, par suite des jeux de fonctionnement inévitables et, éventuellement, du retard à la fermeture des clapets.

Au fur et à mesure que la pression au refoulement augmente, la fuite interne augmente et le débit diminue.

Cette fuite interne est également fonction de la viscosité du produit pompé. Lorsque la viscosité est plus importante, la fuite interne diminue et le débit augmente.

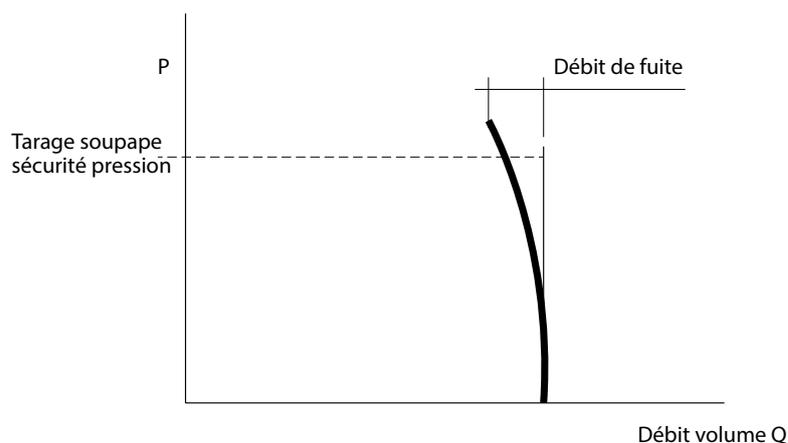


Figure 2.10 : Courbe Pression / Débit d'une pompe volumétrique

c) Rendement volumétrique

Le rendement volumétrique η_v est le rapport entre le débit volumique réel Q de la pompe et le débit volumique théorique calculé à partir de la cylindrée de la pompe.

Chapitre II

Principe de fonctionnement et caractéristiques des pompes pour liquide

$$\eta_v = \frac{Q}{N \cdot Cy}$$

(Si Q est exprimé en m³/s, N doit être en s⁻¹ et Cy en m³)

Il ne faut pas confondre le rendement volumétrique η_v qui caractérise une certaine **efficacité de l'organe de pompage**, et le rendement hydraulique η_h – tel qu'exprimé au paragraphe I du Chapitre I – rapport entre la puissance hydraulique que la pompe transmet au fluide P_h et la puissance mécanique sur l'arbre de la pompe P_2 , qui caractérise son **efficacité énergétique** :

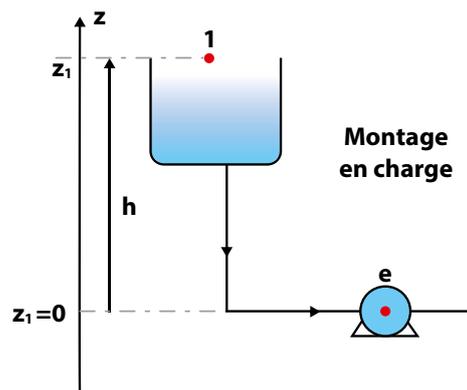
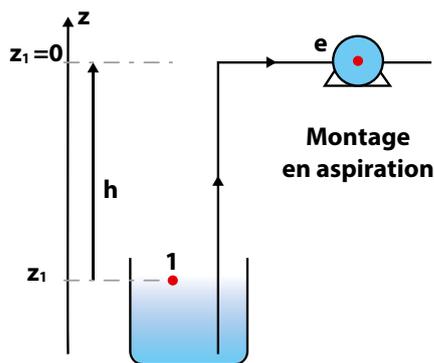
$$\eta_h = \frac{P_h}{P_2}$$

avec $P_h = Q \cdot p$ (P_h en W, Q en m³/s et p en Pa)

d) Hauteurs géométriques d'aspiration, de charge et de refoulement

Il est de coutume pour les pompes volumétriques de dire que :

- la pompe est en aspiration, lorsque le niveau d'aspiration est en dessous du plan de référence de la pompe,
- la pompe est en charge, lorsque le niveau d'aspiration est au dessus du plan de référence de la pompe.



e) NPIPR

Le NPIPR est défini au paragraphe J.2 du Chapitre I.

Il n'existe pas de norme européenne ou internationale pour la détermination du NPIPR des pompes volumétriques, mais on pourra se référer à deux normes américaines :

- La norme ANSI/HI 3.6 - 2010 pour les pompes volumétriques rotatives,
- La norme ANSI/HI 6.6 - 2000 pour les pompes volumétriques alternatives.

La norme NF EN 14343 : 2006 « Pompes volumétriques rotatives - Essais de performances pour la réception » décrit un essai de pression à l'aspiration de façon succincte et sans nommer le NPIPR. Mais cette norme ne couvre que la réception des pompes volumétriques rotatives pour des applications autres que les applications hydrauliques, à l'exclusion des pompes à cavité progressive et des pompes de type péristaltique.

On utilise parfois une méthode analogue à celle utilisée pour déterminer le NPSH des pompes centrifuges. Toutefois, au lieu de calculer le NPSH en mètres pour une chute de hauteur de 3% en fonction de la pression à l'aspiration, on calcule le NPIP en Pa pour une chute du débit de 3% en fonction de la pression à l'aspiration.

Enfin, pour être certain d'éviter ou de limiter la cavitation à un niveau acceptable, le fabricant de la pompe peut recommander une marge de sécurité à appliquer entre le NPIPR et le NPIPA.

Cette marge est généralement définie par le constructeur, en se basant sur sa connaissance de la pompe et son expérience de l'application. Toutefois, pour les pompes alternatives on pourra se référer à l'annexe C de la norme NF EN ISO 16330 : 2003 qui donne des marges en fonction de la vitesse de la pompe, de la vitesse du piston/plongeur, et de la pression différentielle de la pompe.

3. Pompes volumétriques alternatives

Une pompe alternative est constituée de trois modules :

- Un module doseur,
- Un module d'entraînement,
- Un module mécanique de transmission.

a) Le module doseur

Celui-ci constitue le cœur de la pompe ; il est en contact avec le fluide véhiculé et lui transmet l'énergie assurant son mouvement. Dans le doseur, nous incluons la chambre volumétrique ainsi que les clapets d'aspiration et de refoulement.

La nature de ce module doseur permet de classer les pompes alternatives en deux grandes catégories :

- Les pompes alternatives à pistons,
- Les pompes alternatives à membranes.

b) Le module d'entraînement

Il fournit la puissance motrice à l'ensemble mobile et permet de classer les pompes alternatives en deux sous-catégories :

- Les pompes alternatives à entraînement mécanique qui peuvent être entraînées par tout type de moteur (électrique, thermique, pneumatique,...) ou par une autre pompe (montage multiplex).
- Les pompes alternatives électromagnétiques pour lesquelles l'entraînement est assuré par le mouvement d'un électroaimant commandé par une électronique de commande. Ce système est employé dans des gammes de faible puissance.

c) Le module mécanique de transmission

L'ensemble de transmission assure l'entraînement du piston ou de la membrane à partir du module d'entraînement.

Dans une pompe à entraînement mécanique, il permet le réglage du débit, en assurant :

- La réduction de vitesse (souvent par un système roue et vis),
- La transformation du mouvement rotatif en mouvement alternatif,
- Le réglage de la cylindrée par des systèmes très divers et souvent brevetés.

Les principes les plus courants sont les systèmes à came excentrée avec ressort de rappel. Le réglage de la course, donc de la cylindrée, est obtenu par butée mécanique réglable de la partie mobile dans sa phase de retour (pompe à course interrompue) ou par rappel positif de la partie mobile par la came excentrée. Sur les pompes à membrane hydraulique le réglage du débit peut être réalisé par by-pass ou dérivation de débit sur le circuit d'huile de commande. Des mécanismes de réglage de la course par système à balancier et à plateau inclinable sont utilisés dans les gammes de pompes à couples nominaux élevés.

Dans une pompe électromagnétique, le système de réglage, mécanique ou électronique, est associé au module d'entraînement.

4. Pompes volumétriques rotatives

Les pompes volumétriques à mouvement rotatif sont des machines dans lesquelles le liquide est emprisonné dans des volumes fermés et transporté à partir d'un orifice d'aspiration jusqu'à un orifice de refoulement par un mouvement rotatif du, ou des éléments pompants (Norme NF EN ISO 14847).

Ces pompes sont souvent caractérisées par le nombre d'axes de rotation ou par la nature du mouvement auquel sont soumis les organes de ces pompes.

Certaines pompes décrivent simplement un mouvement de rotation continue (pompes à engrenages, pompes à vis...). D'autres pompes ont des organes qui sont soumis à un mouvement de rotation et de translation simultanée (pompes à palettes, pompes à pistons radiaux...).

Si le descriptif ici est court, c'est qu'il existe un très grand nombre de pompes volumétriques rotatives comportant des systèmes mécaniques aussi ingénieux les uns que les autres, qu'il serait trop long de décrire ici.

Seuls les types les plus connus sont décrits dans cet ouvrage (voir fiches du Chapitre III).

Chapitre III

Types de pompes et applications

Chapitre III

Types de pompes et applications

A. Pompes rotodynamiques

Une grande partie des informations de ce chapitre sont extraites du Guide EUROPUMP "Guide to the Selection of Rotodynamic Pumps" [3] publié en 2007 exclusivement en anglais.

1. Types de pompes

Dans le cadre de ce guide, nous nous sommes volontairement limités aux types de pompes rotodynamiques présentées dans le tableau ci-dessous, dont l'usage nous a semblé le plus répandu :

Types de pompes rotodynamiques	Fiche n°
Pompes monocellulaires conventionnelles	1
Pompes monocellulaires pour liquides chargés en particules solides	2
Pompes monocellulaires résistant au colmatage	3
Pompes monocellulaires en ligne	4
Pompes à plan de joint axial à un ou deux étages	5
Pompes multi-étages conventionnelles	6
Pompes multi-étages à plan de joint axial	7
Pompes multi-étages en baril	8
Pompes verticales à ligne d'arbre	9
Pompes verticales de forage	10
Pompes à hélice	11
Pompes semi-axiales	12
Pompes verticales hélico-centrifuges	13
Pompes à canal latéral	14
Pompes centrifuges auto-amorçantes	15

Les fiches numérotées dans le tableau sont présentées dans la suite de ce chapitre.

En pratique, il existe de multiples variations du type de base présenté dans chaque fiche, avec des adaptations aux exigences dictées par une application ou un marché particulier. Ainsi,

- les positions des tuyauteries peuvent changer,
- l'arbre peut être horizontal ou vertical ou même incliné,
- il existe de nombreuses options d'étanchéité de l'arbre,
- l'entraînement peut être réalisé par un moteur électrique à vitesse fixe ou à vitesse variable, par un moteur diesel, par un système poulies - courroies, etc.

Chaque fiche propose une illustration de la configuration la plus répandue pour chaque type de pompe retenu, ainsi qu'une brève description. Elles présentent également des courbes caractéristiques typiques qui peuvent différer des courbes réelles, il s'agira donc de s'assurer que les courbes produites par le fabricant conviennent à l'application. On y trouvera également des commentaires sur les caractéristiques hydrauliques des pompes. Enfin, les principales applications de chaque type de pompe sont listées pour aider au choix de la pompe.

Chapitre III

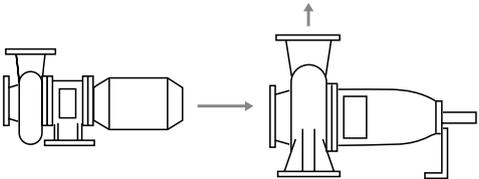
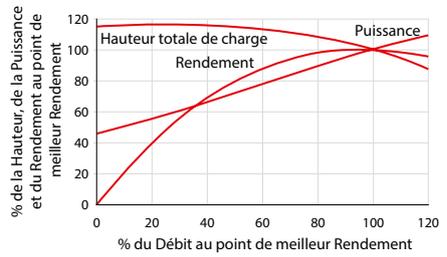
Types de pompes et applications

2. Applications

Le tableau suivant présente les principaux marchés qui utilisent des pompes rotodynamiques, ainsi que les principales applications sur lesquelles les pompes sont utilisées. Il propose également une correspondance avec les numéros de fiches, vers lesquelles se reporter pour avoir davantage de détails.

Marchés	Applications
Agriculture	Irrigation (1, 5, 6, 11, 12, 13, 15), forage (1, 10), drainage des terres (11, 13, 15)
Agro-alimentaire	Transfert de liquides (1, 2), lavage de cuves de fermentation (5).
Bâtiment	Surpresseur (1, 5), évacuation des eaux chargées (2, 15), circulation d'eau chaude (4), génie climatique (4), alimentation de chaudière (4, 6)
Chimie / pétrochimie	Transfert de liquides (1, 14, 15), recirculation dans les réacteurs (11)
Eaux propres	Pompage d'eau brute (5, 9, 12, 13, 15), forage (10), dessalement eau de mer (10), distribution de l'eau (5), surpression - gavage (5)
Eaux usées	Eaux usées brutes (3, 15), eaux usées traitées (3, 12, 13), eaux chargées en gravier (3), eaux chargées en fibres longues (3), eaux pluviales (3, 11, 12, 13), inondations et submergence (11)
Energie	Eau de refroidissement (1, 5, 12), traitement des cendres (2), procédé de désulfuration des gaz de combustion (2,), extraction de condensats (5, 9), alimentation de la chaudière (6, 7, 8)
Equipements domestiques	Relevage et assainissement (3), adduction et surpression (4, 15), circulation d'eau chaude de chauffage et sanitaire (4)
Industrie services généraux	Eau de refroidissement (1, 5), eau de service (1, 5), lutte contre l'incendie (1, 5, 9, 10), drainage (13)
Métallurgie	Transfert des scories de laminage (2), lavage des gaz de hauts-fourneaux (5), décalaminage (6), pompes de circulation des épurateurs (9), transfert de liquides (14)
Mines et carrières	Laveur de charbon (2), lavage de minerai (2), transport de solides (2), asséchement (2, 6, 7, 10), injection d'eau sous pression (5)
Papeteries	Pâtes de consistance moyenne / faible (1, 5), copeaux de bois (2), liqueurs / condensats (2)
Production de pétrole et gaz	Conduite principale de pétrole (7, 8), chargement de citerne (5), injection d'eau (7), extraction d'eau de mer (8, 10)
Raffinage de pétrole et gaz	Transfert d'hydrocarbures (1, 4, 5, 6, 7), chargement de citernes (5), chargement des réacteurs (8, 9)
Sucreries	Lait de chaux / sirop (1), radicales de betterave (2), jus de sucre (2), betteraves entières (3)

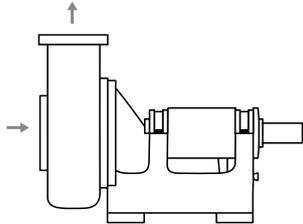
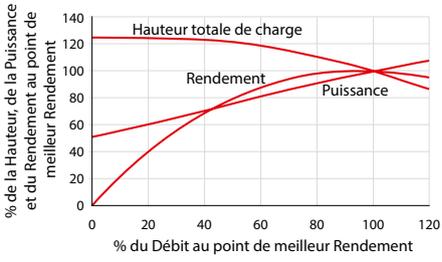
Fiche n°1 - Pompes monocellulaires conventionnelles

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Les petites pompes monocellulaires sont relativement bon marché, mais leur rendement reste faible. Le jeu aux bagues d'usure combiné avec les trous d'équilibrage dans la roue (pour réduire la poussée axiale et diminuer la pression sur les garnitures d'étanchéité) entraînent une perte de rendement. La courbe de rendement est relativement plate en fonction du débit.</p> <p>Sur certaines pompes de ce type, la hauteur de charge peut chuter pour les faibles débits. Si c'est le cas, le fonctionnement en parallèle de ces pompes peut avoir pour conséquence un point de fonctionnement instable à faible débit.</p> <p>La puissance peut augmenter considérablement au-delà du débit optimal. Pour anticiper cela, il peut être nécessaire de prévoir une marge importante sur la puissance nominale du moteur.</p> <p>Certaines petites pompes sont équipées d'un système électronique de variation de vitesse qui peut être utilisé pour économiser de l'énergie.</p>	<p>Description</p> <p>La roue peut être montée sur l'arbre du moteur, ou la pompe peut avoir son propre arbre et ses propres paliers et être entraînée via un accouplement. Sur les pompes normalisées selon ISO 2858 et EN 733, il est possible de sortir la roue sans démonter les tuyauteries, et si on utilise un spacer d'accouplement, sans démonter le moteur. Certaines pompes ont des carters d'aspiration spéciaux pour auto-amorçage.</p> <p>L'arbre est parfois vertical, la pompe étant suspendue dans le puisard par une colonne, et refoulant à la surface par une tuyauterie séparée située entre la bride de refoulement de la pompe et la plaque de base supportant la colonne et le moteur.</p> <p>Applications</p> <p>Agriculture : irrigation (généralement avec dispositif d'amorçage), forage (petits débits et profondeurs, en utilisant un éjecteur dans le forage).</p> <p>Agro-alimentaire : transfert de fluide (fabrication spéciale en acier inox, elastomères agréés, conception adaptée au nettoyage en place - NEP).</p> <p>Bâtiment : pompe utilisée comme surpresseur dans les bâtiments de grande hauteur.</p> <p>Industrie services généraux : eau de refroidissement, eau de service, lutte contre les incendies (caractéristiques spéciales requises).</p> <p>Chimie / pétrochimie : transfert de fluides (fabrication spéciale et matériaux spéciaux, souvent sans garniture d'étanchéité, en utilisant un entraînement magnétique ou un moteur noyé, parfois de type vertical).</p> <p>Energie : grands débits d'eau de refroidissement (arbre vertical, pompes à volute béton utilisées pour les très grands débits).</p> <p>Papeteries : pour les pâtes de consistance moyenne / faible (conception spéciale avec roue semi-ouverte, souvent en acier inoxydable).</p> <p>Raffinage de pétrole et gaz : transfert de mazout, gas-oil, huile de lubrification, kérosène, essence (pompe type « process » conforme à l'API 610).</p> <p>Sucreries : lait de chaux et sirop.</p>

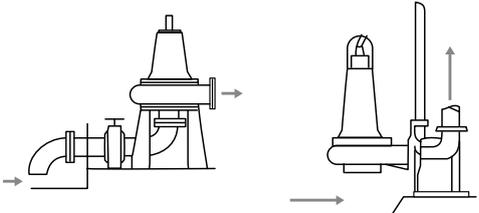
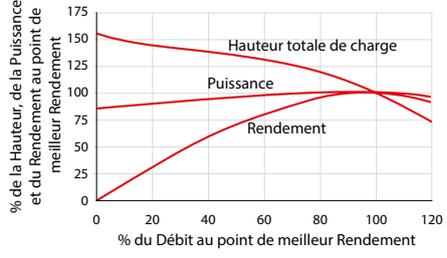
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°2 - Pompes monocellulaires pour liquides chargés en particules solides

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Le rendement est généralement faible, en raison à la fois du faible nombre d'aubes sur la roue et de leur épaisseur, des aubes de décharge à l'arrière de la roue et d'une volute à section constante.</p> <p>La hauteur de charge monte régulièrement jusqu'au débit nul.</p> <p>La puissance continue à monter au-delà du débit optimal, mais les pompes ne fonctionnent normalement pas dans cette zone.</p> <p>La hauteur, le débit et la puissance sont ajustés par la vitesse de rotation (entraînement par courroie ou moteur à vitesse variable) puisque les roues ne peuvent pas être rognées.</p>	<p>Description</p> <p>Généralement de construction très robuste, elles se présentent habituellement avec un arbre horizontal. Les pompes avec arbre vertical peuvent être entraînées soit via un arbre en porte-à-faux suspendu dans le puisard sans presse-étoupe, soit directement par un moteur submersible. Roues et corps de pompe sont habituellement en nickel dur ou en fonte à haute teneur en chrome (contact avec des particules solides importantes), ou un revêtement caoutchouc ou polyuréthane (contact avec de petites particules solides). La roue est habituellement vissée sur l'arbre pour le protéger. Pour éviter que les particules traversent le presse-étoupe lorsque la pompe est en fonctionnement, on peut rincer celui-ci à l'eau claire ou utiliser des aubes de décharge.</p> <p>Les paliers et flasque avant sont réglables axialement pour rattraper l'usure.</p> <p>La vitesse et la hauteur de charge sont limitées pour minimiser l'usure. Pour obtenir des hauteurs de charge plus importantes on fait fonctionner les pompes en série.</p> <p>Applications</p> <p>Agro-alimentaire : transfert du brassin.</p> <p>Bâtiment : évacuation des eaux chargées d'excavation (entraînement par moteur diesel ou moteur électrique submersible vertical et amorçage par pompe à vide).</p> <p>Energie : traitement des cendres, processus de désulfuration des gaz de combustion.</p> <p>Métallurgie : transports des scories de laminage.</p> <p>Mines et carrières : lavage de charbon, de minerai ; transport de solides ; assèchement des mines à ciel ouvert (arbre d'entraînement en porte-à-faux).</p> <p>Papeteries : copeaux de bois, liqueurs, condensats.</p> <p>Sucreries : radicales de betterave, jus de sucre.</p>

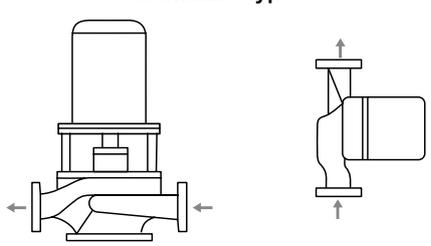
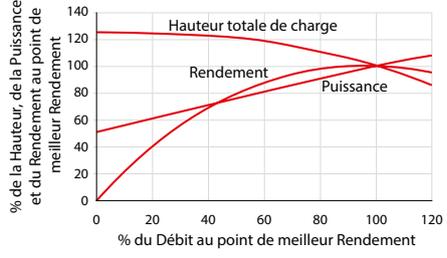
Fiche n°3 - Pompes monocellulaires résistant au colmatage

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Le rendement est faible, en particulier pour les petites pompes. Ceci s'explique par la géométrie particulière des roues utilisées. D'autre part, les aubes de décharge à l'arrière de la roue destinées à réduire la poussée axiale et protéger la garniture d'étanchéité absorbent également de la puissance et réduisent le rendement.</p> <p>La hauteur de charge va généralement augmenter continuellement jusqu'au débit nul, permettant de faire fonctionner plusieurs pompes en parallèle.</p> <p>La puissance maximale est généralement atteinte à proximité du débit optimal.</p> <p>Certaines spécifications exigent que la pompe puisse être traversée par une sphère de diamètre compris entre 75 et 150 mm, d'autres par une serpillière de taille normalisée.</p>	<p>Description</p> <p>La pompe est généralement installée à la verticale dans une fosse humide. Elle est entraînée par un moteur intégré et submersible de type sec (réservoir d'huile et deux garnitures mécaniques entre pompe et moteur pour éviter la contamination par le fluide pompé). Dans cette configuration les groupes de pompage sont montés sur des rails pour les guider vers un coude à patin fixé dans le fond de la fosse, ceci afin d'assurer automatiquement l'étanchéité sur le refoulement de la pompe et permettre une installation et un démontage aisés.</p> <p>S'ils ont besoin de fonctionner sans être immergés, les moteurs submersibles peuvent nécessiter un refroidissement. Celui-ci peut être réalisé par un circuit fermé rempli d'huile ou de glycol, ou par une double enveloppe dans laquelle circule le liquide pompé. Ces groupes peuvent être également utilisées dans des fosses sèches, protégées contre les inondations.</p> <p>Parfois, les pompes dans les puits secs sont entraînées par des moteurs conventionnels installés à un étage supérieur pour éviter qu'ils ne soient immergés. On utilise alors un arbre de transmission intermédiaire.</p> <p>L'exigence de «non-colmatage» nécessite l'utilisation de roues de géométries particulières, adaptées aux charges du fluide : roues à une ou deux aubes, roues « vortex » à plusieurs aubes en retrait du flux principal, roues dilacératrices « coupantes ».</p> <p>Applications</p> <p>Eaux usées : eaux usées brutes, eaux chargées en gravier (en utilisant des roues «vortex»), eaux usées traitées, eaux chargées en fibres longues (en utilisant des roues dilacératrices), eaux pluviales.</p> <p>Equipements domestiques : relevage et assainissement.</p> <p>Sucreries : betteraves entières (arbre horizontal).</p>

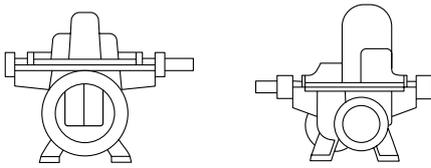
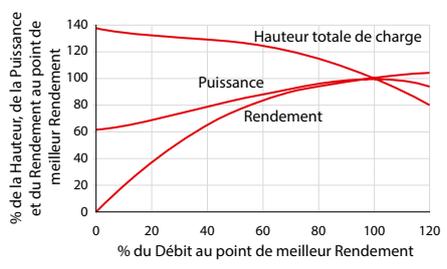
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°4 - Pompes monocellulaires en ligne

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Les restrictions dans les passages d'aspiration et de refoulement réduisent légèrement le rendement.</p> <p>Les fuites dans les bagues d'étanchéité et les trous d'équilibrage de la roue - pour réduire la poussée axiale et diminuer la pression au niveau des garnitures d'étanchéité - conduisent également à une perte de rendement.</p> <p>La hauteur de charge augmente habituellement continuellement avec la réduction du débit, sauf sur certaines des plus petites pompes.</p> <p>L'augmentation de puissance au-delà du débit optimal peut nécessiter le choix d'un moteur plus puissant.</p> <p>Les petites pompes sont souvent équipées d'un système électronique de variation de vitesse, permettant un contrôle automatique de la hauteur de charge en fonction de la demande.</p>	<p>Description</p> <p>Les grandes pompes, jusqu'à 100kw, ont des arbres verticaux et sont généralement installées sur - et souvent supportées par - la tuyauterie. Le moteur est bridé sur la pompe - éventuellement avec une pièce d'espacement - de telle manière que les forces sur les brides de la pompe n'affectent pas l'alignement pompe / moteur. Le moteur et la roue peuvent être retirés sans démonter la pompe de la tuyauterie.</p> <p>Les petites pompes sont généralement supportées par la tuyauterie. On utilise des moteurs à rotor noyé pour pouvoir se passer des étanchéités d'arbre et les paliers sont lubrifiés par le liquide pompé. Les pompes dont les diamètres de brides sont inférieurs à DN200 peuvent être associées pour réaliser des versions double. Dans ce cas de montage les deux pompes peuvent fonctionner en parallèle, ou bien avec alternativement une pompe en fonctionnement et une pompe en veille.</p> <p>Applications</p> <p>Bâtiment : Circulation d'eau chaude de chauffage et sanitaire , climatisation.</p> <p>Equipements domestiques : circulation d'eau chaude de chauffage et sanitaire.</p> <p>Raffinage de pétrole et gaz : transport de mazout, gas-oil, kérosène, essence.</p>

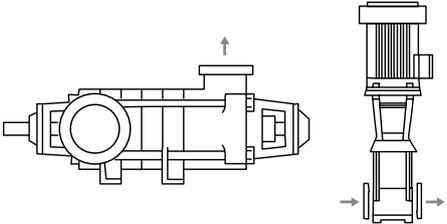
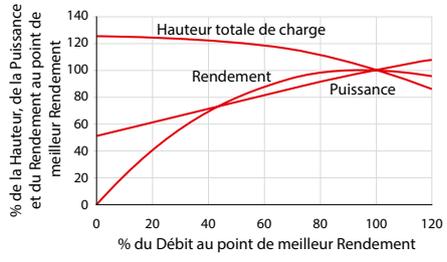
Fiche n°5 - Pompes à plan de joint axial à un ou deux étages

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Le rendement maximum est élevé et la courbe de rendement est plutôt plate.</p> <p>La hauteur de charge augmente habituellement continuellement avec la réduction du débit, permettant un fonctionnement en parallèle.</p> <p>L'augmentation de puissance au-delà du débit optimal peut nécessiter le choix d'un moteur plus puissant.</p> <p>La roue à double aspiration améliore les capacités d'aspiration de la pompe (NPSH).</p>	<p>Description</p> <p>Ces pompes présentent un corps en deux parties qui se séparent au niveau de l'axe de rotation.</p> <p>Lorsque la pompe est à axe horizontal la partie supérieure du corps peut être enlevée pour permettre l'accès à l'ensemble tournant sans démonter ni les tuyauteries ni le moteur d'entraînement. L'arbre de la pompe peut être basculé à la verticale si le local est de dimensions réduites ou inondable ; dans ce dernier cas le moteur sera installé à l'étage supérieur. La version mono-étagée, destinée aux grands débits, est équipée d'une roue à double aspiration. Dans la version à deux étages, adaptée aux hauteurs de charge plus élevées, les roues sont disposées dos à dos sur le même arbre. Dans les deux cas les pompes sont hydrauliquement équilibrées, ce qui minimise la poussée axiale. En version mono-étagée, l'utilisation de volutes doubles permet de réduire également la poussée radiale. La disposition des brides d'aspiration et de refoulement en ligne simplifie l'installation des tuyauteries.</p> <p>Applications</p> <p>Agriculture : irrigation (généralement avec dispositif d'amorçage).</p> <p>Agro-alimentaire : lavage dans les cuves de fermentation.</p> <p>Bâtiment : Surpresseur dans les bâtiments élevés (version à deux étages),</p> <p>Eaux propres : pompage en rivière ou réservoir, distribution d'eau, surpression.</p> <p>Energie : extraction de condensat (retour vers le condenseur), eau de refroidissement .</p> <p>Industrie services généraux : eau de refroidissement, eau de service, lutte contre l'incendie (caractéristiques spéciales requises).</p> <p>Métallurgie : lavage de gaz de hauts fourneaux.</p> <p>Production et raffinage de pétrole et gaz : transport de pétrole, mazout, gasoil, kérosène, essence ; chargement de camion-citerne ; selon spécifications API 610.</p> <p>Mines et carrières : injection haute pression (version à deux étages),</p> <p>Papeterie : transfert de produits de faible consistance (roues à double aubage décalé pour minimiser les pulsations).</p>

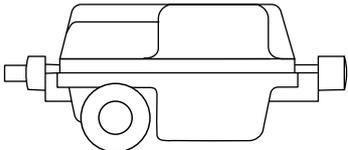
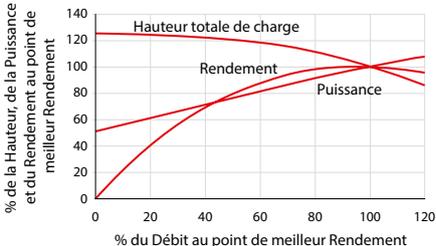
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°6 - Pompes multi-étages conventionnelles

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Utilisées pour des applications à hauteur de charge élevée pour lesquelles les pompes à un ou deux étages ne conviennent pas.</p> <p>Le rendement souffre des passages de fluide relativement serrés et du diamètre d'arbre important au niveau des roues. Pour les pompes qui fonctionnent à des températures élevées, le rendement est également affecté par le jeu important au niveau des bagues d'usure. Le rendement des petites pompes peut bénéficier de l'utilisation de tôle mince pour la fabrication des composants hydrauliques. Pour les applications à haute pression, le rendement sera meilleur comparé à l'utilisation de pompes à 1 ou 2 étages.</p> <p>La hauteur de charge augmente habituellement continuellement avec la réduction du débit, permettant un fonctionnement en parallèle. On ne fait jamais fonctionner ces pompes à débit nul. Un débit minimum de fonctionnement est imposé. Pour limiter la pression maximale sur la tuyauterie et protéger la pompe, une soupape de recirculation peut-être installée.</p> <p>L'augmentation de puissance au-delà du débit optimal peut nécessiter le choix d'un moteur plus puissant.</p>	<p>Description</p> <p>Ces pompes présentent habituellement trois étages ou plus. Chaque roue refoule dans un diffuseur aubé suivi d'un canal de retour avec des ailettes conduisant l'écoulement vers l'entrée de la roue suivante. Les étages sont maintenus ensemble par de longs tirants traversants.</p> <p>Les grandes pompes ont des arbres horizontaux et peuvent être entraînées par des multiplicateurs à engrenages pour augmenter la vitesse de rotation et en conséquence la pression au refoulement de la pompe. Toutes les roues sont positionnées de manière identique et sont rarement équipées de bagues d'usure ; aussi un disque d'équilibrage est généralement installé côté refoulement et les fuites sont renvoyées à l'aspiration. Pour les applications avec fluides abrasifs, un palier de butée important peut-être requis. Pour les applications avec fluides à haute température il peut-être nécessaire d'ajouter un support au centre de la pompe, d'utiliser un disque d'équilibrage et un palier de butée.</p> <p>Les petites pompes ont généralement des arbres verticaux, le moteur étant installé au-dessus de l'empilage des étages. Les composants hydrauliques peuvent être en tôle emboutie ou en plastique et composite.</p> <p>Applications</p> <p>Agriculture : irrigation à petite échelle.</p> <p>Bâtiment : alimentation de chaudière.</p> <p>Energie : alimentation de chaudière.</p> <p>Eaux propres : réseau de distribution à haute pression.</p> <p>Métallurgie : décalaminage (avec palier de butée externe).</p> <p>Mines et carrières : assèchement.</p> <p>Raffinage de pétrole et gaz : transport de mazout, gas-oil, kérosène, essence (pompes type « Process » conformes aux spécifications de l'API 610).</p>

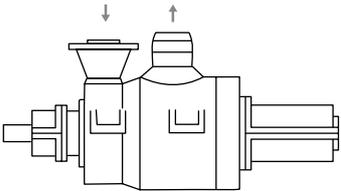
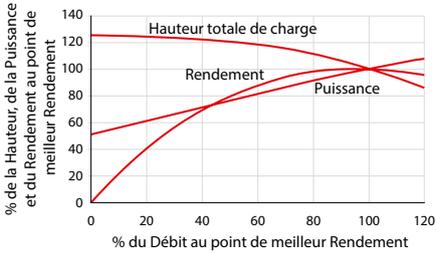
Fiche n°7 - Pompes multi-étages à plan de joint axial

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Utilisées pour des applications à hauteur de charge élevée pour lesquelles les pompes à un ou deux étages ne conviennent pas. Le rendement souffre des passages de fluide relativement serrés et du diamètre d'arbre important au niveau des roues. Pour les pompes qui fonctionnent à des températures élevées, le rendement est également affecté par le jeu important au niveau des bagues d'usure.</p> <p>La hauteur de charge augmente habituellement continuellement avec la réduction du débit, permettant un fonctionnement en parallèle. On ne fait jamais fonctionner ces pompes à débit nul. Un débit minimum de fonctionnement est imposé. Pour limiter la pression maximale sur la tuyauterie et protéger la pompe, une soupape de recirculation peut-être installée.</p> <p>L'augmentation de puissance au-delà du débit optimal peut nécessiter le choix d'un moteur plus puissant.</p>	<p>Description</p> <p>Dans cette version destinée aux applications sévères, les roues sont partagées en deux ensembles, montés dos-à-dos. Le premier ensemble est alimenté par l'aspiration située à une extrémité de la pompe et refoule dans une tuyauterie de liaison depuis le milieu de la pompe jusqu'à l'autre extrémité, à partir de laquelle il alimente le deuxième ensemble de roues qui refoule au milieu de la pompe. Une douille de laminage est installée entre la dernière roue du premier ensemble et la dernière roue du deuxième ensemble. Une autre douille de laminage est installée entre la première roue du deuxième ensemble et l'atmosphère, la fuite étant récupérée et renvoyée à l'aspiration. Cette conception permet d'équilibrer la poussée axiale et de réduire le dimensionnement de la butée. La fabrication du corps en deux parties avec un plan de joint axial implique par contre une étanchéité difficile à l'atmosphère et entre les étages. Les pompes qui fonctionnent à des températures élevées sont également supportées en partie centrale.</p> <p>Applications</p> <p>Energie : alimentation de chaudière.</p> <p>Mines et carrières : assèchement.</p> <p>Production de pétrole et gaz : injection d'eau, transport de pétrole.</p> <p>Raffinage de pétrole et gaz : transport de mazout, gas-oil, kérosène, essence (selon spécifications API 610).</p>

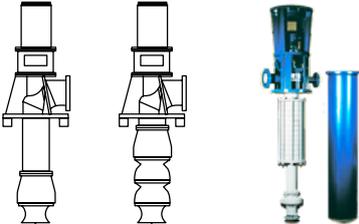
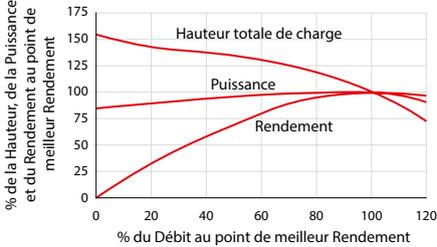
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°8 - Pompes multi-étages en barrel

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Utilisées pour des applications sévères à hauteur de charge élevée pour lesquelles les pompes à un ou deux étages ne conviennent pas.</p> <p>Comme pour les pompes à plan de joint axial (fiche N°7), le rendement souffre des passages de fluide relativement serrés et du diamètre d'arbre important au niveau des roues. Pour les pompes qui fonctionnent à des températures élevées, le rendement est également affecté par le jeu important au niveau des bagues d'usure.</p> <p>La hauteur de charge augmente habituellement continuellement avec la réduction du débit, permettant un fonctionnement en parallèle. On ne fait jamais fonctionner ces pompes à débit nul. Un débit minimum de fonctionnement est imposé. Pour limiter la pression maximale sur la tuyauterie et protéger la pompe, une soupape de recirculation peut-être installée.</p> <p>La puissance augmente au-delà du débit optimal, mais ces pompes sont rarement utilisées en sur-débit.</p>	<p>Description</p> <p>Les étages sont élaborés comme pour beaucoup de pompes multi-étages conventionnelles, puis insérés dans un « barrel » en acier forgé supportant la totalité de la pression et fermé par un couvercle. Cette conception, destinées aux applications sévères, apporte beaucoup de fiabilité en évitant les risques de fuites au plan de joint. Le côté aspiration du barrel n'est soumis qu'à la pression d'aspiration.</p> <p>La poussée axiale est généralement absorbée par un disque d'équilibrage et un palier de butée reprennant la poussée résiduelle. Les pompes qui fonctionnent à des températures élevées sont également supportées en partie centrale.</p> <p>Applications</p> <p>Energie : alimentation de chaudière.</p> <p>Production de pétrole et gaz : injection d'eau, transport de pétrole.</p> <p>Raffinage du pétrole et gaz : chargement des réacteurs (utilisation de matériaux résistants à la corrosion et aptitude à supporter de fortes dilatation différentielles).</p>

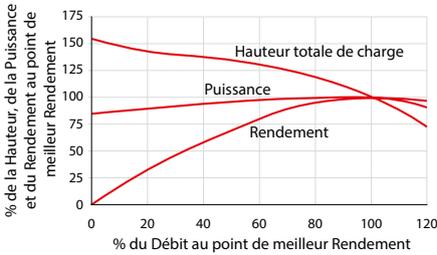
Fiche n°9 - Pompes verticales à ligne d'arbre

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Le rendement de la pompe est raisonnablement bon si les pertes dans le tube de colonne montante, le coude de refoulement et le palier de butée sont déduits de la puissance du moteur (rendement bulbe).</p> <p>La hauteur de charge est appropriée pour le fonctionnement en parallèle.</p> <p>La puissance culmine habituellement au niveau ou proche du débit optimal.</p>	<p>Description</p> <p>La pompe de type mono ou multi-étages est suspendue par sa plaque de base au niveau du sol. Le liquide pénètre dans la pompe par une tulipe d'aspiration afin que l'écoulement soit uniformément distribué vers l'aspiration de la roue (sous réserve que l'ouvrage d'alimentation de la pompe ait été bien conçu). En version mono-étage la roue refoule dans un diffuseur aubé suivi d'un tube de colonne montante et du coude de refoulement.</p> <p>En version multi-étages les diffuseurs des premiers étages sont suivis d'un canal de retour avec des ailettes conduisant l'écoulement vers l'entrée de la roue suivante. Le refoulement peut s'effectuer au-dessus ou au-dessous de la plaque de base. La poussée axiale est reprise par un palier butée situé au sommet de la pompe, à la traversée du coude de refoulement ou par le palier butée du moteur.</p> <p>La pompe peut également être installée en aspiration dans un « barrel » fermé. Dans ce cas la tubulure d'aspiration est située au dessus du plan de pose, au même niveau que la tubulure de refoulement. La première roue de la pompe profite alors de toute la charge de liquide dans le barrel, et il est possible d'obtenir un NPSHR à la bride d'aspiration presque nul.</p> <p>Applications</p> <p>Eaux propres : pompage en rivière ou réservoir.</p> <p>Energie : récupération des condensats (pompe verticale en barrel).</p> <p>Industrie services généraux : lutte contre l'incendie (caractéristiques spéciales requises).</p> <p>Métallurgie : pompes de circulation des épurateurs.</p> <p>Raffinage de pétrole et gaz : chargement des réacteurs (pompe verticale en barrel).</p>

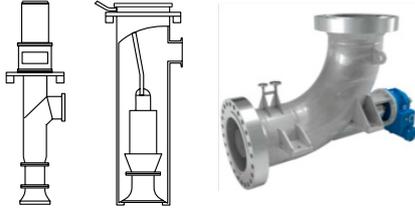
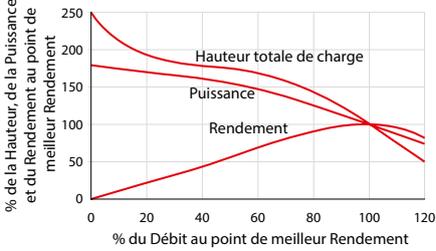
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°10 - Pompes verticales de forage

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Le rendement souffre des passages de fluide relativement serrés et du diamètre d'arbre important au niveau des roues.</p> <p>Les pertes dans les tubes de colonne montante peuvent être importantes dans les puits profonds.</p> <p>L'allure de la courbe de hauteur de charge est appropriée pour le fonctionnement en parallèle.</p> <p>La puissance culmine habituellement au voisinage du débit optimal.</p>	<p>Description</p> <p>La version typique de cette pompe de forage est verticale, multi-étages et entraînée par un moteur submersible. Elle peut délivrer une hauteur de charge élevée, et donc être installée dans des forages étroits et profonds. Le moteur est positionné sous la pompe pour un meilleur refroidissement. Il est habituellement rempli d'eau et comporte un palier butée intégré.</p> <p>Ce type de pompe peut également être installé dans une tubulure (chemise) pour être utilisé à l'horizontal.</p> <p>Applications</p> <p>Agriculture : forage.</p> <p>Eaux propres : forage, dessalement d'eau de mer par osmose inverse (plusieurs pompes chemisées installées en série pour obtenir des pressions élevées).</p> <p>Industrie service généraux : lutte contre l'incendie (caractéristiques spéciales requises).</p> <p>Mines et carrières : assèchement des mines souterraines.</p> <p>Raffinage de pétrole et gaz : extraction d'eau de mer.</p>

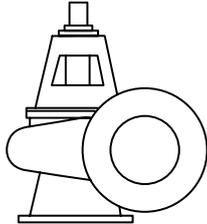
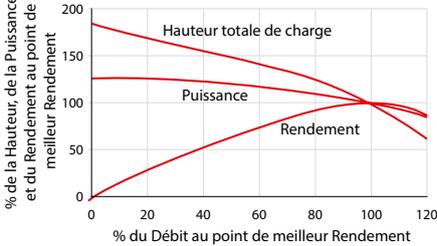
Fiche n°11 - Pompes à hélice

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Le rendement tombe rapidement au-dessus et en-dessous du débit de meilleur rendement. Après avoir retiré les pertes dans le tube de colonne montante, le coude de refoulement et le palier butée, le rendement est raisonnablement bon. La version à moteur submersible perd de son efficacité en raison des pertes dans le tube.</p> <p>La hauteur de charge monte rapidement à faible débit. Une zone d'instabilité, située à environ 60% du débit de meilleur rendement, réduit le domaine de fonctionnement. Au débit optimal la hauteur totale de charge est peu élevée.</p> <p>La puissance augmente rapidement avec la réduction du débit.</p> <p>La performance dépend beaucoup d'une bonne alimentation de la tulipe d'aspiration (écoulement stable et uniformément réparti). Des essais sur modèle réduit de l'ouvrage d'alimentation de la pompe sont conseillés.</p>	<p>Description</p> <p>Les pompes à hélice sont presque toujours utilisées en version mono-étage. Elles peuvent être pourvues de pales dont le calage est ajustable, ce qui permet de modifier les caractéristiques de la pompe.</p> <p>Dans sa version verticale, la pompe est suspendue par sa plaque de base au niveau du sol. Le liquide pénètre dans la pompe par une tulipe d'aspiration de manière à ce que l'écoulement soit uniformément distribué vers l'aspiration de la roue (sous réserve que l'ouvrage d'alimentation de la pompe ait été bien conçu). La roue refoule dans un diffuseur aubé suivi d'un tube de colonne montante et du coude de refoulement. Le refoulement peut s'effectuer au-dessus ou au-dessous de la plaque de base. La poussée axiale est reprise par un palier butée situé au sommet de la pompe, à la traversée du coude de refoulement ou par le palier butée du moteur.</p> <p>La version verticale équipée d'un moteur submersible – appelée également pompe à hélice en tube – est habituellement descendue dans un tube, lui-même suspendu au niveau du sol. Le moteur submersible est ici de type sec : un réservoir d'huile – fluide de barrage – avec une garniture mécanique de chaque côté, placé entre la pompe et le moteur, évite toute contamination du moteur par le fluide pompé.</p> <p>Il existe également une version constituée uniquement d'un coude qui s'insère entre deux éléments de tuyauteries de l'installation de pompage. Cette version, qui s'apparente à un « circulateur », peut être positionnée avec son axe à l'horizontale.</p> <p>Applications</p> <p>Agriculture : irrigation, drainage des terres.</p> <p>Agro-alimentaire : lavage dans les cuves de fermentation.</p> <p>Chimie / pétrochimie : recirculation dans les réacteurs (pompe en coude).</p> <p>Eaux usées : eaux pluviales (eau de surface seulement). Protection contre les inondations et submergence.</p>

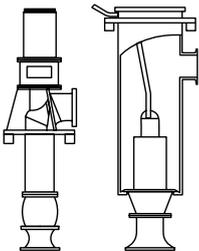
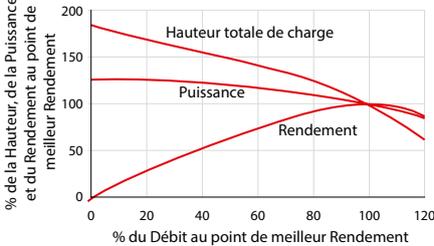
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°12 - Pompes semi-axiales

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Le rendement est raisonnablement bon mais tombe rapidement au-dessus et en-dessous du débit de meilleur rendement.</p> <p>La hauteur de charge monte rapidement à faible débit. Une zone d'instabilité, située à environ 60% du débit de meilleur rendement, réduit le domaine de fonctionnement. Au débit optimal la hauteur totale de charge est peu élevée.</p> <p>La puissance augmente rapidement avec la réduction du débit.</p> <p>La performance dépend beaucoup d'une bonne alimentation de l'ouïe d'aspiration (écoulement stable et uniformément réparti). Une très grande attention doit être apportée au tracé de la tuyauterie d'aspiration et en particulier à la conception du coude d'alimentation de l'ouïe d'aspiration.</p>	<p>Description</p> <p>Les pompes semi-axiales peuvent être à volute métallique ou à volute en béton.</p> <p>Elles sont généralement à axe vertical.</p> <p>Le rotor complet peut-être retiré sans toucher aux tuyauteries.</p> <p>Elles sont le plus souvent utilisées pour des faibles hauteurs à grand débit.</p> <p>La pompe est entraînée par un moteur qui peut être installé sur une lanterne au-dessus de la pompe ou sur un plancher supérieur.</p> <p>Dans ce dernier cas, un arbre de transmission est nécessaire.</p> <p>Applications</p> <p>Agriculture : irrigation.</p> <p>Eaux propres : pompage en rivière ou réservoir.</p> <p>Eaux usées : eaux pluviales ou eaux usées diluées.</p> <p>Energie : source froide des condenseurs.</p>

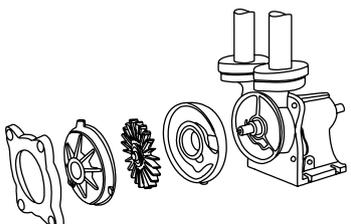
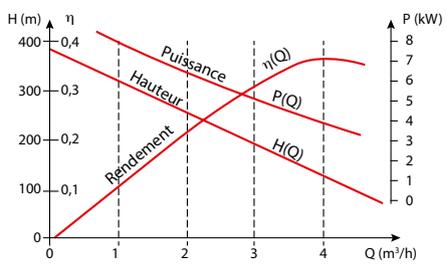
Fiche n°13 - Pompes verticales hélico-centrifuges

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>Comme pour les pompes à hélice (fiche n° 11), le rendement tombe rapidement au-dessus et en-dessous du débit de meilleur rendement. Après avoir retiré les pertes dans le tube de colonne montante, le coude de refoulement et le palier butée, le rendement est raisonnablement bon. La version à moteur submersible perd de son efficacité en raison des pertes dans le tube.</p> <p>La hauteur de charge monte rapidement à faible débit. Une zone d'instabilité, située à environ 60% du débit de meilleur rendement, réduit le domaine de fonctionnement. Au débit optimal la hauteur totale de charge est peu élevée.</p> <p>La puissance augmente rapidement avec la réduction du débit.</p> <p>La performance dépend beaucoup d'une bonne alimentation de la tulipe d'aspiration (écoulement stable et uniformément réparti). Des essais sur modèle réduit de l'ouvrage d'alimentation de la pompe sont conseillés.</p>	<p>Description</p> <p>Les pompes hélico-centrifuges sont presque toujours utilisées en version mono-étage.</p> <p>Dans sa version conventionnelle, la pompe est suspendue par sa plaque de base au niveau du sol. Le liquide pénètre dans la pompe par une tulipe d'aspiration de manière à ce que l'écoulement soit uniformément distribué vers l'aspiration de la roue (sous réserve que l'ouvrage d'alimentation de la pompe ait été bien conçu). La roue refoule dans un diffuseur aubé suivi d'un tube de colonne montante et du coude de refoulement. Le refoulement peut s'effectuer au-dessus ou au-dessous de la plaque de base. La poussée axiale est reprise par un palier butée situé au sommet de la pompe, à la traversée du coude de refoulement ou par le palier butée du moteur.</p> <p>La version équipée d'un moteur submersible – appelée également pompe hélico-centrifuge en tube - est habituellement descendue dans un tube, lui-même suspendu au niveau du sol. Le moteur submersible est ici de type sec : un réservoir d'huile – fluide de barrage – avec une garniture mécanique de chaque côté, placé entre la pompe et le moteur, évite toute contamination du moteur par le fluide pompé.</p> <p>Applications</p> <p>Agriculture : irrigation, drainage des terres.</p> <p>Eaux propres : pompage en rivière ou réservoir.</p> <p>Eaux usées : eaux pluviales, eaux usées diluées.</p> <p>Industrie services généraux : drainage.</p>

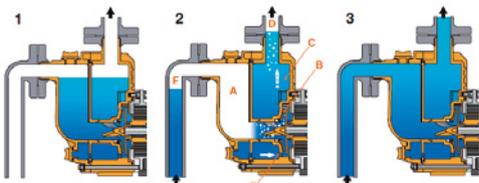
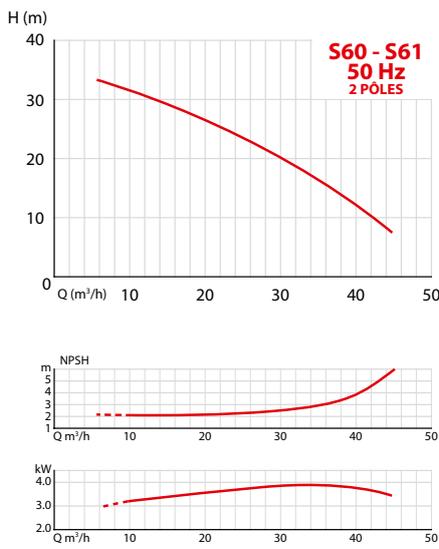
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°14 - Pompes à canal latéral

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p>La courbe hauteur de charge / débit est pratiquement une droite qui plonge fortement dans les grands débits (le rapport entre la hauteur à débit nul et la hauteur au point optimal est généralement compris entre 2,5 et 4). Cette caractéristique facilite une régulation précise du débit ou de la pression.</p> <p>La puissance à débit nul est comprise entre 2 et 3 fois la puissance au point de meilleur rendement. Pour faire fonctionner de telles pompes sur la totalité de leur plage d'opération, il convient de surdimensionner largement le moteur d'entraînement.</p> <p>Les pompes à canal latéral ont d'ordinaire un rendement optimal compris entre 33% et 43%, largement inférieur à celui des pompes centrifuges.</p>	<p>Description</p> <p>Un étage à canal latéral est constitué par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - un corps intermédiaire d'aspiration avec une lumière d'aspiration, - un corps intermédiaire de refoulement avec le canal latéral, le canal d'évacuation de gaz situé à l'extrémité du canal latéral, la lumière de refoulement et l'orifice d'évacuation de gaz. - une roue ouverte à ailettes située entre les deux corps intermédiaires. <p>Les pompes à canal latéral existent en variante mono ou multi-étages, cependant on les rencontre davantage en disposition multi-étages.</p> <p>Une pompe à canal latéral peut pomper de grande quantités de gaz par entraînement (jusqu'à 50%).</p> <p>Cette technologie de pompe présente les avantages d'être auto-amorçante y compris sur des mélanges diphasiques et de ne pas se désamorcer en cas de cavitation, mais n'est pas compatible avec des particules en suspensions.</p> <p>Pour améliorer leurs performances d'aspiration, les pompes à canal latéral comportent parfois un étage d'entrée centrifuge.</p> <p>Ce sont généralement des pompes de petite puissance.</p> <p>Applications</p> <p>Chimie / pétrochimie : transfert de liquides</p> <p>Métallurgie : transfert de liquides</p>

Fiche n°15 - Pompes centrifuges auto-amorçantes

Types de pompes / Courbes caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>   <p style="text-align: center;">Courbes caractéristiques typiques</p>  <p style="text-align: center;"><i>(Document de la société SALMSON)</i></p> <p>Compte tenu des pertes dans le corps d'amorçage et d'une volute simplifiée, le rendement n'est pas la qualité première de ces pompes.</p>	<p>Description</p> <p>Une roue centrifuge n'a aucune efficacité pour aspirer de l'air. Pour être auto-amorçante une pompe centrifuge doit disposer d'un corps interne au préalable rempli d'eau.</p> <p>Au démarrage de la pompe l'amorçage se fait comme suit :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La pompe est amorcée avec le liquide. 2. Quand l'opération commence, le liquide et l'air sont aspirés ensemble dans le corps interne A pour être mélangés par la turbine. Le mélange est refoulé de la chambre B de la pompe et envoyé à l'intérieur du corps arrière C du réservoir, où le liquide et le gaz se séparent. Le liquide reste dans la pompe et se dirige en direction de C pendant que le gaz est évacué vers D. Alors le liquide revient dans la chambre de la pompe par le trou de circulation E placé derrière le corps du réservoir où il est de nouveau mélangé avec l'air coté aspiration. Le procédé décrit plus haut se répète jusqu'à ce que l'air à l'aspiration F soit complètement expulsé du réservoir. 3. Quand l'air a été complètement évacué et que la pompe est remplie avec le liquide, le fonctionnement est le même qu'une pompe centrifuge classique. Après l'arrêt de la pompe, il reste une quantité de liquide suffisante pour permettre de nouveau l'auto-amorçage. <p>Ces pompes peuvent pomper des fluides clairs ou faiblement chargés, neutres ou corrosifs.</p> <p>Il est possible d'utiliser un entraînement par moteur thermique – essence ou diesel – pour des applications mobiles.</p> <p>Applications</p> <p>Agriculture : irrigation, drainage des terres.</p> <p>Chimie / pétrochimie : transfert d'effluents industriels.</p> <p>Bâtiment : évacuation des eaux d'excavation</p> <p>Eaux propres : pompage d'eau de mer, pompage en puits et en rivière.</p> <p>Eaux usées : relevage, épuisement d'eaux chargées.</p> <p>Equipements domestiques : adduction d'eau.</p>

Chapitre III

Types de pompes et applications

B. Pompes volumétriques

1 Types de pompes

Il existe sans doute une variété encore plus grande pour les pompes volumétriques que pour les pompes rotodynamiques. Nous nous sommes volontairement limités aux types de pompes volumétriques présentés dans le tableau ci-dessous, dont l'usage nous a semblé le plus répandu :

	Types de pompes volumétriques	Fiche n°
Alternative	Piston	16
	Diaphragme	17
Rotative	Cavité progressive	18
	Palettes	19
	Péristaltique	20
	Vis	21
	Engrenages	22
	Lobes	23
	Piston excentré	24
Ouverte	Vis d'Archimède	25

2. Applications

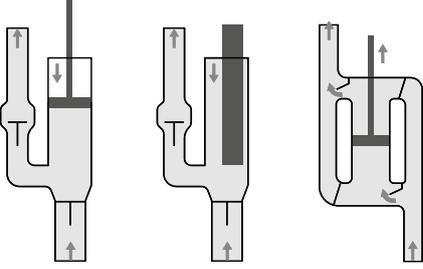
Le tableau suivant présente les principaux marchés dans lesquels les pompes volumétriques sont présentes, ainsi que les principales applications. Le tableau renvoie également aux numéros de fiches dans lesquelles l'on trouvera davantage de détails sur les types de pompes.

Marchés	Applications
Agriculture	Pulvérisation d'insecticides et pesticides (16), injection de produits fertilisants (17), Irrigation, forage, drainage des terres (25)
Agroalimentaire	Dosage d'additifs (16), systèmes de mélange (17), injection de soude et acide nitrique pour nettoyage en place (17), transfert et dosage de produits délicats (18, 20, 23), pompage et transfert de produits laitiers (19, 23), transfert et dosage de produits abrasifs et corrosifs (20), transfert de produits alimentaires visqueux, fromages fondus, chocolat, beurre de cacao (21, 22, 24)
Chimie / pétrochimie	Dosage de liquides dans la production chimique (16), Transfert de fluides corrosifs et chargés (17), transfert de liquides inflammables (17, 21), transfert de liquides chauds, corrosifs (21), transfert de peintures, laques, colles, savons, détergents (22, 23, 24)
Eaux propres	Dessalement d'eau de mer par osmose inverse (16, 23), traitement des eaux (16, 17), nettoyage des membranes d'osmose inverse (17, 23)
Eaux usées	Traitement des eaux (16, 18), relevage en tête de station d'épuration (25), transport des boues (18, 25), inondations et submergence (23)
Energie	Traitement de l'eau d'alimentation des chaudières (16), alimentation brûleur de chaudière, lubrification des turbines des centrales hydrauliques (21)
Equipements domestiques	Aquarium (18)
Industrie générale	Graissage et refroidissement pour les réducteurs, moteurs, turbines et applications hydrauliques (21).
Métallurgie	Injection de produits de traitement de surface (17)
Mines et carrières	Assèchement (16), préparation d'explosif en gel aqueux pour le dynamitage des roches (18), lavage haute pression en fluide chargé (18), floculation (18), évacuation d'eaux chargées (18).
Papeteries	Apport d'additifs (16), transport de pâtes de forte consistance (16, 18, 25), transfert et recirculation de colle, encre et vernis (20)
Production de pétrole et gaz	Injection d'eau pour stimulation du puits (16, 18), injection de boue de forage (16), pompage de pétrole lourd et bitumineux (18), transfert en surface (18)
Raffinage de pétrole et gaz	Dépotage et chargement de citernes en hydrocarbures (19, 24), transfert d'hydrocarbures visqueux : bitume, pétrole, asphalte (22),
Sucreries	Transfert de mélasses froides et très visqueuses, sirops et liqueurs (22).

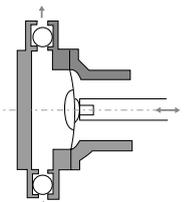
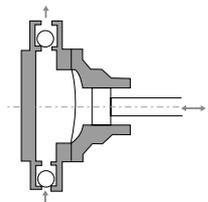
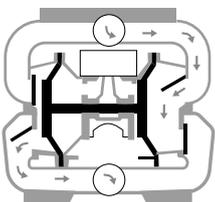
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°16 - Pompes alternatives à piston

Types de pompes / Caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Caractéristiques</p> <p>Ces pompes peuvent être utilisées aussi bien pour générer des pressions très élevées que pour réaliser du dosage de précision.</p>	<p>Description</p> <p>Le doseur est constitué d'un piston décrivant un mouvement alternatif à l'intérieur d'un cylindre, et des clapets d'aspiration et de refoulement.</p> <p>Ce type de pompes peut être à simple ou double effet. Dans une pompe à simple effet, une seule face du piston est en contact avec le fluide. Le déplacement du piston entraîne la variation du volume de la chambre, et l'ouverture et la fermeture des clapets. Dans une pompe à double effet les clapets d'aspiration et de refoulement sont placés de part et d'autre du piston. Le débit est pratiquement doublé et plus régulier.</p> <p>L'étanchéité entre le corps du doseur et le piston est assurée par une garniture d'étanchéité. Les pistons peuvent être de conception pleine ou creuse et sont généralement directement entraînés par la bielle.</p> <p>Applications</p> <p><u>Pompes de transfert :</u></p> <p>Agriculture : pulvérisation d'insecticides et pesticides.</p> <p>Eaux propres : dessalement d'eau de mer par osmose inverse.</p> <p>Eaux usées : assainissement.</p> <p>Mines et carrières : assèchement.</p> <p>Papeteries : transfert de pâte à papier.</p> <p>Production pétrole et gaz : injection d'eau pour stimulation du puits, injection de boue de forage.</p> <p><u>Pompes doseuses :</u></p> <p>Agroalimentaire : dosage d'additifs.</p> <p>Chimie / pétrochimie : dosage de liquides dans la production chimique.</p> <p>Eaux propres : traitement et désinfection de l'eau potable.</p> <p>Eaux usées : traitement des eaux usées.</p> <p>Energie : traitement de l'eau d'alimentation des chaudières.</p> <p>Papeteries : apports d'additifs.</p>

Fiche n°17 - Pompes alternatives à diaphragme

Types de pompes / Caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Commande mécanique</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Commande Hydraulique</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>Pompe pneumatique à double membrane</p> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">Caractéristiques</p> <p>Ces pompes sont totalement étanches, elles peuvent généralement fonctionner à sec.</p> <p>La commande pneumatique les rend aptes à l'usage en milieux explosibles (certification ATEX sur certains modèles). Par ailleurs, les pompes pneumatiques peuvent fonctionner sans soupape de sûreté car en cas de fermeture d'une vanne au refoulement, elles calent sur la pression d'air comprimé admise.</p>	<p>Description</p> <p>Le doseur est constitué d'une membrane dont le centre se déplace d'une distance égale à la course de la pompe (cette membrane est placée à l'intérieur du corps du doseur avec lequel l'étanchéité est réalisée sur la périphérie), ainsi que de clapets d'aspiration et de refoulement.</p> <p>Ce type de pompes est particulièrement adapté pour véhiculer des liquides toxiques ou corrosifs, compte tenu de l'étanchéité procurée par la membrane.</p> <p>On distingue trois types de commandes suivant la manière dont la membrane est actionnée : mécanique, hydraulique, et pneumatique.</p> <p>Applications</p> <p><u>Pompes de transfert :</u></p> <p>Agroalimentaire : systèmes de mélange.</p> <p>Chimie/pétrochimie : transfert de fluides corrosifs et chargés, transfert de liquides inflammables (pour les pompes à commande pneumatique).</p> <p><u>Pompes doseuses :</u></p> <p>Agriculture : injection de fertilisant.</p> <p>Agroalimentaire : injection de soude et acide nitrique pour nettoyage en place (NEP).</p> <p>Eaux propres : traitement des eaux, nettoyage des membranes d'osmose inverse.</p> <p>Métallurgie : injection de produits de traitement de surface.</p>

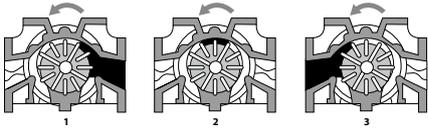
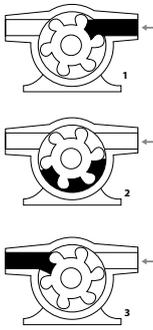
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°18 - Pompes à cavité progressive

Types de pompes / Caractéristiques	Description / Applications
<p data-bbox="325 488 488 517">Schémas type</p>  <p data-bbox="320 763 493 788"><i>Schéma de principe</i></p>  <p data-bbox="221 1014 588 1066"><i>Pompe à rotor excentré avec vis de gavage (document de la société PCM)</i></p> <p data-bbox="312 1115 499 1144">Caractéristiques</p> <p data-bbox="188 1153 625 1440">Cette technologie permet de pomper des fluides abrasifs, corrosifs, contenant des particules solides tout en respectant la texture du fluide pompé (peu de fuite interne). Cette technologie est recommandée dans les domaines où la texture du produit final est importante (industrie alimentaire), ou dans les domaines pour lesquels la production d'émulsion est un risque.</p> <p data-bbox="188 1451 625 1507">Le pompage est réalisé en continu, sans pulsation.</p> <p data-bbox="188 1518 625 1603">La capacité d'aspiration est importante et peut excéder les 9 mètres de hauteur d'aspiration.</p>	<p data-bbox="699 495 839 524">Description</p> <p data-bbox="699 533 1406 763">Cette pompe – également appelée pompe à rotor excentré - est composée d'un rotor doté d'un profil hélicoïdal, et d'un stator doté d'un profil interne de double hélice. Lorsque le rotor est monté dans le stator, une série de cavités étanches, de taille et de profil identiques, sont formées à l'intérieur de la pompe. Lorsque la pompe fonctionne, le rotor tourne et les cavités se déplacent dans une trajectoire en spirale d'une extrémité de la pompe à l'autre, en transportant le fluide de l'entrée à la sortie de la pompe.</p> <p data-bbox="699 775 1406 860">Le rotor est généralement constitué d'acier à haute résistance revêtu afin de minimiser l'abrasion par les fluides pompés tout en réduisant le frottement entre le rotor et le stator.</p> <p data-bbox="699 871 1406 956">Le stator est généralement constitué de divers élastomères, formulés pour répondre à une gamme de fluides pompés et d'applications dont les températures peuvent aller jusqu'à 150 °C.</p> <p data-bbox="699 987 852 1016">Applications</p> <p data-bbox="699 1025 1318 1055">Agro-alimentaire : transfert et dosage de produits délicats.</p> <p data-bbox="699 1066 959 1095">Eaux usées : traitement.</p> <p data-bbox="699 1104 1406 1189">Mines et carrières : préparation d'explosif en gel aqueux pour le dynamitage des roches, lavage haute pression en fluide chargé, floculation.</p> <p data-bbox="699 1200 1062 1229">Papeterie : transfert pâte à papier.</p> <p data-bbox="699 1238 1406 1323">Production de pétrole et gaz : injection d'eau pour stimulation du puits, pompage de pétrole lourd et bitumineux (stator métallique), transfert en surface.</p>

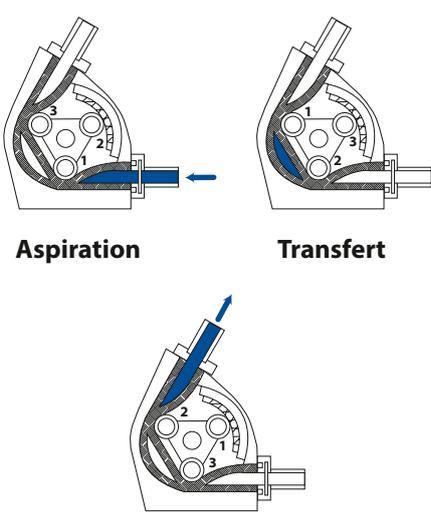
Fiche n°19 - Pompes à palettes

Types de pompes / Caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;"><i>Pompe à palettes libres</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Pompe à palettes flexibles</i></p> <p style="text-align: center;">Caractéristiques</p> <p>Ces pompes sont adaptées aux liquides de faible viscosité. Elles conviennent aux liquides fins, sensibles au cisaillement et peuvent facilement traiter les matières solides tendres et dures en suspension.</p> <p>La pompe à palettes flexibles ne comporte qu'une seule pièce mobile, flexible, résistante à l'usure.</p>	<p>Description</p> <p>Le principe d'une pompe à palettes libres repose sur la rotation d'un tambour cylindrique excentré par rapport au corps de la pompe. Ce tambour comporte des palettes qui sont plaquées contre le corps de la pompe par la force centrifuge. Les palettes subissent donc un mouvement de rotation et un mouvement de translation radiale. On peut ainsi modifier le débit de cette pompe en modifiant l'excentricité du tambour.</p> <p>Dans le cas d'une pompe à palettes flexibles, l'ensemble rotor/palettes est en élastomère. Les palettes fléchissent dans la zone de compression et permettent ainsi l'expulsion du liquide.</p> <p>Applications</p> <p>Agro-alimentaire : pompage et transfert de produits laitiers.</p> <p>Raffinage pétrole et gaz : dépotage et chargement de citerne en hydrocarbures (essence, fuel, kérosène,...).</p>

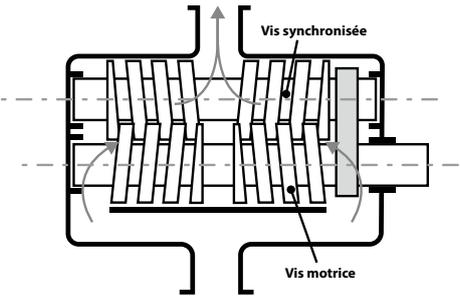
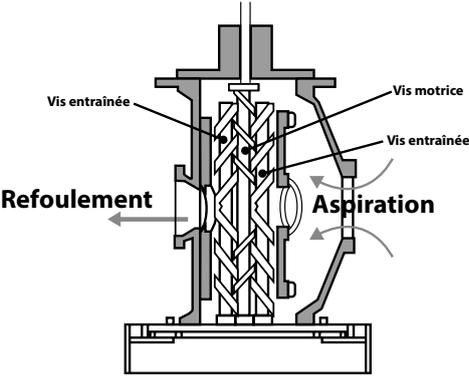
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°20 - Pompes péristaltiques

Types de pompes / Caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;">Aspiration Transfert</p> <p style="text-align: center;">Refoulement</p> <p style="text-align: center;">Caractéristiques</p> <p>Ces pompes sont totalement étanches, seul le tube est en contact avec le fluide pompé.</p> <p>Elles peuvent généralement fonctionner à sec sans aucun dégât et sont adaptées au pompage de fluides très abrasifs ou très chargés (grandes sections de passage / basses vitesses de rotation).</p>	<p>Description</p> <p>Le principe de cette pompe repose sur la capacité d'un tube en élastomère ou thermoplastique à se déformer puis reprendre sa forme originale.</p> <p>Les galets ou patins écrasent le tuyau ce qui ferme la cavité. A l'arrière de ce patin ou galet, le tuyau récupère sa forme initiale, ce qui crée l'aspiration.</p> <p>Le volume de fluide compris entre 2 patins ou galets est transféré par le mouvement de rotation, et pousse le fluide dans la tuyauterie.</p> <p>Le pompage généré est pulsatoire. Pour limiter cet effet, les pompes peuvent être équipées de ballons amortisseurs.</p> <p>Grâce à l'utilisation de tuyaux armés, ces pompes peuvent supporter une pression jusqu'à 15 bar.</p> <p>Applications</p> <p>Agroalimentaire : transfert et dosage de produits fragiles et/ou abrasifs et corrosifs.</p> <p>Eaux usées : transport de boues d'épuration.</p> <p>Equipements domestiques : aquarium.</p> <p>Mines et carrières : évacuations d'eaux chargées.</p> <p>Papeterie : transfert et recirculation de colle, encre et vernis (petites pompes).</p>

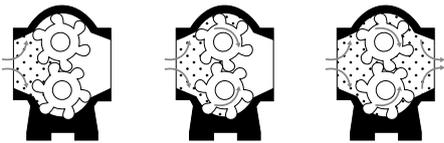
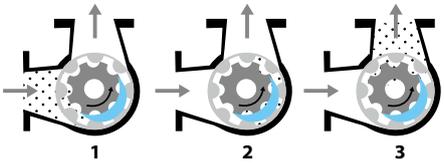
Fiche n°21 - Pompes à vis

Types de pompes / Caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p> <p style="text-align: center;">Refoulement</p>  <p style="text-align: center;">Aspiration</p> <p style="text-align: center;"><i>Pompe à deux vis</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Pompe à trois vis</i></p> <p style="text-align: center;">Caractéristiques</p> <p>Leur flux régulier, sans pulsation, respecte les produits fragiles.</p> <p>Elles peuvent fonctionner à sec.</p> <p>Les vis et garnitures sont faciles à changer.</p>	<p>Description</p> <p>Ces pompes sont à deux ou trois vis. Dans le cas d'une pompe à deux vis, une des vis est entraînée par le moteur, l'autre par des pignons extérieurs ; il n'y a pas de contact entre les vis.</p> <p>Dans les pompes à trois vis, la vis centrale est motrice et entraîne les vis satellites par contact.</p> <p>Applications</p> <p>Agro-alimentaire : transfert de produits alimentaires visqueux, fromages fondus, chocolat, mélasses...</p> <p>Chimie / pétrochimie : transfert de liquides chauds, corrosifs ou dangereux.</p> <p>Energie : alimentation brûleur de chaudière, lubrification des turbines des centrales hydrauliques.</p> <p>Industrie générale : graissage et refroidissement pour les réducteurs, moteurs, turbines et applications hydrauliques.</p>

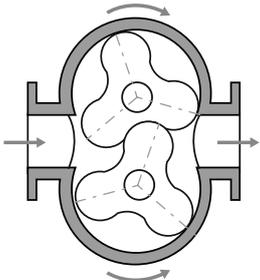
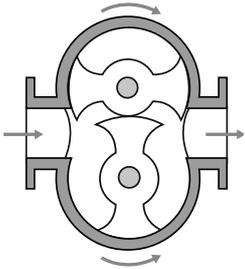
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°22 - Pompes à engrenages

Types de pompes / Caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;"><i>Pompe à engrenages extérieurs</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Pompe à engrenages à dentures intérieures</i></p> <p style="text-align: center;">Caractéristiques</p> <p>Le flux est régulier, sans pulsations. Ces pompes sont réversibles en inversant le sens de rotation. La maintenance est facile : rotor, engrenage et garniture faciles à changer.</p>	<p>Description</p> <p>Il existe un grand nombre de variantes qui se caractérisent soit par la disposition des engrenages, soit par la forme de ceux-ci.</p> <p>Le principe de fonctionnement des pompes à engrenages extérieurs consiste à aspirer le liquide dans l'espace compris entre deux dents consécutives et à le transférer ensuite vers la tuyauterie de refoulement. Le mouvement est transmis de l'une des roues dentées à l'autre. Les pompes à engrenages peuvent avoir une denture droite, hélicoïdale ou à chevrons.</p> <p>En plaçant une roue dentée à l'intérieur d'une autre, on peut réaliser des pompes à engrenages à dentures intérieures.</p> <p>Applications</p> <p>Agroalimentaire : transfert de chocolat, caramel, beurre de cacao...</p> <p>Chimie / pétrochimie : transfert de peintures et laques, savons et détergents, soufre liquide...</p> <p>Raffineries pétrole et gaz : transfert de bitume, pétrole, asphalte...</p> <p>Sucreries : transfert de mélasses froides et très visqueuses, sirops et liqueurs.</p>

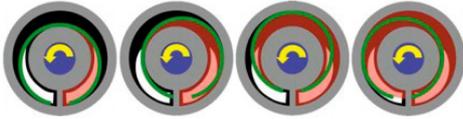
Fiche n°23 - Pompes à lobes

Types de pompes / Caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;"><i>Pompe à lobes</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;"><i>Pompes à pistons circonférentiels</i></p> </div> <p style="text-align: center;">Caractéristiques</p> <p>La conception du corps sans zone de rétention associée à l'utilisation de l'acier inoxydable et à des états de surfaces de haute qualité, répondent aux exigences en matière d'hygiène et de facilité de « Nettoyage En Place ».</p> <p>Les pressions et les débits offerts par cette technologie sont élevés.</p> <p>Ces pompes sont réversibles en inversant le sens de rotation.</p> <p>Les liquides très visqueux, sensibles au cisaillement et les matières solides tendres ne sont pas abîmés. Elles sont le plus souvent utilisées en continu, lorsque la qualité et l'intégrité des produits sont importantes.</p>	<p>Description</p> <p>Les pompes à lobes sont des pompes à engrenages à dentures extérieures, dont les dents ont une forme spécifique. Dans ce type de pompes, il n'y a que deux ou trois lobes par engrenage. Le mouvement des lobes est assuré et synchronisé par des pignons externes. Les lobes et les corps de pompes sont en principe en acier non revêtu. On trouve également des pompes dans lesquelles les lobes sont revêtus en élastomère pour le pompage de produits abrasifs.</p> <p>Les pompes à pistons circonférentiels reposent sur le même principe que les pompes à lobes mais présentent un profil particulier. Dans une section, le contact entre les lobes et le corps n'est pas un point mais un arc de cercle. Le rendement et la régularité du débit sont améliorés de par cette particularité.</p> <p>Certaines pompes existent en entraînement hydraulique spécialement pour les camions.</p> <p>Applications</p> <p>Agroalimentaire : transfert de sirops, laitages, jus de fruits, huiles...</p> <p>Chimie / pétrochimie : transfert de colles.</p> <p>Eau propre : utilisée en dessalement d'eau de mer par osmose inverse pour l'alimentation des membranes et le rétrolavage.</p> <p>Eaux usées : pompes mobiles de lutte contre les inondations.</p>

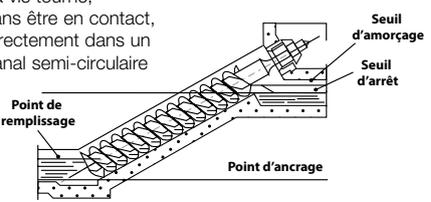
Chapitre III

Types de pompes et applications

Fiche n°24 - Pompes à piston excentré

Types de pompes / Caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p>  <p style="text-align: center;"><i>Principe (Document de la société Mouvex)</i></p> <p>Caractéristiques</p> <p>Ces pompes proposent un débit constant, sans pulsations.</p> <p>Elles permettent de pomper des produits sensibles au cisaillement, comme la crème, ou pour des applications devant respecter les critères de nettoyage en place (NEP - EHEDG et 3A).</p> <p>Les pièces en fonctionnement s'appairent en permanence pour garantir dans le temps les performances d'origine.</p> <p>La maintenance est simplifiée grâce au démontage de la garniture mécanique sans désaccouplement de la pompe du motoréducteur et de la tuyauterie.</p> <p>L'arbre qui entraîne le piston peut être recouvert d'une manchette en élastomère ou un soufflet métallique rendant la pompe étanche sans joint tournant.</p>	<p>Description</p> <p>Le corps de ces pompes est composé de deux cylindres de section circulaire reliés entre eux par une cloison radiale fixe qui sépare les ouïes d'aspiration et de refoulement. C'est dans le canal circulaire compris entre les deux cylindres que se trouve le piston de la pompe dont l'axe géométrique est excentré et tourne autour de l'axe de rotation, sans que le piston ne tourne sur lui-même.</p> <p>Applications</p> <p>Agroalimentaire : transfert de sirops, laitages, jus de fruits, huiles...</p> <p>Chimie : transfert de résine, colle, encre, peinture, vernis, alcool, acide, solvant.</p> <p>Raffinage pétrole et gaz : transfert de fuel lourd, carburant, combustible, kérosène.</p>

Fiche n°25 - Pompes à vis d'Archimède

Types de pompes / Caractéristiques	Description / Applications
<p style="text-align: center;">Schémas type</p> <p>La vis tourne, sans être en contact, directement dans un canal semi-circulaire</p>  <p style="text-align: center;">Caractéristiques</p> <p>Les vis d'Archimède présentent une grande fiabilité. Leur conception simple avec structure ouverte et vitesse de rotation lente en font des pompes résistantes avec usure minimale.</p> <p>Leur rendement est inférieur, à performances égales, à celui des pompes rotodynamiques, mais il varie peu avec le débit.</p> <p>Elles peuvent fonctionner même lorsqu'il n'y a pas d'eau dans l'arrivée. Par conséquent, il n'est pas nécessaire d'installer des mesures coûteuses pour empêcher le fonctionnement à sec.</p>	<p style="text-align: center;">Description</p> <p>Ces pompes sont constituées par une vis enroulée sur un tube axial reposant sur deux paliers. Cet ensemble est monté dans une auge en acier ou en béton. Cette auge peut être fermée ou ouverte.</p> <p>Ces pompes sont des machines élévatoires basse pression principalement utilisées en relevage.</p> <p>L'emprise au sol de l'ouvrage et le coût de réalisation du Génie Civil sont à prendre en compte.</p> <p style="text-align: center;">Applications</p> <p>Agriculture : irrigation, drainage de terres agricoles, transport et tri des raisins.</p> <p>Eaux usées : relevage en tête de station d'épuration, transport des boues, protection contre les inondations et la submergence.</p> <p>Papeteries : transport de pâtes de forte consistance.</p>

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

Tous les systèmes de pompage sont constitués d'une pompe, d'un dispositif d'entraînement, d'un circuit (ou réseau) et d'un système de contrôle - commande. L'objectif de ce chapitre est d'aider le lecteur à choisir les éléments les mieux adaptés à son besoin, en tenant compte des considérations liées au coût du cycle de vie des pompes.

Nous présenterons tout d'abord l'étude d'un réseau simple, avant de détailler les considérations à prendre en compte dans le cas de réseaux industriels, ainsi que dans le cas de l'utilisation de pompes volumétriques. Nous aborderons ensuite le choix de la pompe en faisant référence à tous les types de pompes rotodynamiques et volumétriques, et à leur adéquation avec tous les liquides susceptibles d'être pompés. L'association de plusieurs pompes en série ou parallèle sera abordée avec les systèmes de contrôle - commande.

En complément, le lecteur trouvera plus de détails sur la conception des ouvrages dans les fascicules de documentation européens suivants :

FD CEN/TR 13930 : 2009 « Pompes rotodynamiques - Conception des ouvrages d'aspiration - Recommandations d'installation des pompes »,

FD CEN/TR 13932 : 2009 « Pompes rotodynamiques - Recommandations pour les raccordements des tuyauteries d'aspiration et de refoulement ».

A. Conception d'un réseau simple

Nous traiterons ici d'un réseau simple où une seule pompe centrifuge aspire de l'eau claire dans un bassin pour la refouler dans un autre bassin.

1. Données techniques

Les grandeurs nécessaires à l'établissement du projet sont :

- Le débit nominal Q_n et plage d'utilisation (Q_{mini} , Q_{maxi}),
- Le niveau du plan d'eau d'aspiration (altitude par rapport au niveau de calage de la pompe),
- Le niveau du plan d'eau de refoulement (altitude par rapport au niveau de calage de la pompe),
- La température maximale de l'eau,
- Le taux et la nature des matières en suspension,
- Les conditions de démarrage et d'arrêt (susceptibles de provoquer un coup de bélier).

D'autre part, pour une optimisation énergétique du système de pompage, il faudra disposer des données d'exploitation et des données économiques suivantes :

- Le mode de réglage du débit (vannage, recyclage, vitesse variable...),
- Le diagramme de charge annuel (temps de fonctionnement à Q_n , $0,9Q_n$, $0,8Q_n$, ...),
- La durée de vie de l'installation,
- Le coût de l'énergie (prix du kWh pour un entraînement électrique),
- Le coût de la maintenance.

2. Réseau d'aspiration

L'étude se base sur un cas simple où la pompe est unique et ne possède qu'une seule tuyauterie d'aspiration (diamètre intérieur < 200 mm) qui aspire dans un bassin et une seule tuyauterie de refoulement (diamètre intérieur < 200 mm).

Pour des cas plus complexes, il conviendra de prendre des précautions et de demander l'avis du constructeur.

a) Diamètre approximatif de la tuyauterie d'aspiration

Afin d'initier le calcul, on se fixera un diamètre approximatif de la tuyauterie d'aspiration à partir du tableau 4.3 page 65, ce qui permettra de faire une première évaluation du NPSH disponible.

Remarques :

- La tuyauterie aura presque toujours un diamètre supérieur au diamètre de la bride d'aspiration de la pompe et sera en général raccordée à cette dernière par un convergent.
- Les débits limites du tableau 4.3 ont été fixés en s'imposant de ne pas dépasser une perte de charge de 0,75 m dans une tuyauterie de 15 m de longueur développée, comportant une crépine à clapet de pied et un coude à 90 degrés.
- Un diamètre maximum peut être défini pour éviter la décantation, dans le cas de pompage d'eau chargée.
- La vitesse dans les conduites d'aspiration n'excède généralement pas 2,4 m/s.

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

b) Calcul du NPSH disponible (dans les conditions de la première approximation et pour le point de fonctionnement normal de la pompe)

Le diamètre de la tuyauterie d'aspiration ayant été choisi en première approximation en fonction du tableau 4.3 page 65, l'expression qui permet de calculer le NPSH disponible, noté NPSHA, est rappelée ci-après :

$$\text{NPSHA} = \frac{p_a - p_v}{\rho g} - Z_a - H_{ja}$$

avec :

p_a = pression régnant au-dessus du bassin d'aspiration en Pa

p_v = pression de vapeur de l'eau en Pa

ρ = masse volumique de l'eau en kg/m^3 ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ pour de l'eau à 4°C)

Z_a = différence d'altitude entre l'axe de la pompe et la surface libre du bassin d'aspiration en m ($Z_a > 0$ si la pompe est au-dessus du plan d'eau)

H_{ja} = pertes de charge totales du circuit d'aspiration en m

g = accélération de pesanteur, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Aide à la détermination du NPSHA :

- La perte de charge dans les crépines à clapets battants pourra être évaluée à partir du tableau 4.4 page 65.



Figure 4.3 : Exemple de crépine à clapet de pied

- La perte de charge dans les clapets droits pourra être évaluée à partir du tableau 4.5 page 66.



Figure 4.4 : Exemple de clapet droit

- La perte de charge dans les tuyauteries droites pourra être évaluée à partir du tableau 4.6 page 66.
- La perte de charge dans les coudes à 90° pourra être évaluée à partir du tableau 4.7 page 67.
- La pression de vapeur de l'eau p_v sera estimée à partir du tableau 4.1.

$$p_v = 0,123 \text{ 105 Pa pour de l'eau à } 50^\circ\text{C (1.25m)}$$

$$p_v = 0,074 \text{ 105 Pa pour de l'eau à } 40^\circ\text{C (0.75m)}$$

$$p_v = 0,042 \text{ 105 Pa pour de l'eau à } 30^\circ\text{C (0.43m)}$$

$$p_v = 0,023 \text{ 105 Pa pour de l'eau à } 20^\circ\text{C (0.23m)}$$

$$p_v = 0,012 \text{ 105 Pa pour de l'eau à } 10^\circ\text{C (0.12m)}$$

$$p_v = 0,006 \text{ 105 Pa pour de l'eau à } 0^\circ\text{C (0.06m)}$$

Note : pour des températures intermédiaires, on interpolera entre les valeurs d'encadrement.

Tableau 4.1 : Pression de vapeur de l'eau

- Dans le cas général où la pression régnant au-dessus du bassin d'aspiration est la pression atmosphérique, elle sera prise égale à $1,013 \cdot 10^5$ Pa au niveau de la mer (en réalité cette valeur peut évoluer entre $0,973 \cdot 10^5$ Pa et $1,053 \cdot 10^5$ Pa selon les conditions météorologiques).
- Correction d'altitude : lorsque la pompe est installée à plus de 100 m au-dessus du niveau de la mer, la pression atmosphérique moyenne ne peut plus être prise égale à $1,013 \cdot 10^5$ Pa. Il convient dans ce cas d'introduire dans l'expression du NPSHA la valeur vraie de p^a , si on la connaît. Si on ne connaît pas cette valeur vraie, on évaluera le NPSHA comme si la pompe était installée au niveau de la mer, et l'on apportera à la valeur ainsi calculée la correction donnée par le tableau 4.2.

Variations de la capacité pratique d'aspiration d'une pompe en fonction de l'altitude
(ces nombres ne sont valables que pour l'eau)

Si l'altitude est de :	500 m	La capacité pratique d'aspiration donnée par le constructeur pour l'altitude zero est a diminuer de :	0,60 m
	1000 m		1,20 m
	1500 m		1,70 m
	2000 m		2,20 m
	2500 m		2,70 m
	3000 m		3,20 m
	3500 m		3,50 m

Tableau 4.2 : Tableau de correction d'altitude

La figure 4.5, ci-dessous est un exemple non limitatif des pertes de charge que l'on rencontre sur un circuit d'aspiration. Elle a été tracée dans le cas simple, mais peu fréquent, où la tuyauterie est du même diamètre que la bride d'aspiration de la pompe.

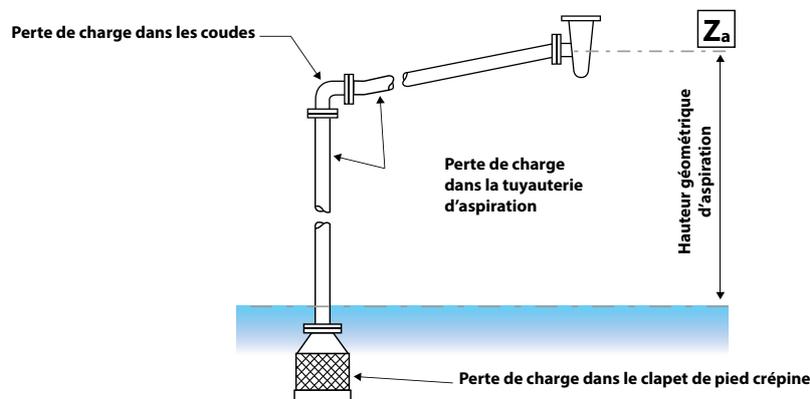


Figure 4.5 : Localisation des pertes de charge dans un circuit d'aspiration.

c) Choix définitif du réseau d'aspiration

Le choix définitif du diamètre d'aspiration, mais également de l'emplacement de la pompe, dépend de la réponse à la question suivante : le NPSH disponible (NPSHA) calculé dans les conditions de la première approximation est-il compatible avec le NPSH requis (NPSHR) de la pompe ?

En d'autres termes, la marge nécessaire entre le NPSHA et le NPSHR (définie au paragraphe J.1 du chapitre I) est-elle respectée ?

Deux cas peuvent être envisagés :

Premier cas : la pompe est imposée

Ce peut être le cas lors d'une réutilisation, ou si la pompe est imposée par l'utilisateur, ou encore si elle est spécifiée par d'autres caractéristiques essentielles du système de pompage, telles que par exemple la forme des courbes, etc.

Dans ce cas, le NPSH requis de la pompe est connu, et on demandera au constructeur le coefficient de sécurité S qu'il préconise pour l'application, d'où la valeur limite du NPSH disponible en dessous duquel il n'est pas possible de descendre :

$$\text{NPSHA minimum} = \text{NPSHR} \times S$$

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

Si le NPSHA calculé en A.2.b est supérieur au NPSHA minimum, le réseau d'aspiration tel que défini en première approximation sera probablement acceptable. Pour s'en assurer, il conviendra de calculer la valeur vraie des pertes de charge en tenant compte de la rugosité réelle des tuyauteries, du rayon de courbure vrai des coudes etc., et de vérifier que cette valeur ne remet pas en cause les relations précédentes. Enfin on s'assurera que les conditions d'aspiration sont encore convenables pour le débit minimum, et pour le débit maximum de la plage d'opération.

Si le NPSHA calculé en A.2.b est inférieur au NPSHA minimum, il sera nécessaire de reprendre dans sa totalité l'étude du réseau d'aspiration, en agissant dans deux directions :

- descendre le plan de pose de la pompe pour réduire Z_a ,
- augmenter le diamètre des tuyauteries pour diminuer H_{ja} (dans le cas seulement où H_{ja} n'est pas négligeable devant Z_a).

Deuxième cas : la pompe n'est pas imposée

On peut également se retrouver dans ce cas si la pompe que l'on souhaitait réutiliser est incompatible avec la nouvelle installation, même en baissant le plan de pose.

Dans ce cas, il convient de rechercher dans les catalogues des constructeurs (ou mieux en concertation avec eux) une pompe dont le NPSH requis soit inférieur au seuil défini par :

$$\text{NPSHR maximum} = \text{NPSHA} / S$$

Où

NPSHA est la valeur calculée en A.2.b.

S est le coefficient de sécurité préconisé par le constructeur pour l'application.

Si l'on trouve parmi les machines standards une pompe qui satisfait au NPSHR maximum, le problème sera théoriquement résolu. Il restera à calculer, comme cela a été indiqué précédemment, la valeur vraie des pertes de charge. On vérifiera aussi que les conditions d'aspiration au débit minimal et au débit maximal de la plage de fonctionnement sont acceptables.

Si pour satisfaire au NPSHR maximum, on est amené à choisir une pompe de plus grandes dimensions, tournant plus lentement, qui sera plus chère, hors catalogue, ou de mauvais rendement, on aura intérêt à baisser le niveau de la pompe ou à grossir le diamètre de la tuyauterie d'aspiration (dans les limites acceptables pour le bon fonctionnement du clapet de pied).

Le choix résultera alors d'un calcul d'optimisation économique.

Si la puissance est faible, l'étude économique peut être limitée à la recherche d'un coût d'investissement minimum (coût de la pompe + coût du réseau d'aspiration et du génie civil).

Plus généralement, il sera préférable de faire une étude économique globale, plus complète, qui incorporera aussi le coût d'exploitation. On retiendra la solution qui permettra de minimiser le total : « coût de la pompe » + « coût du réseau d'aspiration et du génie civil » + « coût de la consommation d'énergie ».

Enfin, le choix d'un autre type de pompe et d'un autre type d'installation, par exemple une pompe verticale, ou encore une pompe immergée qui inverse le signe de Z_a , peut sous certaines conditions, représenter une bonne alternative.

d) Remarque importante concernant l'emplacement de la pompe

Si la condition $\text{NPSHA} \geq \text{NPSHR} \times S$ est une condition impérative pour assurer le bon fonctionnement de la pompe, cette condition n'est pas toujours suffisante.

On aura toujours intérêt à réduire le plus possible la longueur de la tuyauterie d'aspiration, non seulement pour diminuer les pertes de charge, mais aussi pour réduire la quantité d'air qui se trouve dissoute ou occluse (micro bulles) dans l'eau de cette conduite.

La pression diminue lorsque l'eau s'élève dans le conduit d'aspiration. Cette chute de pression est responsable d'un dégazage partiel et conduit à la formation d'un volume d'incondensables préjudiciable au bon fonctionnement de la pompe. Au démarrage, ce volume de gaz peut aussi rendre l'amorçage plus difficile.

Dans la pratique, pour des pompes centrifuges, il conviendra de ne pas dépasser une longueur horizontale de 15 mètres entre la pompe et la prise d'eau.

3. Etude du réseau de refoulement

Nous venons de voir que le réseau d'aspiration se trouve imposé par une considération technique essentielle : $\text{NPSHA} \geq \text{NPSHR} \times S$, sans laquelle l'installation ne peut pas fonctionner correctement.

Il n'y a pas de condition technique aussi impérative pour le réseau de refoulement.

Le diamètre maximal sera fixé par la vitesse d'écoulement la plus basse requise par l'application (par exemple pour éviter toute sédimentation).

Le diamètre minimal sera fixé par l'application (par exemple pour le transport de solides) et par la vitesse d'écoulement maximale, pour réduire au minimum l'érosion des canalisations et des raccords.

Entre ces deux valeurs, le choix du diamètre de la tuyauterie de refoulement ne pourra résulter que d'un compromis économique.

Réduire le diamètre des canalisations et des composants équipant le circuit (vannes, coudes, filtres, etc.) aura pour conséquence directe de réduire le coût initial des canalisations et des composants.

A l'inverse, l'augmentation du diamètre des tuyauteries aura pour effet bénéfique de réduire les pertes de charge dans les tuyauteries et les composants, et donc de nécessiter une pompe de hauteur totale de charge moins élevée pour un débit équivalent. Ceci permettra de réduire :

- Le coût initial de la pompe, mais également du système d'entraînement,
- Le coût de l'énergie consommée pendant le fonctionnement de la pompe.

Certains coûts augmentent proportionnellement à l'augmentation des dimensions des canalisations alors que d'autres diminuent. Une dimension optimale de la canalisation peut par conséquent être basée sur la réduction au minimum des coûts sur la durée de vie du système. Ce concept est illustré sur la figure 4.1

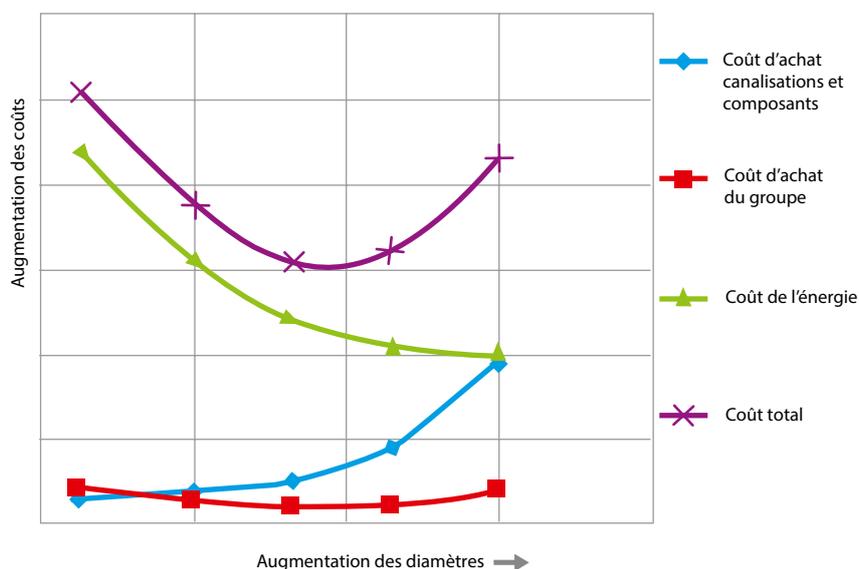


Figure 4.1 : Coût d'une installation de pompage en fonction des dimensions des canalisations

a) Choix d'un diamètre approché de la tuyauterie de refoulement

On adoptera pour un premier calcul un diamètre de tuyauterie résultant du tableau 4.8 (les débits figurant dans ce tableau ont été établis en s'imposant de ne pas dépasser une perte de charge de 5 mètres pour une tuyauterie de 100 mètres de longueur développée, comportant deux coudes à 90 degrés et un clapet de retenue).

b) Perte de charge du réseau de refoulement (pour le diamètre de refoulement approché déterminé à partir du tableau 4.8)

La configuration réelle du réseau de refoulement sera presque toujours très différente de celle prise en compte pour l'établissement du tableau 4.8. Il conviendra donc de reprendre, avec le diamètre approché de la conduite, le calcul complet des pertes de charge correspondant à la longueur développée réelle et aux véritables singularités.

La perte de charge H_{jr} du réseau de refoulement pourra être évaluée à partir des éléments suivants :

- Tableau 4.5 pour les pertes de charge dans les clapets droits,
- Tableau 4.6 pour les pertes de charge dans les longueurs droites,
- Tableau 4.7 pour les pertes de charge dans les coudes à 90 degrés,
- La perte de charge par vitesse restante U à l'extrémité du conduit de refoulement est égale à $U^2/2g$

Note : La perte de charge cumulée du circuit de refoulement et du circuit d'aspiration ne représente le plus souvent que quelques pourcents seulement de l'altitude totale $Z_a + Z_r$,

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

La figure 4.2 ci-dessous est un exemple non exhaustif des éléments de la conduite qui créent des pertes de charge. A cela peuvent s'ajouter d'autres pertes dues à des divergents, des convergents, des discontinuités de section, ou encore des appareils de mesure ou de contrôle.

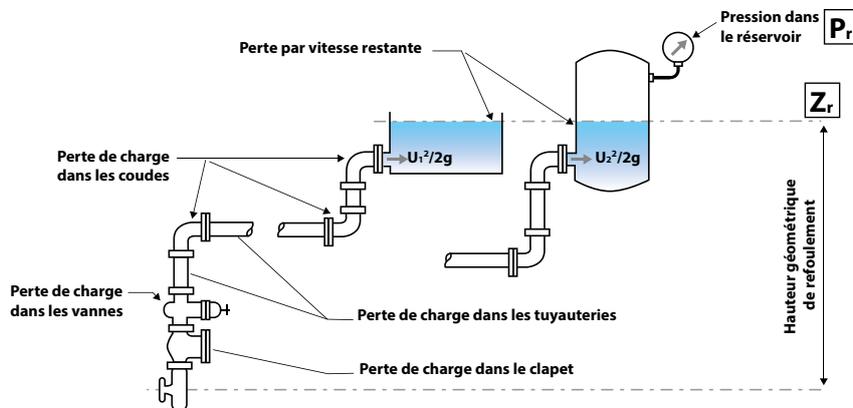


Figure 4.2 : Localisation des pertes de charge dans un circuit de refoulement

c) Choix définitif du diamètre de la tuyauterie du refoulement

La vitesse dans les conduites de refoulement ne devra pas généralement excéder les 4,5 m/s et rester inférieure aux valeurs maximum indiquées par les fournisseurs de vannes et clapets.

Ainsi que cela a déjà été dit en introduction, le choix ne pourra être supporté et justifié que par un calcul d'optimisation économique qui consistera à minimiser le total des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation. Dans cette étude, on considérera dans le coût d'investissement le coût total de l'installation.

Si l'on souhaite réaliser une optimisation rapide et approchée, il est possible de s'appuyer sur les relations suivantes :

- La perte de charge d'une tuyauterie droite, de longueur donnée, varie presque exactement comme la puissance -5 du diamètre intérieur. La perte de charge des singularités varie approximativement comme une puissance comprise entre -4 et -5 du diamètre (on commettra une erreur minime en admettant un exposant égal à -4,5).
- Il sera donc possible, à partir de ce qui a été calculé en A.3.b d'établir très simplement une loi d'évolution de la perte de charge en fonction du diamètre. On remarquera l'influence très rapide de celui-ci. A titre d'exemple, une augmentation de 20% de D permet de réduire la perte de charge par un facteur compris entre 2 et 2,5, selon l'importance relative des singularités.
- Le poids des tuyauteries par unité de longueur et pour une pression donnée, varie comme le carré du diamètre. On peut considérer en première approximation que leur coût varie proportionnellement à leur poids.

d) Protection contre les coups de bélier

Un autre critère dimensionnel concerne les éventuelles protections contre les effets des régimes transitoires. De faibles vitesses peuvent permettre de minimiser voire d'annuler le coup de bélier éventuel et donc d'éviter le recours à tout artefact.

En revanche, s'il s'avère nécessaire de recourir à des volumes d'accumulation, ceux-ci doivent être optimisés et pris en compte dans le coût d'investissement. En toute rigueur, ce coût doit intervenir dans les calculs d'optimisation du paragraphe A.3.c

4. Calcul de la hauteur totale de charge de la pompe

A ce stade, le réseau est connu dans sa totalité. Les diamètres des conduites, tant de refoulement que d'aspiration ont été définitivement choisis. Si les conduites ont été modifiées, suite à un calcul d'optimisation, il convient maintenant de recalculer avec précision toutes les pertes de charge afin de déterminer la hauteur totale de charge que doit fournir la pompe.

$$H = \frac{p_r - p_a}{\rho g} + Z_r - Z_a + H_J$$

où :

p_r : pression au-dessus du bassin au refoulement

p_a : pression au-dessus du bassin d'aspiration

Z_r : différence d'altitude entre l'axe de la pompe et la surface libre du bassin de refoulement en m ($Z_r > 0$ si la pompe est en dessous du plan d'eau)

Z_a : différence d'altitude entre l'axe de la pompe et la surface libre du bassin d'aspiration en m ($Z_a > 0$ si la pompe est au-dessus du plan d'eau)

H_J : somme des pertes de charge à l'aspiration et au refoulement, soit $H_{Ja} + H_{Jr}$

Nota : les surfaces libres des bassins étant prises comme références, $U_a = U_r = 0$

La hauteur totale de charge ainsi calculée, fait partie avec le débit Q, et le NPSH disponible (en fonction de Q) des grandeurs qu'il est souhaitable de retrouver dans un cahier des charges (même s'il est possible de retrouver cette grandeur par calcul).

DIAMÈTRE NOMINAL (Dénomination en pouces)	Débit maximum (1) admissible en mètres cubes par heure (m ³ /h)
	Toutes pompes sauf pompes à piston à vitesse lente
DN20 (3/4")	0,7
DN25 (1")	1,4
DN32 (1 1/4")	2,7
DN40 (1 1/2")	4,2
DN50 (2")	7,3
DN60 (2 1/4")	10
DN65 (2 1/2")	14,5
DN80 (3")	21
DN100 (4")	36
DN125 (5")	60
DN150 (6")	91
DN175 (7")	140
DN200 (8")	185

(1) Les valeurs de ces débits ont été fixées en s'imposant de ne pas dépasser une perte de charge de 0,75 m. dans une tuyauterie de 15 m. de longueur développée comportant une crépine à clapet de pied et un coude au quart.

Tableau 4.3 : Diamètre approximatif de la tuyauterie d'aspiration

Débit en m ³ /h	DIAMÈTRE NOMINAL (Dénomination en pouces)												
	DN20 (3/4")	DN25 (1")	DN32 (1 1/4")	DN40 (1 1/2")	DN50 (2")	DN60 (2 1/4")	DN65 (2 1/2")	DN80 (3")	DN100 (4")	DN125 (5")	DN150 (6")	DN175 (7")	DN200 (8")
0,2	30	(1")											
0,5	30												
0,7	60												
1	120		50										
1,5		DN32	50	50									
2			90	50									
3			200	80	60								
4				140	60								
5				220	180	60							
6		(1 1/4")			112	70							
7					150	100	70						
8					200	130	70						
9						150	90						
10						200	110	80					
12						280	160	80					
15							250	130	80				
20								230	90				
25								350	140	100			
30									190	100			
40									340	130	110		
50										210	110		
60										360	150		
70										400	210	150	
80											280	150	170
100											430	210	170
150												480	270
200													480

Tableau 4.4 : Pertes de charge dans les crépines à clapet battant en mm de hauteur d'eau

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

Débit en m ³ /h	DIAMÈTRE NOMINAL en mm												
	DN20 (3/4")	DN25 (1")	DN32 (1 1/4")	DN40 (1 1/2")	DN50 (2")	DN60 (2 1/4")	DN65 (2 1/2")	DN80 (3")	DN100 (4")	DN125 (5")	DN150 (6")	DN175 (7")	DN200 (8")
0,2	100												
0,5	115	100	100										
0,7	140	115	100										
1	170	135	110	100									
1,5	245	170	130	105	100								
2	335	210	150	125	100								
3		335	200	155	110	100							
4		500	260	185	130	110	100	100					
5			345	220	155	120	100	100					
6			450	270	175	130	105	100					
7			540	320	195	140	110	100					
8			650	390	220	150	120	105	100				
9				465	250	165	130	110	100				
10				545	280	180	135	115	100				
12				765	345	210	150	125	100	100			
15				1120	475	265	185	145	100	100			
20					790	385	250	185	120	100	100		
25					1120	520	325	225	140	105	100		
30						710	410	280	165	120	100	100	
40							620	410	210	140	110	100	
50							910	585	270	170	125	100	100
60								810	340	205	145	110	100
70								1100	420	240	165	125	100
80									510	275	185	135	105
100									740	360	230	160	120
150										650	365	240	175
200											540	340	235

Tableau 4.5 : Pertes de charge dans les clapets droits en mm de hauteur d'eau

Débit en m ³ /h	DIAMÈTRE NOMINAL en mm													
	DN15 (1/2")	DN20 (3/4")	DN25 (1")	DN32 (1 1/4")	DN40 (1 1/2")	DN50 (2")	DN60 (2 1/4")	DN65 (2 1/2")	DN80 (3")	DN100 (4")	DN125 (5")	DN150 (6")	DN175 (7")	DN200 (8")
0,2	15	3												
0,5	100	20	5	1										
0,7	200	40	10	2										
1	400	80	21	5	2									
1,5		170	50	10	5	1								
2		330	90	20	9	3								
3			210	45	22	6	3							
4			320	76	35	10	6							
5				130	60	18	9							
6				170	80	25	13	5	3					
7				250	120	35	17	7	3					
8				330	140	45	23	10	5	1				
9					190	57	28	12	6	2				
10					230	70	35	15	7	2				
12					330	100	50	22	10	3	1			
15						150	79	34	16	5	2			
20						260	140	60	28	8	3	1		
25						400	220	94	44	13	4	2		
30							315	135	63	19	6	2	1	
40								240	112	33	11	4	2	
50								375	175	52	17	7	3	1
60									250	76	24	10	4	2
70									340	102	33	13	5	3
80										134	43	17	6	4
100										210	68	26	10	6
150											153	58	22	12
200											272	104	40	22

Tableau 4.6 : Pertes de charge dans les tuyaux neufs en mm de hauteur d'eau

Débit en m ³ /h	DIAMÈTRE NOMINAL en mm													
	DN15 (1/2")	DN20 (3/4")	DN25 (1")	DN32 (1 1/4")	DN40 (1 1/2")	DN50 (2")	DN60 (2 1/4")	DN65 (2 1/2")	DN80 (3")	DN100 (4")	DN125 (5")	DN150 (6")	DN175 (7")	DN200 (8")
0,2	5	1												
0,5	32	8	3	1										
0,7	62	15	5	2										
1	126	30	10	4	2									
1,5		68	24	8	4	2								
2		120	42	14	6	3	1							
3			95	31	14	5	3	2						
4			170	56	24	10	5	3	2					
5				87	38	15	8	4	3					
6				126	54	22	10	6	4					
7				162	73	30	15	8	5					
8				224	96	38	19	11	6	3				
9					1122	49	24	14	8	3				
10					150	60	30	17	10	4				
12					215	86	43	24	14	6	2			
15						135	67	38	22	9	4			
20						240	120	68	40	16	6	3		
25						375	188	106	62	25	10	4		
30							270	153	90	36	15	6	4	
40								272	160	64	26	11	6	
50								425		100	40	18	10	3
60										144	58	25	15	4
70											79	34	20	5
80											102	45	26	13
100											180	70	46	20
150												158	90	45
200													160	80

Tableau 4.7 : Pertes de charge dans les coudes à 90° en mm de hauteur d'eau

DIAMÈTRE NOMINAL (Dénomination en pouces)	Débit maximum (1) admissible en mètres cubes par heure (m ³ /h)
	Toutes pompes sauf pompes à piston à vitesse lente
DN15 (1/2")	0,35
DN20 (3/4")	0,8
DN25 (1")	1,4
DN32 (1 1/4")	3
DN40 (1 1/2")	4,5
DN50 (2")	8
DN60 (2 1/4")	12
DN65 (2 1/2")	18
DN80 (3")	25
DN100 (4")	46
DN125 (5")	80
DN150 (6")	130
DN175 (7")	200
DN200 (8")	275

(1) Les valeurs de ces débits ont été fixées en s'imposant de ne pas dépasser une perte de charge de 5 m pour une tuyauterie de 100 m de longueur développée comportant 2 coudes au quart et un clapet de retenue.

Tableau 4.8 : Diamètre approché de la tuyauterie de refoulement

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

B. Considérations à prendre en compte pour un projet de pompage industriel

En plus des données techniques essentielles pour traiter un cas de pompage simple, il s'agira de préciser les points suivants, avant d'étudier un projet industriel :

- Schéma d'installation,
- Application (chimie, parachimie, pétrole, agroalimentaire, eaux usées),
- Services à rendre (débits et hauteurs maxi, mini, conditions de démarrage, arrêt,...),
- Liquide pompé,
- Caractéristiques physico-chimiques (densité, viscosité, abrasivité, etc.),
- Configuration d'exploitation (pompes en parallèle ou en série, ou seule),
- Atmosphère du lieu d'installation, (intérieur, extérieur, chaleur, humidité, sécheresse, poussières, sable, gaz et/ou poussières explosives, gaz et/ou produits dangereux,...),
- Mode de fonctionnement (continu, intermittent,...),
- Normes à suivre (ISO, API, ANSI, spécification peinture,...),
- Règles de sécurité (protection contre fuites, antidéflagrance, bruit,...),
- Recherche de coût d'exploitation minimum (énergie consommée, maintenance, investissement installation,...),
- Choix du mode d'entraînement (électrique à vitesse fixe ou variable, thermique, turbine, attelage),
- Dimensionnement des tuyauteries (diamètre, épaisseur, matériaux, études des supports, forces et moments sur les brides de pompes,...),
- Dimensionnement éventuel des bâches, puisard et bassins d'aspiration,
- Choix des pompes,
- Choix des protections hydrauliques (coup de bélier), mécaniques et électriques,
- Conditions de lignage (accostages des tuyauteries et qualité du scellement et du sol d'implantation des massifs en béton),
- Espace disponible pour les interventions opératoires pour le montage, démontage et pour la maintenance,
- Plans et documents, contrôles et essais, réception, emballage, transport,
- Examen éventuel d'un système de télégestion,
- Conditions contractuelles de maintenance générale avec procédures et qualifications des intervenants et repérage des différents éléments.

Un projet de pompage industriel est généralement couvert par une spécification technique qui peut être basée sur une norme, établie par l'utilisateur ou définie par le constructeur.

C. Considérations à prendre en compte pour un projet de pompage volumétrique

Les informations nécessaires à l'élaboration du projet de pompage incorporent tous les points cités pour les pompes rotodynamiques.

Des particularités doivent cependant être prises en compte :

- La nature du produit à véhiculer,
- Les conditions d'aspiration,
- Les conditions de refoulement (aspect pulsatoire et régulier du débit) et les précautions à prendre en compte en cas de surpression.

Le choix d'une pompe volumétrique se fait en fonction des paramètres suivants :

- Les paramètres hydrauliques caractéristiques du process qui orientent le choix de la famille de pompes et de la taille de la pompe :

- Débit
- NPIP
- Densité, hauteur manométrique totale

- La nature du produit pompé qui oriente le choix de la famille de pompes et le dimensionnement du modèle à utiliser (vitesse de rotation, pression maximale aux orifices d'aspiration et de refoulement de la pompe) :
 - Viscosité
 - Propriétés rhéologiques
 - Fragilité
 - Abrasion, taille des particules éventuellement en suspension
 - Propriétés corrosives
 - Tensions de vapeur
 - Température
- La fonction à remplir qui intervient dans le choix de la famille de pompes, mais aussi dans la détermination du mode d'entraînement :
 - Transfert
 - Dosage peu précis, précis, très précis, continu, discontinu...
- Les spécificités particulières au process telles que la nécessité d'installer une pompe auto amorçante, réversible, comportant ou non un système d'étanchéité.

D. Choix d'une pompe

1. Choix d'un type de pompe

Cette partie donne quelques indications, basées principalement sur le point de fonctionnement et sur le rendement, pour faire un choix parmi les types de pompes décrits dans le chapitre III.

a) Pompes rotodynamiques

Pour des valeurs données de débit et de pression, les pompes rotodynamiques sélectionnées conformément à la figure 4.6 ci-dessous (mais qui ne couvre pas tous les types de pompes) permettent généralement d'obtenir le meilleur rendement possible.

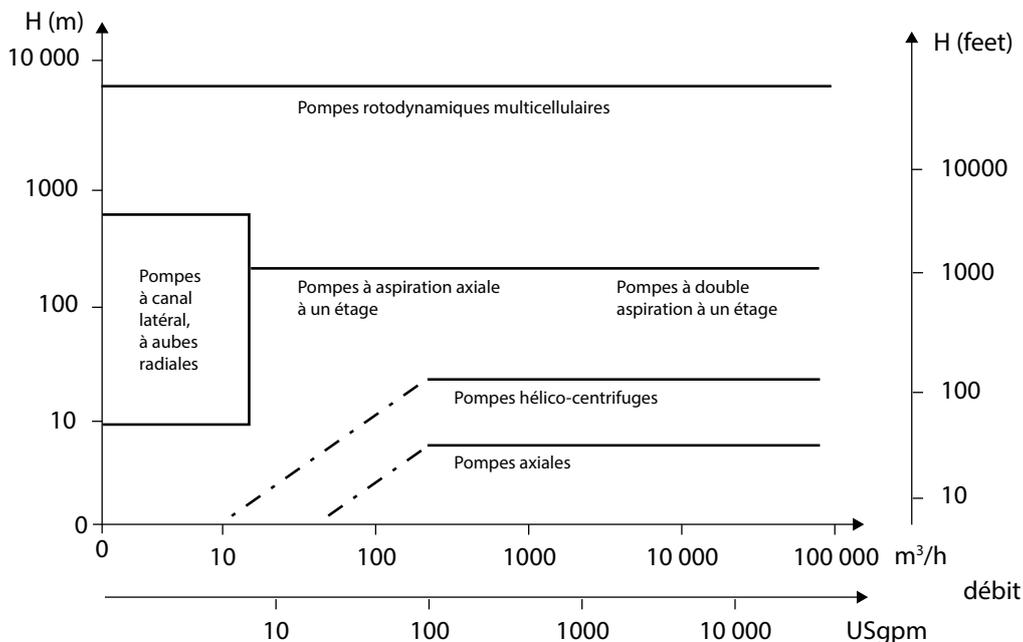


Figure 4.6 – Diagramme de sélection de pompes rotodynamiques pour liquides non chargés

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

La pompe rotodynamique la plus fréquemment utilisée est la pompe monocellulaire (volute à simple étage). Pour ce type de pompes, le rendement escompté dépend des valeurs requises de débit et de hauteur totale de charge.

Deux études majeures ont été menées sur les niveaux de rendement qu'il est possible d'atteindre :

- Une étude EUROPUMP d'avril 1998 « Attainable Efficiencies of Volute Casing Pumps » [4], résumée dans l'annexe C de l'ouvrage « Coût du Cycle de Vie des Pompes – Guide pour l'analyse des coûts du cycle de vie des systèmes de pompage élaboré par PROFLUID, HI et EUROPUMP[5].
- Une étude de l'Hydraulic Institute qui fait l'objet de la norme américaine ANSI/HI 1.3-2000 « Centrifugal Pumps for Design and Application ».

b) Pompes volumétriques

Les pompes volumétriques conviennent tout particulièrement aux liquides à viscosité élevées, notamment pour les applications à faible débit, à hauteur totale de charge élevée et pour certaines applications abrasives. Elles sont également appropriées pour de nombreuses applications spéciales, pour lesquelles elles peuvent offrir des avantages par rapport aux pompes rotodynamiques et couvrent un champ d'application important (voir tableau 4.9).

Paramètres	Gamme
Fluide	Toxique, dangereux, abrasif, sensible, etc.
Débit	Jusqu'à 1500 m ³ /h
Pression	Jusqu'à 3000 bar
Viscosité	Jusqu'à 2000 Pa.s (2 x 10 ⁶ cP)
Matières en suspension	Jusqu'à 70% de solides (ainsi que certaines poudres sèches) ; de particules tendres à la pâte à roder (2500 Hv)
NPSH requis	Jusqu'à 0,5 m
Précision de dosage	Jusqu'à ± 0,1%

Tableau 4.9 : Gammes d'utilisation des pompes volumétriques

Compte-tenu de ce grand nombre de paramètres, d'une grande variabilité dans les niveaux d'exigences, de la multitude de vitesses disponibles pour les pompes volumétriques, le choix du meilleur type de pompe et de sa taille est rendu difficile. Pour faciliter ce choix on pourra se reporter à la figure 4.7 et au tableau 4.10 ci-dessous :

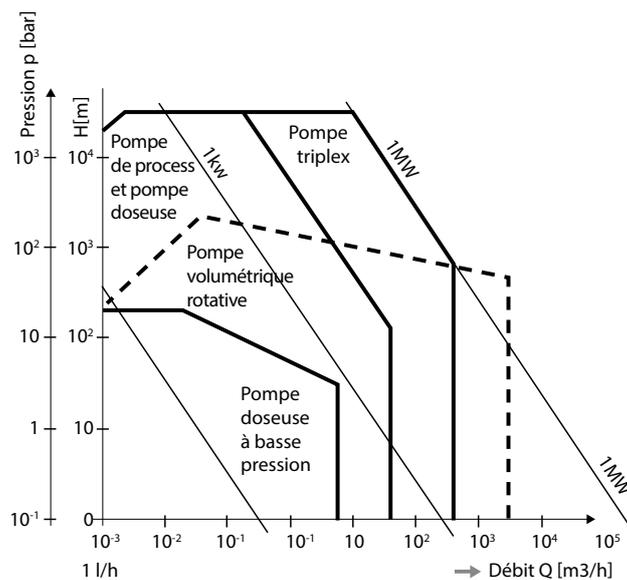


Figure 4.7 – Diagramme type de choix de pompes volumétriques

Légende : ++ Meilleur + 0 - -- Mauvais	Débit maximal	Pression maximale	Viscosité maximale	Particules en suspension			Ecoulement diphasique	Dosgae	Coût d'investissement	Transfert en douceur	Facilité de nettoyage	Fiabilité	Fonctionnement à sec	NPSH	Pulsations	Entrainement direct	Rendement
				co/so	fi/so	fi/ab											
Type de pompe	m³/h	bar	Pa.s								NEP						
Pompe à piston plongeur	400	3000	1500	+	0	--	0	++	0	0	-	+	-	0	-	n	++
Pompe hydraulique à membrane	400	1200	2000	+	++	++	0	++	0	++	++	++	++	0	-	n	++
Pompe mécanique à membrane	2	20	5	+	++	++	0	+	+	++	++	++	++	0	-	n	+
Pompe pneumatique à membrane	30	17	10	+	++	+	+	0	++	+	+	++	0	+	+	n	+
Pompe à vis – non sync.	1500	350	5	0	-	--	0	0	+	0	0	++	-	++	++	o	++
Pompe à vis – sync.	3400	350	500	+	+	0	++	0	0	+	0	++	+	++	+	o	+
Pompe péristaltique	85	15	10	++	++	0	++	0	+	++	++	0	++	0	-	n	0
Pompe à cavité progressive	720	48	1000	++	++	+	+	0	+	+	+	+	-	+	+	n	+
Pompe à palettes	200	25	2	+	+	--	0	0	+	+	0	+	-	+	+	n	0
Engrenages externes – non sync.	340	400	200	0	-	--	0	+	+	0	0	+	-	+	+	o	+
Engrenages externes – sync.	340	400	1000	+	+	-	0	+	0	+	0	++	+	+	+	o	+
Engrenages internes	340	15	1000	+	0	-	0	+	+	0	0	++	-	+	+	n	+
Pompe à lobes	660	5	100	++	+	-	0	0	+	+	+	++	0	+	+	n	+

Abréviations : co/grossier ; so/tendre ; ab/abrasif ; fi/finement broyé ; NEP / Nettoyage En Place

Tableau 4.10 : Propriétés des pompes volumétriques disponibles dans le commerce

2. Conseils pour la réduction du coût de cycle de vie lors du choix des pompes

a) Coût du Cycle de Vie d'une pompe – Pump LCC

L'énergie et les combustibles consommés par un système de pompage dépendent de la conception de la pompe, de la conception de l'installation et de la manière dont le système est utilisé. Ces facteurs sont interdépendants et doivent être soigneusement harmonisés et le rester tout au long de leur durée de fonctionnement afin d'assurer une consommation et des dépenses d'énergie aussi faibles que possible.

L'investissement initial ne constitue qu'une faible partie du coût du cycle de vie des pompes à usage continu. Des exigences opérationnelles peuvent parfois l'emporter sur les considérations de coût de l'énergie, mais c'est généralement le coût de l'énergie qui représente la partie la plus importante du coût du cycle de vie d'une pompe à usage continu.

Une meilleure connaissance de tous les composants qui constituent le coût total d'une installation permet aux exploitants de réduire de manière drastique les coûts de l'énergie, de l'exploitation et de la maintenance. Un gaspillage et une consommation d'énergie excessifs sont des facteurs importants de la pollution mondiale. La réduction de la consommation d'énergie et de matières premières permet également à l'utilisateur de bénéficier d'une réduction de ses dépenses.

L'analyse des coûts du cycle de vie est un outil de gestion qui peut aider les entreprises à réduire le gaspillage et à augmenter le rendement énergétique des systèmes de pompage.

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

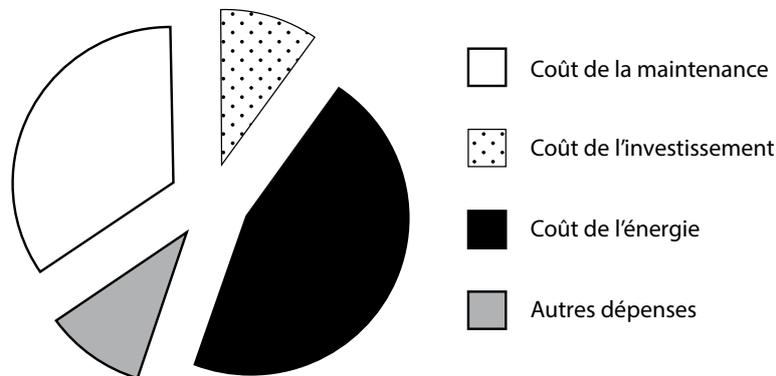


Figure 4.8 : Coût du cycle de vie type pour un système de pompage industriel de taille moyenne

Le coût du cycle de vie d'un équipement est le coût total durant sa «durée de vie», incluant : l'achat, l'installation, l'exploitation, l'entretien et la mise au rebut de l'équipement.

La détermination du coût du cycle de vie implique l'application d'une méthode destinée à identifier et à quantifier tous les composants de l'équation du coût du cycle de vie.

Lorsqu'il est utilisé pour comparer des projets de conception ou de révision, le processus du coût du cycle de vie permet d'identifier la solution la plus économique dans la limite des données disponibles.

L'équation du coût du cycle de vie d'un système de pompage peut être formulée de la manière suivante :

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

où

LCC : coût du cycle de vie

C_{ic} : coût d'investissement, prix d'acquisition (pompe, système, tuyauterie, services auxiliaires)

C_{in} : coût d'installation et de mise en service

C_e : coût de l'énergie

C_o : coût d'exploitation (coût de la main d'œuvre et supervision normale du système)

C_m : coût de la maintenance (pièces, main d'œuvre)

C_s : coût d'indisponibilité, perte de production

C_{env} : coût lié à l'environnement

C_d : coût de la mise hors service et mise au rebut (démantèlement)

L'ouvrage « Coût du Cycle de Vie des Pompes » élaboré par PROFLUID, HYDRAULIC INSTITUTE et EUROPUMP décrit les composants essentiels de systèmes de pompage et montre étape par étape les considérations nécessaires pour déterminer, concevoir et utiliser le système avec un coût de cycle de vie minimum. Cet ouvrage met à la disposition du lecteur un tableau pour le calcul manuel qui contient les éléments de l'équation du coût du cycle de vie et d'autres données d'entrée clés. Il existe également un outil informatique pour aider à réaliser ce calcul.

En ce qui concerne les pompes, des études ont démontré que le **coût de l'énergie représente la partie la plus importante du coût du cycle de vie**, et on verra dans la suite comment on peut améliorer l'efficacité énergétique d'un système de pompage.

Mais le **coût de la maintenance est également d'une grande importance** :

- De façon directe, car plus le MTBF (Mean Time Between Failure / Temps moyen entre pannes) d'une pompe est faible, plus son coût de maintenance va augmenter,

- En impactant de façon indirecte le coût de l'énergie. Une pompe mal équilibrée ou qui présente une usure importante au niveau des jeux fonctionnels ou de l'organe transférant le fluide, consomme en vibrations ou en fuites internes une partie importante d'énergie parasite. L'énergie utile à la fonction que doit assurer la pompe, s'en trouve réduite.

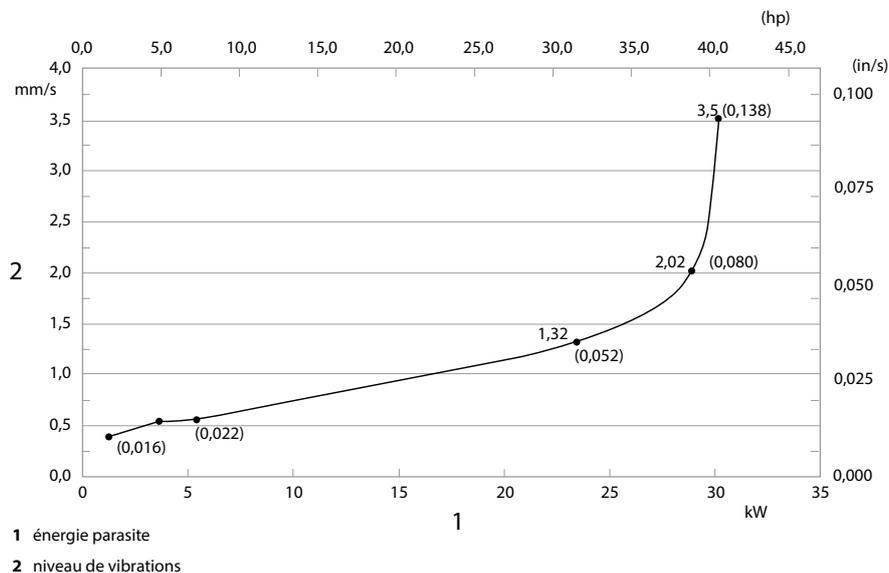


Figure 4.9 : Exemple de relation entre l'énergie parasite et le niveau de vibrations donné dans la norme NF EN ISO 14414

Pour améliorer cet aspect, on portera une attention particulière au Chapitre VII « Entretien, maintenance et réparation ».

b) Domaine de fonctionnement préférentiel d'une pompe rotodynamique

Une pompe rotodynamique atteint son meilleur rendement à un seul débit. Au point de meilleur rendement les pertes au niveau de la roue et de la volute, ainsi que les efforts hydrauliques, sont réduits au minimum. Les pompes peuvent fonctionner de manière satisfaisante dans les limites d'une plage de débit à gauche (débit partiel) et à droite (sur-débit) du point de débit optimal. Cette plage, appelée domaine de fonctionnement préférentiel s'étend d'environ 70 à 120 % du débit optimal (voir figure 4.10).

Dans certains cas, il est également possible d'utiliser les pompes au-delà des limites de ce domaine de fonctionnement préférentiel, dans une plage appelée domaine de fonctionnement admissible. Ce domaine est déterminé par le fabricant de la pompe. Les limites du domaine de fonctionnement admissible sont fonction du NPSHR de la pompe, de la recirculation du débit à l'intérieur de la roue, de la flexion de l'arbre, des efforts sur les paliers, de l'augmentation du niveau de vibrations ou de l'élévation de température du liquide dans la pompe.

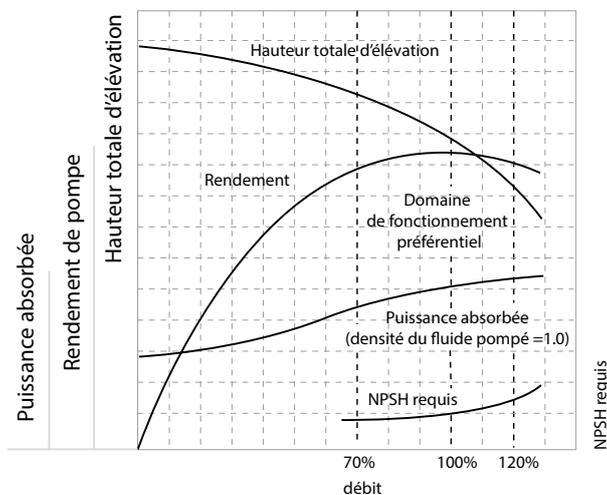


Figure 4.10 : Exemple d'une courbe caractéristique de pompe rotodynamique illustrant le domaine de fonctionnement préférentiel

Le fonctionnement en dehors du domaine de fonctionnement préférentiel a une influence directe sur la consommation d'énergie, mais également sur la diminution du MTBF de la pompe.

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

c) Facteurs permettant de réduire la consommation d'énergie d'une pompe rotodynamique

Il est possible de réduire la consommation d'énergie en tenant compte de facteurs significatifs lors de la spécification de la pompe par l'utilisateur, et lors du choix par le fabricant. Un ou plusieurs des facteurs suivants peuvent s'appliquer :

1. Lors du calcul ou de l'estimation du point de fonctionnement, on évitera de surdimensionner une pompe en ajoutant des marges et en arrondissant à l'excès. Ceci conduira généralement à une consommation d'énergie excessive.
2. Il est déconseillé d'imposer des restrictions inutiles dans les spécifications dans la mesure où ces dernières peuvent avoir un impact défavorable sur le rendement.
3. L'acheteur doit spécifier la norme et le niveau selon lesquelles le ou les points de fonctionnement garantis doivent être vérifiés, les variations sur les tolérances de rendement étant importantes d'un niveau à l'autre (se reporter à la norme NF EN ISO 9906 : 2012 « Pompes rotodynamiques - Essais de fonctionnement hydraulique pour la réception - Niveaux 1, 2 et 3 », ces tolérances peuvent varier entre 0% pour le niveau 1U, et -7% pour le niveau 3B).
4. Faire fonctionner la même pompe à vitesse fixe à plusieurs points de fonctionnement peut entraîner un choix non optimisé pour le régime de fonctionnement nominal. Il peut être préférable d'utiliser une pompe à vitesse variable ou d'installer une pompe supplémentaire pour un fonctionnement intermédiaire.
5. Une méthode efficace pour ajuster le fonctionnement d'une pompe hélice à la demande réelle consiste à utiliser des roues à pales réglables ou des aubages d'entrée à pales réglables.
6. Même si les pompes à installer sont de petite taille, il convient de ne pas ignorer leur rendement. Les économies pour chaque pompe peuvent ne pas être importantes, mais de nombreuses installations sont équipées d'un grand nombre de petites pompes. La consommation totale de puissance des petites pompes d'un système sera souvent plus importante que celle des grandes pompes.
7. Pour les pompes qui fonctionnent sur une large gamme de débit, il peut être souhaitable de choisir une pompe présentant un rendement maximal moins important mais une courbe de rendement plus plate.

d) Considérations économiques particulières aux pompes volumétriques

1. En raison de leurs caractéristiques, le surdimensionnement d'une pompe volumétrique (en d'autres termes une vitesse plus faible pour des volumes plus grands), n'entraîne pas nécessairement une chute sensible du rendement énergétique tant que le débit de fuite interne est inférieur à 5%, ce qui est fréquemment le cas. Le surdimensionnement peut en outre parfois être un moyen économique et efficace d'augmenter la durée de vie et la fiabilité.
2. Si une pompe présentant des pulsations importantes est utilisée, l'investissement dans un équipement d'amortissement des pulsations peut éviter des travaux onéreux de remise en conformité des tuyauteries.
3. Afin d'éviter des fuites sur l'arbre au niveau de l'étanchéité causées par l'usure, il est possible d'appliquer des revêtements durs sur les surfaces d'étanchéité. Le coût des pièces traitées avec un revêtement dur augmente généralement le prix de la pompe, mais cette augmentation des coûts est souvent négligeable comparée aux pertes de liquide véhiculé. On peut également s'orienter vers des pompes sans garniture.

En ce qui concerne les pompes volumétriques, on retiendra surtout que le critère principal qui décide du choix de la pompe est sa capacité à assurer la fonction qui lui est dévolue dans le procédé industriel, avant toute considération d'efficacité énergétique.

E. Choix d'un mode de régulation du pompage et du système de commande

Les méthodes de contrôle et/ou de régulation de débits dans les installations de pompage sont détaillées dans l'annexe B de l'ouvrage « Coût du Cycle de Vie des Pompes – Guide pour l'analyse des coûts du cycle de vie des systèmes de pompage » élaboré par PROFLUID, HYDRAULIC INSTITUTE et EUROPUMP. Les paramètres de contrôle, tels que la pression ou le transfert de différentes quantités de matière solide ou de chaleur, peuvent pratiquement être toujours associés à la régulation du débit. L'annexe B décrit également différentes méthodes de commande ainsi que les informations nécessaires pour dimensionner les tuyauteries et calculer la consommation d'énergie.

Les pompes peuvent être contrôlées soit par une régulation de débit par paliers (discontinue), soit par une régulation de débit continue. Il est également possible de combiner ces deux méthodes. La méthode sélectionnée est déterminée par des considérations de process, économiques et techniques.

Les méthodes possibles sont énumérées dans le tableau 4.11 ci-après :

Méthode	Applications et avantages	Restrictions
Méthodes discontinues		
Marche - Arrêt	Vidange de puisard, petites pompes de gavage, faible coût, technologie simple	Débit tout ou rien, stockage du liquide généralement nécessaire
Fonctionnement en parallèle de plusieurs pompes	Largement utilisé pour les circuits à demande variable de débit ; faible coût, technologie simple permettant l'installation facile de pompes de secours	Variation du débit seulement possible par palier
Fonctionnement en série de plusieurs pompes	Circuits avec exigences de pression variables : technologie simple	Les tuyauteries peuvent être complexes ; débit / pression irréguliers
Moteur à vitesse variable	Système efficace en présence d'au moins deux exigences de fonctionnement très différentes pour la pompe	Moteur non normalisé ; débit irrégulier si le fonctionnement varie de manière aléatoire
Méthodes continues		
Vanne de régulation	Méthode simple pour faire varier le débit ou la pression dans un circuit	Pertes importantes, la vanne est une pièce d'usure, ne convient pas pour transporter des solides dans le liquide
Vanne de dérivation	Employée pour maintenir une pression ou un débit dans un circuit lorsque la hauteur du réseau varie : technologie simple	Pertes, ne convient pas avec des solides dans le liquide ; le retour du liquide vers l'aspiration peut être à l'origine de problèmes d'élévation de température
Trop-plein	Employé pour maintenir une pression constante ; technologie simple	Pertes les plus importantes étant donné que la pompe fonctionne continuellement à plein débit ; nécessite le stockage du liquide
Hélice à pas variable	Employée pour de faibles variations de hauteur / d'importantes variations de débit sur de très grosses pompes ; haut rendement	Conception mécanique complexe ; uniquement possible pour de grandes pompes axiales ou hélico-centrifuges
Aubages d'entrée à pales variables	Employé pour de faibles variations de débit/ d'importantes variations de charge sur de très grosses pompes ; haut rendement	Conception mécanique complexe ; uniquement possible pour de grandes pompes axiales ou hélico-centrifuges
Vitesse variable	Idéal pour des variations continues de débit ou de hauteur dans des circuits à hauteur statique relativement faible ; bon rendement à débits partiels, contrôle à usage général	Pertes à pleine vitesse / plein régime, peu d'avantages dans des circuits à hauteur statique élevée
Remplissage variable Pompe à vis d'Archimède	Employée pour les applications à débits élevés et faibles hauteur ; autorégulant	Convient uniquement aux applications à faible hauteur ; coûts de génie civil importants
Commande de déplacement par vitesse variable	Commande efficace et précise	Les caractéristiques de couple des pompes volumétriques peuvent nécessiter des méthodes plus onéreuses pour le refroidissement du moteur à basse vitesse
Contrôle du déplacement par réglage de la course	Méthode à bon rendement pour les petites pompes	Conception mécanique complexe, uniquement pour les pompes volumétriques alternatives
Contrôle du déplacement par vitesse variable et réglage de la course	Approprié à une large gamme de débits et une précision de mesure élevée à de faibles débits	Uniquement appropriée aux pompes volumétriques alternatives

Tableau 4.11 : Méthodes de contrôle – Applications et restrictions

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

Les méthodes énumérées dans le tableau 4.11, peuvent conduire à d'importantes différences de consommation de puissance. Ceci est mis en évidence sur la figure 4.11 qui compare différentes méthodes de régulation du débit d'une pompe rotodynamique, dans un système de pompage avec un faible rapport H_{stat}/H_0 (hauteur statique du réseau/hauteur à débit nul de la pompe).

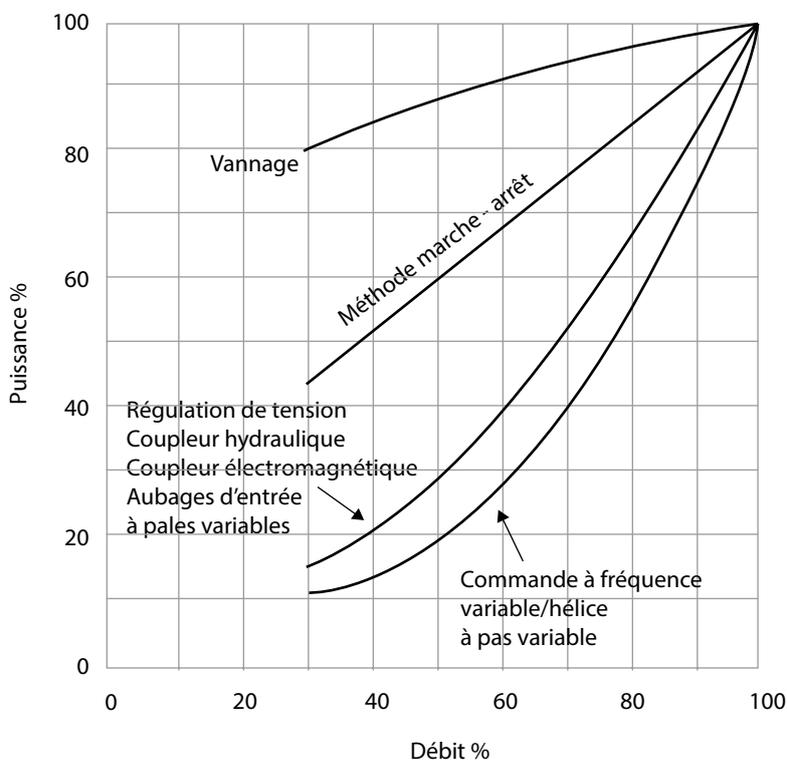


Figure 4.11 : Puissance absorbée pour pompes rotodynamiques à un étage pour différentes méthodes de régulation de débit dans un réseau présentant un faible rapport H_{stat}/H_0

On peut constater dans cette figure que si l'on souhaite réduire le débit de la pompe de 50%, le réglage par vannage consomme 87% de la puissance de la pompe, la méthode marche – arrêt 60%, les méthodes par régulation de tension, coupleur hydraulique, coupleur électromagnétique et aubages d'entrée à pales variables 30%, et les méthodes par alimentation à fréquence variable et par hélice à pas variable seulement 20%.

F. Choix de la motorisation

1. Considérations générales

Fréquemment, le constructeur offre dans son catalogue des groupes motopompes complets, équipés soit de moteurs électriques, soit de moteurs à essence.

Lorsque le catalogue du constructeur ne prévoit pas le moteur, il y a lieu :

- Soit de lui demander une offre, ce qui permet d'assurer une concordance parfaite entre le moteur et la pompe,
- Soit d'approvisionner séparément le moteur.

Il ne faut pas perdre de vue que l'entreprise qui assemble la pompe et le moteur est responsable de la conformité à la Directive Européenne 2006/42/CE relatives aux machines.

2. Types de moteurs électriques et caractéristiques

Le moteur asynchrone (à induction, à courant alternatif) est l'entraînement le plus largement utilisé dans l'industrie, pour des raisons économiques, mais également car il est simple, robuste et facile d'entretien. Ce moteur offre une grande variété de protections (zone dangereuse totalement fermée, étanche à l'aspersion, zone explosive) et de montages (horizontal, vertical, monté sur socle ou sur bride). Les normes CEI et NEMA (National Electrical Manufacturers Association) définissent les caractéristiques électriques et physiques de ces moteurs.

Avec le développement des alimentations par variateur de fréquence, les moteurs synchrones à aimant permanent ou à reluctance, qui étaient plutôt disponibles dans des petites tailles, se trouvent aujourd'hui dans des tailles plus importantes (jusqu'à 500 kW) et peuvent faire bénéficier certaines applications de leur très haut rendement (supérieur à celui des moteurs asynchrones).

Pour approvisionner un moteur, il sera souhaitable de fournir les paramètres suivants :

- Puissance maximale absorbée dans le domaine de fonctionnement normal de la pompe,
- Couple de démarrage (voir paragraphe suivant),
- Tension et fréquence du réseau d'alimentation électrique,
- Variation de tension possible du réseau électrique,
- Présence d'éventuelles microcoupures,
- Nature de l'alimentation dans le cas d'un fonctionnement à vitesse et fréquence variables,
- Environnement (outdoor ou indoor, température, humidité, poussières, atmosphère explosive,...) qui définira la classe d'isolement à prévoir,
- Mode de démarrage (direct, triangle-étoile, soft-starter, ...),
- Fréquence des démarrages (facteur de service),
- Inertie des machines tournantes (y compris du volant d'inertie qui pourrait être installé pour réduire les risques de coup de bélier).

3. Couple de démarrage

Le moteur doit avoir un couple de démarrage supérieur au couple résistant de la pompe.

Avec une pompe centrifuge, cette condition est toujours remplie par les moteurs électriques de série courante.

Une attention particulière doit être apportée aux conditions de démarrage des pompes à hélice dont la puissance à débit nul est très supérieure à la puissance nominale.

Avec une pompe volumétrique, le couple résistant au démarrage peut être supérieur au couple en fonctionnement, et dans certains modèles, il peut atteindre deux fois le couple en fonctionnement ; il faut donc consulter le constructeur de la pompe lorsque le moteur n'est pas fourni par ses soins.

Pour les pompes à débit non constant, la puissance installée doit être au moins égale à la puissance maximale calculée sur le cycle.

Dans le cas d'une utilisation de soupape, la puissance installée doit prendre en compte le supplément de puissance correspondant à la phase de fonctionnement de la soupape.

C'est l'examen de toutes ces conditions qui donnera lieu ou non à un surdimensionnement du moteur électrique par rapport à la puissance hydraulique nominale nécessaire.

4. Rendement

La norme NF EN 60034-30-1:2014 qui reproduit le texte de la publication CEI 60034-30-1:2014 « Machines électriques tournantes - Partie 30-1 : classes de rendement pour les moteurs à courant alternatif alimentés par le réseau (code IE) » définit les exigences de rendement des moteurs électriques de moins de 1000 kW.

Ces moteurs sont répartis en quatre classes de rendement, de IE1 à IE4 (par ordre croissant de performance).

- IE1 : Rendement standard
- IE2 : Haut rendement
- IE3 : Rendement Premium
- IE4 : Rendement Super Premium

Une classe IE5 est en cours de définition.

Pour les moteurs à vitesse variable qui ne sont pas conçus pour fonctionner directement sur le réseau, la publication CEI 60034-30-1:2014 est complétée par le document CEI/TS 60034-30-2:2016 « Rotating electrical machines - Part 30-2: Efficiency classes of variable speed AC motors (IE-code), qui n'existe aujourd'hui qu'en anglais.

D'autre part, un règlement européen a fixé une obligation progressive de performance pour la mise sur le marché des moteurs triphasés qui impose depuis le 1er janvier 2017, que les moteurs triphasés de puissance comprise entre 0,75 et 375 kW soient de classe IE3 ou de classe IE2 couplés à un variateur.

Toutefois, même si les performances du moteur s'améliorent avec la classe, il sera toujours nécessaire de veiller à ce que le moteur soit adapté à l'application. Si la différence à pleine charge entre un moteur standard et un moteur à haut rendement peut atteindre 2,5%, cette différence est encore plus importante à demi-charge.

Chapitre IV

Installations et systèmes de pompage

Enfin il faut considérer que le rendement des moteurs asynchrones chute rapidement pour des charges encore plus faibles, contrairement à celui des moteurs synchrones.

5. Alimentation par variateur de fréquence

Du point de vue du rendement énergétique, les entraînements par variateur de fréquence permettent de régler la vitesse du moteur avec précision à la valeur minimale admissible pour un process donné. Il en résulte que les entraînements par variateur de fréquence permettent une réduction de la consommation d'énergie pour un système à charge variable, particulièrement par rapport à un vannage.

S'il est envisagé d'ajouter une alimentation par variateur de fréquence sur un moteur existant, il convient que les caractéristiques électriques du moteur soient adaptées à ce type d'alimentation. Dans le cas contraire, il peut y avoir un risque de défaillance prématurée, si notamment l'isolement du bobinage ou des paliers du moteur n'est pas suffisant.

Bien qu'une alimentation par variateur de fréquence à la tension et à la fréquence nominales ne consomment généralement qu'entre 2 et 6% de la puissance nominale, ces pertes augmentent lorsque la fréquence est réduite. Il sera bon de s'assurer que ces pertes sont négligeables comparées à la réduction de la consommation d'énergie réalisée.

6. Cas des autres types de moteurs

En dehors du moteur électrique on emploie le moteur à essence et le moteur diesel, et à titre exceptionnel la turbine.

Les particularités principales au point de vue de l'emploi de ces motopompes résident dans le mode de lancement et le mode de refroidissement. Attention également à leur sens de rotation qui n'est pas toujours celui convenant à la pompe entraînée. Rappelons à ce sujet, qu'il n'est pas possible de changer le sens de rotation des moteurs thermiques (consulter les constructeurs).



Chapitre V

De l'emballage jusqu'à
la mise en service des
groupes de pompage

Chapitre V

De l'emballage jusqu'à la mise en service des groupes de pompage

L'objet de ce chapitre est de lister, sans les détailler, les opérations qui doivent être réalisées par le constructeur et/ou l'installateur, pour garantir une mise en service satisfaisante d'un groupe de pompage.

L'ordre dans lequel sont données les opérations décrites dans ce chapitre obéit à un enchaînement logique.

Pour le détail des opérations, il est recommandé de se référer aux documents des constructeurs des matériels mis en œuvre (pompe, moteur, accouplements, garnitures mécaniques, instruments de mesure, etc.). L'expérience et le savoir faire d'un monteur qualifié et connaissant parfaitement le matériel garantit le bon suivi de ces différentes règles.

A. Emballage

La responsabilité de perte ou de dommage du matériel d'origine et des pièces de rechange passe du vendeur à l'acheteur lorsque le vendeur a accompli son obligation de livrer conformément aux Incoterms 2010, publiés par la Chambre de Commerce Internationale, et entrés en vigueur le 1^{er} janvier 2011.

L'emballage du groupe motopompe sera adapté à ses caractéristiques de poids et dimensions, mais également au transport prévu : maritime, aérien, terrestre ou ferroviaire. L'obligation du vendeur d'emballer la marchandise peut varier suivant le moyen de transport (vibrations), sa durée et les conditions climatiques (embruns, froid, choc sur route défoncée,...). Le vendeur doit donc connaître les conditions de transport avant la conclusion du contrat de vente.

L'emballage doit être marqué de façon appropriée.

Après réception sur site et contrôle, le matériel doit être remis dans son emballage d'origine et conservé ainsi jusqu'au montage.

B. Transport et stockage

Pour chaque type de pompe, des conditions particulières sont décrites dans les manuels d'instructions rédigés par les constructeurs.

1. Réception et déballage

On devra vérifier immédiatement après réception de l'équipement qu'il est complet par comparaison avec les documents et bordereaux de livraison et ainsi que l'absence d'endommagement pendant le transport.

Tout composant manquant et/ou tout dommage doit être signalé immédiatement au constructeur.

2. Manutention et levage

Pour tous les groupes de pompage dont le poids dépasse 25 kg, la manutention manuelle n'est pas recommandée. Celle-ci devra être réalisée avec un moyen de levage adapté lorsque cela est techniquement possible (chariot élévateur à fourche, palans, pont roulant, grue...).

Pour soulever des machines ou des pièces à l'aide d'un ou de plusieurs anneaux de suspension, on n'utilisera que des crochets ou des manilles conformes aux réglementations locales notamment en matière de sécurité. Les câbles, les chaînes ou les cordes ne doivent jamais être placés directement sur ou dans les anneaux de suspension. Les câbles, chaînes ou cordes de levage ne doivent jamais présenter de cintrages excessifs. Les crochets de levage, les anneaux de suspension, les manilles ne doivent jamais être pliés et ne doivent subir de contrainte que dans le prolongement de leur axe de charges de calcul. Il est rappelé que la capacité d'un dispositif de levage diminue lorsque la direction de la force portante fait un angle avec l'axe du dispositif. Pour accroître la sécurité et l'efficacité de l'appareil de levage, tous les éléments de levage doivent être positionnés aussi perpendiculairement que possible. Si nécessaire, un palonnier sera placé entre le dispositif de levage et la charge.

Lorsque des pièces lourdes sont levées, il est formellement interdit de stationner ou de circuler sous la charge ou dans la zone susceptible de subir l'impact si la charge ou une partie de celle-ci basculait ou se détachait. Il ne faut jamais laisser une charge suspendue à un treuil. L'accélération et le ralentissement du levage doivent rester dans les limites de sécurité pour le personnel.

Seul un personnel parfaitement entraîné pourra procéder au levage, en respectant les réglementations locales.

Pour éviter toute distorsion, la pompe devra être levée, comme illustré sur la documentation du constructeur.

Lors du levage de pompes équipées de leur moteur, le centre de gravité de l'assemblage peut être au-dessus des points de levage ; dans ce cas, une méthode d'élingage devra prévenir le basculement de la machine lors de l'ascension. Des sangles, des cordes ou d'autres appareils de levage devront être positionnés de telle sorte qu'ils ne glissent pas et qu'ils maintiennent l'équilibre lors de la manutention. Pour une meilleure stabilité, le moteur pourra être déboulonné afin que le moteur et la pompe puissent être soulevés séparément. Les groupes motopompes de grandes dimensions peuvent être livrés en éléments séparés. Chaque élément sera manutentionné séparément en utilisant les points de levage sur la semelle de la pompe et ceux sur le moteur.

Chapitre V

De l'emballage jusqu'à la mise en service des groupes de pompage

3. Stockage

Les conditions de stockage (durée et nature de l'environnement) doivent être spécifiées à la commande.

Il est recommandé de toujours stocker de telle sorte que l'identification soit immédiate, à l'abri de l'humidité, du gel, du vent, du sable, des poussières et isolé de toute vibration.

La chaleur et le rayonnement du soleil en particulier sur les élastomères doivent être évités.

Il faut laisser en place les obturateurs sur les orifices de tuyauterie afin que la poussière et les autres matières étrangères ne puissent pas pénétrer dans le corps de la pompe.

A intervalles réguliers, il est recommandé de faire tourner la pompe afin d'éviter le marquage des chemins de roulement ou le gommage des faces de friction de la garniture.

Dans ces conditions, la pompe peut être stockée pendant 6 mois au maximum.

Lorsqu'une plus longue période de stockage est nécessaire, il faut consulter le fabricant pour connaître les actions de conservation.

C. Calage, lignage, fixation, scellement

Le calage doit assurer une parfaite position horizontale du châssis pour une pompe horizontale (ou de la plaque de base pour une pompe verticale) et placer à la hauteur voulue l'équipement.

Le lignage entre la pompe et le moteur, dans les tolérances données par le constructeur, doit assurer le fonctionnement du groupe avec un niveau vibratoire minimal.

La fixation et le scellement du groupe doivent assurer la pérennité du calage et de l'alignement pompe - moteur et garantir ainsi la durée de vie du groupe.

1. Groupes expédiés montés sur châssis

L'alignement d'un groupe est effectué en usine en posant le châssis sur un plan nivelé. Toutefois, l'expérience a prouvé qu'il est pratiquement impossible de construire de façon industrielle des châssis parfaitement indéformables. Par ailleurs, durant le transport entre l'usine et le lieu d'installation, un glissement des fixations pompe et moteur sur leur châssis peut survenir. Le calage du châssis et le lignage du groupe devront donc être repris sur le site.

2. Groupes expédiés en éléments séparés

a) Groupes motopompes prévus avec châssis commun

Le calage du châssis et le lignage du groupe sont réalisés sur le site après montage de la pompe et du moteur.

b) Groupes motopompes prévus sans châssis commun à la pompe et au moteur

Le scellement se fait pour chacune des machines en vérifiant que la hauteur de calage de chaque châssis par rapport à l'autre est correcte pour obtenir un bon alignement.

c) Pompes entraînées par courroies

Une attention particulière devra être portée à l'installation et à la tension des courroies (se référer à la notice du constructeur).

D. Raccordement des tuyauteries

1. Elimination des corps étrangers

On prendra soin pendant la pose des tuyauteries qu'aucun corps étranger tel que graviers, terre, filasse, chiffons, graine ou baguette de soudure ne s'y introduise et ne soit la cause d'un accident lors de la mise en route de la pompe.

2. Joints

Les liaisons entre tuyaux successifs peuvent se faire de différentes façons :

- Joints à brides,
- Joints à manchons filetés et raccords Union (réservés à des diamètres inférieurs à 100 mm),
- Soudures, pour les tuyaux métalliques,
- Collage pour les tuyaux plastiques PVC, PEHD et PP,
- Collage pour les tuyaux en fibres de verre-époxy (GRP).

Ces assemblages font l'objet de normes européennes ou internationales auxquelles il sera bon de se référer.

3. Raccordements à la pompe

En ce qui concerne les liaisons des tuyauteries à la pompe, on s'assurera que les tuyauteries ne transmettent aucun effort à la pompe.

Les tuyauteries étant fixées par leurs supports sur le sol ou sur les murs de l'installation de pompage, sans être liées à la pompe, elles doivent se présenter exactement en regard et alignées avec les orifices d'aspiration et de refoulement de la pompe.

Si cela n'est pas le cas, la liaison des conduites sur les orifices d'aspiration et de refoulement de la pompe peut conduire à un désalignement de la pompe et du moteur et un blocage de la ligne d'arbre.

E. Garnitures d'étanchéité

1. Boite à étoupe

Lorsque la pompe est équipée d'une étanchéité par tresses, on s'assurera que celle-ci a été livrée avec sa boîte à étoupe garnie de tresses, serrées à la main ou très modérément à la clé.

Le serrage du presse-étoupe en fonctionnement normal devra être réglé pour qu'il y ait un écoulement de liquide goutte à goutte. Il ne s'effectuera qu'après une période de rodage de plusieurs heures au cours de laquelle la fuite doit être abondante.

Attention :

- Un presse-étoupe trop serré ne reprendra jamais sa place au desserrage. Il faudra changer les tresses.
- Un serrage trop important entraînera une usure de l'arbre ou de la chemise d'arbre, et par voie de conséquence une fuite de plus en plus importante.

2. Garnitures mécaniques

La pompe peut également être équipée de garnitures mécaniques, surtout lorsqu'il s'agit de s'assurer d'une étanchéité quasi-totale.

Les éléments composant les garnitures mécaniques sont fragiles et sont particulièrement exposés lors des manipulations et du montage de la pompe. Leur rupture survient en général lors de ces opérations.

F. Raccordement électrique

Avant la réception du matériel, on fera vérifier que l'installation électrique est en bon état et qu'elle est susceptible de fournir l'intensité correspondant à la puissance prévue du moteur.

Il faut également vérifier que la tension du courant qui parviendra aux bornes du moteur est conforme au cahier des charges.

Le raccordement électrique devra être réalisé par une personne habilitée et conformément aux réglementations applicables.

G. Mise en service

Dans tous les cas, l'opérateur devra suivre scrupuleusement la notice de mise en service qui a été livrée avec le matériel.

1. Liste des vérifications avant démarrage du groupe motopompe

- Vérifier que la lubrification des différents paliers ou butées-est correctement réalisée et que les niveaux sont corrects.
- Vérifier le sens de rotation du moteur en donnant juste une impulsion « Marche » sur l'armoire électrique qui commande le moteur. Sur les groupes de grande taille et / ou équipés d'un dévireur, il sera préférable de désaccoupler au préalable la pompe et le moteur.
- Vérifier que la pompe tourne librement à la main.
- Vérifier le remplissage des circuits. Evacuer si nécessaire la totalité de l'air contenu dans la pompe et dans les tuyauteries de liaison (aspiration, refoulement, équilibrage...) avec le liquide à pomper.
- Vérifier - selon le mode opératoire de la station de pompage – que toutes les fonctions de protection sont en état, y compris les protections hydrauliques telles que l'anti-dévireur et l'anti-bélier.
- Le cas échéant, vérifier l'arrosage des presse-étoupe et le fonctionnement de l'ensemble des tuyauteries de rinçage des garnitures mécaniques (plan API).
- Vérifier la position des vannes à l'aspiration et au refoulement de la pompe. La vanne à l'aspiration doit être ouverte. La position de la vanne au refoulement dépend du type de pompe : se référer au mode opératoire de la station de pompage.

Chapitre V

De l'emballage jusqu'à la mise en service des groupes de pompage

2. Démarrage

On s'attachera à suivre la procédure de démarrage de la pompe (guide d'entretien et d'exploitation du constructeur) ou du système de pompage sur lequel est installé la pompe.

A défaut, après avoir effectué les vérifications listées au G.1 on procédera comme suit :

- Repérer un moyen rapide d'arrêt de la machine en cas d'accident (coup de poing d'arrêt d'urgence, liaison avec le poste de contrôle-commande...),
- Repérer l'instrumentation à surveiller (vitesse de rotation, pression, débit, mesures électriques, températures...),
- Eloigner les curieux du groupe motopompe,
- Démarrer (il peut être intéressant pour les grosses machines de noter le temps de démarrage),
- Noter l'heure de démarrage.

3. Vérifications après démarrage

- Vérifier que la pompe débite.
- Vérifier que le groupe ne vibre pas, ne fait pas de bruit anormal.
- Noter la vitesse de rotation, la pression à l'aspiration, la pression au refoulement, le débit, l'intensité (ou la puissance) absorbée par le moteur. Comparer ces valeurs aux valeurs attendues.
- Surveiller les températures paliers, enroulements moteur, corps de pompe, etc.
- Surveiller le dispositif d'étanchéité (température, débit ou pression d'arrosage, fuite).

4. Arrêt

On s'attachera à suivre la procédure d'arrêt de la pompe (mêmes documents qu'au G.2), en notant l'heure d'arrêt de la pompe.

Il peut être intéressant pour les grosses machines de noter le temps mis par la pompe pour s'arrêter : si ce temps est très court, on pourra s'inquiéter d'un serrage de l'arbre sur ses paliers.

Si, après les essais, la pompe doit être arrêtée pour une longue période (par exemple dans l'attente de la mise en service du reste de l'installation), il faudra respecter la procédure de remisage de la pompe (voir documentation constructeur) et mentionner son remisage selon les consignes locales.

Chapitre VI

Règles d'utilisation des pompes en service

Chapitre VI

Règles d'utilisation des pompes en service

A. Règles générales

Le matériel a été construit et installé pour des conditions de service définies par l'installateur et/ou l'utilisateur (nature du fluide, pression, température, emplacement sur le circuit...) ; si certaines d'entre elles devaient changer, le constructeur doit être consulté.

Dans tous les cas, il ne faut jamais hésiter à demander conseil auprès du constructeur quant à l'utilisation d'une pompe. Bien souvent l'adaptation d'une pompe à un circuit est plus complexe qu'il n'y paraît ; l'association de plusieurs pompes mérite une attention particulière et les phases transitoires (démarrage, arrêt, disjonction, couplage de pompes) doivent être étudiées par des spécialistes afin de déterminer les précautions à prendre et les moyens de protection adaptés.

Ce chapitre couvre essentiellement les règles d'utilisation des pompes rotodynamiques.

Pour les pompes volumétriques, les règles spécifiques aux différentes technologies sont spécifiées par les constructeurs.

B. Respect du domaine d'utilisation

Suite au choix d'une pompe, et comme expliqué en partie dans le D.2.b du Chapitre IV, la pompe doit être exploitée dans le domaine d'utilisation pour lequel elle a été conçue.

On retiendra que sa courbe hauteur/débit n'est pas exploitable dans son intégralité :

- Si la vanne au refoulement reste fermée, l'énergie apportée à la pompe ne peut pas s'évacuer à débit absolument nul et la pompe risque d'être endommagée (augmentation de température et de pression du liquide pompé).
- A débit réduit (zone allant généralement de 0 à 75-80% du débit nominal de la pompe), on observe des phénomènes de re-circulation du fluide dans la roue (seule une partie du fluide ayant reçu l'énergie transmise par la roue peut sortir de la pompe, le reste re-circule dans l'oeillard générant bruit et vibrations). Par ailleurs, la mauvaise adaptation de l'hydraulique de la machine en sous-débit demande un NPSHR plus important, si le NPSHA n'est pas suffisant il y aura probabilité d'apparition de cavitation. Enfin en sous-débit, la hauteur faite par la pompe étant plus importante, la poussée axiale sera plus forte, chargeant d'autant plus le palier de butée pompe ; de même, pour une pompe à volute simple, la poussée radiale sera plus importante qu'au débit nominal, surchargeant ainsi le palier de reprise des efforts radiaux.
- En sur-débit (zone s'étendant généralement au-delà de 120 à 125% du débit nominal de la pompe) la poussée axiale peut se réduire, voir s'annuler, entraînant un fonctionnement préjudiciable au rotor et au palier de butée. Sur une pompe à volute simple, la poussée radiale est plus forte qu'au débit nominal. La mauvaise adaptation de l'hydraulique entraîne les mêmes problèmes de NPSH que ci-dessus, généralement aggravés par la baisse du NPSHA due à l'augmentation du débit.

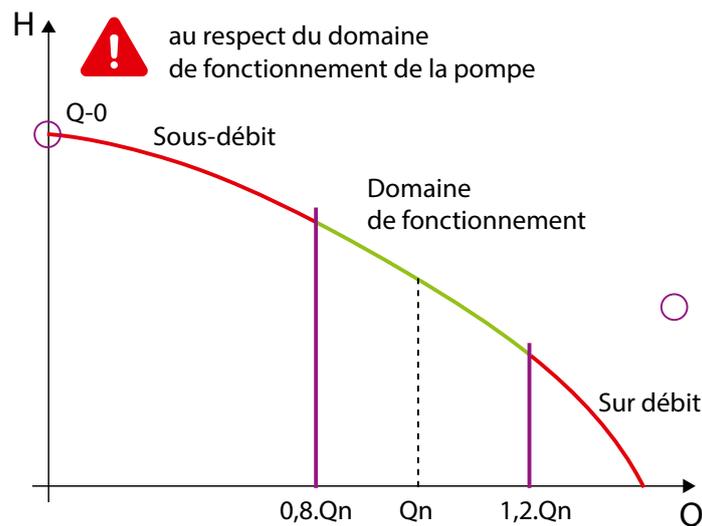


Figure 6.1 : Respect du domaine de fonctionnement de la pompe

Un fonctionnement prolongé dans ces conditions dégradera rapidement la pompe et réduira considérablement sa durée de vie. Par ailleurs, le rendement de la pompe est considérablement dégradé dans ces zones.

Il convient également de se méfier de certaines pompes possédant une courbe hauteur/débit non continuellement descendante lorsque le débit croît ; en effet si une telle pompe est couplée à un réseau comportant peu de pertes de charges mais surtout de la hauteur géométrique (en particulier si celle-ci varie), il faut vérifier qu'il n'y ait pas plusieurs points de fonctionnement possibles, cette éventualité étant rédhibitoire.

Chapitre VI

Règles d'utilisation des pompes en service

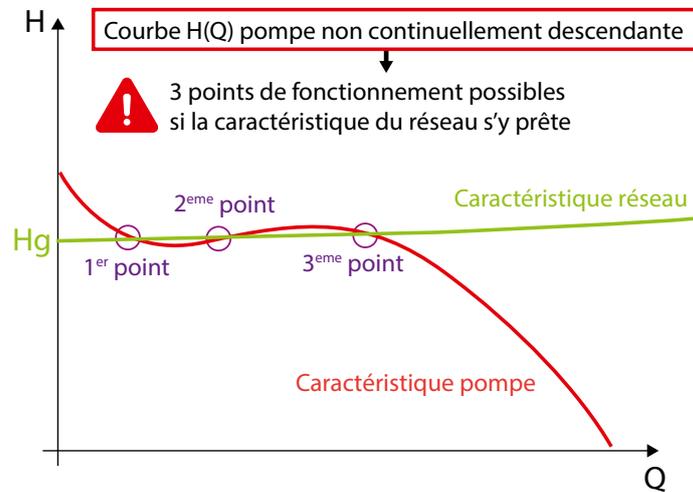


Figure 6.2 : Cas particulier de pompe non-continuellement descendante

Si des pompes doivent être couplées en parallèle, il convient de vérifier : qu'en tous cas possibles de fonctionnement non transitoires, toutes les pompes resteront dans leur domaine d'utilisation et que, de plus, lors de fonctionnements transitoires (démarrage/arrêt et en particulier dans le cas de pompes à vitesse variable), il n'y ait pas de fonctionnement possible en débit inverse (débit négatif situé à gauche du point de débit nul sur la courbe hauteur débit) ; ce point particulier de fonctionnement demande une surpuissance telle, que, en général, le groupe disjoncte ou le dispositif d'entraînement est endommagé.

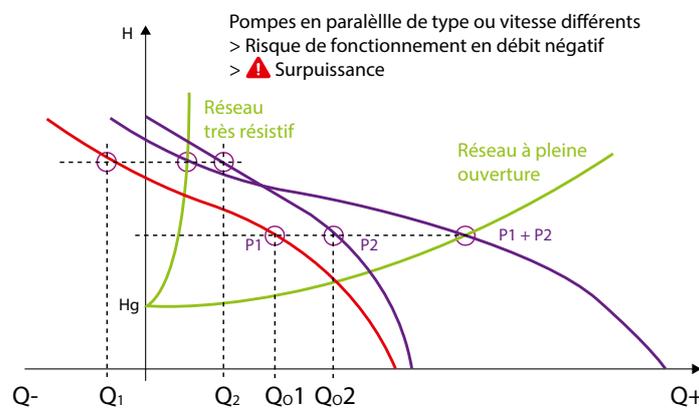


Figure 6.3 : Cas du couplage de pompes en parallèle

C. Utilisation temporaire hors plage de fonctionnement

Il va de soi que si certains des points de fonctionnement décrits ci-dessus sont dommageables en utilisation prolongée, il est incontournable d'y fonctionner temporairement lors des séquences de démarrage et d'arrêt.

Le point de fonctionnement à vanne fermée en est un exemple, c'est le point de démarrage/arrêt privilégié pour les pompes centrifuges car la pompe y consomme moins de puissance. Il faut veiller à ne pas y séjourner longtemps et ouvrir la vanne de refoulement dès que le groupe est lancé. Pour la même raison de limitation de puissance, les pompes hélices (axiales), semi-axiales et à canal latéral sont démarrées en sur-débit, il faut donc veiller à ce que le régime de fonctionnement permanent se mette en place (exemple : remplissage d'une bêche).

De la même façon sur des systèmes utilisant plusieurs pompes en parallèle sur un réseau relativement constant, lors de permutations de pompes (N puis N+1 puis N pompes en fonctionnement) ou lors de la reprise en secours d'une pompe en panne (N puis N-1 puis N pompes en fonctionnement) les pompes fonctionneront en sous-débit ou en sur-débit pendant un temps suffisamment peu important pour être préjudiciable à la bonne tenue dans le temps des pompes.

D. Etanchéité d'arbre en fonctionnement

Si la pompe est équipée d'un presse-étoupe, il doit y avoir un petit débit de fuite autour du presse-étoupe. En cas de surchauffe, il faut arrêter la pompe et la laisser se refroidir avant de la redémarrer.

Les garnitures mécaniques ne nécessitent aucun réglage. Toute petite fuite initiale s'arrêtera après le rodage des bagues. Avant de commencer à pomper un liquide chargé, on recommande si possible de faire fonctionner la pompe avec un liquide propre afin de sauvegarder les faces de friction de la garniture mécanique. Le rinçage extérieur (flush) ou le refroidissement (quench) doit être démarré avant de faire fonctionner la pompe, et l'on doit laisser le liquide s'écouler pendant un certain intervalle de temps après l'arrêt de la pompe.

E. Paliers

On recommande de mesurer la température ou les vibrations des paliers, notamment si les pompes fonctionnent dans une atmosphère potentiellement explosive.

1. Températures

Si l'on doit contrôler les températures de paliers, il est essentiel d'enregistrer une température de référence au moment de la mise en service et après la stabilisation de la température du palier. Il est important, particulièrement dans le cas de lubrification avec de la graisse, de vérifier continuellement les températures de palier. Après le démarrage, la température augmentera de manière progressive, atteignant une valeur maximale après environ 1,5 à 2 heures de fonctionnement.

Cette température doit alors rester constante ou diminuer de manière marginale en fonction du temps.

On arrêtera généralement la pompe si la température des paliers dépasse :

- 100 °C pour la lubrification à l'huile,
- 105 °C pour la lubrification à la graisse.

2. Vibrations

A titre d'indication générale, les pompes sont généralement classées en tant que machines à support rigide dans le cadre des normes internationales NF ISO 10816-1 « Directives Générales » et NF ISO 10816-7 « Pompes rotodynamiques ».

Les valeurs de déclenchement d'alarme et d'arrêt immédiat pour des pompes installées doivent être basées sur des mesures réelles réalisées sur site au niveau des paliers, effectuées sur la pompe neuve, lorsqu'elle est mise en service.

Un contrôle régulier des vibrations de la pompe est recommandé afin de révéler toute détérioration dans celle-ci ou dans les conditions d'exploitation du système. Les vibrations sont mesurées à proximité du roulement de butée de la pompe. Pour une exploitation commandée à distance, un contrôle permanent, une alerte et un arrêt automatique sont recommandés.

F. Evolutions d'exploitation

Il est recommandé d'envisager toutes les évolutions d'exploitation prévisibles — débit réduit, sur-débit, changement de liquide pompé, etc. — et de vérifier qu'elles sont bien compatibles avec le bon fonctionnement de la pompe.

1. Densité du fluide

La hauteur totale de charge de la pompe ne varie pas en fonction de la densité du fluide, mais la pression indiquée par un manomètre est directement proportionnelle à la densité, ainsi que la puissance absorbée. Il est donc important de vérifier qu'une variation de la densité n'entraînera pas une surcharge du moteur d'entraînement de la pompe ou une pression excessive sur la pompe.

2. Viscosité du fluide

Pour un débit donné, la puissance absorbée augmente lorsque la viscosité augmente et elle diminue lorsque la viscosité diminue. Il est donc important de vérifier avec le constructeur si des variations de viscosité sont prévues.

Chapitre VI

Règles d'utilisation des pompes en service

3. Vitesse de rotation de la pompe

La variation de la vitesse de la pompe a un effet sur le débit, sur la hauteur totale de charge, sur la puissance absorbée, sur le NPSHR, sur le bruit et sur les vibrations. Le débit est directement proportionnel à la vitesse de la pompe, la hauteur varie comme le carré de la vitesse et la puissance varie comme le cube de la vitesse. Cependant les nouvelles conditions d'utilisation dépendront aussi de la courbe du réseau. Si l'on augmente la vitesse, il est donc important de vérifier que l'on ne dépasse pas la pression maximum de service de la pompe, que le moteur d'entraînement n'est pas surchargé, que la relation $NPSHA > NPSHR$ est toujours vérifiée et que le bruit et les vibrations respectent les réglementations et les exigences locales.

G. Risques liés au dévirage

Si une pompe débite dans un réseau comportant de la hauteur géométrique et que l'on arrête celle-ci de fonctionner sans empêcher le fluide de circuler en sens contraire c'est à dire du refoulement vers l'aspiration (absence de clapet de pied, ou clapet au refoulement, ou vanne automatisée au refoulement), la pompe fonctionnera alors comme une turbine et tournera en sens contraire de son sens de rotation habituel.

Suivant que cette pompe soit centrifuge, hélico-centrifuge ou hélice, le régime de rotation en sens inverse de cette turbine non freinée (dite « à l'emballement ») peut varier de 120 à 200% de sa vitesse de rotation nominale en pompe. La pompe et son dispositif d'entraînement peuvent ne pas supporter cette vitesse de rotation élevée et risquent d'être détruits.

Pour éviter ce risque on pourra :

- Mettre un clapet anti-retour à l'aspiration (clapet de pied) ou au refoulement.
- Mettre une vanne de sécurité qui se ferme automatiquement en cas de coupure de l'alimentation électrique (ex : vanne papillon à motorisation hydraulique ou pneumatique et contrepoids).
- Munir le dispositif d'entraînement d'un dispositif anti-rotation inverse (ex : renvoi d'angle avec dispositif anti-dévirage sur les pompe incendie verticales).
- Vérifier auprès du constructeur que la quantité d'eau contenue au refoulement n'entraînera pas la pompe à régime inverse de rotation élevé lors de l'arrêt de celle-ci.

Chapitre VII

Entretien, maintenance et réparation

Chapitre VII

Entretien, maintenance et réparation

A. Entretien

L'entretien des groupes de pompage doit être réalisé par un personnel compétent, ayant la connaissance et la documentation technique nécessaires ; en cas de doute sur une opération d'entretien, il ne faut pas hésiter à demander les renseignements nécessaires au fabricant.

L'entretien peut être conduit de façon périodique et programmé, selon les conditions de service :

- Saisonnier : chauffage, irrigation, piscine,
- Intermittent : relevage, incendie,
- Continu : unité de production pétrole, énergie, chimie, agroalimentaire.

Il peut être également déclenché à la suite d'une observation réalisée par un opérateur ou d'une alarme sur un système de surveillance :

- La pression ou le débit est anormal,
- Des suintements ou des fuites apparaissent au niveau de la garniture d'étanchéité ou d'un palier,
- La protection d'accouplement obligatoire n'est pas en place,
- Les caractéristiques électriques (tension, intensité ou puissance) sont anormales,
- Le sens de rotation (voir notice du constructeur) n'est pas le bon,
- Une ou plusieurs alarmes se sont déclenchées,
- La crépine d'aspiration est bouchée (si cette crépine existe et qu'elle est visible),
- Le ou les niveaux d'huile sont bas,
- Les scellements du groupe vibrent ou se déplacent,
- Le presse-étoupe chauffe,
- Les paliers pompe ou moteur vibrent,
- La courroie d'entraînement (lorsqu'elle existe) n'est pas assez tendue,
- Bruit anormal au niveau du moteur, de la pompe, de l'accouplement, de la tuyauterie d'aspiration ou de la tuyauterie de refoulement.

Les groupes de pompage nécessitent un entretien hydraulique, mécanique, électrique, ainsi que de leur instrumentation.

1. Entretien hydraulique

Il consistera à s'assurer que les caractéristiques prévues, débit, pression de refoulement et pression d'aspiration sont bien maintenues, à vérifier que la crépine et les filtres éventuels ne sont pas obstrués, et à observer s'il y a des fuites sur le circuit (clapets non étanches, by-pass ouverts), à l'étanchéité de l'arbre de la pompe défaillante.

a) Entretien du presse-étoupe

Le bourrage devra être renouvelé ou complété avant qu'il ne commence à durcir.

Le presse-étoupe doit toujours laisser suinter le liquide de lubrification, et il faut éviter de vouloir trop le serrer pour éviter toute fuite.

Si le débit de fuite est excessif, il est recommandé de serrer modérément le presse-étoupe en prenant toujours soin de serrer tous les écrous à la fois pour que son enfoncement soit bien régulier et parallèle.

On peut juger de l'importance du serrage en faisant tourner la pompe à la main. Ce serrage ne doit pas augmenter sensiblement la résistance à la rotation.

Si la fuite continue d'être exagérée, même après un serrage modéré, il y aura lieu de refaire la garniture. Il est important de ne jamais serrer exagérément un presse-étoupe, la charge du moteur en serait augmentée, l'arbre s'userait rapidement et la fuite n'en serait que plus importante.

Si le presse-étoupe ne fuit pas du tout en marche, il faut essayer de le desserrer un peu. Si, malgré cela, aucune fuite ne se produit, c'est que la boîte à étoupe laisse rentrer de l'air. Dans ce cas, il faut vérifier le circuit de lubrification.

Si l'étanchéité est assurée par une garniture mécanique tournante, cette dernière ne nécessite aucun entretien. Toutefois, si une fuite même légère se révèle, c'est le signe qu'un processus de désordre est d'ores et déjà enclenché dans le fonctionnement de cette garniture. Il y a lieu à ce moment de se conformer aux instructions données par le constructeur, ou bien faire appel à lui.

Les pompes de chauffage et certaines pompes pour les fluides dangereux sont d'une conception totalement étanche par une technologie de stator chemisé ou d'accouplement magnétique (étanchéité totale).

Chapitre VII

Entretien, maintenance et réparation

b) Précautions contre le gel

Si l'installation est soumise directement ou indirectement aux intempéries, il y a lieu, lorsque la température risque de descendre au dessous de 0 °C, et que la pompe doit s'arrêter un certain temps (la nuit par exemple), de procéder – si c'est possible – à la vidange de la pompe et des tuyauteries. Pendant cette manœuvre, il faut toujours laisser entrer l'air aux points hauts du volume à vidanger : vidanger complètement, ouvrir tous les robinets.

Cette opération n'est pas nécessaire lorsque le groupe électropompe est situé dans un local protégé du gel et que ses tuyauteries extérieures sont suffisamment calorifugées ou enterrées, sauf en cas d'arrêt de longue durée pendant l'hiver.

Avec les groupes électropompes immergés, ces problèmes de protection contre le gel ne se posent généralement pas.

c) Précautions en cas de service intermittent

Il est éventuellement recommandé de vidanger pompes et tuyauteries (voir exemple ci-dessus) mais il faut en outre les protéger de l'oxydation par un film ou un remplissage d'agent de conservation. Il faut bien veiller à la compatibilité avec le liquide pompé.

Faire tourner le groupe de temps en temps (obligatoire en service incendie) est également fortement recommandé.

La vérification de l'absence de gommage avant une remise en route, suite à un arrêt prolongé (circuit de chauffage, piscine...) est une bonne pratique recommandée.

Enfin, après un arrêt prolongé, il faut vérifier :

- Le maintien du lignage s'il y a accouplement,
- La bonne fixation du socle au massif,
- L'état de la garniture mécanique : faire tourner manuellement la ligne d'arbre pour décoller les deux faces de la garniture ; si les faces sont bloquées par du calcaire, détartre la garniture ; si les deux faces restent toujours collées, changer la garniture.

2. Entretien mécanique

Les paliers extérieurs de la pompe et du moteur doivent être graissés régulièrement en respectant les règles opératoires du constructeur qui apparaissent dans la notice et éventuellement sur la plaque signalétique de graissage fixée sur la pompe.

Le lecteur trouvera ci-après les règles générales pour les paliers à huile et les paliers à graisse qui peuvent s'appliquer lorsque d'autres indications ne sont pas données.

a) Paliers lisses ou à roulements lubrifiés à l'huile (bagues tournantes ou réserve d'huile)

L'huile des paliers doit être renouvelée une première fois, puis ensuite à intervalles réguliers, selon la notice du constructeur. Il ne faut jamais attendre que l'huile noircisse.

Le remplissage se fera jusqu'au repère du niveau d'huile (voir notice constructeur).

La hauteur d'huile admissible doit être conforme au repère (ou se référer à la notice du constructeur).

A chaque changement d'huile, nettoyer, par rinçage au pétrole, les réservoirs d'huile de chaque palier.

En cas d'échauffement anormal non défini dans la notice du constructeur, se mettre en rapport avec ce dernier. En particulier, lorsque l'on ne peut plus tenir la main sur le corps du palier, cela signifie un échauffement exagéré.

b) Paliers à graisse

Il existe trois types principaux de graisseurs :

- A bille genre TECALEMIT, avec injection de graisse par pompage toutes les 50 h.
- A réservoir genre STAUFFERS, à remplir avec de la graisse sans acide. Tourner le chapeau de deux ou trois tours toutes les cinquante heures de marche. Toujours terminer le mouvement en desserrant d'un huitième de tour.
- Automatique à cartouche interchangeable, à remplacer environ tous les six mois (voir notice constructeur).

Il est recommandé de veiller à nettoyer le tiroir d'écoulement de la graisse usagée.

c) Paliers à roulements à réserve de graisse (moteurs électriques par exemple)

En principe aucun entretien n'est nécessaire pour ces paliers qui sont censés être graissés à vie. Si nécessaire, se reporter à la notice du constructeur ou consulter celui-ci.

De manière générale, il faut éviter dans la mesure du possible les excès de graisse pouvant entraîner des échauffements nuisibles.

3. Entretien électrique et éventuellement de l'instrumentation

Cet entretien concerne le moteur et l'appareillage de démarrage et de sécurité.

Il faut d'abord s'assurer du maintien des trois données essentielles : Tension - Intensité - Puissance en vérifiant que les

données du constructeurs portées sur la/les plaque(s) signalétique(s) sont compatibles avec les valeurs mesurées.

Il faut également veiller au maintien de l'isolement électrique, à la propreté des contacts, et en cas de présence d'humidité, couper impérativement l'alimentation pour faire sécher et supprimer la cause de présence d'eau.

Après un arrêt en milieu humide (inondation), les moteurs et les composants doivent impérativement être envoyés à l'étuvage pour les faire sécher.

Il faut s'assurer que la circulation d'air ne soit pas réduite par obturation, même partielle des grilles d'aspiration.

Enfin, d'autres recommandations:

- Prévoir une protection contre les rongeurs.
- Vérifier que les voyants d'alarme éventuels fonctionnent bien.
- Pour les appareils de contrôle divers, contrôler leurs piles, batteries ou alimentation secteur. Vérifier également tous les contacts et les bons embrochages.
- Pour les moteurs et les équipements, bien se conformer aux directives des différents constructeurs.

Une attention particulière doit être portée aux groupes immergés et submersibles qui requièrent des directives particulières des constructeurs.

B. Maintenance

La maintenance des pompes doit être prise en compte dès la conception de l'installation.

Pour maintenir et améliorer la fiabilité et la disponibilité des installations, il est nécessaire de :

- Associer le constructeur à la mise en place d'une politique de maintenance (contrats, partenariats ...).
- Former les exploitants à l'entretien courant défini par le constructeur.
- S'assurer que les éléments à remplacer le soient par des pièces d'origine constructeur.
- Confier la solution des problèmes de maintenance de pompes au constructeur et/ou à des sociétés agréées par celui-ci.

1. Recommandations générales en maintenance

Les bonnes pratiques suivantes sont recommandées :

- S'assurer de la capacité de la pompe à être démontée et être très attentif en particulier aux éléments qui en principe doivent être changés pour le remontage (joints, roulements...).
- Approvisionner les pièces de rechange requises par le constructeur et les outillages spécifiques si nécessaire.
- Se conformer aux notices d'installations, de mise en route d'exploitation et de maintenance.
- Définir les campagnes éventuelles de maintenance qu'il convient de programmer.
- Programmer les interventions avec le constructeur ou sociétés agréées par le constructeur.
- Promouvoir les améliorations de fiabilité et de rendement énergétique en fonction des innovations et découvertes éventuelles.

2. Choix des techniques de maintenance

La norme NF EN 13306 - 2010 « Maintenance - Terminologie de la maintenance » définit 5 types et stratégies de maintenance, dont deux principales catégories : la maintenance corrective et la maintenance préventive.

a) Maintenance corrective

« Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ».

L'intervention s'effectue uniquement sur un dysfonctionnement dont l'analyse doit servir à :

- Prévenir un nouveau défaut.
- Définir les responsabilités (qui prend en charge le coût de la réparation ?).

Le fonctionnement du système sur lequel la pompe est installée peut dans ce cas être interrompu de manière imprévisible, d'où une prévision budgétaire délicate et la nécessité pour être tranquille d'assurer :

- Une fiabilité très bonne des pompes, des sous-ensembles et de l'instrumentation,
- Un temps de réparation estimé par avance, et compatible avec les exigences du système,
- Des conséquences d'arrêt non dommageables pour l'environnement,
- Des coûts d'intervention et de perte de production inférieurs à ceux d'une maintenance préventive.

Chapitre VII

Entretien, maintenance et réparation

b) Maintenance préventive

« Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien ».

Elle s'effectue suivant deux choix :

- Cette maintenance peut être programmée, systématique ou conditionnelle : les opérations sont prévues d'avance en fonction d'un calendrier, à des intervalles de temps préétablis, ou par la surveillance du fonctionnement. Ces opérations s'apparentent à celles d'entretien décrites au paragraphe A. Ce choix est en principe une clause contractuelle de garantie.
- Cette maintenance peut être prévisionnelle ou – plus familièrement – prédictive.

La maintenance prédictive

Elle est exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation de la pompe. Grâce à des moyens d'investigation et d'analyse souvent sophistiqués (mesure et analyse du bruit, des vibrations, du courant d'alimentation du moteur, mais également intelligence neuronale et logique floue, recours à des bases de données,...) les pannes sont prévenues par des changements de pièces, juste avant la fin de leur durée de vie.

Les méthodes basées sur l'intelligence neuronale ou la logique floue sont expérimentales, et en cours d'évaluation, mais la plupart des principaux fabricants de pompes sont impliqués sur le sujet au niveau de la recherche et du développement.

Mettre en place une telle stratégie de maintenance nécessite de s'adresser à de vrais spécialistes, mais les avantages sont patents :

- Programmation d'interventions faciles.
- Temps d'immobilisation réduit.
- Coûts directs réduits, optimisé selon le degré de fiabilité recherché.

Une étude expérimentale très poussée a été réalisée au CETIM de Nantes sur un ensemble de défauts que l'on peut voir apparaître sur une pompe en fonctionnement : présence de particules solides, présence d'air trop importante, usure de la roue, contact rotor/stator, bouchage des trous d'équilibrage, balourd, défaut de l'accouplement, défaut de fixation, cavitation, fonctionnement à débit partiel.

Elle a démontré qu'il était possible de détecter ces défauts, à partir de l'analyse des signaux d'un nombre limité de capteurs non intrusifs. Mais cela ne représente que la première partie de la mise en place d'une maintenance prévisionnelle...

c) Réaménagement (en anglais « Retrofitting »)

Cette pratique va au-delà de la maintenance.

Elle consiste à ajouter, modifier ou restaurer des fonctions technologiques à des systèmes vieillissant. Il s'agit d'échanger des pièces obsolètes ou usées tout en maintenant la configuration de l'appareil.

L'objectif recherché est souvent économique :

- Améliorer les rendements pour diminuer la consommation d'énergie,
- Diminuer les coûts d'intervention en agissant par exemple sur la qualité des matériaux (fiabilité) ou les modes d'exploitation (couplages).

Il peut être aussi celui d'améliorer les conditions de sécurité pour les personnes, de manière volontaire ou imposée quand il s'agit de mettre une installation en conformité avec un règlement.

Certes, cette méthode requiert un investissement fort dans une étude compétente et confiante entre le constructeur et l'utilisateur, mais elle permet des gains souvent insoupçonnés en particulier sur l'énergie consommée et la sécurité.

3. Recommandations liées à la réglementation

En application de la Directive Européenne Machines (2006/42/CE) concernant la sécurité des machines et la protection des personnes :

- Respecter scrupuleusement les instructions de sécurité spécifiées par le constructeur de la pompe dans sa notice d'installation, de mise en route et d'entretien.
- S'assurer que la personne, responsable de l'exploitation et de l'entretien, possède les qualifications et la compétence nécessaires.
- Maintenir à tout moment le local où est installée la pompe propre, et le dégager de tout objet ou obstacle dangereux.
- S'assurer avant toute intervention, que les mesures nécessaires sont prises pour éviter une mise en marche accidentelle du groupe motopompe, et que des pancartes bien visibles indiquent clairement que des travaux sont en cours.

- Ne jamais modifier une pompe sans l'autorisation du constructeur.
- Utiliser toujours des pièces de rechanges d'origine pour satisfaire aux exigences techniques et de sécurité définies par le constructeur.
- Toute maintenance ou réparation importantes seront de préférence confiées au constructeur ou à un réparateur agréé par le constructeur.
- S'assurer que toutes les précautions sont prises pour éviter d'exposer des personnes à des dangers électriques, mécaniques, thermiques, acoustiques, chimiques..., en conformité avec les Directives Européennes et les réglementations locales en vigueur.

4. Documentation constructeur

Pour toute intervention sur la pompe, il est essentiel de consulter auparavant les documents du constructeur suivants : notice d'installation, notice de mise en route, notice d'entretien, livret de démontage / remontage et contrat de maintenance.

Le dossier constructeur regroupe généralement tous ces documents.

5. Ouvrages de référence concernant la maintenance des pompes

L'entretien, la maintenance, la bonne exploitation des pompes requièrent de bonnes connaissances en hydraulique, en mécanique, en thermodynamique et aussi une volonté de suivre les normes de construction d'installation, de sécurité et d'exploitation.

Parmi les ouvrages de référence concernant la maintenance des pompes, on pourra consulter :

Le Guide EUROPUMP : 2012 « Improvement of Reliability of Pumps by Condition Monitoring - Consequences on MTBR/MTBF » [6].

Les rapports disponibles pour les ressortissants dans la « Mécatèque » du CETIM :

- Plan d'expérience pour analyse des courants / tensions d'une pompe centrifuge (2017),
- Diagnostic des pompes centrifuges et volumétriques par analyse des courants électriques (2014),
- Validation de l'outil de traitement du signal (TDS) sur un essai d'usure d'une pompe à rotor excentré (2014),
- Outil de traitement de signal pour pompes volumétriques (2013),
- Caractérisation d'une pompe centrifuge. Site Arcelor Dunkerque (2010),
- Maintenance prédictive des pompes volumétriques (2009),
- Maintenance prédictive des pompes - le diagnostic par réseaux de neurones, application sur démonstrateur (2009).

C. Rechanges et réparations

Le constructeur établit sur demande des listes de pièces de rechange en fonction des lieux d'installation, du contexte politico-économique estimé et surtout des conditions opératoires prévues, lors de l'étude du projet. Lors de la mise en service sur site, ces listes évoluent parfois avec les conditions réelles constatées sur place.

En cas de commande de rechange, et afin de faciliter l'identification des pièces, il y a lieu de rappeler, sans exception les indications portées sur la plaque de caractéristiques apposée sur la pompe, notamment le numéro de fabrication, l'année, le type, etc.

Il est prudent d'avoir à sa disposition des pièces de rechanges telles que :

- Arbre (ou, dans le cas de l'arbre chemisé au droit des garnitures, une chemise).
- Roues, pistons, palettes ou vis.
- Jeu de bagues d'usure ou de joints (pour les pompes qui en comportent).
- Jeu de roulements ou de coussinets.
- Garniture d'étanchéité (presse-étoupe ou garniture mécanique).
- Flector ou quelques doigts d'accouplement.
- Kit pour réparation de by-pass de pompes volumétriques (se renseigner auprès du constructeur sur les rechanges qu'il conseille d'approvisionner).

Prévoir également des composants pour les appareillages électriques :

- Moteurs.
- Contacteurs.
- Piles, batteries.
- Sondes.
- Cartes électroniques.

Chapitre VIII

Environnement réglementaire et normatif

Chapitre VIII

Environnement réglementaire et normatif

A. Aspects réglementaires

La vente d'un produit ou la mise en service d'une machine dans un pays – quel qu'il soit – doit respecter toutes les lois et règlements du pays s'appliquant au produit ou à la machine. Ceci peut s'avérer complexe, notamment si la politique du pays concerné est plutôt protectionniste.

En Europe, la libre circulation des marchandises est l'un des fondements du marché unique. L'élaboration de procédures, normes et règles communes à tous les Etats membres permet aux entreprises de l'Union de bénéficier d'un accès aisé au marché unique européen. La libre circulation des produits est assurée par l'harmonisation des réglementations techniques au niveau européen et, lorsqu'il n'existe pas de législations harmonisées, par le principe de « reconnaissance mutuelle ». Ce principe établit qu'un produit légalement commercialisé dans un Etat membre peut l'être dans tous les autres, sauf s'il met en péril des exigences impératives d'intérêt public (en particulier la santé et la sécurité des personnes).

Plusieurs Directives et Règlements Européens s'appliquent directement aux pompes. Certains domaines ne sont pas harmonisés et des réglementations nationales s'appliquent toujours. En général des normes dites « harmonisées » sont utilisées pour faciliter la mise en conformité des produits.

D'une manière générale, le metteur sur le marché est responsable de la vérification de la conformité aux directives applicables. Le marquage CE et l'attestation de conformité associée sont les preuves de la conformité.

Les principales réglementations applicables à la parution de ce guide sont résumées ci-dessous. Pour plus d'information, il est possible de consulter le site web de PROFLUID, en particulier : <http://www.profluid.org/fr/communication/memos>.

1. La Directive Machines (2006/42/CE) et La Directive Basse Tension (2006/95/CE)

Ces deux réglementations imposent des exigences essentielles de sécurité, la réalisation d'une analyse de risque qui doit s'accompagner d'un dossier technique et d'une notice d'utilisation ; le marquage CE doit être apposé sur le produit qui sera accompagné lors de sa mise sur le marché d'une déclaration de conformité.

La Directive Machines s'applique à la majorité des pompes, à l'exception des pompes manuelles et des pompes électrodomestiques soumises à la Directive Basse Tension.

Note : la Directive s'applique aussi bien à des pompes à arbre nu qu'à des groupes motopompes.

La Directive Basse Tension s'applique à certains équipements incorporés dans les groupes de pompage tels que des moteurs. Elle s'applique aussi directement à des pompes domestiques et des circulateurs de chauffage.

2. La Directive Equipements Sous Pression - DESP (2014/68/UE)

La directive définit les exigences essentielles de sécurité auxquelles les équipements sous pression doivent satisfaire. Elle s'applique à la conception, à la fabrication et à l'évaluation de conformité des équipements et ensembles sous pression dont la pression maximale admissible PS est supérieure à 0,5 bar.

Plusieurs produits et applications font l'objet d'exclusions. C'est notamment le cas des équipements soumis à la Directive Machines et qui releveraient au plus de la catégorie 1 dans le cadre de la DESP ainsi que les équipements pour lesquels la pression interne n'est pas un « critère significatif de conception ».

D'une manière générale, les pompes ne sont donc pas soumises à la DESP. Toutefois, cette exclusion ne s'applique pas nécessairement à tous les composants d'une station de pompage.

Un document d'EUROPUMP clarifie la position de la profession sur cette exclusion des pompes (disponible sur le site www.europump.org).

3. La Directive ATEX (2014/34/UE)

L'utilisation de matériel ATEX est obligatoire dans les atmosphères potentiellement explosibles. Ce type d'environnement est fréquent dans l'industrie, et de nombreux constructeurs de pompes proposent du matériel ATEX.

Il est de la responsabilité de l'utilisateur de commander et d'employer du matériel certifié selon la zone ATEX de destination. Le marquage CE est obligatoire, et les fabricants de pompes peuvent employer un ensemble de normes harmonisées applicables pour toutes les machines. Un guide édité par PROFLUID donnant des conseils pratiques pour l'application de cette Directive est disponible. Pour un équipement mécanique, le marquage CE sera de la forme :

CE 0062 Ex II 2 G c T4

0062 : N° de l'organisme notifié II : Groupe d'équipement 2 : catégorie d'équipement
G : gaz (ou D, or G/D) c : method de protection T4 : classe de température
+ Nom et adresse du fabricant
+ Désignation ou type de l'équipement

Chapitre VIII

Environnement réglementaire et normatif

4. Le contact avec l'eau potable

Il n'existe pas à ce jour de réglementation européenne harmonisée sur les produits en contact avec l'eau potable.

En France, de tels produits doivent être conformes à l'arrêté du 29 mai 1997. Les pompes doivent ainsi être titulaires d'une Attestation de Conformité Sanitaire (ACS accessoires), délivrée par l'un des laboratoires habilités par le Ministère de la Santé. Cette attestation prouve que les matériaux employés ne dégraderont pas la qualité de l'eau potable à leur contact.

Des réglementations similaires existent dans d'autres pays européens.

5. Le contact avec les aliments

Les matériaux employés pour les pompes destinées à l'industrie agro-alimentaire doivent répondre au Règlement Européen 1935/2004. Ce règlement s'appuie sur des textes d'application européens ou nationaux, selon les types de matières. A ce jour, il existe un Règlement Européen sur les matières plastiques (10/2011/UE), mais pas encore pour les caoutchoucs, encore régis par la Réglementation française (arrêté du 9 novembre 1994).

Par ailleurs, la conception hygiénique des pompes destinées à être utilisées au contact des aliments (nettoyabilité, prévention des contaminations...) est une exigence de la Directive Machine.

6. La Directive Ecodesign / ErP - Energy related Products (2009/125/UE)

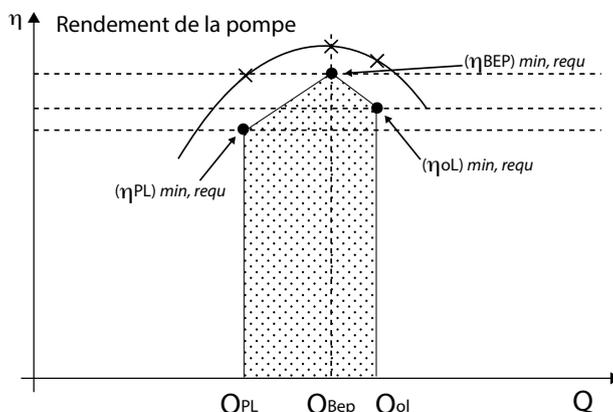
La Directive Européenne Ecodesign / ErP (Energy related Products) 2009/125/CE traduit les objectifs d'efficacité énergétique et de réduction des émissions de CO₂ de la Commission Européenne.

Cette Directive est un cadre réglementaire imposant une méthode d'éco-conception (Ecodesign) aux produits « liés à l'énergie », c'est-à-dire consommateurs ou ayant un impact sur la consommation d'énergie. Chaque catégorie de produit « lié à l'énergie » fait l'objet d'une analyse spécifique menée par la Commission Européenne, généralement en collaboration avec les parties prenantes. A l'issue de ces études, les produits pour lesquels des réductions de consommation énergétique et d'impact environnemental significatifs peuvent être réalisés vont alors être visés par un Règlement d'application. C'est le cas de certaines pompes et de certains moteurs électriques.

Les exigences d'écoconception applicables aux **circulateurs** sont définies par le règlement de la Commission Européenne N° 641/2009 du 22 juillet 2009, qui définit le calcul d'un **indice d'efficacité énergétique (IEE)** prenant en compte le profil de charge du circulateur (relation entre le débit et le temps de fonctionnement du circulateur) et des exigences en matière d'efficacité énergétique.

Les exigences d'écoconception applicables aux **pompes à eau** sont définies par le règlement de la Commission Européenne N° 547/2012 du 25 juin 2012, qui définit le calcul d'un indice de rendement minimal **MEI (Minimum Efficiency Index)** reflétant le rendement hydraulique de la pompe en tenant compte à la fois :

- Du rendement en 3 points le long de la courbe caractéristique. C'est le concept de la « maison du rendement », représenté sur la figure ci-dessous et qui impose que la courbe de rendement de la pompe passe au-dessus de trois seuils : au point nominal BEP (Best Efficiency Point), à un point de sous-débit PL (Part Load) et un point de sur-débit OL (Over Load),
- Du type de pompe (ESOB, ESCC...) et de la vitesse de rotation nominale,
- Du rendement théoriquement atteignable en fonction des caractéristiques hydrauliques de la pompe équipée de sa roue pleine, à son point de fonctionnement optimal.



Les valeurs MEI ont été fixées à partir d'une étude du marché européen des pompes en 2010, financée par EUROPUMP. Elles définissent des seuils en deçà desquels les pompes à eau qui consomment trop d'énergie ne peuvent plus être installées.

Sur le plan pratique, imposer un MEI de 0,10 signifie que l'on écarte du marché les 10% plus « mauvaises » pompes de l'étude de marché de 2010 !

Les groupes motopompes sont eux concernés par le règlement 640/2009 applicable aux moteurs asynchrones triphasés. Les règlements et les exigences concernant ces produits sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	Règlement 641/2009	Règlement 547/2012	Règlement 640/2009
Produits couverts	Circulateurs à rotor noyés pour le chauffage et la climatisation	Pompes à eau claire	Moteurs asynchrones triphasés
Pincipales exigences	Indice d'efficacité énergétique : EEI \leq 0.23 depuis le 1 ^{er} août 2015	Indice d'efficacité minimum : MEI \geq 0.40 depuis le 1 ^{er} janvier 2015	Indice d'efficacité : Minimum (IE3) ou (IE2 + variateur de vitesse) , pour les moteurs de 0,75 à 375 kW, depuis le 1 ^{er} janvier 2017

7. La Directive 2012/27/UE sur l'efficacité énergétique

Cette Directive impose aux Etats membres de l'Union Européenne de mettre en place un certain nombre de mesures en faveur de l'efficacité énergétique à tous les niveaux. Parmi ces mesures, les grandes entreprises doivent réaliser des audits énergétiques réguliers ou obtenir une certification ISO 50001.

La réalisation d'audit énergétique est particulièrement pertinente au niveau des systèmes de pompes. Pour permettre la réalisation d'audits fiables, EUROUMP a proposé en 2009 la rédaction d'une norme internationale sur la base de la norme américaine ASME-EA -2-2009 « Energy Assessment for Pumping Systems », dans une **approche système** qui ne s'intéresse pas seulement à la pompe ou au groupe de pompe, mais au système de pompage dans sa globalité.

C'est ainsi qu'a été publiée en juin 2015 la norme d'application volontaire **NF EN ISO/ASME 14414 « Evaluation énergétique des systèmes de pompage »**.

Avantages de l'ISO 14414 sur l'ISO 50001

Alors que dans un cadre généraliste, il est possible légalement de réaliser un audit énergétique en appliquant la norme ISO 50001 « Management de l'énergie », la norme NF EN ISO/ASME 14414 « Evaluation énergétique des systèmes de pompage » propose une approche plus « technique » pour déterminer la consommation d'énergie d'un système existant et identifier les pistes pour augmenter le rendement du système.

L'ISO/ASME 14414 pose les exigences de réalisation et de compte-rendu d'une évaluation de l'énergie d'un système de pompage qui considère l'ensemble de l'installation de pompage depuis les points d'introduction de l'énergie dans l'installation jusqu'au travail fourni par l'installation à l'aide de cette énergie.

Elle est conçue pour être appliquée aux systèmes de pompage en boucle ouverte et en boucle fermée, utilisés dans des installations industrielles, institutionnelles, commerciales et municipales, lorsque c'est demandé.

Elle met la priorité sur l'évaluation des systèmes de pompage entraînés par moteurs électriques, qui sont majoritaires dans les installations. Elle est toutefois applicable à d'autres types d'entraînements, par exemple turbines à vapeur et moteurs thermiques, et entraînements tels que les dispositifs à courroie.

Elle propose dans ses annexes, des recommandations de pratiques reconnues pour optimiser l'efficacité énergétique des systèmes de pompage, illustrées par des exemples concrets d'application.

Pour les pompes autres que les circulateurs et les pompes à eau, le potentiel d'économies apporté par l'approche système a été évalué par EUROUMP à presque 40 %.

Chapitre VIII

Environnement réglementaire et normatif

B. L'approche produit étendu

Comme indiqué dans les paragraphes A.6 et A.7, un contexte réglementaire s'est mis en place récemment pour favoriser les économies d'énergie.

En ce qui concerne les pompes, la mise en place de ces réglementations n'aurait pas pu se faire sans l'implication d'EUROPUMP, qui a toujours été l'interlocuteur privilégié de la Commission Européenne.

EUROPUMP a notamment fourni en juin 2006 à la Commission Européenne une évaluation de la consommation des pompes en EUROPE - reprise dans le rapport du consultant AEA Technology en support à la Directive EuP (Energy using Products) 2005/32/CE - et a également proposé différentes démarches pour réduire la consommation des pompes.

Ces éléments sont résumés dans le tableau suivant :

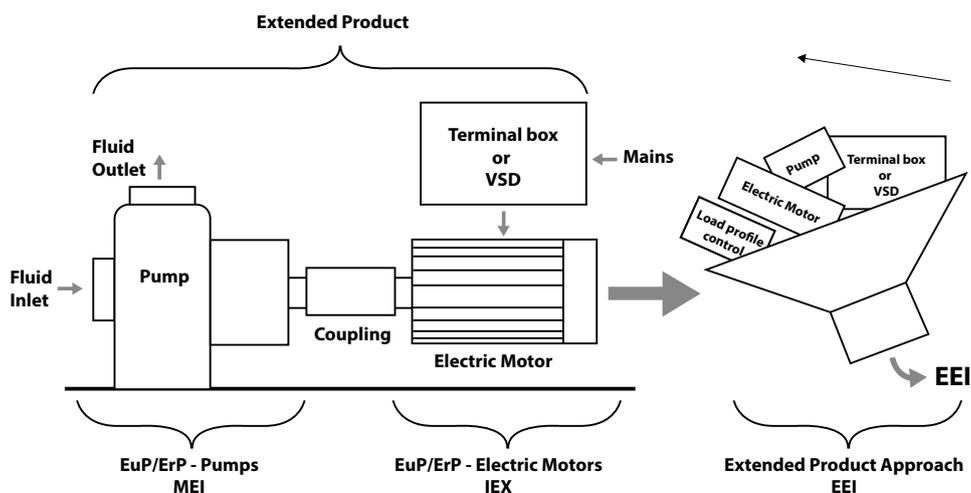
	Consommation totale d'énergie (TWh)	Economies d'énergie potentielles (TWh)		
		Approche produit	Approche produit étendu	Approche système
Circulateurs indépendants	29	13		-
Circulateurs intégrés	24	11		-
Pompes à eau	137	5	35	18
Autres pompes	110	-	-	41
Totaux	300	5	59 (*)	59

(*) Les circulateurs sont considérés comme un produit pour la législation, mais sont techniquement un « produit étendu » puisqu'ils intègrent une pompe, un moteur et un système de contrôle-commande.

Les Règlements Ecodesign présentés au paragraphe A.6 sont à ce jour basés sur ce que l'on appelle une **approche produit**.

EUROPUMP poursuit ses travaux pour améliorer l'efficacité énergétique des groupes de pompage dans le cadre d'une approche **produit étendu**.

L'**approche produit étendu** – **Extended Product Approach (EPA)** en anglais – est une méthodologie prenant en compte des profils de charge et une logique de commande, permettant de calculer l'indice d'efficacité énergétique (EEI) d'un produit étendu (EP) constitué d'une pompe, d'un moteur d'entraînement et d'un système de contrôle/commande, qui peut être un variateur de fréquence.



Cette démarche s'apparente à celle retenue pour les circulateurs utilisés dans les systèmes de chauffage ou de climatisation, mais qui sont considérés comme un « produit » unique, fourni par un fabricant.

Dans les groupes de pompage d'une certaine taille, la pompe, le moteur et le variateur peuvent être fournis par des fabricants différents. L'objectif est alors de déterminer, à partir des indices d'efficacité énergétique de chaque élément, l'indice d'efficacité énergétique du « produit étendu ».

Les normes de calcul de cet indice, (Série de normes NF EN 17038-1, -2, -3, -4 en cours de rédaction), s'appuient sur un modèle semi-analytique basé à la fois sur des calculs mathématiques et des essais.

La méthodologie de calcul considère les systèmes à débits constants et les systèmes à débit variable, et s'attache aussi bien aux groupes de pompage constitués d'une seule pompe qu'aux stations de pompage équipées de plusieurs pompes.

Les travaux font l'objet d'une collaboration entre les fabricants de pompes, de moteurs et de variateurs de fréquence et entre des comités CEN et CENELEC.

C. La norme

La norme est une **donnée de référence** résultant d'un **choix collectif et raisonné** en vue de **servir de base** pour la solution de **problèmes répétitifs** (Réf. Encyclopédie Universelle).

Les pompes sont des produits hautement normalisés, ce qui permet :

- De rationaliser la production,
- D'accroître la technicité et la compétitivité,
- De faciliter le dialogue entre partenaires,
- D'assurer la promotion des produits (au moyen de la certification par exemple),
- De standardiser les interfaces.

D'une manière générale, l'application d'une norme est volontaire, par contre son application peut être rendue obligatoire par les pouvoirs publics dans certains cas comme notamment les domaines liés à la sécurité et les conditions liées aux marchés publics.

Toutefois, dans la plupart des cas, la conformité à une norme présente l'avantage d'assurer à l'acheteur le choix de produits sûrs et de qualité.

1. La certification du produit

La certification permet de démontrer la qualité d'un produit.

Un organisme tiers compétent, impartial et accrédité en France par le COFRAC (COmité FRançais d'Accréditation) délivre un certificat de conformité. Grâce aux accords multilatéraux (Multilateral agreements) dont le COFRAC est signataire, une accréditation obtenue en France peut être reconnue en Europe et dans le monde.

La certification se base sur des normes de référence ou un référentiel.

Le fabricant doit avoir mis en place une organisation de la qualité permettant d'assurer le respect des conditions figurant sur le référentiel. Des contrôles peuvent être exercés par un organisme tiers.

2. Le système de normalisation française

L'AFNOR (Association Française de NORmalisation) en est l'animateur et le coordinateur. L'AFNOR est membre du CEN (Comité Européen de Normalisation) et de l'ISO (Organisation Internationale de Normalisation).

L'UNM (Union de Normalisation de la Mécanique) assure, par délégation de l'AFNOR, l'aide aux professions pour définir leur stratégie normative aux niveaux national, européen et international. Ce sont les membres de la Commission UNM 27 « Pompes » - issus aussi bien des fabricants de pompes que des utilisateurs - qui élaborent les projets de normes françaises concernant les pompes, et qui représentent la France dans les Commissions Européennes et Internationales.

Axée jusqu'à la fin des années 80 sur la normalisation nationale, l'activité normative portée par la profession (PROFLUID) s'est fondée sur :

- Le savoir-faire des fabricants et le retour d'expérience des utilisateurs,
- De nombreuses études réalisées par le CETIM à l'initiative de PROFLUID.

Cela a abouti à l'élaboration de normes françaises impliquant un niveau de qualité élevé des produits.

3. Normalisation européenne (EN) et internationale (ISO)

La réalisation du marché unique européen a suscité un fort intérêt et un développement de la normalisation ; l'activité très soutenue de normalisation européenne s'est substituée à la normalisation française.

La Commission Européenne a mis en oeuvre en 1985 le principe de « La Nouvelle Approche » qui s'appuie sur la démarche suivante :

- Elaboration de « directives nouvelle approche », qui s'accompagnent d'un mandat de normalisation délivré au CEN par la Commission Européenne. Ces directives énoncent des exigences essentielles auxquelles les produits doivent obligatoirement satisfaire pour être mis sur le marché européen.

Chapitre VIII

Environnement réglementaire et normatif

- Elaboration de « normes harmonisées », dans le cadre du mandat délivré par la Commission Européenne. Un produit démontré conforme à une norme harmonisée, est automatiquement réputé conforme aux exigences essentielles de la directive à laquelle la norme harmonisée fait référence. Les normes harmonisées sont citées au JOUE (Journal Officiel de l'Union Européenne), qui indique à quelle directive chaque norme permet de se conformer.
- Les normes restent généralement d'application volontaire.
- Le marquage CE atteste du respect des exigences essentielles, de leur contrôle et assure la libre circulation des produits sur le marché européen.

Malgré l'effort demandé pour le suivi de la normalisation européenne, les constructeurs de pompes français ont continué à s'impliquer dans la normalisation internationale, compte tenu de la mondialisation du marché des pompes. En conséquence, de nouvelles normes ISO sur la terminologie, les essais de pompes rotodynamiques, et l'évaluation énergétique des systèmes de pompage ont été mises à jour et publiées.

Cette volonté de la France de continuer à s'impliquer dans la normalisation européenne et internationale, se traduit par le fait que la France détienne depuis de nombreuses années à la fois le secrétariat et la présidence du **Comité de Normalisation Européen CEN TC197 « Pompes »** et du **Comité International ISO/TC 115 « Pompes »**. Les secrétariats de ces comités de normalisation sont assurés par l'UNM et financés par PROFLUID.

D. Principales normes applicables aux pompes

Les principales normes applicables aux pompes sont présentées dans le tableau figurant à la fin de ce paragraphe.

Ce tableau regroupe les normes françaises, européennes, internationales – disponibles sur le site de l'AFNOR <https://www.boutique.afnor.org/normes> - et un certain nombre de normes américaines. Le lecteur pourra retrouver l'intégralité des normes ANSI/HI sur le site internet de l'Hydraulic Institute http://www.pumps.org/Standards_and_Guidebooks.aspx).

A titre d'information, les références des normes relatives aux brides (PN et Class), ainsi que celles relatives aux machines électriques tournantes et à la maintenance, ont également été ajoutées dans le tableau.

1. Normes CEN et fascicules de documentation FD/TR européens

Ce sont les normes auxquelles il faut avant tout se référer pour la mise sur le marché européen d'une pompe. Produites par le Comité Européen de Normalisation, elles sont reconnaissables à leur préfixe EN. Elles sont obligatoirement reprises à l'identique dans les collections des membres nationaux du CEN, qui les diffusent en tant que normes nationales. L'AFNOR publie les normes européennes en France sous la référence NF EN XXXXX. Un certain nombre de normes européennes sont harmonisées pour répondre à une Directive (symbole H dans le tableau).

2. Normes ISO et fascicules de documentation FD/TR internationaux

Les normes internationales existaient bien avant les normes européennes. C'est ainsi que pour éviter la duplication des travaux de normalisation, un grand nombre de normes internationales ISO ont été reprises en normes européennes ou françaises (ou parfois l'inverse). Pour celles reprises en normes européennes, le sigle EN se rajoute au sigle ISO. Si elles sont reprises en normes françaises, le sigle NF se rajoute au sigle ISO.

3. Normes NF et fascicules de documentation FD français

Les normes notées seulement NF ne sont reconnues officiellement qu'en France. Ce sont des normes que les membres de la Commission UNM 27 « Pompes » ont souhaité conserver, parce qu'elles :

- Ne font pas double usage avec d'autres normes européennes,
- Contiennent un savoir faire pouvant être utile, aussi bien aux constructeurs qu'aux utilisateurs de pompes.

4. Normes américaines

Depuis sa création en 1918, l'American National Standards Institute (ANSI) coordonne le développement des normes aux USA et représente les vues et les intérêts des parties prenantes américaines dans les enceintes de normalisation du monde entier. L'ANSI est le comité membre de l'ISO pour les USA. Cet institut ne rédige pas de normes ; il accrédite les normalisateurs tels que :

- L'American Society of Mechanical Engineers (**ASME**) pour les normes de la mécanique,
- L'American Petroleum Institute (**API**) qui traite des nombreux aspects essentiels du secteur pétrolier et gazier.
- L'Hydraulic Institute (**HI**) pour les normes de l'industrie des pompes.

Type de norme	Description	NF	EN	ISO	Normes américaines
Terminologie	Classification	NF E 44-001			
	Coupes et nomenclature	NF E 44-002			
	Documents techniques		EN 12262		
	Termes relatifs aux pompes			EN ISO 17769-1	
	Termes relatifs aux systèmes de pompage			EN ISO 17769-2	
Spécifications techniques et conception	Spécifications pompes centrifuges Classe 1			EN ISO 9905	
	Spécifications pompes centrifuges Classe 2			EN ISO 5199	
	Spécifications pompes centrifuges Classe 3			EN ISO 9908	
	Pompes centrifuges "normalisées" PN 10		EN 733		
	Pompes centrifuges "normalisées" PN 16			EN ISO 2858	
	Pompes à canal latéral "normalisées" PN40		EN 734		
	Pompes rotodynamiques - dimensions - tolérances		EN 735		
	Pompes sans étanchéité d'arbre			EN ISO 15783	API 685
	Pompes centrifuges pour liquides visqueux			FD ISO/TR 17766	
	Pompes centrifuges horizontales, aspiration en bout / Chimie				ASME B73.1
	Pompes centrifuges verticales, en ligne / Chimie				ASME B73.2
	Pompes centrifuges pour pétrole, pétrochimie, gaz naturel			EN ISO 13709	API 610
	Forces et moment applicables aux brides		FD CEN/TR 13931		
	Conditions techniques / fourniture de pièces moulées en acier	NF E 44-155			
	Conditions techniques / fourniture de pièces moulées en fonte	NF E 44-156			
	Conditions techniques / fourniture de pièces moulées en alliage de cuivre	NF E 44-157			
	Dimension des garnitures mécaniques		EN 12756		
	Dispositifs d'étanchéité d'arbre pour pétrole, pétrochimie, gaz naturel			EN ISO 21049	API 682
	Dimension des logements de garnitures			ISO 3069	
	Dimensions de montage et démontage de l'accouplement	NF E 44-221			
	Pompes volumétriques à mouvement rotatif / Pétrole et gaz			EN ISO 14847	API 676
	Pompes volumétriques à mouvement alternatif / Pétrole et gaz			EN ISO 16330	API 674
	Pompes volumétriques alternatives pour pétrole, pétrochimie, gaz naturel			EN ISO 13710	API 675
	Pompes à réfrigérant pour machines outils		EN 12157		
Rotodynamic Pumps Guideline for NPSH Margin				ANSI/HI 9.6.1	
Sécurité / Hygiène	Prescriptions communes de sécurité		EN 809	H	
	Pompes "domestiques"		EN 60335-2-41	H	
	Circulateurs "domestiques"		EN 60335-2-51	H	
	Pompes submersibles	FD E44-094			
	Pompes pour agro-alimentaire		EN 13951	H	
	Machines à jet d'eau haute pression - Prescriptions de sécurité		EN 1829-1	H	

Chapitre VIII

Environnement réglementaire et normatif

Type de norme	Description	NF	EN	ISO	Normes américaines
Efficacité énergétique	Audit énergétique des systèmes de pompage			EN ISO 14414	
	Efficacité énergétique des pompes à eau (MEI)		EN 16480	H	
	Circulateurs / Exigences générales / Index Efficacité Energétique		EN 16297-1	H	
	Calcul IEE pour les circulateurs indépendants		EN 16297-2	H	
	Calcul IEE pour les circulateurs intégrés		EN 16297-3	H	
Installation	Montage et installation pompe / machine d'entraînement / accouplement	FD E 44-190			
	Pompes rotodynamiques / Conception des ouvrages d'aspiration et installation		FD CEN/TR 13930		ANSI/HI 9.8
	Pompes rotodynamiques / Recommandations pour le raccordement des tuyauteries		FD CEN/TR 13932		
	Specifications for Pumping Units / Petroleum and gas industries				API 11E
	Pompes centrifuges à aspiration en bout / Dimension socles et installation			EN ISO 3661	
	Circulateurs / Recommandations pour installation, mise en service, entretien	FD P 52-102			
Essais	Essais de réception industrielle pompes rotodynamiques			EN ISO 9906	ANSI/HI 14.6
	Essais de laboratoire pompes rotodynamiques			EN ISO 5198	
	Essais de garantie / groupes de pompage avec variateur		EN 12483		
	Essais de réception / pompes volumétriques rotatives		EN 14343		
	Essais hydrostatiques tout type de pompes		EN 12162	H	
	Code d'essai acoustique circulateurs		EN 16644		
	Code d'essai acoustique pompes et groupes de pompage			H	EN ISO 20361
	Rotodynamic Submersible Pump Tests				ANSI/HI 11.6
	Reciprocating Pump Tests				ANSI/HI 6.6
	Controlled-Volume Metering Pumps for Test				ANSI/HI 7.6
	Rotary Pump Tests				ANSI/HI 3.6
	Pompes à vendanges - Méthodes d'essais				ISO 7224
Vibrations	Vibrations mécaniques acceptables / pompes rotodynamiques	NF E 44-165			
	Mesurages / Machines industrielles de puissance > à 15 kW			ISO 10816-3	
	Mesurages / Pompes rotodynamiques industrielles			ISO 10816-7	
	Pulsations et vibrations /pompes volumétriques / Pétrole et gaz				API RP 688
	Vibration Measurements and Allowable Values				ANSI/HI 9.6.4
Brides	Brides en acier désignées PN		EN 1092-1		
	Brides en fonte désignées PN		EN 1092-2		
	Brides en cuivre désignées PN		EN 1092.3		
	Brides en aluminium désignées PN		EN 1092-4		
	Brides en acier NPS 1/2 à 24 désignées Class		EN 1759-1		
	Brides en cuivre désignées Class		EN 1759-3		
	Brides en aluminium désignées Class		EN 1759-4		

Type de norme	Description	NF	EN	ISO	Normes américaines
Machines électriques tournantes	Méthodes normalisées pour la détermination du rendement à partir d'essais		EN 60034-2-1	CEI 60034-2-1	
	Complément à la NF EN 60034-2-1		EN 60034-2-2	CEI 60034-2-2	
	Classes de rendement pour les moteurs à courant alternatif alimentés par le réseau (code IE)		EN 60034-30-1	CEI 60034-30-1	
	Efficiency classes of variable speed AC motors (IE-code)			CEI/TS 60034-30-2	
Maintenance	Terminologie		EN 13306		

Chapitre IX

DN,
vues en coupe,
lexique

Chapitre IX

DN, vues en coupe, lexique

A. Correspondance entre DN (diamètre nominal) et dénomination en pouces (inches)

Selon la norme NF EN ISO 6708 : 1995 « Composants de réseau de tuyauteries — Définition et sélection des DN (diamètre nominal) », le diamètre nominal d'un composant d'un réseau de tuyauteries est indiqué par les lettres DN suivies d'un nombre entier sans dimension correspondant approximativement au diamètre intérieur en millimètres.

Si les brides « européennes » citées dans la série des normes NF EN 1092 parties 1 à 4, sont référencées par rapport au DN, les brides d'origine américaine dites « brides désignées Class » citées dans la série des normes NF EN 1759 parties 1 à 4 sont référencées par rapport à une dénomination en pouces (inches).

Le tableau ci-dessous donne la correspondance entre les références en DN et en pouces.

Diamètre nominal	Dénomination en pouces
DN 6 (1)	1/8 "
DN 8 (1)	1/4 "
DN 10	3/8 "
DN 15	1/2 "
DN 20	3/4 "
DN 25	1 "
DN 32	1 ¼ "
DN 40	1 ½ "
DN 50	2 "
DN 60 (1)	2 ¼ "
DN 65	2 ½ "
DN 80	3 "
DN 90 (1)	3 ½ "
DN 100	4 "
DN 125	5 "
DN 150	6 "
DN 175 (1)	7 "
DN 200	8 "
DN 225 (1)	9 "
DN 250	10 "
DN 300	12 "
DN 350	14 "
DN 400	16 "
DN 450	18 "
DN 500	20 "

(1) valeurs de DN peu utilisées.

B. Exemples de vues en coupe

Quelques exemples de vues en coupe de pompes sont présentées dans les fiches des pages suivantes, listées ci-dessous.

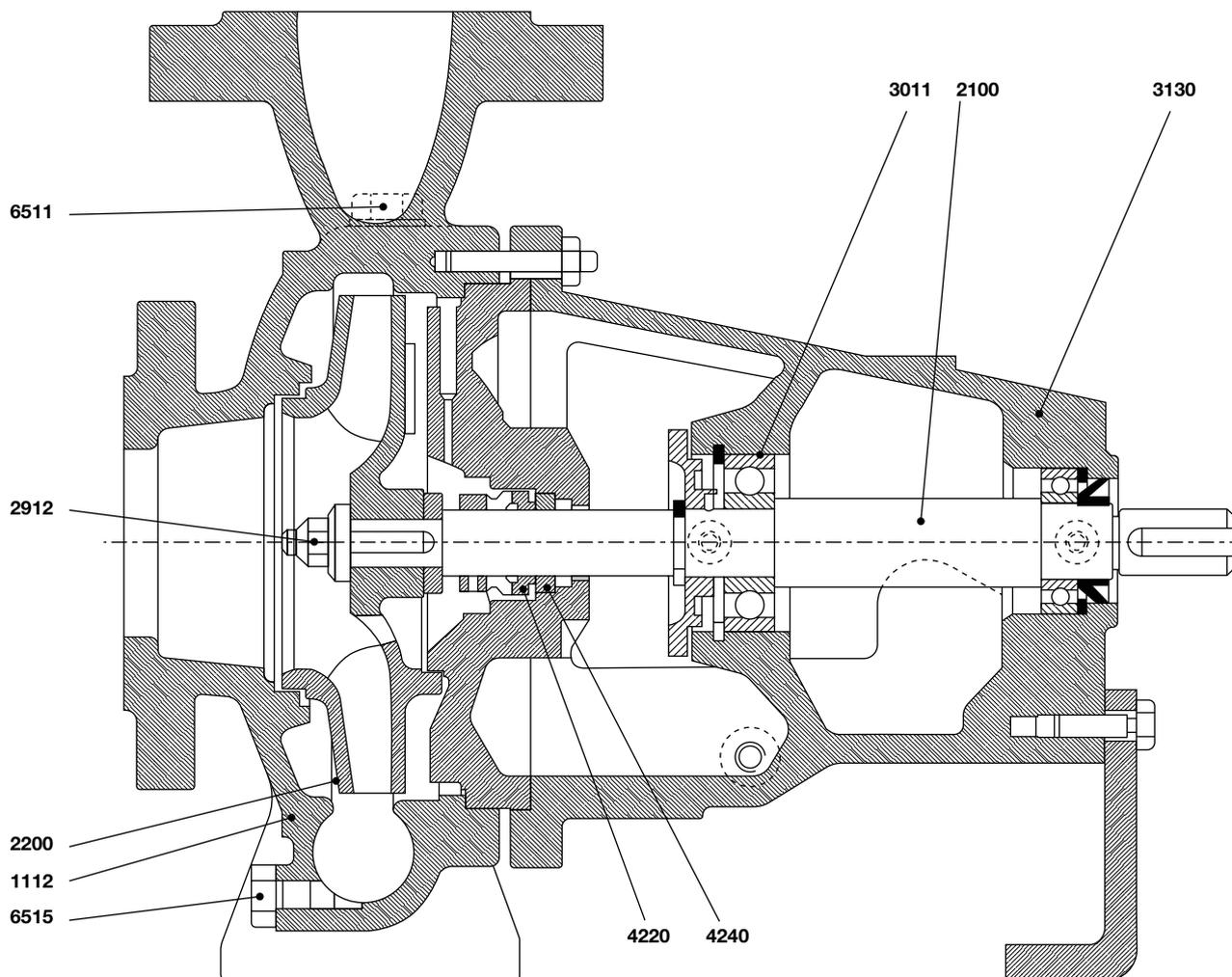
Ces vues sont inspirées d'un document qu'EUROPUMP a distribué à ses membres sous forme de CD en janvier 2011. Le repérage utilisé pour les composants était à l'origine utilisé dans des normes DIN. Celui-ci n'a aucun caractère obligatoire, et chaque constructeur peut utiliser sa propre nomenclature.

Fiche n°	Désignation
1	Pompe centrifuge monocellulaire à aspiration en bout
2	Pompe à plan de joint axial à un étage et double entrée
3	Pompe multi-étages
4	Pompe verticale hélico-centrifuge
5	Pompe monocellulaire submersible résistant au colmatage
6	Pompe à piston
7	Pompe à diaphragme
8	Pompe à vis
9	Pompe à cavité progressive
10	Pompe péristaltique

Chapitre IX

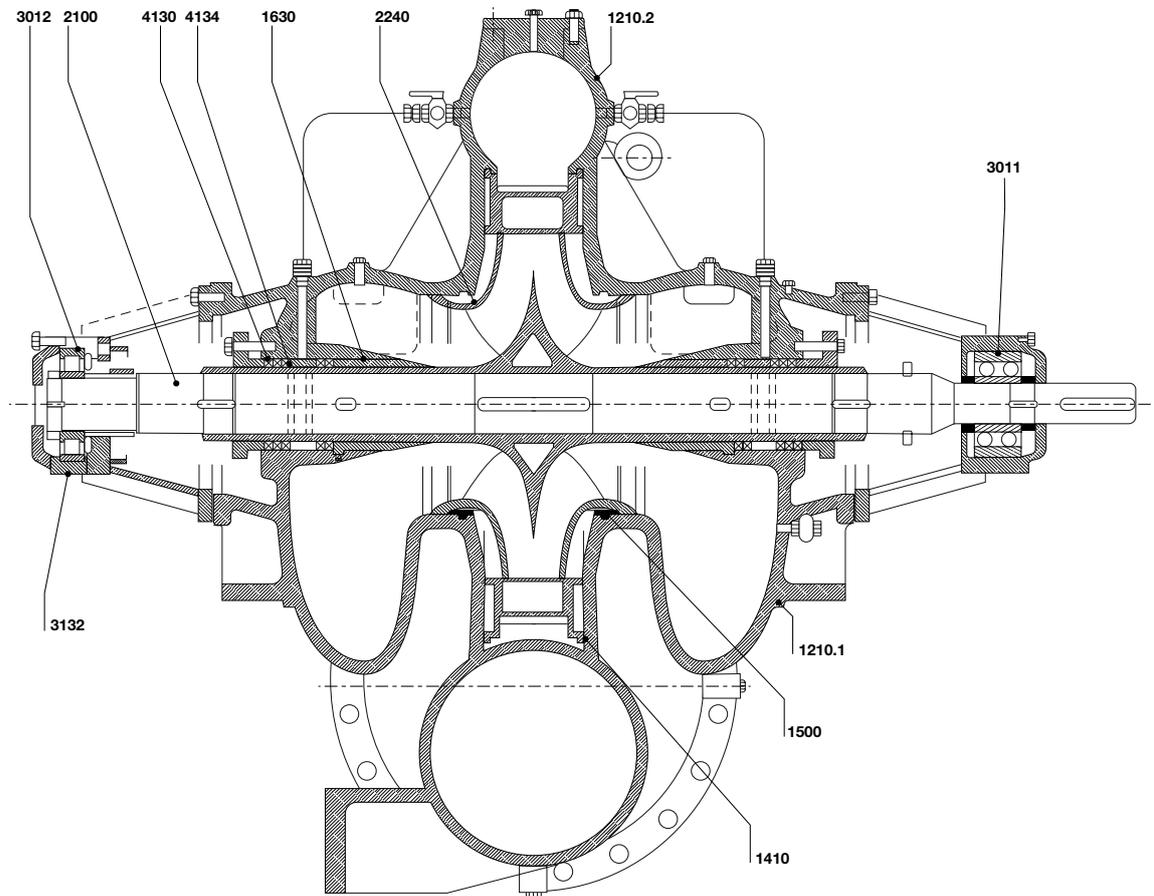
DN, vues en coupe, lexique

Fiche 1 - Pompe centrifuge monocellulaire à aspiration en bout



Repère	Composant
1112	Volute
2100	Arbre
2200	Roue
2912	Ecrou de blocage de roue
3011	Roulement à bille
3130	Corps de palier
4220	Grain mobile garniture mécanique
4240	Grain fixe garniture mécanique
6511	Bouchon de remplissage
6515	Bouchon de vidange

Fiche 2 - Pompe à plan de joint axial à un étage et double entrée

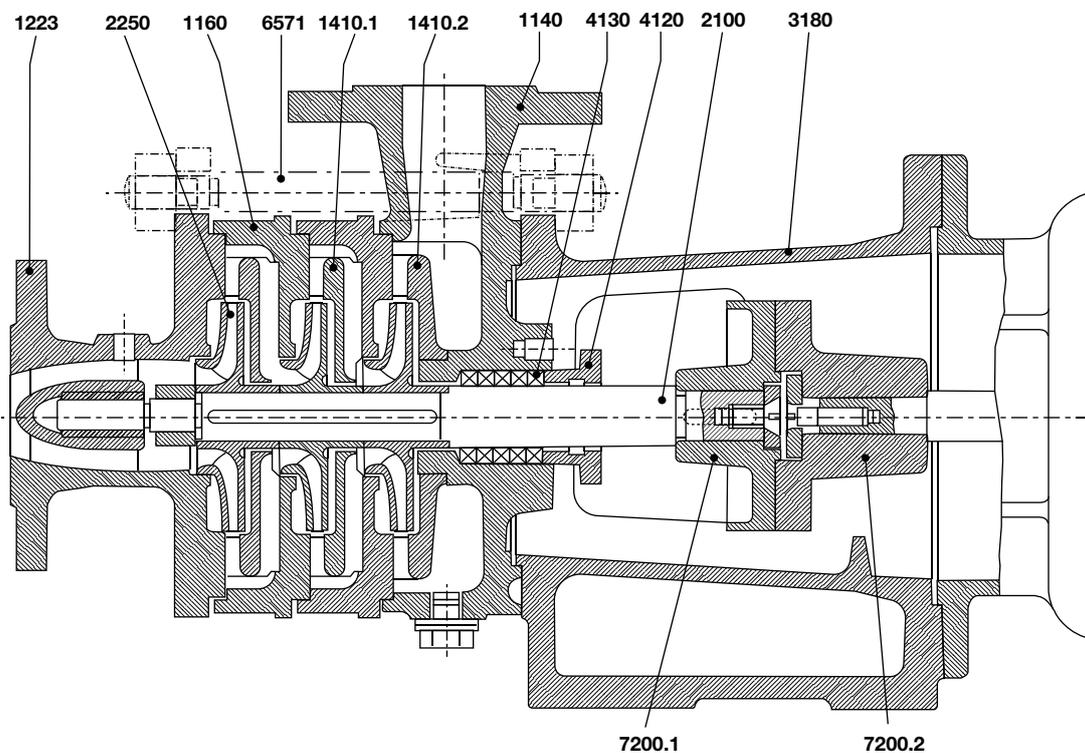


Repère	Composant
1210.1	Demi-corps inférieur
1210.2	Demi-corps supérieur
1410	Diffuseur
1500	Bague d'usure
1630	Douille de laminage
2100	Arbre
2240	Roue à double entrée
3011	Roulement à bille
3012	Roulement à rouleaux
3132	Lanterne-palier
4130	Garniture de presse étoupe
4134	Bague lanterne

Chapitre IX

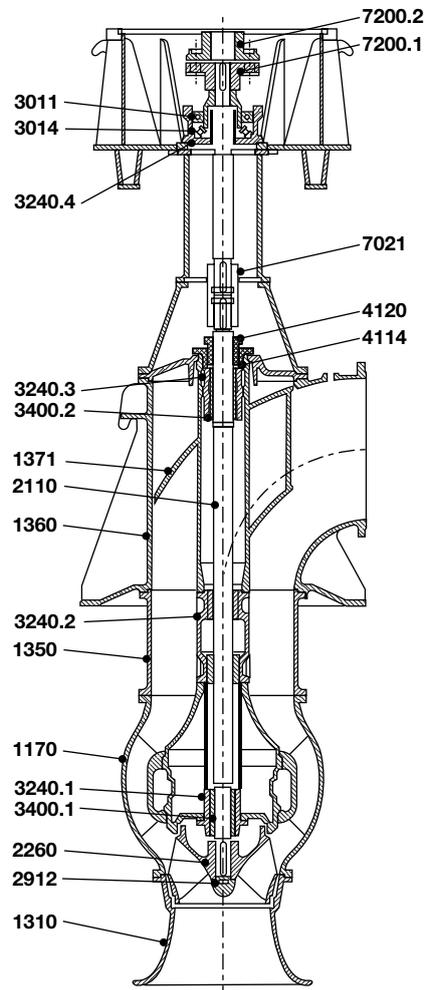
DN, vues en coupe, lexique

Fiche 3 - Pompe multi-étages



Repère	Composant
1140	Corps de refoulement
1160	Corps d'étage avec canal de retour
1223	Pièce d'aspiration
1410	Diffuseur
2100	Arbre
2250	Roue radiale
3180	Lanterne-support
4120	Fouloir
4130	Garniture de presse étoupe
6571	Tirant d'assemblage
7200	Demi-accouplement

Fiche 4 - Pompe verticale hélico-centrifuge

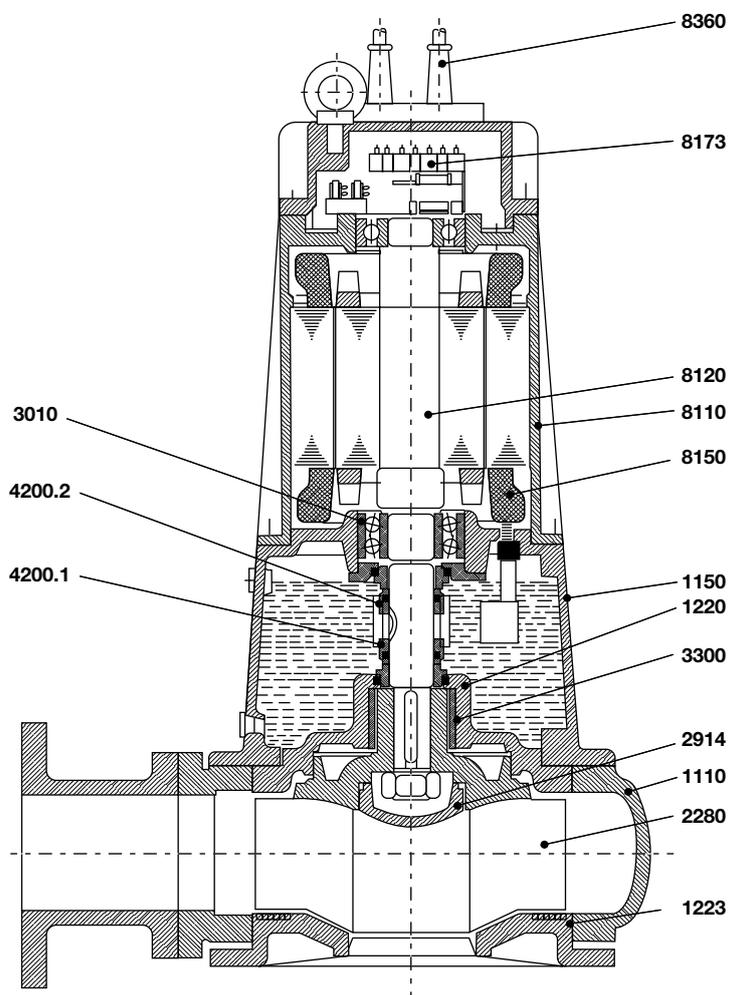


Repère	Composant
1170	Corps redresseur
1310	Tulipe d'aspiration
1350	Tube de colonne montante
1360	Tube de suspension
1371	Coude de refoulement
2110	Arbre de pompe
2260	Roue hélico-centrifuge
2912	Ecrou de blocage de roue
3011	Roulement à billes
3014	Butée à rouleaux
3240	Porte-coussinet
3400	Chemise d'arbre du palier
4114	Fourreau porte tresses
4120	Fouloir
7021	Accouplement intermédiaire
7200	Demi-accouplement

Chapitre IX

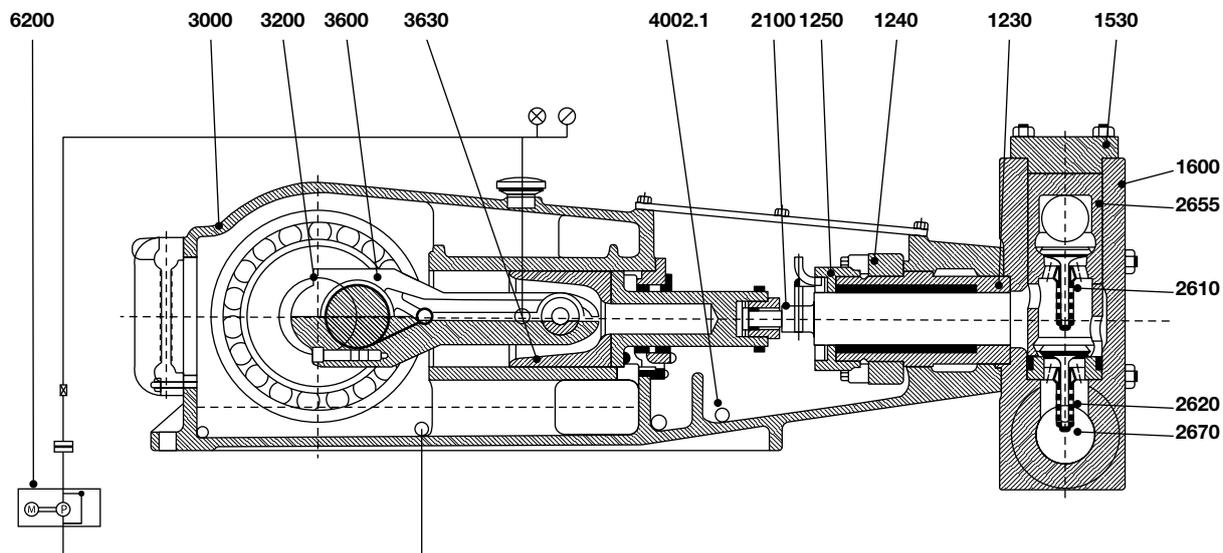
DN, vues en coupe, lexique

Fiche 5 - Pompe monocellulaire submersible résistant au colmatage



Repère	Composant
1110	Corps de pompe
1150	Corps d'étage
1220	Couvercle
1223	Pièces d'aspiration
2280	Roue anti colmatage
2914	Ogive de roue
3010	Roulement
3300	Coussinet
4200.1	Garniture mécanique inférieure
4200.2	Garniture mécanique supérieure
8110	Carcasse de moteur
8150	Bobinage
8173	Boite à bornes
8360	Câble
8120	Arbre moteur

Fiche 6 – Pompe à piston

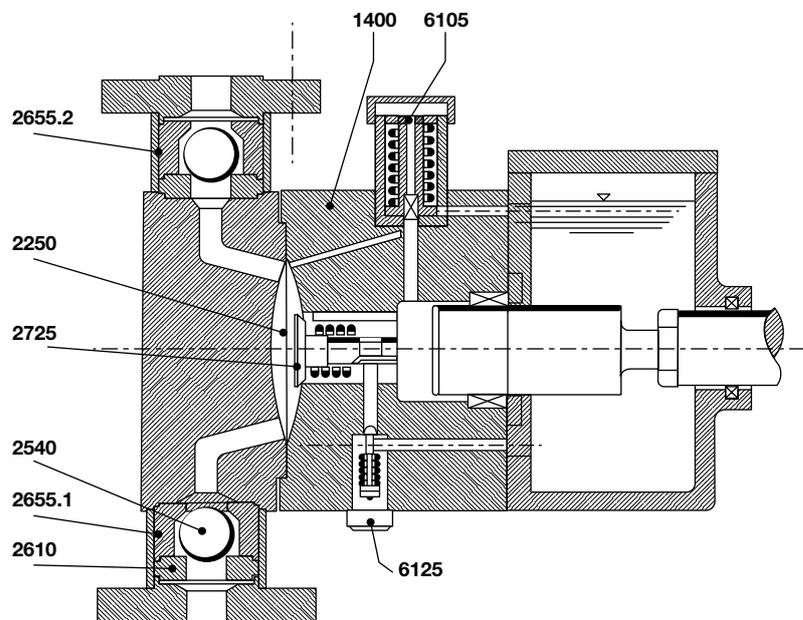


Repère	Composant
1230	Corps de boîte de garniture
1240	Bride de boîte à garniture
1250	Ecrou de serrage de bague fouloir
1530	Couvercle de clapet
1600	Corps de clapet
2100	Piston plongeur
2610	Siège de clapet
2620	Ressort de clapet
2655	Cage de clapet
2670	Butée de clapet
3000	Bâti
3200	Villebrequin
3600	Bielle
3630	Coulisseau
4002	Garniture de PE sur la tige de piston
6200	Pompe à huile de lubrification

Chapitre IX

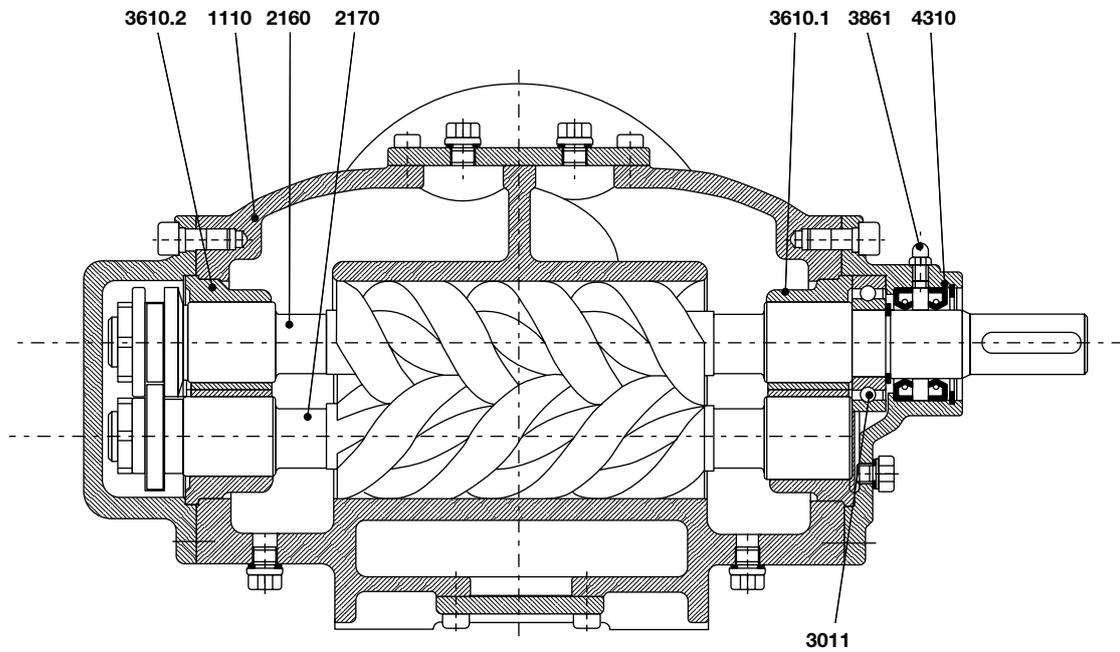
DN, vues en coupe, lexique

Fiche 7 – Pompe à diaphragme



Repère	Composant
1400	Corps à membrane
2250	Membrane
2540	Clapet-bille
2610	Siège de clapet
2655	Cage de clapet
2725	Poussoir de clapet
6105	Soupape
6125	Reniflar

Fiche 8 – Pompe à vis

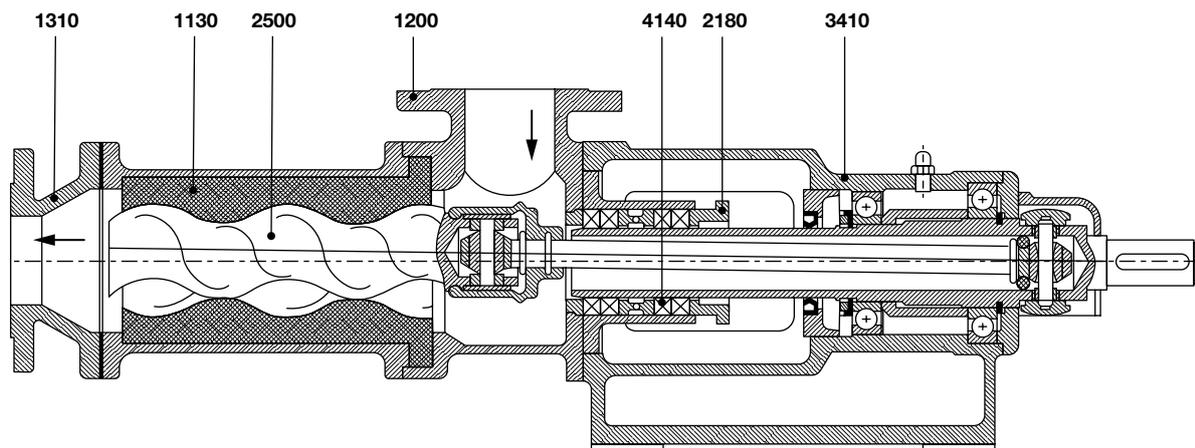


Repère	Composant
1110	Corps de pompe
2160	Vis de commande
2170	Vis commandée
3011	Roulement à billes
3610	Coussinet
3861	Graisser
4310	Bague d'étanchéité

Chapitre IX

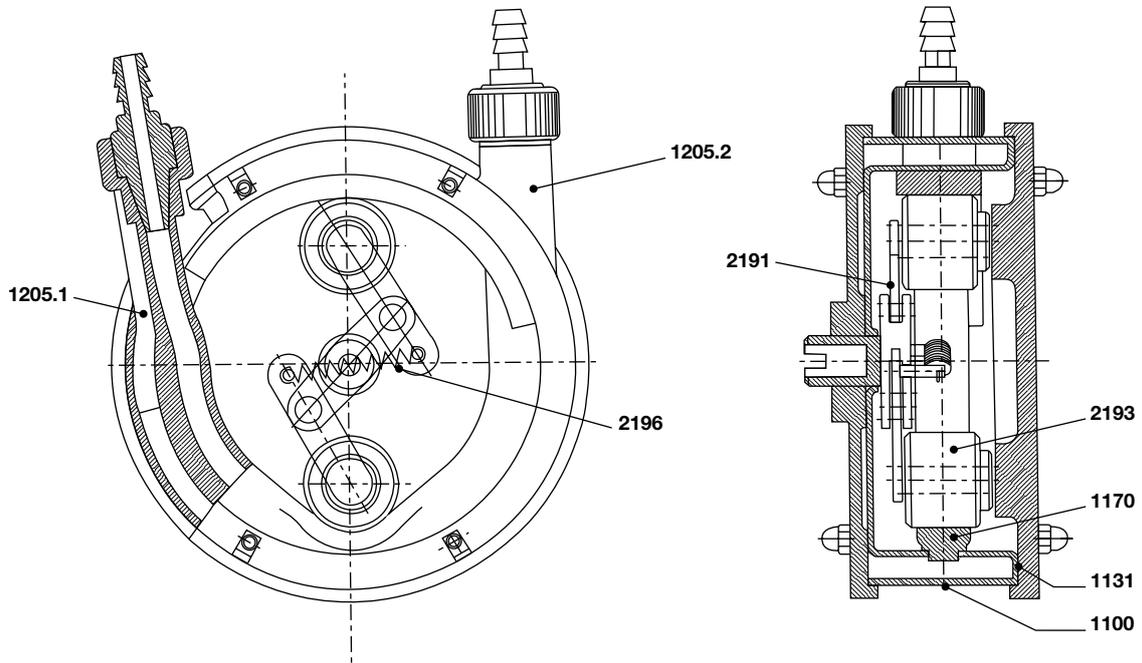
DN, vues en coupe, lexique

Fiche 9 – Pompe à cavité progressive



Repère	Composant
1130	Stator
1200	Corps d'aspiration
1310	Pièce de refoulement
2180	Arbre articulé
2500	Vis excentrée
3410	Palier support
4140	Garniture de presse-étoupe

Fiche 10 - Pompe péristaltique



Repère	Composant
1100	Corps
1131	Support du tube flexible
1170	Tube flexible
1205	Support de tube
2191	Bras support de galet
2193	Galet
2196	Ressort de pression

Chapitre IX

DN, vues en coupe, lexique

C. Lexique

Pompes rotodynamiques

Repère	Français	Anglais	Fiche
1110	Corps de pompe	Pump casing	5
1112	Volute	Volute casing	1
1140	Corps de refoulement	Discharge casing	3
1150	Corps d'étage	Stage casing	5
1160	Corps d'étage avec canal de retour	Stage casing with return vanes	3
1170	Corps redresseur	Pump bowl with guide vanes	4
1210	Demi-corps	Casing half	2
1220	Couvercle	Cover	5
1223	Pièce d'aspiration	Suction cover	3, 5
1310	Tulipe d'aspiration	Suction bell	4
1350	Tube de colonne montante	Rising main column pipe	4
1360	Tube de suspension	Discharge suspension tube	4
1371	Coude de refoulement	Discharge elbow	4
1410	Diffuseur	Diffuser	2, 3
1500	Bague d'usure	Casing wear ring	2
1630	Douille de laminage	Pressure reducing bushing	2
2100 / 2110	Arbre / de pompe	Pump / shaft	1, 2, 3, 4, 5
2200	Roue	Impeller	1
2240	Roue à double entrée	Double suction impeller	2
2250	Roue radiale	Radial flow impeller	3
2260	Roue hélico-centrifuge	Mixed flow impeller	4
2280	Roue anti colmatage	Non-clogging impeller	5
2912	Ecrou de blocage de roue	Impeller nut	1, 4
2914	Ogive de roue	Impeller hub cap	5
3010 / 3011	Roulement / à billes	Radial ball / bearing	1, 2, 4, 5
3012	Roulement à rouleaux	Radial roller bearing	2, 3
3014	Butée à rouleaux	Thrust roller bearing	4
3130	Corps de palier	Bearing housing	1
3132	Lanterne-palier	Bearing bracket lantern	2, 3
3180	Lanterne-support	Foot-mounted lantern bracket	3
3240	Porte-coussinet	Bearing carrier	4
3300	Coussinet	Bearing bushing	5
3400	Chemise d'arbre du palier	Bearing sleeve	4
4114	Fourreau porte tresses	Stuffing box insert	4
4120	Fouloir	Stuffing box gland	3, 4
4130	Garniture de presse étoupe	Gland packing	2, 3
4134	Lanterne d'arrosage	Seal cage	2
4200	Garniture mécanique	Mechanical seal	5
4220	Grain mobile garniture mécanique	Rotating element of mech. seal	1
4240	Grain fixe garniture mécanique	Stationary element of mech. seal	1
6511	Bouchon de remplissage	Priming plug	1
6515	Bouchon de vidange	Drain plug	1
6571	Tirant d'assemblage	Tie bolt	3
7021	Accouplement intermédiaire	Intermediate coupling	4
7200	Demi-accouplement	Coupling half	3, 4
8110	Carcasse de moteur	Motor casing	5
8120	Arbre moteur	Motor shaft	5
8150	Bobinage	Windings	5
8173	Boîte à bornes	Terminal rail	5
8360	Câble	Cable	5

Pompes volumétriques

Repère	Français	Anglais	Fiche
1100 / 1110	Corps / de pompe	Pump / casing	8, 10
1130	Stator	Pump casing insert	9
1131	Support du tube flexible	Flexible tube guide	10
1170	Tube flexible	Flexible tube	10
1200	Corps d'aspiration	Suction casing	9
1205	Support de tube	Flexible tube support	10
1230	Corps de boîte de garniture	Stuffing box barrel	6
1240	Bride de boîte à garniture	Stuffing box barrel flange	6
1250	Ecrou de serrage de bague fouloir	Screwed gland	6
1310	Pièce de refoulement	Discharge cover	9
1400	Corps à membrane	Diaphragm drive casing	7
1530	Couvercle de clapet	Valve cover	6
1600	Corps de clapet	Valve carrier	6
2100	Piston plongeur	Plunger	6
2160	Vis de commande	Driving spindle	8
2170	Vis commandée	Idler spindle	8
2180	Arbre articulé	Universal joint	9
2191	Bras support de galet	Roller lever	10
2193	Galet	Roller	10
2196	Ressort de pression	Tensioning spring	10
2250	Membrane	Diaphragm	7
2500	Vis excentrée	Helical rotor	9
2540	Clapet-bille	Ball valve	7
2610	Siège de clapet	Valve seat	6, 7
2620	Ressort de clapet	Valve spring	6
2655	Cage de clapet	Valve cage (guard)	6, 7
2670	Butée de clapet	Valve stop	6
2725	Poussoir de clapet	Control push rod	7
3000	Bâti	Drive gear casing	6
3011	Roulement à billes	Radial ball bearing	8
3200	Villebrequin	Crankshaft	6
3410	Palier support	Bearing pedestal	9
3600	Bielle	Connecting rod	6
3610	Coussinet	Bearing bush	8
3630	Coulisseau	Crosshead	6
3861	Graisneur	Grease nipple	8
4002	Garniture de PE sur la tige de piston	Pump rod packing	6
4140	Garniture de presse-étoupe	Gland packing	9
4310	Bague d'étanchéité	Radial shaft seal	8
6105	Soupape	Valve	7
6125	Reniflar	Hydraulic snifter valve	7
6200	Pompe à huile de lubrification	Oil pump	6

ANNEXE

Informations
complémentaires pour
la réalisation d'une
installation de pompage

ANNEXE

Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

Sauf mention spécifique, les informations complémentaires contenues dans cette annexe ne concernent que les pompes rotodynamiques.

Nous avons vu au chapitre IV comment définir les principales caractéristiques d'une installation de pompage, c'est-à-dire la hauteur du plan de pose de la pompe, la nature et les dimensions générales des réseaux d'aspiration et de refoulement. Ces informations sont essentielles, mais généralement insuffisantes. On trouvera dans cette annexe des informations complémentaires sur la disposition des conduits, mais également sur le dimensionnement des chambres d'aspiration.

Nous verrons également comment optimiser une installation qui fonctionne de manière prolongée à débit partiel.

A. Disposition des conduits - raccordement pompe/circuit

1. Disposition des conduits d'aspiration

a) Pente :

Il faut installer la tuyauterie d'aspiration en pente montante du plan d'eau vers la pompe de 2% au minimum (prescription essentielle).

Il est recommandé d'éviter au maximum toute contre-pente qui entraînerait la formation de poches de gaz ou de vapeur au point haut (figure A1). Si un point haut ne peut être évité, il doit être relié à un circuit de dégazage sous vide par l'intermédiaire d'un clapet.

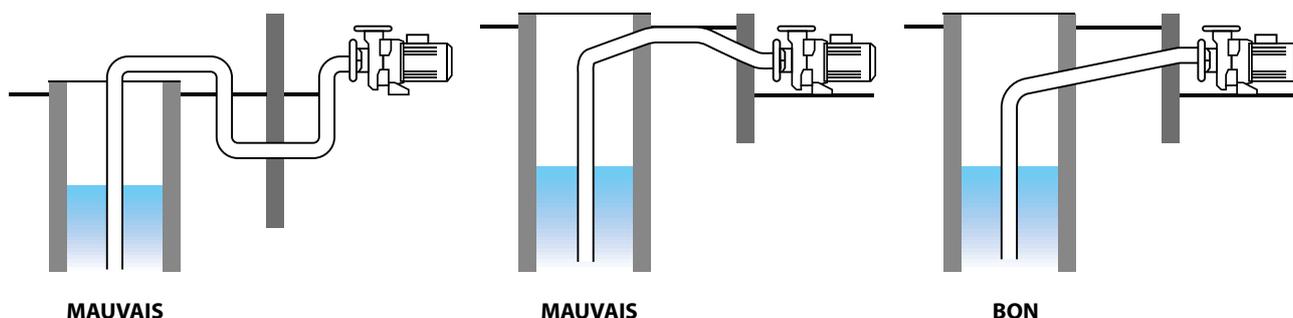


Figure A1 : Exemples de disposition de conduits d'aspiration

Cependant, pour certains modèles de pompes volumétriques et auto-amorçantes, il doit être créé un point haut à l'entrée de la pompe par une arrivée en col de cygne, pour s'assurer qu'au moment de la mise en route, la pompe soit toujours noyée et ne fonctionne jamais à sec ; pour ces modèles, les tubulures d'entrée et de sortie sont orientées en conséquence, c'est-à-dire verticalement vers le haut (figure A2).

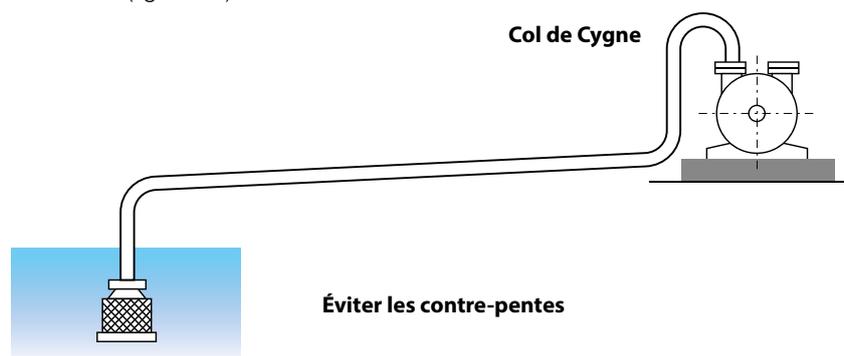


Figure A2 : Cas particulier de disposition du conduit d'aspiration

Pour éviter les effets de gel, il est recommandé d'enterrer les tuyauteries à une profondeur de 0,50 m à 1 m suivant les régions.

b) Convergent

Si l'orifice d'aspiration de la pompe à axe horizontal est d'un diamètre inférieur à celui de la tuyauterie d'aspiration, prévoir un convergent spécial dont la génératrice supérieure soit horizontale (figure A3).

ANNEXE

Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

Un convergent ordinaire entraînerait la présence d'un point haut où l'air s'accumulerait et serait, par suite, cause de désamorçage (figure A4).

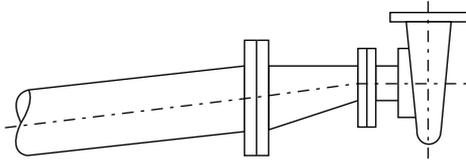


Figure A3 : Exemple de bon convergent

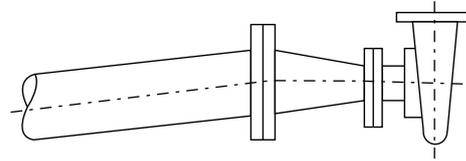


Figure A4 : Exemple de mauvais convergent

Avec une pompe volumétrique ou auto-amorçante, il n'y a pas nécessité que la génératrice supérieure du convergent soit horizontale.

c) Clapet de pied crépiné

A l'extrémité de la tuyauterie d'aspiration, il faut monter un clapet de pied crépiné bien étanche dont le diamètre de l'orifice est au moins égal à celui de la tuyauterie d'aspiration (le clapet de pied doit répondre aux prescriptions du tableau 1.4 du Chapitre IV).

Un soin particulier doit être apporté afin de placer la crépine telle que :

- La bride de raccordement à la tuyauterie soit au moins de 0,30 m au-dessous du niveau des basses eaux.
- L'axe de la crépine soit à une distance de la paroi au moins égale à deux fois son diamètre (figure A5).
- Le fond de la crépine soit au moins de 0,50 m au-dessus du fond. Si cette condition ne peut être réalisée, utiliser l'artifice de la figure A6 pour éviter de pomper le sable.

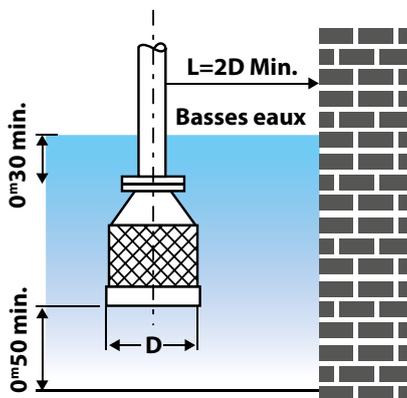


Figure A5 : Disposition du clapet de pied

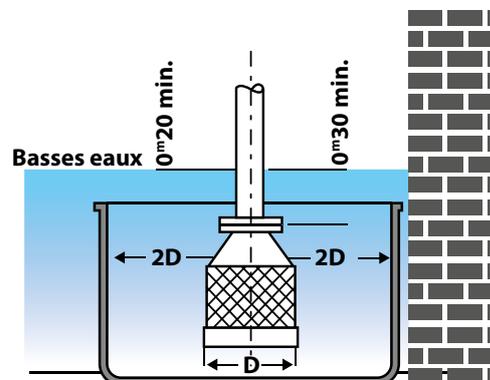


Figure A6 : Disposition particulière du clapet de pied

Ces cotes correspondent à un bassin curé dans lequel il n'y a ni accumulation de débris, ni végétations.

Le clapet de pied crépiné et la conduite d'aspiration doivent être prévus pour résister avec une marge de 2 bar (1), à la pression correspondant à :

- L'altitude totale ($Z_a + Z_r$), pour une pompe fonctionnant seule,
- L'altitude totale ($Z_a + Z_r$) augmentée des pertes de charge de la conduite de refoulement avec (n-1) pompes en fonctionnement, pour n pompes fonctionnant en parallèle sur le même refoulement.

(1) cette valeur de 2 bar a été choisie pour tenir compte du coup de bélier qui se produit lors de l'arrêt de la pompe. Si ce coup de bélier peut être estimé avec plus de précision, on en tiendra compte dans l'évaluation de la marge.

Si la pompe ne comporte pas de clapet au refoulement, cette pression s'exerce en effet à l'aspiration pendant toutes les périodes d'arrêt.

De même si la pompe possède un clapet de refoulement, celui-ci peut-être muni d'un by-pass, pour permettre l'amorçage ; dans ces conditions, la pression correspondant à l'altitude totale s'exerce sur l'aspiration pendant l'amorçage (figure A7).

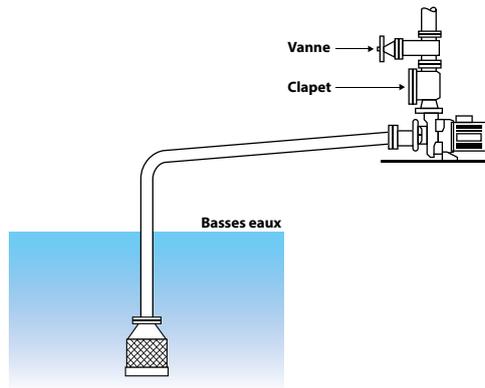


Figure A7 : Disposition avec clapet de refoulement

d) Aspiration dans une rivière

Un puisard à proximité de la berge (figure A8), ou à défaut une estacade (figure A9) doit être mis en place.

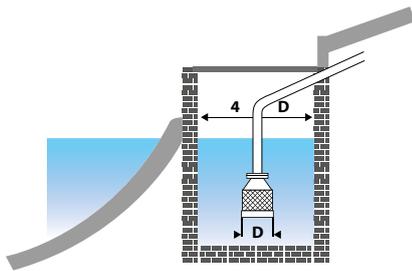


Figure A8 : Puisard

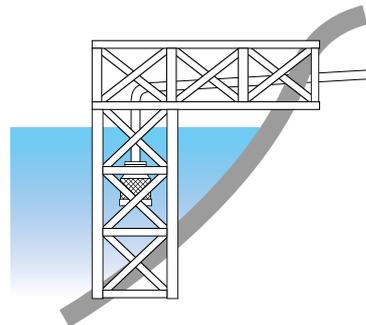


Figure A9 : Estacade

e) Démontage de la tuyauterie d'aspiration

Il faut prévoir un joint à bride permettant un démontage facile de la tuyauterie d'aspiration pour la visite et le nettoyage éventuel du clapet de pied crépiné.

il est recommandé de soutenir la partie plongeante de la conduite d'aspiration à l'aide d'un collier reposant sur une console (figure A10).

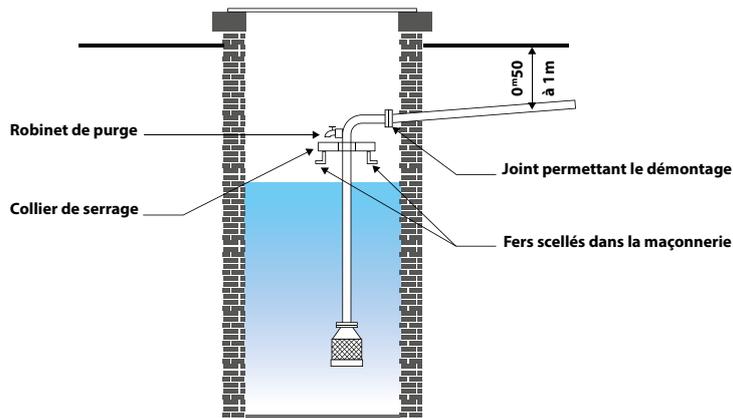


Figure A10 : Disposition facilitant le démontage de la tuyauterie d'aspiration

ANNEXE

Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

2. Disposition des conduits de refoulement

a) Pente

Il est recommandé de prévoir la tuyauterie de refoulement en pente continuellement montante de la pompe vers le réservoir de refoulement. Cette prescription est cependant moins impérative que pour la conduite d'aspiration.

Dans le cas où les points hauts ne peuvent être évités, il y a lieu d'y placer des robinets de purge d'air ou de ventouses automatiques et d'assurer une vitesse suffisante dans la conduite pour entraîner l'air occlus ou dissous.

b) Arrivée dans le réservoir

L'arrivée dans le réservoir doit se faire par le bas, ou à la rigueur en siphon, l'extrémité du siphon étant toujours noyée contrairement à la figure A11.

Il faut adopter de préférence les dispositions des figures A12 et A13 dans les installations à commande automatique.

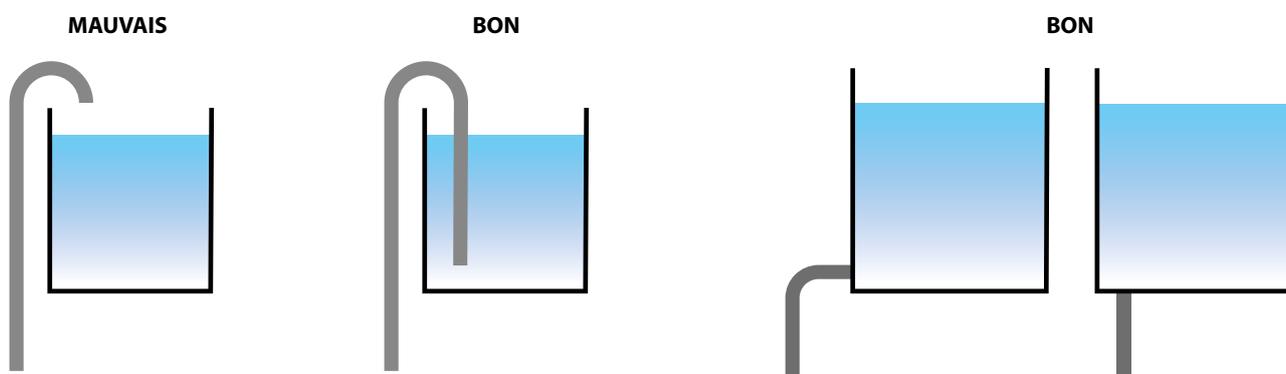


Figure A11 : Cas de mauvaise arrivée

Figure A12 : Cas d'arrivée correcte

Figure A13 : Dispositions recommandées dans les installations à commande automatique

3. Accessoires à prévoir sur le circuit des pompes centrifuges

Il est recommandé de prévoir, sur l'orifice de la pompe, ou à proximité immédiate :

- Un clapet de retenue, avec by-pass pour faciliter l'amorçage, chaque fois que la pression statique à l'arrêt, sur le clapet de pied crépiné, est supérieure à la pression que peut supporter ce dernier (ou la tuyauterie d'aspiration),
- Une vanne à passage direct permettant un réglage éventuel du débit et, dans tous les cas il faut prévoir d'isoler la pompe de la canalisation de refoulement pour sa visite éventuelle, la réparation des garnitures de presse-étoupe ou le déblocage du clapet de retenue. Pour ce faire, le montage de ces accessoires doit se faire dans l'ordre suivant : pompe, clapet puis vanne. La pose de la vanne est obligatoire pour les débits supérieurs à 10m³/h.

4. Accessoires à prévoir sur le circuit des pompes volumétriques

Les incidents dus à des problèmes d'installation les plus souvent rencontrés lors de l'utilisation des pompes volumétriques sont provoqués par :

- Des surpressions au refoulement qui peuvent directement endommager les organes de pompage et créer des couples non compatibles avec les pièces mécaniques d'entraînement. Si la pompe est arrêtée, une surpression au refoulement peut provoquer son dévirage.
- Des marches à sec dues à l'absence de liquide à l'aspiration. Certains types de pompes volumétriques sont alors rapidement endommagés si aucune sécurité n'est prévue pour arrêter leurs rotations.
- Des variations de températures qui peuvent détruire certaines pièces de la pompe en contact avec le fluide véhiculé, par détérioration thermique ou par grippage dû à des serrages trop importants entre les parties dynamiques.
- Des défauts de dimensionnement du circuit d'aspiration.

L'installation, sur le circuit des pompes, d'accessoires de sécurité permet d'éviter ce genre de risques. Une collaboration étroite entre l'utilisateur et le vendeur de pompes est le meilleur moyen d'optimiser le choix des systèmes de sécurité.

Parmi ces systèmes, nous pouvons citer les plus couramment utilisés : by-pass, soupapes de sécurité, capteurs de pression et de dépression, pressostats et vacuostats, clapets antiretour, capteurs de température, limiteurs de couple anti-dévireurs, systèmes de mesure de puissance et contrôle de la puissance consommée... Une sélection technique minutieuse entre ces

différents dispositifs possibles est à faire conjointement avec le fournisseur de la pompe.

Pour les pompes alternatives à pistons et à membranes, les précautions communes à l'ensemble des pompes volumétriques doivent être prises.

L'utilisation de pompes alternatives peut impliquer la mise en oeuvre de précautions particulières dans la réalisation des installations pour prévenir les risques liés à l'existence de débits pulsatoires. La forme sinusoïdale des débits engendrés peut provoquer en particulier :

- Des surpressions,
- Des pulsations incompatibles avec l'installation,
- Des phénomènes de surdébits :
 - En fin de phase d'aspiration, lorsque la pression dynamique à l'entrée de la pompe devient supérieure à la pression statique au refoulement,
 - En fin de phase de refoulement, lorsque la pression dynamique à la sortie de la pompe devient inférieure à la pression statique à l'aspiration.

Une collaboration étroite avec le fournisseur reste toujours le meilleur moyen pour éviter les pièges dans la conception des installations.

En sus des accessoires déjà cités souvent associés à l'utilisation des pompes volumétriques, nous pouvons en citer d'autres plus particulièrement utilisés dans les installations intégrant des pompes doseuses alternatives : clapet de pied, canne d'injection (fonction du clapet anti-retour et fonction anti-siphonage), soupape de retenue (clapet taré ou de contre-pression), ballon d'amortisseur...

B. Disposition des conduits - raccordement pompe/circuit

1. Conséquences d'un mauvais dessin des chambres d'aspiration

a) *Vortex ouvert*

Un vortex ouvert est caractérisé par un tube tourbillonnaire, creux, de petites dimensions, entraînant un débit d'air parasite à l'entrée de la pompe. La figure A14 montre la photographie d'un vortex ouvert à l'entrée d'une pompe. Un vortex ouvert est un phénomène fragile que l'on arrête assez facilement, mais qui se reforme systématiquement en un temps plus ou moins long : le temps de formation d'un vortex ouvert peut être de plusieurs minutes, et même de plusieurs dizaines de minutes.

Les conséquences sur le fonctionnement de la pompe sont les suivantes :

- Un niveau vibratoire plus élevé, essentiellement sur la raie $n.N$ (s'il n'y a qu'un seul vortex ouvert, avec n = nombre de pales et N = vitesse de rotation en tr/s),
- Une chute de caractéristiques $H(Q)$ due à la présence de l'air. Cette chute dépend de la quantité d'air entraînée ; elle peut théoriquement aller jusqu'au désamorçage,
- Une majoration du NPSH requis, par suite de la distorsion de l'écoulement à l'entrée, et des survitesses locales qui peuvent en résulter,
- Une augmentation importante du bruit aérien au niveau de l'aspiration.



Figure A14 : Cas de mauvaise arrivée

ANNEXE

Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

b) Génération d'une prérotation à l'entrée de la pompe (Vortex global)

Une telle prérotation peut avoir plusieurs origines :

- Elle peut être générée par la pompe elle-même, pour un fonctionnement à débit réduit, lorsque la roue est le siège de recirculations à l'entrée. Cette situation apparaît grossièrement lorsque Q est inférieur à $0,7 \times Q_n$.
- Elle peut être générée par le bassin d'aspiration lui-même, par exemple si celui-ci est dissymétrique. La prérotation existe alors même au débit nominal.

Les conséquences d'une prérotation sont les suivantes :

- Une réduction de la courbe caractéristiques $Q(H)$ lorsque la prérotation s'effectue dans le sens de rotation de la pompe,
- La formation d'une zone de dépression centrale devant la roue, avec dégazage d'air occlus ou dissous et même avec apparition d'une phase vapeur (cavitation).

Cette « torche » de gaz et de vapeur, telle que celle représentée sur la figure A15 est souvent instable. Elle se gonfle et se réduit en dimensions avec une fréquence relativement faible. Elle génère de ce fait des vibrations à basse fréquence. Elle peut aussi engendrer des phénomènes de cavitation additionnels à l'entrée de la roue, à chaque cycle vibratoire.

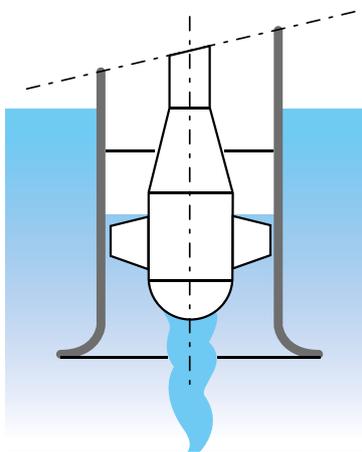


Figure A15 : Torche entre la pompe et le fond de la chambre

Lorsque le phénomène est intense, on observe le « collapse » de la torche, qui donne lieu à l'émission d'une onde de pression plus ou moins forte.

Il est donc important que le bassin d'aspiration, non seulement ne crée pas de prérotation par lui-même, mais encore qu'il empêche la prérotation générée par la pompe de s'étendre à l'ensemble du bassin. Nous verrons qu'un moyen classique consiste à mettre sous l'aspiration de la pompe une cloison située dans le sens de l'écoulement.

c. Génération d'une distribution de vitesse débitante non uniforme à l'entrée de la pompe

Nous venons d'aborder, avec la prérotation, les phénomènes liés à l'apparition de vitesses tangentielles. Nous considérons maintenant, dans ce paragraphe, les vitesses débitantes, ou vitesses méridiennes (sans composantes tangentielles).

Une chambre d'aspiration mal dessinée, peut générer des zones de vitesse réduite à l'entrée de la roue de la pompe. Il en résulte, localement, une incidence positive (dans le sens de la surcharge des aubes) qui peut aller jusqu'au décollement. Cette incidence conduit, dans la zone déficitaire en vitesse et en débit, à une dépression au niveau de l'entrée des aubes qui peuvent être à l'origine d'une cavitation locale. Dans cette petite région, tout se passe comme si la pompe fonctionnait à débit réduit.

Il convient donc que le bassin d'aspiration assure une alimentation de la pompe aussi homogène que possible en vitesse débitante. De nombreux paramètres interviennent dans ce sens, mais nous verrons que la distance entre le bord du pavillon d'aspiration et le fond de la chambre joue un rôle particulièrement important.

2. Chambre d'aspiration type pour une pompe verticale

Le dessin d'une chambre d'aspiration est défini dans le fascicule de documentation européen FD CEN/TR 13930 : 2009 « Pompes rotodynamiques - Conception des ouvrages d'aspiration - Recommandations d'installation des pompes ». Les descriptions que nous donnons ci-après sont basées en grande partie sur les indications de ce document.

La figure A16 rassemble, sur un même dessin, les informations normalisées concernant :

- La submergence S_u (distance entre la surface libre et le bord du pavillon) :

$$S_u = 1 \text{ à } 1,5 \times D$$

- La convergence préconisée du pavillon :

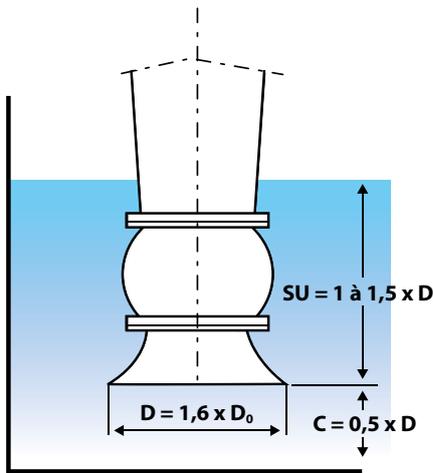
$$D = 1,6 \times D_0$$

- La distance entre l'extrémité du pavillon et le fond de la chambre :

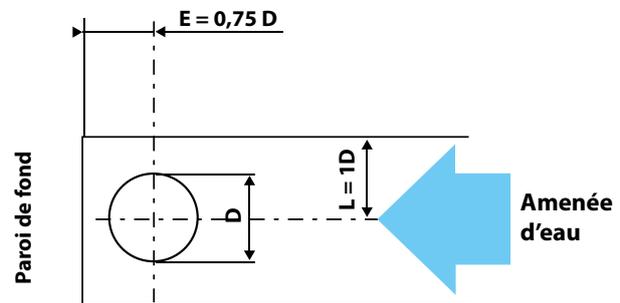
$$C = 0,5 \times D$$

(La signification des symboles C , D et D_0 ressort clairement de la figure).

La figure A17 est une vue de dessus qui montre la distance des parois à la pompe en fonction du diamètre D du pavillon d'aspiration.



A16 : Informations normalisées



A17 : Distance des parois à la pompe

Figure A16 et A17 : Dimensions principales d'une chambre d'aspiration

La figure A18 montre deux dispositifs anti-vortex que l'on rencontre très fréquemment dans les chambres d'aspiration.



Figure A18 : Dispositifs anti-vortex

La figure A19 montre un dispositif anti-vortex de type particulier, constitué d'un cylindre qui enveloppe le pavillon d'aspiration et qui porte à l'intérieur des ailettes radiales anti-rotation. Ce dispositif participe en outre à une alimentation axisymétrique régulière de la pompe.

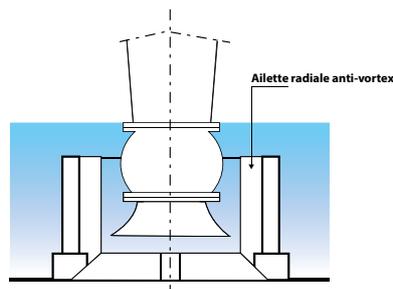


Figure A19 : Alimentation par une chemise annulaire pourvue d'ailettes anti-vortex

ANNEXE

Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

Remarque importante : la hauteur de submergence S_u , donnée par la figure A16 est celle qui permet d'éviter la formation de vortex ouverts, et assure une alimentation uniforme et convenable de la pompe, mais elle ne prend pas en compte la notion de cavitation et de NPSH. Lorsque cela est possible, on peut être amené à réaliser une hauteur de submergence S_u plus grande que ce qui est préconisé par les normes, avec pour objectif l'amélioration du NPSH disponible, et avec pour conséquence la possibilité d'utiliser une pompe plus performante ou moins chère, dont le NPSH requis 3% est imposé (ce qui impose également le NPSH disponible : $NPSHA = S.NPSH3$ avec S = coefficient de sécurité - voir paragraphe A2.c du chapitre IV). Dans le cas ordinaire d'une pompe verticale, où le plan de référence est celui qui contient le bord d'attaque des aubes de la première roue, le NPSH disponible est donné par la figure A20.

$$NPSHA = (p_a - p_v) / (\rho \cdot g) + S_u - h$$

avec

p_a = pression atmosphérique régnant au-dessus du bassin,

p_v = pression de vapeur de l'eau,

et les notations de la figure A20.

Inversement, la hauteur de submergence S_u qui permet d'avoir un NPSHA imposé est donnée par :

$$S_u = NPSHA + h - (p_a - p_v) / (\rho \cdot g).$$

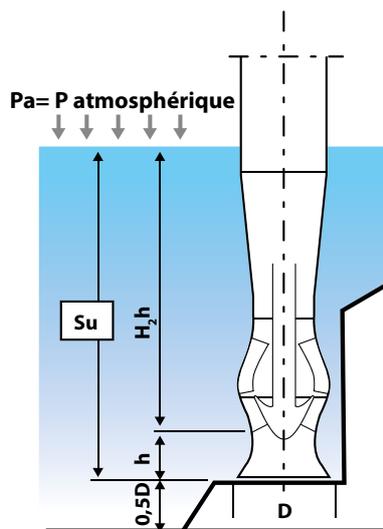


Figure A20 : Relations entre la hauteur de submergence S_u et le NPSH disponible (NPSHA)

C. Disposition des chambres d'aspiration dans le cas de plusieurs pompes

1. Généralités – Vocabulaire

On parle parfois dans la littérature de dispositions en série pour des pompes montées l'une derrière l'autre, dans le sens du courant d'alimentation, ou de dispositions en parallèle pour des pompes montées côte à côte, perpendiculairement au sens d'alimentation. On évitera d'utiliser ce vocabulaire, qui prête à confusion.

Les pompes concernées par le présent chapitre ne sont jamais montées en série (la hauteur générée par les pompes ne s'additionne jamais). En revanche, elles peuvent être considérées comme fonctionnant en parallèle, ou individuellement, selon que le conduit de refoulement est commun ou non.

Dans le cas le plus simple, les pompes ont des conduits de refoulement individuels. Elles aspirent dans un bassin, et refoulent dans un autre. Pour un dessin correct des chambres d'aspiration, elles sont pratiquement indépendantes les unes des autres.

2. Pompes verticales, placées côte à côte

Les pompes sont alimentées de face, perpendiculairement à l'alignement des pompes.

Cette configuration est de loin préférable à la disposition dont il sera question plus loin, au paragraphe 3. Elle permet, en effet, d'assurer pour chaque pompe, un fonctionnement quasi indépendant de celui des autres pompes.

Les figures A21 et A22 montrent deux dispositions possibles pour des pompes montées côte à côte et ayant une alimentation de face commune. Dans le cas de la figure A21, les pompes sont installées dans un bassin collectif. Dans le cas de la figure A22, elles sont pourvues d'une chambre d'aspiration individuelle. Les deux dispositions sont conçues pour que l'amenée d'eau vers une pompe soit le moins possible perturbée, par le sillage ou, plus précisément, par le prélèvement d'eau d'une autre pompe, et la distorsion du champ de vitesse que cela entraîne.

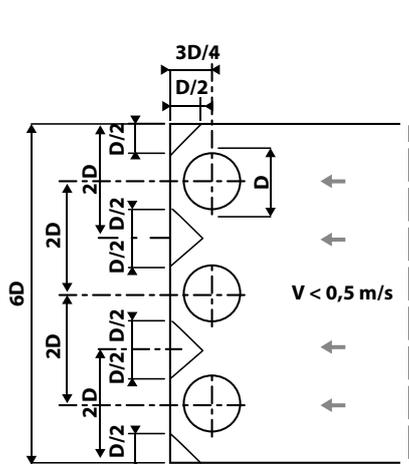


Figure A21 : Système de pompage comportant une alimentation de face, et des pompes montées côte à côte. Aspiration dans un bassin collectif

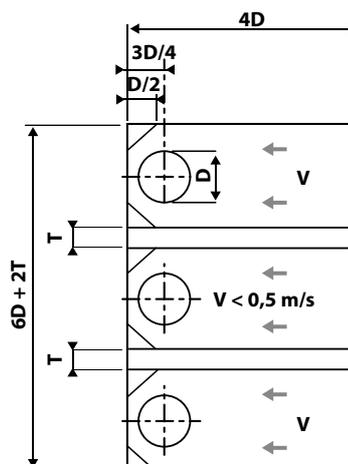


Figure A22 : Système de pompage comportant une alimentation de face, et des pompes montées côte à côte. Aspiration dans un bassin pourvu de chambres individuelles

Si l'on imagine, dans le cas de la figure A21, que les pompes sont séparées par une cloison fictive d'épaisseur nulle, on constate que les cotes d'installation sont les mêmes dans les deux cas. Ces cotes sont aussi les mêmes que celles qui sont indiquées aux figures A16 et A17 du paragraphe précédent, pour une chambre unique.

Lorsque le canal d'amenée commun présente un élargissement avant l'arrivée dans le bassin, cet élargissement doit se faire progressivement avec un demi angle de divergence au plus égal à 15° , sauf à utiliser un dispositif répartiteur de l'écoulement comme le montre la figure A23 suivante.

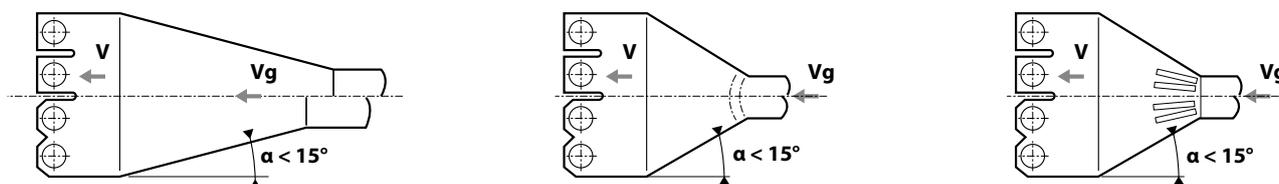


Figure A23 : Alimentation de face, par un divergent - Avec ou sans répartiteur de vitesse

A noter que l'entrée doit toujours se situer dans l'axe du bassin, comme c'est le cas pour les différents schémas de la figure A23. Les entrées excentrées, même de face sont déconseillées.

3. Pompes verticales disposées en ligne, dans le sens de l'amenée d'eau

Cette configuration ne sera utilisée que si le montage des pompes côte à côte est impossible, ou très difficile. La figure A24 représente le montage de trois pompes montées en ligne avec alimentation centrée, dans le sens de l'alignement. La dernière pompe est installée dans une chambre conforme aux indications de la figure A24. Bien que cela ne soit pas représenté sur la figure A24, la chambre peut être pourvue de dispositifs anti-vortex analogues à ceux de la figure A18. Les pompes qui la précèdent peuvent, elles aussi être munies d'un dispositif destiné à supprimer l'existence d'une prérotation, ou à en limiter l'importance.

ANNEXE

Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

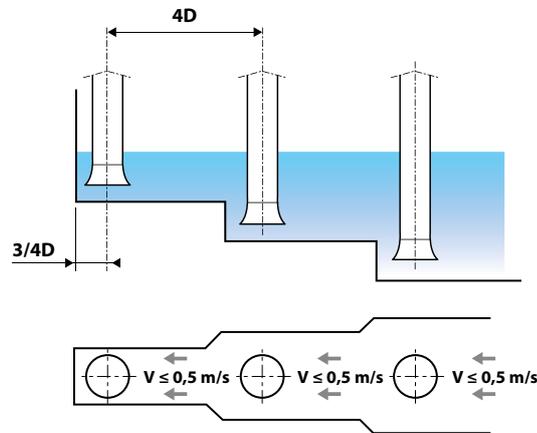


Figure A24 : Chambre d'aspiration comportant des pompes montées en ligne, dans le sens de l'amenée d'eau - Alimentation centrée

La distance entre les pompes est un paramètre très important, elle donne à l'écoulement le temps de se rééquilibrer après la perturbation inévitable que représente le prélèvement d'un tiers du débit total (dans le cas de trois pompes). La distance minimum Y entre deux pompes est fonction de la vitesse d'approche v dans le canal en amont de chaque pompe. Dans le cas de la figure A24, et pour $U = 0,5 \text{ m/s}$, la distance minimum $Y = 4.D$.

L'alimentation par un canal de largeur constante est possible, mais il convient de respecter les conditions suivantes :

- La vitesse moyenne d'entrée U avant la première pompe doit être inférieure ou égale à $0,3 \text{ m/s}$,
- La distance minimale Y entre les pompes est égale à $6D$.

4. Exemple de disposition qu'il convient d'éviter

Sur les figures A25 et A26, sont regroupées un certain nombre de configurations qui sont déconseillées, voire fortement déconseillées. Les dispositions de la figure A25 concernent les installations du paragraphe 2, celles de la figure A26, les installations du paragraphe 3.

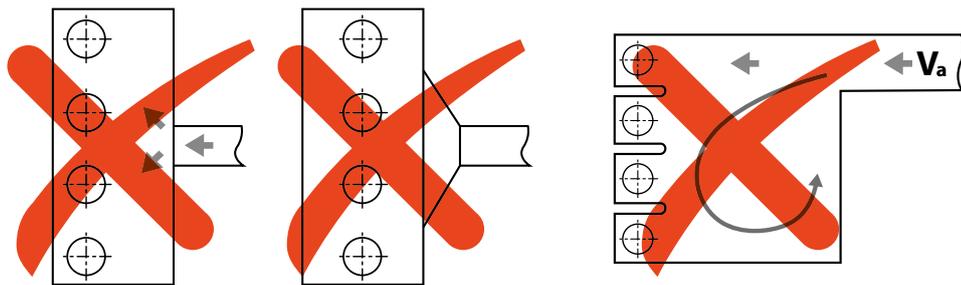


Figure A25 : Dispositions à éviter - Cas des pompes placées côte à côte

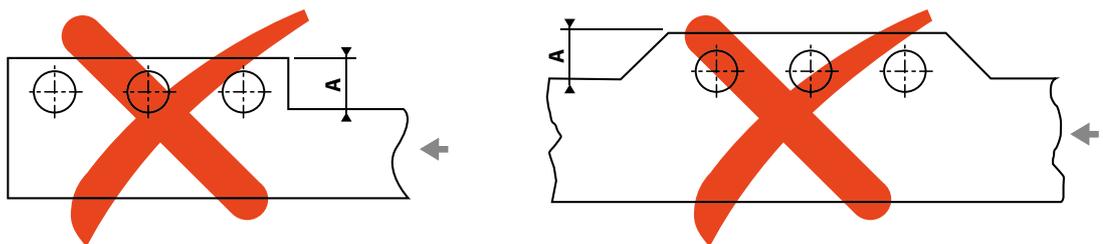


Figure A26 : Dispositions à éviter - Cas des pompes disposées en ligne

D. Conception de l'installation lorsqu'il existe des régimes de fonctionnement prolongés à débit partiel

1. Revue des possibilités permettant d'assurer le réglage du débit

a) Réglage du débit à vitesse de rotation constante

a_1 : Utilisation d'une vanne de réglage par laminage au refoulement de la pompe

C'est le mode de réglage le plus courant et le plus simple. La figure A27 présente schématiquement le principe d'une telle installation. La figure A28 montre l'évolution du point de fonctionnement sur la courbe caractéristique de la pompe.

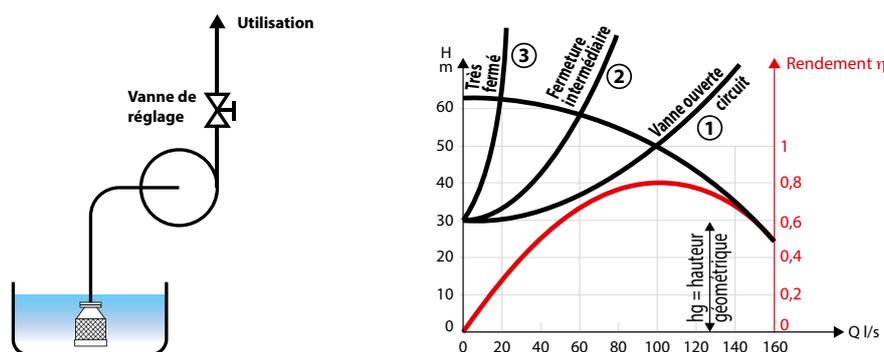


Figure A27 : Réglage du débit par vannage au refoulement Figure A28 : Déplacement du point de fonctionnement

Il convient maintenant de s'intéresser au bilan énergétique de l'installation. Dans le tableau ci-dessous, sont regroupées toutes les valeurs qui interviennent dans le bilan énergétique de l'installation pour un pompage d'eau froide (données de la pompe figure A28).

Q (l/s) ou Q_m (kg/s)	100	80	60
H pompe (m)	50	58	61
Rendement pompe p	0,80	0,65	0,20
Rendement moteur m	0,925	0,925	0,925
Puissance élect. P (kW)	66,24	56,75	46,43
H utile circuit (m)	50	37	30,8
Rendement global du système (Rg)	0,740	0,383	0,130
Valeur relative de Rg (Rgr)	1,0	0,51	0,17

Tableau A1 : bilan énergétique de l'exemple A27 - A28

Le rendement global R_g du Tableau A1 incorpore trois familles de perte : les pertes de la pompe, les pertes du moteur électrique et les pertes de la vanne de réglage, représentées par l'écart entre H pompe et H utile circuit. Le rendement global R_g représente le rendement d'un système à trois composants, dont les limites sont l'entrée de la pompe et la sortie de la vanne de réglage au refoulement. Il a une signification (et par conséquent une notation) différente de « η », qui caractérise la qualité d'une machine particulière, et non celle d'un système.

L'examen du Tableau A1, permet de constater une détérioration extrêmement rapide du rendement global du système (et par conséquent aussi de toute l'installation), lorsque le débit est réduit par vannage au refoulement.

ANNEXE

Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

a₂ : Utilisation d'une vanne de by-pass

Le principe consiste à renvoyer vers le bassin d'aspiration une partie du débit refoulé par la pompe, tel que cela est indiqué par la figure A29. L'évolution du point de fonctionnement de la pompe apparaît sur la figure A30.

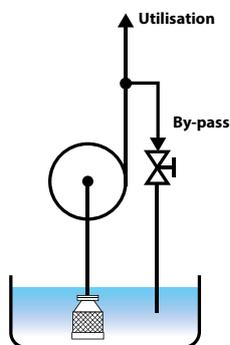


Figure A29 : Réglage du débit par by-pass

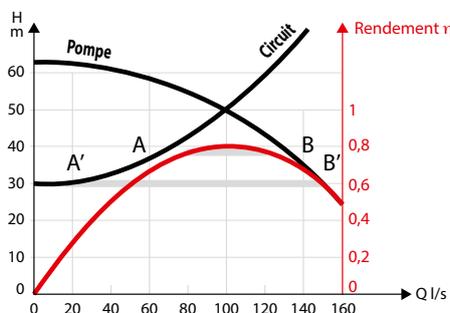


Figure A30 : Déplacement du point de fonctionnement

D'après la figure A30, pour obtenir un débit utile de 60 l/s (point A), la pompe doit fonctionner à 135 l/s (point B). Le débit by-pass est de 75 l/s. Il correspond, sur la figure A30, au segment AB.

Il en va de même pour un fonctionnement à 20 l/s, où le débit dérivé par le by-pass est de 128 l/s, correspondant au segment A'B' de la Figure A30.

Dressons un tableau permettant d'accéder au bilan énergétique global de l'installation avec vanne by-pass, pour un pompage d'eau froide :

Q (l/s) ou Qm (kg/s)	100	60	20
H pompe (m)	100	135	148
Rendement pompe ρ	50	36,5	30,5
Rendement moteur m	0,80	0,74	0,615
Puissance élect. P (kW)	0,925	0,925	0,925
H utile circuit (m)	66,24	70,6	77,7
Rendement global du système (Rg)	0,740	0,304	0,077
Valeur relative de Rg (Rgr)	1,0	0,41	0,10

Tableau A2 : bilan énergétique de l'exemple ci-dessus

D'après les dernières lignes du tableau, le bilan énergétique d'une installation utilisant une vanne by-pass pour ajuster le débit est encore plus défavorable que ce qu'il était avec une vanne de réglage par laminage.

Remarque importante : lorsque la courbe de puissance de la pompe est ascendante à droite du point nominal, le réglage par by-pass peut conduire à surdimensionner le moteur électrique d'entraînement.

a₃ : Pompes à aubages mobiles orientables

Certains types de pompes, en particulier les pompes hélico-centrifuges, et les pompes hélices peuvent être conçues, et réalisées, avec des pales de roues orientables. Il est ainsi possible (dans certaines limites) de régler le débit par action sur le calage des aubages, sans disposer ni d'une vanne de laminage, ni d'une vanne de by-pass. Nous allons voir que cette disposition est particulièrement favorable d'un point de vue énergétique.

La figure A31 présente, sous forme non dimensionnelle, les courbes caractéristiques et les courbes de rendement d'une pompe de type hélico-centrifuge, réalisée avec des pales orientables. Sur cette même figure a été reportée, toujours sous forme non dimensionnelle une courbe caractéristique du circuit analogue à celle des figures A28 et A30.

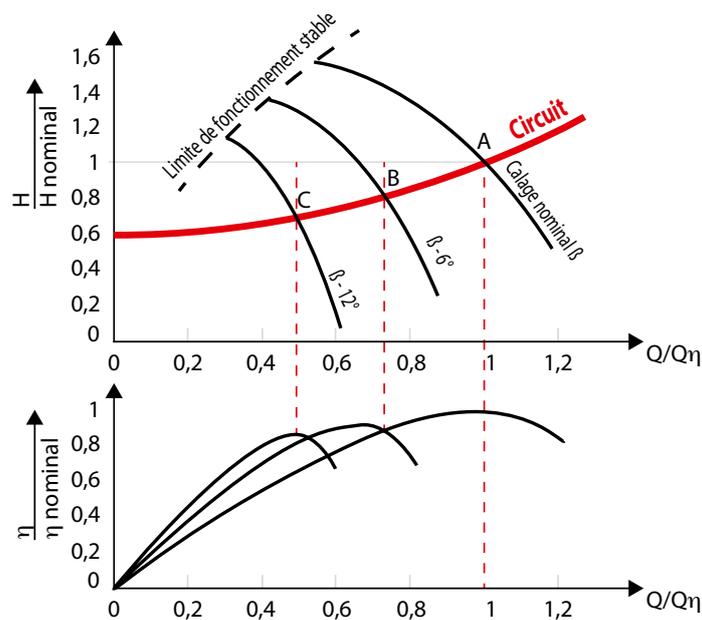


Figure A31 : Réglage du débit par changement de calage des aubes (dans le cas d'une pompe hélico-centrifuge)

En admettant un rendement du moteur électrique sensiblement constant, la valeur relative du rendement global R_g est égale à $R_{gr} = (\text{pompe}) / (\text{nominal pompe})$. En effet, puisqu'il n'y a ni vannage ni by-pass, la hauteur fournie par la pompe est égale à la hauteur utile fournie au circuit, et le débit délivré par la pompe est égal au débit utile du circuit (alors que dans les tableaux dressés précédemment, les valeurs aux limites de la pompe étaient différentes des valeurs du circuit).

En se limitant aux points d'intersection A, B et C de la courbe du circuit avec les trois courbes caractéristiques de la pompe, il est possible de dresser le tableau ci-dessous :

Point	A	B	C
Q/Q_n	1	0,730	0,495
Valeur relative de R_g (R_{gr})	1	0,90	0,87

Tableau A3 : bilan énergétique de l'exemple A31 ci-dessus

a_4 : Réglage du débit par prérotation à l'entrée de la roue

Le réglage du débit par prérotation d'entrée peut s'appliquer à tous les types de pompes rotodynamiques : centrifuges, hélico-centrifuges, hélices. La prérotation est en général réalisée par des pales orientables situées en amont de la roue, capables de donner au fluide entrant dans la pompe une composante tangentielle (rotation) soit dans le sens de rotation de la roue soit dans le sens opposé.

Si la prérotation s'effectue dans le sens de rotation de la roue, la hauteur fournie par la pompe est réduite. Si la prérotation s'effectue dans le sens contraire, la hauteur fournie par la pompe est augmentée. Plusieurs modes de réalisation existent : les pales peuvent être plates, galbées ou articulées.

La figure A32 montre, sous forme non dimensionnelle, le déplacement des courbes caractéristiques d'une pompe centrifuge par prérotation, en fonction du calage des aubages directeurs d'entrée. Le calage zéro représente la position axiale des aubages. Dans ce cas, il n'y a pas de prérotation. La figure A33 montre le déplacement des courbes caractéristiques d'une pompe hélico-centrifuge par prérotation en fonction de l'angle de calage des aubages directeurs d'entrée. Comme précédemment, le calage zéro représente la position axiale des aubages.

ANNEXE

Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

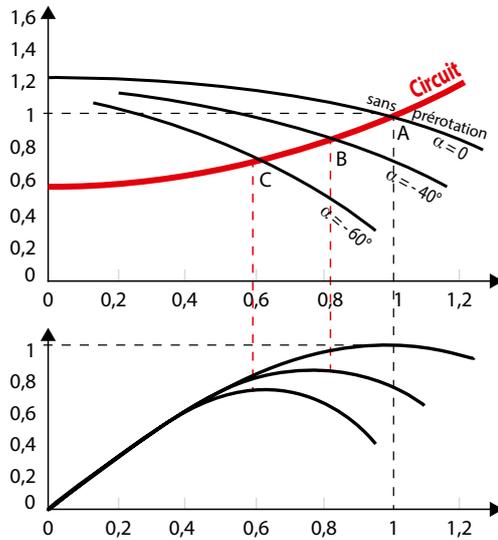


Figure A32 : réglage du débit par prérotation
Cas d'une pompe centrifuge

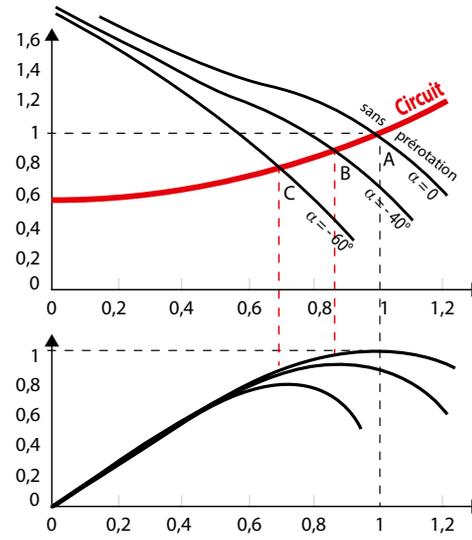


Figure A33 : réglage du débit par prérotation.
Cas d'une pompe hélico-centrifuge

Il est important de remarquer que les figures A32 et A33 ne sont que des exemples qui n'ont pas un caractère général. L'efficacité dépend du dessin de la roue, et du dessin des aubages directeurs eux-mêmes (nombre d'aubes, corde des aubes, profil plat, profil galbé, aubes articulées, etc.). Comme pour les aubes mobiles orientables, en supposant un rendement du moteur électrique peu variable, la valeur relative du rendement global R_{gr} est égale à :

$$R_{gr} = (\eta_{pompe}) / (\eta_{nominal\ pompe})$$

Dans le cas de la pompe centrifuge de la figure A32, on peut dresser le tableau A4 à partir des points A, B et C de la figure :

Point	A	B	C
Q/Qn	1	0,825	0,60
Valeur relative de R_g (R_{gr})	1	0,84	0,71

Tableau A4 : bilan énergétique de l'exemple A32

Dans le cas de la pompe hélico-centrifuge de la figure A33, on trouve les valeurs du tableau A5 pour les points A, B et C de la figure :

Point	A	B	C
Q/Qn	1	0,875	0,70
Valeur relative de R_g (R_{gr})	1	0,91	0,78

Tableau A5 : bilan énergétique de l'exemple A33

a_5 : Comparaison des quatre modes de réglage précédent

Sur la figure A34 ont été tracées les courbes donnant l'évolution du rendement global relatif en fonction du débit, pour les quatre systèmes de réglage qui viennent d'être exposés. On constate sur cette figure de très grandes différences de qualité énergétique entre les quatre modes de réglage.

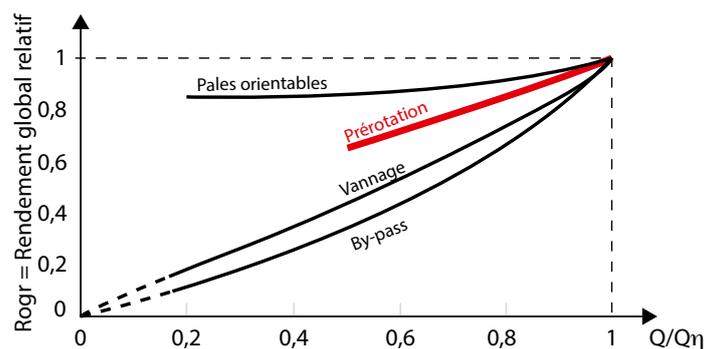


Figure A34 : Comparaison entre différents modes de réglage du débit à vitesse fixe

La puissance absorbée varie comme l'inverse du rendement Rgr. On voit ainsi, en se reportant à la figure ci-dessus, que pour le débit moitié $Q/Q_n = 0,5$, la puissance absorbée par le système à pales orientables est environ de un tiers de la puissance absorbée avec un réglage par by-pass, et environ de la moitié de la puissance absorbée avec un réglage par vannage.

a_6 : Systèmes discontinus

Nous ne considérerons, dans ce qui suit, que le système utilisant n pompes identiques montées en parallèle. Et nous nous intéresserons à titre d'exemple aux deux cas particuliers où $n = 2$ et $n = 3$.

La figure A35 représente de façon schématique un système comportant deux pompes. Le réglage du débit s'effectue avec une vanne V (on évite ainsi de faire fonctionner l'une des pompes à débit nul ou à très faible débit). Les vannes V_1 et V_2 sont des vannes d'isolement.

La figure A36 représente les courbes caractéristiques des deux pompes et du circuit. Pour des questions de cohérence, la courbe du circuit et celles des pompes sont identiques à celles des figures A28 et A30.

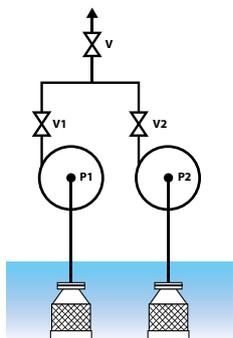


Figure A35 : Représentation schématique d'un système à deux pompes en parallèle

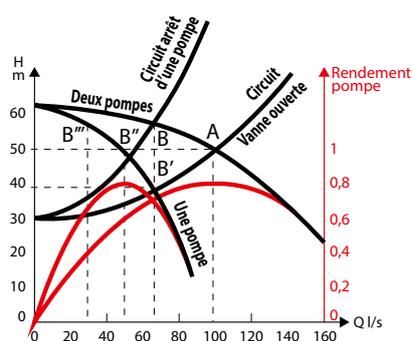


Figure A36 : Courbes caractéristiques du système

Le point de fonctionnement nominal pour $Q_n = 100$ l/s et deux pompes en fonctionnement se situe en A. Pour réduire le débit on agira d'abord sur la vanne de réglage V , et le point de fonctionnement passera progressivement de A en B, où le débit est de 66 l/s. Entre A et B, tout se passe comme cela a été exposé au sous paragraphe a).

Le débit de 66 l/s peut être fourni par une seule pompe comme le montre l'intersection en B' de la caractéristique « une pompe » avec le circuit vanne ouverte. On passera du point B au point B' en arrêtant une pompe et en ouvrant la vanne de réglage V . Il sera alors possible de continuer à réduire le débit en refermant progressivement la vanne de réglage V . L'évolution de la puissance et du rendement est donnée, pour les points B', B'' et B''' de la figure, par le tableau ci-dessous analogue à celui du sous paragraphe a) :

Q (l/s) ou Q_m (kg/s)	66	50	30
H pompe (m)	39	49	57,5
Rendement pompe p	0,7	0,8	0,66
Rendement moteur m	0,92	0,92	0,92
Puissance élect. P (kW)	39,18	32,6	27,85
H utile circuit (m)	39	35	32
Rendement global du système (Rg)	0,644	0,526	0,338
Valeur relative de Rg (Rgr)	0,87	0,71	0,456

Tableau A6 : bilan énergétique de l'exemple A36

ANNEXE

Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

Le rendement de référence $R_{ogr} = 0,74$ est celui du sous paragraphe a1 c'est-à-dire le rendement du système ne comportant (comme dans le tableau A6) qu'une seule pompe.

Nous avons admis que le rendement des pompes « demi-débit » était peu différent de celui de la pompe unique plein débit (ceci revient à supposer que l'on pourra trouver pour les pompes à demi débit une vitesse de rotation qui conserve la vitesse spécifique). De toute façon s'il y a variation du rendement des pompes, elle sera faible comparée aux variations très importantes du rendement global que nous recherchons.

Les valeurs du Tableau A6, associées à celles du sous paragraphe a) lorsque le débit est compris entre 0,66 et $1Q_n$ ont été reportées sur la figure A37 (courbe noire).

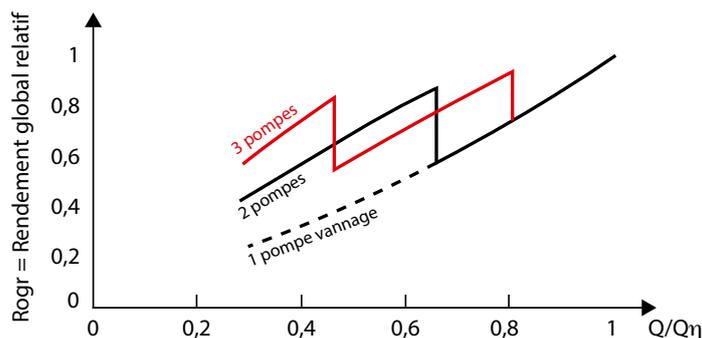


Figure A37 : Evolution du rendement global relatif en fonction du débit pour un système de pompage comportant plusieurs pompes identiques

En remarquant que la puissance varie comme l'inverse de R_{ogr} , on voit à l'examen de la figure A37 (courbe noire) que, pour un débit Q/Q_n compris entre 0,3 et 0,66, la puissance est réduite par un facteur compris entre 1,8 et 1,5 si l'on utilise un système à deux pompes au lieu d'une seule pompe dont le débit est réglé par vannage.

De la même façon l'évolution de R_{ogr} pour 3, 4, ... n pompes peut-être calculée. Sur la figure A37, nous avons reporté, à titre d'exemple, le cas où l'on utilise trois pompes (courbe rouge). Pour des débits Q/Q_n inférieures à 0,46, le système à trois pompes permet de réduire la puissance absorbée par un facteur 2,3 environ, par rapport à l'installation à une pompe dont le débit est réglé par vannage.

Dans le cas particulier où les débits sont équiprobables, c'est-à-dire si le temps de fonctionnement à $0,4.Q_n$ est le même qu'à $0,7.Q_n$, etc, l'énergie absorbée est inversement proportionnelle à la surface située sous les différentes courbes des figures A34 et A37.

A titre d'exemple, en se reportant à la figure A37, et pour un fonctionnement équiprobable entre $Q/Q_n = 0,3$ et $Q/Q_n = 1$, l'énergie consommée devient en prenant pour référence la pompe unique réglée par vannage :

- une pompe : énergie consommée = 1
- deux pompes : énergie consommée = 0,81
- trois pompes : énergie consommée = 0,75

Remarques

- Le système utilisant plusieurs pompes offre, en plus de l'avantage d'une économie d'énergie importante, l'avantage secondaire d'éviter aux pompes de fonctionner individuellement à débit très réduit. Rappelons que ce type de fonctionnement est générateur de bruit, de vibrations et éventuellement d'une usure prématurée.
- Aucun des exemples précédents, allant du sous paragraphe a1) au sous paragraphe a6), ne représente le cas général. Avec d'autres courbes de pompes, et surtout avec une autre caractéristique du circuit résistant, des résultats sensiblement différents auraient été obtenus. Les courbes des figures A34 et A37 représentent une information comparative qui caractérise les avantages et les inconvénients de chaque procédé de réglage du débit à vitesse fixe, dans un certain nombre de cas particuliers.

b) Déplacement du débit à vitesse de rotation variable

Il existe de nombreux procédés permettant d'assurer un fonctionnement à vitesse variable d'une pompe.

Le procédé le plus fréquemment utilisé et que nous considérerons dans la suite de cet exposé consiste à faire varier la fréquence d'un moteur asynchrone à cage au moyen d'un dispositif appelé convertisseur de fréquence (ou variateur de fréquence).

Dans les installations anciennes ou dans les installations actuelles de forte puissance, on peut trouver d'autres dispositifs tels que :

- Coupleur hydraulique disposé entre pompe et moteur,
- Variation par cascade hyposynchrone des moteurs à bagues,
- Variation de vitesse de moteur à courant continu,
- Pilotage par régulateur de vitesse d'un moteur thermique.

Au point de fonctionnement nominal, le système constitué du convertisseur de fréquence et du moteur électrique introduit des pertes électriques additionnelles de deux natures :

- Les pertes qui sont dues au convertisseur de fréquence proprement dit,
- Les pertes supplémentaires que l'on constate au niveau du moteur électrique par suite de son alimentation par un courant et une tension qui sont loin d'être sinusoïdaux.

La somme de ces pertes est relativement faible. Elle est de l'ordre de 3,5 à 5% de la puissance selon la taille de l'installation et le type du convertisseur de fréquence. Dans ce qui suit, nous admettrons une valeur uniforme de 5%.

La qualité énergétique d'un système utilisant la variation de vitesse est très dépendante de la courbe caractéristique du circuit résistant. Nous commencerons par le circuit déjà présenté aux figures A27 et A28, A29 et A30, A35 et A36 qui comporte à la fois des pertes de charge et une hauteur géométrique.

b_1 : Vitesse variable dans le cas du circuit résistant des figures A27 et A28, A29 et A30, A35 et A36

En utilisant les règles d'évolution des courbes caractéristiques avec la vitesse telles qu'elles ont été exposées au paragraphe A.1.d du chapitre II, on a tracé, sur la figure A38, les courbes caractéristiques de la pompe pour trois vitesses de rotation : $N = 1$ (fonctionnement normal), $N = 0,85$ et $N = 0,73$.

On a tracé aussi, sur la figure A38, la courbe caractéristique du circuit. Le point de fonctionnement s'établit en A pour $N = 1$, en B en $N = 0,85$ et en C pour $N = 0,73$.

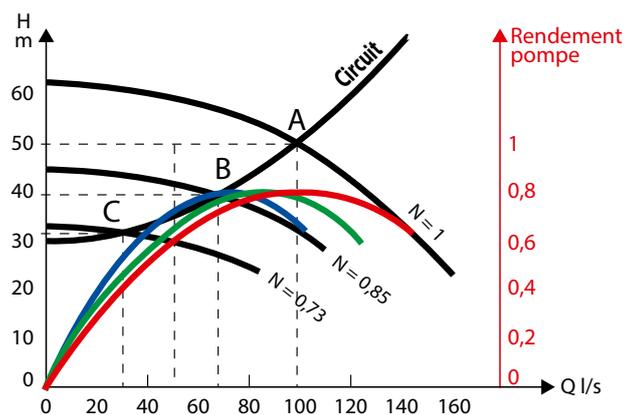


Figure A38 : Réglage du débit par variation de la vitesse, dans le cas d'un circuit comportant des pertes de charge et une hauteur géométrique
Déplacement du point de fonctionnement

A partir de la figure A38, le tableau ci-dessous a été établi. Il présente le bilan énergétique du système à vitesse variable.

Point	A	B	C
Q (l/s) ou Qm (kg/s)	100	68	30
H pompe (m)	50	39,3	31,9
Rendement pompe η_p	0,80	0,76	0,50
Rendement électrique η_m	0,879	0,879	0,879
Rendement global du système (Rg)	0,70	0,668	0,439
Valeur relative de Rg (Rgr)	0,95	0,90	0,59

Tableau A7 : Bilan énergétique de l'exemple A38

Le rendement global de référence $R_g = 0,74$ est celui du sous paragraphe a1, c'est-à-dire le rendement d'une installation ne comportant pas de variateur de fréquence.

b_2 : Vitesse variable dans le cas d'un circuit ne comportant que des pertes de charge

Dans le cas où le circuit ne comporte que des pertes de charge, le circuit résistant est représenté par une parabole de forme $H = K.Q^2$ passant par l'origine, comme cela est représenté sur la figure A39.

ANNEXE

Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

Sur cette figure, on a représenté (paragraphe A.1.d du chapitre II) les courbes caractéristiques de la pompe pour la vitesse nominale $N = 1$ et pour la vitesse moitié $N = 0,5$. on constate que le point de fonctionnement à la vitesse moitié, correspond à un débit égal à la moitié du débit nominal $Q = 50$ l/s, et surtout que la pompe fonctionne toujours à son rendement optimum $\eta_p = 0,8$.

On montre facilement que pour n'importe quelle vitesse, et pour n'importe quel débit, la pompe fonctionne toujours à son point de rendement optimum. En effet la loi d'évolution de la courbe caractéristique, $H = A.N^2$, et $Q = B.N$ (paragraphe A.1.d du chapitre II) se réduit à $H = K.Q^2$ qui est de la même forme que la caractéristique du circuit résistant.

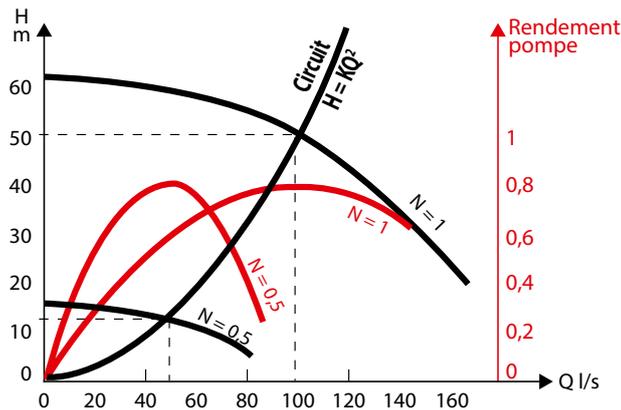


Figure A39 : Déplacement du débit par vitesse variable
Cas d'un circuit ne comportant que des pertes de charge

La valeur relative du rendement global R_{gr} reste toujours égale à 0,95. Les 5% de rendement manquants sont dus seulement aux pertes électriques supplémentaires attachées au variateur de fréquence, et plus généralement au système de variation de vitesse. Il n'y a aucune autre perte due à la désadaptation de la pompe.

Remarque :

- On a supposé dans ce paragraphe que la vitesse ne modifiait pas le rendement de la pompe, ce qui reste proche de la réalité pour une gamme de vitesse comprise entre 0,4 et 1. En dessous de $N = 0,4$, il conviendrait de faire une correction de rendement. Cette correction est cependant d'un intérêt faible, car la puissance varie comme N^3 et devient inférieure à 6% de la puissance nominale pour $N < 0,4$.

b_3 : Vitesse variable dans le cas d'un circuit ne comportant qu'une hauteur géométrique

Lorsque les pertes de charge sont nulles ou négligeables, la caractéristique du circuit se réduit à une horizontale $H = 50$ m, comme cela est présenté sur la figure A40, ainsi que les courbes de rendement qui leur correspondent.

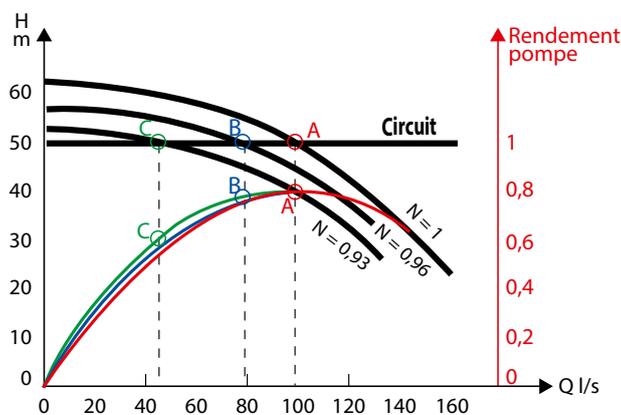


Figure A40 : Déplacement du débit par vitesse variable
Cas d'un circuit ne comportant qu'une hauteur géométrique
(pertes de charge négligeables)

Les trois points de fonctionnement correspondant aux trois vitesses $N = 1$, $N = 0,96$ et $N = 0,92$ sont les points A, B et C respectivement.

Le tableau ci-dessous présente le bilan énergétique du système à vitesse variable lorsque le réseau ne présente qu'une hauteur géométrique (ici $H = 50$ m) :

Point	A	B	C
Q (l/s) ou Qm (kg/s)	100	80	46
H pompe (m)	50	50	50
Rendement pompe p	0,80	0,77	0,58
Rendement électrique m	0,879	0,879	0,879
Rendement global du système (Rg)	0,70	0,677	0,509
Valeur relative de Rg (Rgr)	0,95	0,914	0,687

Tableau A8 : bilan énergétique de l'exemple A40

Le rendement global de référence $Rg = 0,74$ est celui du sous paragraphe a1, c'est-à-dire le rendement d'une installation ne comportant pas de variateur de fréquence.

b_4 : Bilan de la vitesse variable

La figure A41 présente l'évolution du rendement global relatif Rgr en fonction de Q/Q_n pour les trois formes de caractéristiques du réseau existant, que nous venons d'examiner.

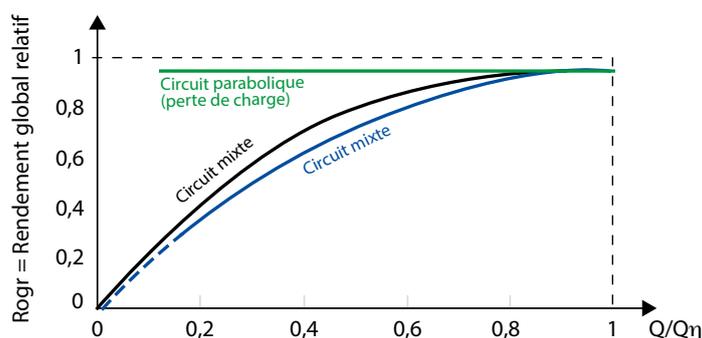


Figure A41 : Évolution du rendement global relatif

c) Valeurs comparatives

Pour un fonctionnement sur le même circuit, comportant à la fois une hauteur géométrique et des pertes de charge, on peut dresser le tableau de comparaison suivant entre les différents modes de réglage du débit :

Q/Qn	1	0,75	0,5	(N° de figure)
Rgr pales orientables	1	0,91	0,86	A31
Rgr vitesse variable	0,95	0,91	0,80	A38 / A39 / A40
Rgr prérotation	1	0,81	0,65	A32 / A33
Rgr deux pompes	1	0,67	0,70	A35 / A36
Rgr vannage pompe	1	0,67	0,41	A27 / A28
Rgr pompe by-pass	1	0,58	0,32	A29 / A30

Très grossièrement, on peut considérer que l'ordre du tableau correspond à un ordre de qualité énergétique décroissant, et à un ordre de complexité (et probablement de coût) également décroissant.

ANNEXE

Informations complémentaires pour la réalisation d'une installation de pompage

2. Autres dispositions permettant de réduire la consommation d'énergie

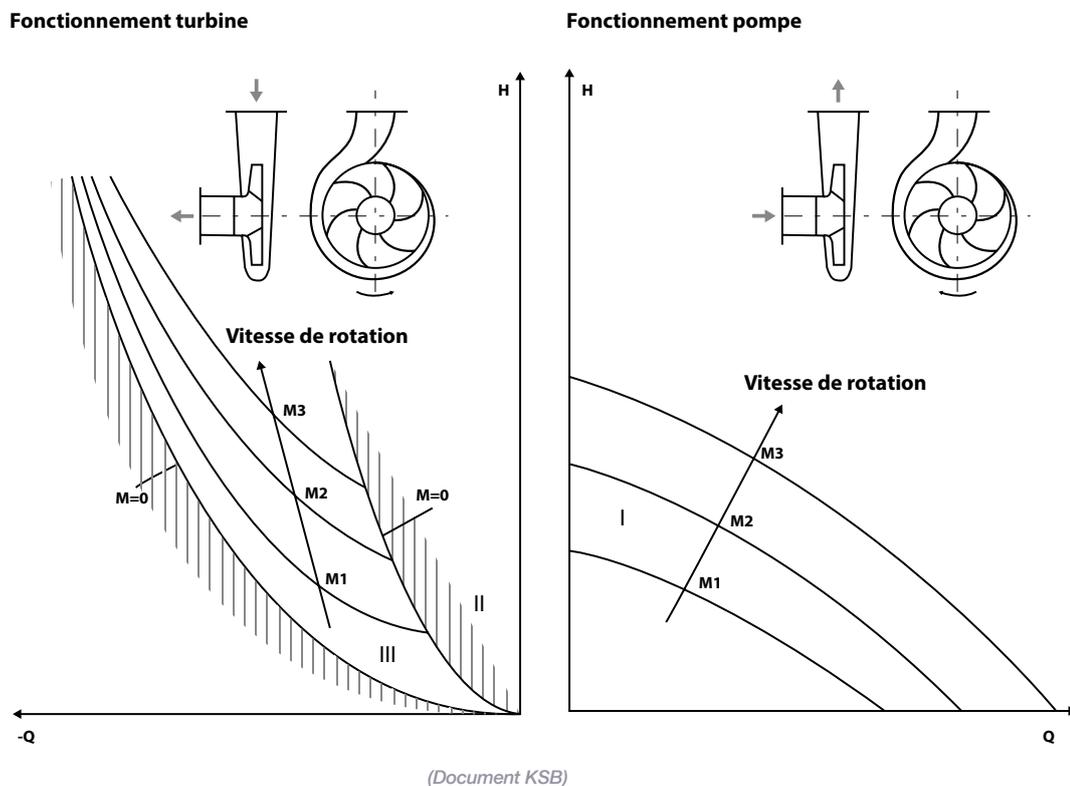
a) Entraînement par une turbine à vapeur

Lorsqu'une installation dispose de vapeur, l'entraînement par turbine représentera souvent une excellente solution avec les avantages suivants :

- Vitesse variable (sans investissement supplémentaire, ni perte dans un onduleur),
- Accès à des vitesses indépendantes de la fréquence électrique,
- Accès à des vitesses de rotation élevées,
- Accès à une gamme de puissance très large.

b) Turbine hydraulique de récupération

Le procédé consiste à récupérer dans une hydraulique le débit que l'on by-pass. Bien souvent la turbine sera une pompe fonctionnant en turbine. Les pompes sont en effet des machines réversibles dans d'excellentes conditions. Le fournisseur de la pompe principale pourra aussi être le fournisseur de la ou des turbines de récupération.



c) Cas général

Les systèmes de pompage, ainsi que leurs cycles de fonctionnement, sont tellement diversifiés, qu'il convient de ne pas se limiter à l'une des neuf solutions que nous avons présentées au paragraphe D.1 de cette annexe. Bien d'autres possibilités sont offertes, en particulier toutes celles qui combinent deux (ou plusieurs) modes de réglage.

A titre d'exemple, il est possible de superposer le réglage par prérotation au système à plusieurs pompes. Les courbes de la figure A36 se trouvent dans ce cas fortement améliorées.

Il est également possible lorsque plusieurs pompes sont associées en parallèle, de choisir des pompes ayant des débits différents, alors que nous n'avons considéré, jusqu'à maintenant, que l'association de plusieurs pompes identiques.

3. Variation de débit des pompes volumétriques

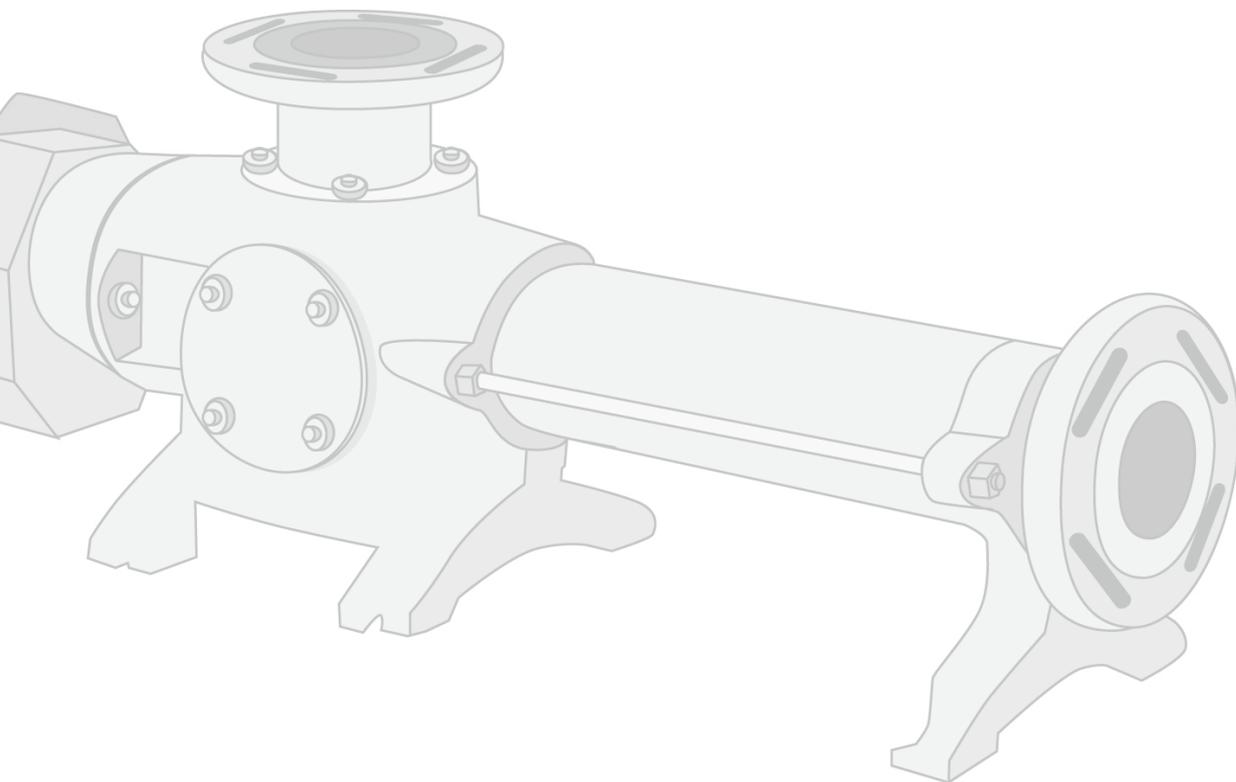
Le débit des pompes volumétriques est peu affecté par des variations de la pression de refoulement.

Une augmentation de celle-ci, à vitesse constante, entraîne un accroissement du couple au niveau des organes de transmission pouvant conduire à des avaries.

Une variation du débit peut être obtenue :

- En recyclant une fraction du produit pompé du refoulement vers l'aspiration. A cette fin peuvent être utilisés des by-pass incorporés dans la pompe ou montés extérieurement à celle-ci. Cette solution n'est généralement utilisée que pour obtenir des variations occasionnelles de débit car elle est fortement consommatrice d'énergie. D'autre part, des précautions doivent être prises dans la conception du by-pass sachant qu'un recyclage prolongé d'une partie du produit refoulé entraîne une élévation de température de celui-ci pouvant être dommageable pour le process ou pour le fonctionnement de la pompe,
- En faisant varier la vitesse de la pompe. Pour cela, il suffit d'agir directement sur la vitesse de sortie de l'entraînement. Cette solution est la plus fréquemment employée sachant que dans le cas des pompes volumétriques, le débit est directement proportionnel à la vitesse de rotation.

Notes



**ASSOCIATION FRANÇAISE
DES POMPES ET AGITATEURS,
DES COMPRESSEURS
ET DE LA ROBINETTERIE**

PROFLUID
membre de la FIM

45, rue

Louis Blanc - 92400 Courbevoie

Tél. : +33 1 47 17 62 98

Fax : +33 1 47 17 63 00

E-mail : profluid@profluid.org

www.profluid.org

Prix 89€

